



POLITECNICO DI TORINO
TESI DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA CIVILE

ANNO ACCADEMICO 2018-2019

**APPLICAZIONE DELLA MODELLAZIONE DELL'HABITAT A MESO-SCALA
ALL'INTERNO DEL TERRITORIO ITALIANO**

Relatore: Prof. Ing. Paolo Vezza

Correlatore: Dott. Ing. Giovanni Negro

Candidato: Daniele Cane

Al mio fratellone Davide sempre fonte di ispirazione

Estratto

I corsi d'acqua talvolta possono essere interessati da derivazioni, sbarramenti interventi di sistemazione idraulica e opere di difesa. Ormai è ampiamente dimostrato come le alterazioni al naturale del regime di deflusso e alla morfologia del corpo idrico portino a modificazioni della disponibilità di habitat e inducano anche molteplici risposte ecologiche da parte delle comunità ittiche presenti.

L'utilizzo delle risorse idriche da parte dell'uomo, sotto le varie forme, comporta un progressivo cambiamento dell'habitat naturale esistente. Entrando nello specifico di questo argomento di tesi, vedremo come sarà possibile analizzare le conseguenze in termini di alterazione di habitat disponibile per le varie specie fluviali per i casi studio analizzati.

Per le ragioni sopra esposte, il Politecnico di Torino ha sviluppato una metodologia alternativa per provare a minimizzare gli effetti causati dall'uomo, in caso di utilizzo di risorse idriche fluviali. La tecnica definita MesoHABSIM, si prefigge appunto l'obiettivo di analizzare e definire la perdita di habitat fluviale per alcune specie target in funzione delle derivazioni di una certa quantità d'acqua per uno specifico fiume/torrente. Verrà ampiamente definito come varie caratteristiche del fiume, giochino un ruolo di prim'ordine nella quantificazione dell'habitat fluviale, per diverse portate in vari periodi dell'anno, così da definire qualitativamente come esso si comporta in differenti regimi di portata. Sono stati presi in considerazione 49 casi studio in Italia per i quali è stata effettuata un'analisi specifica in termini di habitat fluviale. Rilevante è stata anche l'analisi effettuata precedentemente, in cui si è andati a definire le varie unità idromorfologiche (UMI) presenti alle varie portate fluenti.

L'obiettivo di questo lavoro di tesi è stato quello, partendo dall'analisi dei siti d'interesse in varie condizioni di portata, di effettuarne un'analisi statistica dei dati a disposizione così da quantificare realmente le modifiche che insorgono nell'habitat e nella distribuzione idromorfologica all'aumentare della portata. Successivamente quello di catalogare in due livelli (uno semplice e l'altro esteso) i vari corsi fluviali in base a caratteristiche ottenibili grazie all'analisi statistica precedentemente effettuata.

Infine predisporre un'analisi regionale dei corsi d'acqua esaminati così da definire una curva habitat-portata regionalizzata.

Abstract

Watercourses can sometimes be affected by branches, dams, hydraulic works and defense works. It is now widely demonstrated that alterations to the natural runoff regime and to the morphology of the water body lead to changes in the availability of habitats and also induce multiple ecological responses from the fish communities present.

The use of water resources by man, in its various forms, involves a progressive change in the existing natural habitat. Going into the specifics of this thesis topic, we will see how it will be possible to analyze the consequences in terms of alteration of habitat available for the various river species for the case studies analyzed.

For the above reasons, the Polytechnic of Turin has developed an alternative methodology to try to minimize the effects caused by man in case of use of river water resources. The technique called MesoHABSIM, aims to analyze and define the loss of river habitat for some target species as a function of the derivations of a certain amount of water for a specific river / stream. It will be broadly defined how various characteristics of the river play a major role in the quantification of the fluvial habitat, for different flows in different periods of the year, so as to define qualitatively how it behaves in different flow regimes. 49 case studies in Italy have been taken into consideration, for which a specific analysis in terms of river habitat has been carried out. Also relevant was the previous analysis, in which the various hydromorphological units (UMI) present at the various flow rates were defined.

The objective of this thesis work was that, starting from the analysis of the sites of interest in various flow conditions, to carry out a statistical analysis of the available data so as to really quantify the changes that arise in the habitat and in the hydromorphological distribution as the flow increases. Subsequently, the aim is to catalogue in two levels (one simple and the other extended) the various river courses on the basis of characteristics that can be obtained thanks to the statistical analysis

previously carried out. Finally, prepare a regional analysis of the watercourses examined so as to define a regionalized habitat-flow curve.

Indice

ESTRATTO	iii
ABSTRACT	v
INDICE FIGURE	ix
INDICE TABELLE	xii
CAPITOLO 1: INTRODUZIONE E INQUADRAMENTO NORMATIVO	1
CAPITOLO 2: UNITÁ IDROMORFOLOGICHE E HABITAT OTTIMALE	5
2.1: UNITÁ DI CANALE	7
2.2: CURVA HABITAT PORTATA	10
2.3: MORFOLOGIA FLUVIALE	11
2.4: HABITAT FLUVIALE	16
CAPITOLO 3: ANALISI DEI SITI DI RIFERIMENTO	23
3.1: APPLICAZIONE DELLA CLASSIFICAZIONE DI 1° LIVELLO	24
3.1.1: <i>Analisi in campo</i>	29
3.1.2: <i>Statistica dei siti analizzati</i>	32
3.1.3: <i>Classificazione semplice</i>	48

<i>3.1.4: Classificazione estesa</i>	53
CAPITOLO 4: DELIMITAZ. DEI BACINI IMBRIFERI E REGIONALIZZAZIONE	66
4.1: ESTENSIONE DEI BACINI IMBRIFERI TRAMITE ARCGIS	67
4.2: REGIONALIZZAZIONE DEI CASI STUDIO	75
CAPITOLO 5: CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI	89
RINGRAZIAMENTI	91
COSA CONTA VERAMENTE	94
RIFERIMENTI BIBBLOGRAFICI	96

Indice figure

Figura 1: Livelli di caratterizzazione e relative unità spaziali	7
Figura 2: Delimitazione di una HMU	9
Figura 3: Trota Fario	9
Figura 4: Curva habitat-portata	10
Figura 5: Esempio di descrizione morfologica	11
Figura 6: Canale singolo Meandriforme	15
Figura 7: Esempio di descrizione d'Habitat	16
Figura 8: Habitat -Scazzone adulto- $Q=1.17 \text{ m}^3/\text{s}$	17
Figura 9: Habitat -Scazzoneo adulto- $Q=7.15 \text{ m}^3/\text{s}$	17
Figura 10: Habitat -Scazzone adulto- $Q=17.10 \text{ m}^3/\text{s}$	17
Figura 11: Curva Habitat-Portata	18
Figura 12: Confronto tra curve Habitat-Portata	19
Figura 13: Esempio di scheda tecnica in cui sono riunite tutte le informazioni fondamentali dei siti analizzati	22
Figura 14: Rappresentazione grafica segmenti fluviali	23
Figura 15: Classificazione di 1°livello (REstoring rivers FOR effective catchment Management – Rinaldi at al.)	26
Figura 16: 1° Metodo utilizzato per il calcolo dell'Indice di sinuosità	26
Figura 17: Lunghezze utilizzate seguendo il 2° metodo per il calcolo dell'indice Is	27

Figura 18: Telemetro laser	30
Figura 19: Correntometro elettromagnetico (a sinistra) e acustico (A destra)	31
Figura 20: Output SimStream torrente Artanavaz per $Q=0.26 \text{ m}^3/\text{s}$	39
Figura 21: Andamento del Substrato per ogni classe considerando tutte le UMI globalmente	41
Figura 22: Andamento del Substrato per ogni classe considerando separatamente ogni UMI	42
Figura 23: Frequenza della velocità per il Torrente Artanavaz a $Q = 0.26 \text{ m}^3/\text{s}$	43
Figura 24: Frequenza cumulata per il Torrente Artanavaz a $Q = 0.26 \text{ m}^3/\text{s}$	44
Figura 25: Quantità numerica di punti compresa tra le varie classi di velocità	44
Figura 26: Distribuzione delle frequenze del fiume Dora Baltea ad Aosta, per il substrato alle portate di rilievo	45
Figura 27: Distribuzione delle frequenze di velocità, del fiume Dora Baltea ad Aosta, alle portate di rilievo	46
Figura 28: Distribuzione delle frequenze di velocità cumulate, del fiume Dora Baltea ad Aosta, alle portate di rilievo	46
Figura 29: Distribuzione tramite istogramma delle frequenze di velocità, del fiume Dora Baltea ad Aosta, alle portate di rilievo	47
Figura 30: Distribuzione delle frequenze di profondità cumulate, del fiume Dora Baltea ad Aosta, alle portate di rilievo	48
Figura 31: Sottotratto analizzato con evidenziate le varie UMI presenti	49
Figura 32: Rappresentazione grafica dei passaggi logici esplicitati precedentemente	50
Figura 33: Rappres. grafica della Dora Baltea Aosta per il calcolo degli indici	51
Figura 34: Classificazione fluviale di 2° livello secondo il REstoring rivers FOR effective catchment Management – Corsi d’acqua confinati	59
Figura 35: Fotografia Torrente Ayasse anno 2010 – Classificazione 4-Cascade	60

Figura 36: Fotografia Torrente Artanavaze anno 2010 – Classificazione 5 Step-pool	60
Figura 37: Classificazione fluviale di 2° livello secondo il REstoring rivers FOR effective catchment Management – Corsi d’acqua substrato alluvionale	61
Figura 38: Schematizzazione di un bacino idrografico	66
Figura 39: DEM scaricabili dal sito cgjar.org	68
Figura 40: Pagina di Dowload sito cgjar.org	69
Figura 41: DEM 32N Italia Centrale con visualizzazione in dettaglio della zona d’interesse	69
Figura 42: Applicazione della funzione Flow direction in ArcGis 10.4	70
Figura 43: Applicazione della funzione Flow Accumulation in ArcGis 10.4	71
Figura 44: Applicazione della funzione Watershed in ArcGis 10.4	72
Figura 45: Applicazione della funzione Layer to KML in ArcGis 10.4	73
Figura 46: Grafico Habitat-Portata specifica regionalizzata	86

Indice tabelle

Tabella 1: Principali descrittori ambientali	8
Tabella 2: Specie target analizzate	11
Tabella 3: Principali unità morfologiche tratte dal Manuale Sum 132/2016 edito da ISPRA (Rinaldi et al 2016)	14
Tabella 4: Dati necessari al calcolo dell'habitat disponibile	18
Tabella 5: Classificazione di 1° Livello – Rinaldi et al.	29
Tabella 6: Fiumi/torrente esaminati	33
Tabella 7: Torrente Artanavaz – Esempio di informazioni di input per $Q = 0.26 \text{ m}^3/\text{s}$	37
Tabella 8: Classi di substrato a cui si fa riferimento	38
Tabella 9: Suddivisione per classi di Velocità, Profondità e Substrato	39
Tabella 10: Statistica delle prime tre Unità Idromorfologiche del torrente Artanavaz a $Q=0.26 \text{ m}^3/\text{s}$	40
Tabella 11: Analisi statistica della velocità considerando tutte le UMI globalmente	43
Tabella 12: Calcolo degli indici I_s e B_i	52
Tabella 13: Classificazione fluviale di 2° livello secondo il REstoring rivers FOR effective catchment Management	58
Tabella 14: Classificazione statistica del fiume Dora Baltea a Mecosse con evidenziati i valori di substrato prevalenti	62
Tabella 15: Classificazione di 2° Livello (o Classificazione estesa) per i siti in esame	65
Tabella 16: Estensione dei bacini imbriferi sottesi per i casi studio d'interesse	75

Tabella 17: Gruppi omogenei, in funzione della loro classificazione estesa	77
Tabella 18: Valori delle portate normalizzate all'estensione dei per i casi studio in esame	84
Tabella 19: Suddivisione UMI in funzione della possibilità di ospitare la specie target	85
Tabella 20: Esempio per la quantificazione dell'area disponibile per il pesce generico, Dora Baltea La Salle $Q=0.295 \text{ m}^3/\text{s}$	86

CAPITOLO 1

INTRODUZIONE E INQUADRAMENTO NORMATIVO

4.543.000.000. Quattro miliardi cinquecentoquarantatré milioni, a tanto ammontano gli anni della Terra; e in tutto questo tempo si sono susseguiti sulla sua superficie, nel sottosuolo, nei fiumi e anche nei più profondi abissi, milioni di specie viventi che l'hanno popolata fin dai suoi arbòri. Nell'arco della sua storia, ha subito diversi processi naturali significativi (glaciazioni, impatti di asteroidi, effetto serra, terremoti...) che hanno modificato e talvolta estinto le specie viventi; chi invece è stato in grado di adattarsi velocemente ai cambiamenti, e quindi alle nuove condizioni di vita, è sopravvissuto. Spesso si trattava di piccoli "animaletti" in grado di nascondersi facilmente, spostarsi velocemente, riprodursi velocemente o in grado di sopravvivere a lunghi periodi di "digiuno". L'uomo si colloca alla fine di questa catena temporale; e rappresenta l'unica specie vivente intelligente (così definita perché in grado di costruire attrezzi per la caccia, per coltivare e per altri scopi legati alla sua sopravvivenza).

La presenza dell'uomo negli ultimi 2 secoli è diventata un problema; uno studio reso noto dal sito di National Geographic dice che dal 1970 al 2014, le popolazioni di mammiferi, uccelli, pesci, rettili e anfibi, sono diminuite in media del 60% nel giro dunque di soli 44 anni. L'articolo prosegue dicendo che, "se i numeri nella loro gravità rappresentano una novità, di certo non sono nuove le cause indicate dallo studio come responsabili della strage". Il problema è probabilmente l'uomo!

Lo studio approfondito degli ambienti naturali ci permette di far fronte a questi problemi. Possediamo già tutta la tecnologia e l'innovazione necessaria per porre rimedio a situazioni limite come quelle sopra citate. Questa tesi studia come nell'ambito fluviale, il cambio delle condizioni idromorfologiche, possano comportare la sofferenza di alcune specie animali autoctone. Grazie a software GIS, potremo capire e prevedere le conseguenze che porterà una modifica idraulica, sull'habitat di una o più specie acquatiche analizzate. Queste valutazioni ci consentiranno, di capire per un corso d'acqua quali siano

le condizioni ottimali e quali quelle strettamente necessarie per la sopravvivenza delle specie locali. Sarà preso in esame come, una modifica seppur marginale, delle condizioni di portata del fiume/torrente, possa portare a rilevanti cambiamenti di habitat per una o più specie. Tali alterazioni possono essere di carattere naturale, in occasioni di piene o, a fronte di regimi di siccità; ma possono essere anche tipo artificiale. Se nel primo caso le condizioni limite risultano temporanee e in genere non portano a conseguenze irreversibili dello stato d'habitat fluviale, diversa può risultare la situazione in cui una derivazione sia di carattere artificiale. Si può intuitivamente capire come ciò possa portare a un cambiamento in termini morfologici, idrodinamici e di conseguenza anche a un'alterazione dell'habitat fluviale. Per queste ragioni è importante seguire dei criteri ben specifici e riportati almeno in parte in questo lavoro di tesi, nel momento in cui si decide di mutare in qualche modo, le condizioni naturali del corso d'acqua.

L'elaborato è suddiviso in tre parti. La prima pone le basi di carattere tecnico scientifico in cui vengono esposti nel dettaglio le definizioni specifiche e si prende possesso di tutti gli strumenti utili per una completa descrizione del tema affrontato. La seconda parte in cui si analizzano da un punto di vista statistico i vari casi studio e li si classifica seguendo quanto riportato nella metodologia ReFORM (REstoring rivers FOR effective catchment Management), dapprima nella classificazione di 1° livello, e successivamente estendendo i fattori descrittivi e portando la classificazione al 2° livello. Infine si è imbastita una carta regionale che permette, in funzione della classificazione ottenuta, di raggruppare corsi d'acqua aventi caratteristiche simili, valutando la relazione che intercorre tra portata specifica e disponibilità di habitat. Il progetto REFORM si concentra sui processi idromorfologici ed ecologici e sulle interazioni che avvengono all'interno dei sistemi fluviali. La prima parte del progetto REFORM descrive approfonditamente tutte le definizioni utili in contesto fluviale (bacino idrografico, tratto e sotto tratto fluviale, ecoregione, unità idromorfologica, confinamento...). La seconda parte utilizzata in questo lavoro di tesi, riporta la classificazione di 1° e di 2° livello comprensiva anche degli indici necessari per attuarle.

Come descritto nel Manuale tecnico ISPRA “Manuale tecnico-operativo per la modellazione e la valutazione dell'integrità fluviale” si prova a descrivere l'habitat fluviale e la sua integrità utilizzando l'approccio a meso-scala, tramite la metodologia denominata MesoHABSIM – Mesohabitat Simulation Model. Essa si presenta in accordo con quanto riportato nelle linee guida in tema di “ecological flows”

dell'Unione Europea, in cui viene descritta come un approccio idoneo allo studio della variabilità spazio-temporale dell'habitat fluviale relativo ad alcune specie target analizzate in funzione dell'idromorfologia del corso d'acqua esaminato.

Il quadro normativo complessivo riferito alla metodologia MesoHABSIM corrisponde a quello riguardante il monitoraggio e la valutazione idromorfologica ed ecosistemica dei corsi d'acqua prevista dalla Direttiva Quadro sulle Acque (Direttiva 2000/6/CE, WFD) e dalla ricezione delle norme nazionali, incluso il decreto direttoriale MATTM n° 29-2017 incentrato sui criteri per il rilascio di derivazioni idriche, e sui criteri atti a mitigarne l'impatto sui corsi d'acqua con particolare interesse di conservazione e tutela dell'habitat delle specie presenti previsto dalla Direttiva 1992/43/CEE.

La Direttiva 1992/43/CEE si pone l'obiettivo di proteggere e salvaguardare la qualità ambientale comprese la conservazione dell'habitat ambientale naturale, promuovendo di conseguenza la biodiversità di specie, considerando che in tutta la comunità Europea gli habitat non cessano di degradarsi e che un numero sempre crescente di specie continua a sentirsi minacciata. Per questo come riportato in Art. 3 della presente Direttiva ogni Stato Europeo si impegna a contribuire all'incrementazione di una rete, denominata "Natura 2000" che comprende tutte quei territori a rischio ottenuti dopo un'attenta analisi dei siti e a una catalogazione dell'habitat presente. A discrezione di ogni Stato membro per questi "luoghi speciali" compresi in "Natura 2000" adotta delle procedure per mantenere l'habitat rilevato coerente con l'ecologia naturale della zona.

La Direttiva 2000/6/CE, WFD ha introdotto un approccio innovativo nella legislazione Europea per quanto riguarda "la prevenzione del deterioramento qualitativo e quantitativo in modo da migliorare lo stato delle acque e assicurarne un utilizzo sostenibile" La direttiva stabilisce che la salvaguardia dell'habitat deve essere effettuata a scala di Bacino idrografico, mentre l'unità territoriale di riferimento del bacino è definita dal "Distretto di idrografico" che rappresenta un territorio costituito da uno o più bacini idrografici limitrofi e dalle acque superficiali e sotterranee. In ogni distretto, come riportato dalla direttiva, gli Stati membri dovranno:

1. Effettuare un'analisi delle caratteristiche del distretto.
2. Effettuare un'analisi dell'impatto provocato dall'uomo e dalle attività antropiche associate, per quanto riguarda le acque superficiali e sotterranee.

3. Un'analisi economica dell'utilizzo idrico

Relativamente a ogni distretto si impone che si ottenga una condizione “buona” di tutte le acque ivi presenti, basandosi sui piani di Gestione che gli Stati membri che devono predisporre per ogni singolo bacino imbrifero.

È importante sottolineare come ultimamente la valutazione e la modellazione dell'habitat fluviale abbia raccolto un notevole interesse tra gli addetti ai lavori. Tale attenzione è da attribuirsi al fatto che gli indicatori biologici e i relativi indici fino a quel momento utilizzati in Italia e in Europa, si sono dimostrati aventi alcune criticità sul fronte della valutazione sull'impatto delle alterazioni idromorfologiche. Come esposto sul manuale ISPRA, ciò accadeva, quando si trattava una delle seguenti problematiche:

1. Non si poteva per qualche ragione isolare l'impatto della sola alterazione idromorfologica sulla comunità ittica analizzata.
2. La specie target sia assente al momento del rilievo.
3. In caso in cui ci fosse l'esigenza di effettuare una simulazione di scenari futuri.
4. La specie esaminata sia sottoposta a gestione (ripopolamento a fini di pesca).
5. Presenza di fauna invasiva o aliena che renda difficoltoso isolare la risposta della specie target d'interesse.
6. La comunità risponda in maniera consistente ad altri stimoli come ad esempio la qualità dell'acqua.
7. Vi sia una marcata oscillazione naturale della presenza e dell'abbondanza delle comunità ittiche analizzate.

Per le motivazioni sopra elencate l'habitat disponibile per una specie o un comunità target viene definito e utilizzato nel Manuale ISPRA come una caratteristica utile ed efficace per quantificare l'impatto sulla fauna analizzata.

CAPITOLO 2

UNITÀ IDROMORFOLOGICHE E HABITAT OTTIMALE

Definiamo Habitat fluviale naturale quell'insieme di condizioni (geomorfologiche, climatiche e idrauliche) che permettono la sopravvivenza (o l'abbondanza) di una specie animale o vegetale naturalmente presente. Come riporta il Manuale ISPRA, i corsi d'acqua interessati da derivazioni, sbarramenti o interventi di sistemazione idraulica, possono alterare il naturale regime di deflusso e la morfologia del corso idrico portando a importanti modificazioni della disponibilità di habitat per una determinata comunità ittica presente.

Gli approcci esistenti e più comuni si basavano su modelli idraulici mono o bi-dimensionali, i quali risultavano essere difficilmente applicabili, in virtù del fatto che bisognava verificare sempre l'ipotesi di acqua bassa (shallow water). Ricordiamo come in tale ipotesi si avanza l'idea che la componente verticale della velocità sia nulla e di conseguenza si assumeva costante, pari al valore medio, la risultante delle componenti orizzontale. In questo modo infatti potevano emergere difficoltà per quei corsi d'acqua a forte pendenza o in cui la morfologia cambiava rapidamente. La metodologia che utilizzeremo è quella proposta dal Manuale ISPRA definita MesoHABSIM. Si è deciso di percorrere tale strada, principalmente per tre ragioni specifiche: in primo luogo, la raccolta dei dati può essere facilmente eseguita per mezzo di strumentazione tecnica leggera e soprattutto a basso costo. Successivamente l'impiego di una vasta gamma di variabili ambientali per la descrizione dell'habitat fluviale, garantisce un'analisi esauriente sia a livello di singola specie sia di comunità. Infine tale metodologia è possibile applicarla senza l'utilizzo di modelli di simulazione idraulica, dunque anche in fiumi a carattere torrentizio o morfologicamente complessi, possono essere oggetto di studio senza troppe difficoltà.

Nei corsi d'acqua naturali i mesohabitat corrispondono generalmente alle unità morfologiche (Step, Rapid, Riffle..) o unità idrauliche, porzioni omogenee di sub-strato o di flusso. I modelli di habitat si dividono principalmente a seconda della scala spaziale a cui ci poniamo; definiamo modelli a scala microhabitat dove le specie vengono distribuite in base alle variabili idrauliche come profondità e velocità della corrente, e poi abbiamo quelli che si definiscono di idoneità d'habitat a meso-scala in cui ciò che conta è la descrizione di come vengono utilizzate le varie unità spaziali dalle comunità target in funzione di un più ampio numero di variabili ambientali.

La metodologia che tratteremo in questo argomento di tesi, sarà quella a meso-scala; essa come anticipato precedentemente, mantiene tutte le caratteristiche peculiari della metodologia tradizionale a microscala, solamente amplia di molto la scala spaziale di analisi, cambiando di conseguenza, l'approccio analitico utilizzato. Il Manuale ISPRA riporta inoltre anche le fasi procedurali della metodologia MesoHABSIM:

1. Descrizione dell'habitat tramite rilievo idromorfologico per le diverse condizioni di deflusso.
2. Applicazione dei modelli biologici di idoneità d'habitat.
3. Analisi delle variazioni spazio temporali dell'habitat.

La Metodologia MesoHABSIM consiste, come abbiamo già detto, nella raccolta di un certo numero di dati utilizzati per predire a seconda della modifica delle condizioni idrauliche, una mutazione dell'habitat per una o più specie target. Per condizioni idrauliche, di cui si fa cenno, s'intende considerare diversi valori di portata [m^3/s], in cui tramite elaborazione software, si può ottenere una ricostruzione di una curva habitat disponibile-portata, una morfologia fluviale attendibile e una distribuzione dell'habitat in termini di "assenza", "presenza" e di "abbondanza" di specie per quel medesimo tratto fluviale. Il software utilizzato è un plugin (o estensione) del programma freeware Qgis 2.18, SimStream, del quale si rimanda alla tesi "Costruzione, debugging e applicazione di strumenti GIS per la modellazione dell'habitat fluviale – G. Negro 2018" per una spiegazione più completa, visto e considerato che tale plugin non è stato oggetto di studio di questo elaborato, sebbene ne siano stati utilizzati gli output.

L'analisi Multiscala per definizione comprende diversi livelli di definizione. Tali livelli, sono a loro volta organizzati gerarchicamente in multiscala. Essi differiscono sostanzialmente in termini di scala spaziale e di grado di dettaglio dell'identificazione. Come riporta il manuale ISPRA, scale spaziali più ampie sono associate a livelli di analisi più generali, mentre scale spaziali più piccole implicano livelli di analisi di maggior dettaglio. I livelli di caratterizzazione della morfologia fluviale, sono i seguenti:

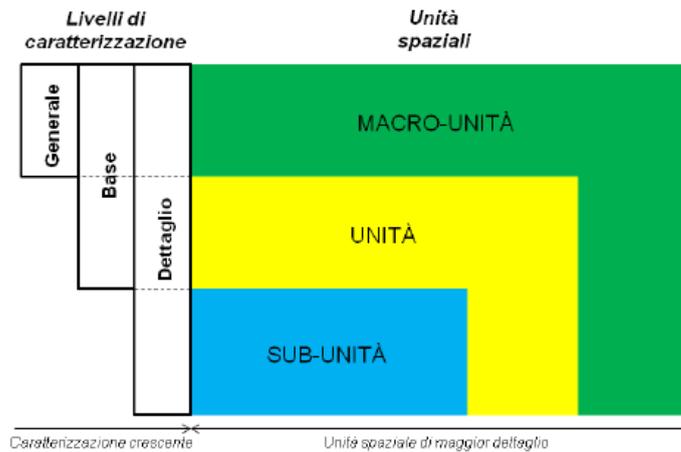


Figura 1 Livelli di caratterizzazione e relative unità spaziali

1. **Macro-unità:** Corrispondono al carattere più generale. Esse per esempio possono identificare il canale di magra del corso fluviale oppure alcune caratteristiche comuni dell'alveo, facilmente individuabili dalle foto aeree, come porzioni acquatiche, sedimenti, vegetazione...
2. **Unità:** Rappresentano l'unità spaziale standard, quella a cui si fa riferimento; elementi spaziali con caratteristiche morfologiche distinte e di dimensioni significative (Riffle, barra, isola...). La dimensione dell'unità è variabile, in funzione della tipologia, di solito si prende come riferimento la larghezza d'alveo di magra per le unità standard.
3. **Sub Unità:** Porzioni omogenee in termini di vegetazione, sedimento e/o condizioni idrauliche. Esse sono quelle, insieme alle unità, utilizzate per studiare la variazione dell'habitat fluviale in funzione delle portate considerate.

2.1 UNITÀ DI CANALE

La configurazione del fondo formata da una serie di unità morfologiche, vengono indicate come "unità di canale". Per corsi d'acqua a canale singolo, la scala spaziale in direzione longitudinale al flusso, ha un ordine di grandezza paragonabile alla larghezza d'alveo, mentre per corsi d'acqua di più grandi dimensioni a morfologia transizionale (Wandering) o a canali intrecciati, l'estensione è simile alla

larghezza del canale di magra. Di seguito (in Tabella 1) sono riportate le principali unità di canale per gli alvei alluvionari, le quali in eco-idraulica vengono definite con il termine “mesohabitat” o hidromorphological units. È possibile intuire come il substrato giochi un ruolo fondamentale per la definizione delle varie Unità idromorfologiche.

NOME DEL DESCRITTORE AMBIENTALE	TIPOLOGIA
Data di effettuazione del rilievo	Valore tipo data
Portata al momento del rilievo	Valore numerico
Nomi delle HMU mappate	Testo
Connettività longitudinale alla portata per passaggio fauna ittica per ogni HMU	Valore binario (Presenza/Assenza, True/False)
Presenza di zone di rifugio/riparo (covers) per ogni HMU	Valore binario (Presenza/Assenza, True/False)
Pendenza media superficie libera per ogni HMU	Valore numerico
Tipologia di substrato rilevata in ogni HMU, tramite campionamento in vari punti	Testo
Profondità rilevate in ogni HMU, tramite campionamento in vari punti	Valore numerico
Velocità rilevate in ogni HMU, tramite campionamento in vari punti	Valore numerico
Numero di Froude	Valore numerico

Tabella 1: Principali descrittori ambientali

Altri due parametri fondamentali sono la disposizione spaziale dei ciotoli e la pendenza topografica dell'alveo fluviale. Più avanti saranno riportati i principali descrittori ambientali che ci permetteranno di discriminare le varie Unità idromorfologiche, così come riportato nella guida 154/2017 ISPRA (Veza et al. 2017).

Gli strumenti necessari per la realizzazione di un rilievo idromorfologico, consistono in un telemetro laser con tecnologia Bluetooth, un palmare in cui ci sia installato opportuno software GIS, un



Figura 2: Delimitazione di una HMU

modellazione dell'habitat fluviale – G. Negro, 2018)

Si ritiene essere indispensabile l'acquisizione di almeno 7 punti di misurazione distinti per poter valutare adeguatamente l'unità. Gli altri descrittori come la portata viene valutata a inizio e fine rilievo, in sezioni convenienti dell'alveo, mentre per quelli di tipologia True/False si definisce solamente la loro presenza. Tramite reti a maglia sottile si contorna tutto il volume d'alveo e in questo modo si immobilizzano gli esemplari acquatici li presenti. Successivamente li si classifica, una volta catturati, in base alla specie e alla dimensione (stadio vitale dell'esemplare). Infine si raccolgono i vari descrittori ambientali e si ripete per tutte le unità mappate durante un rilievo. Come precedentemente descritto le specie vengono catalogate tramite un procedimento binario, presenza o abbondanza.

correntometro montato su un asta graduata (apparecchio per la misura della velocità di corrente), un trepiede fotografico e una bussola. Una volta definito il contorno dell'unità, si deve procedere alla raccolta dei suoi descrittori ambientali. Per i valori di profondità, velocità e substrato, la misurazione sarà di tipo puntuale, seguendo una distribuzione random di punti rappresentativi, all'interno dell'unità (Costruzione, debugging e applicazione di strumenti GIS per la

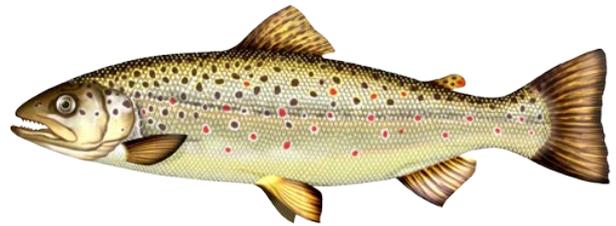


Figura 3: Trota Fario

2.2 CURVA HABITAT PORTATA

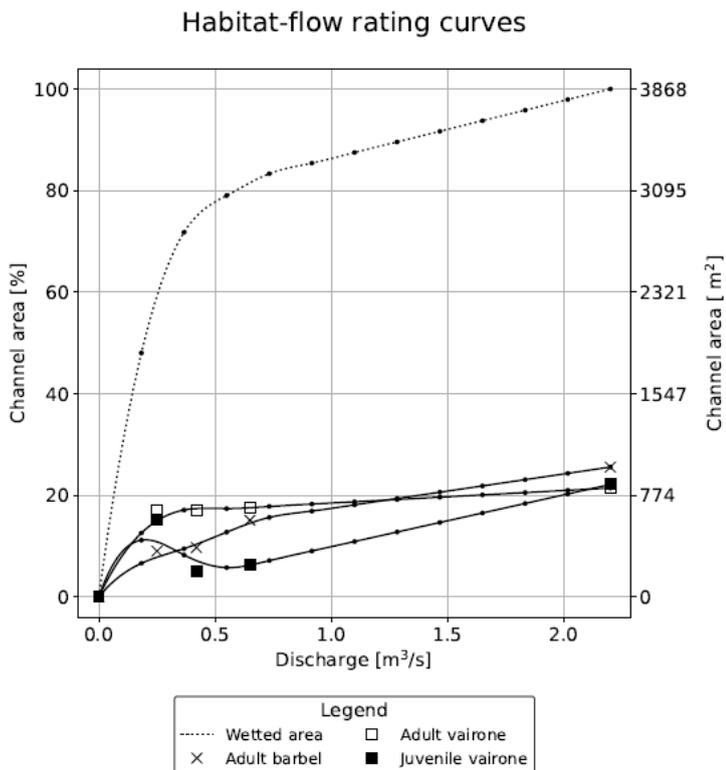


Figura 4: Curva Habitat-Portata

Nell'immagine a fianco è proposta una curva Habitat-Portata in cui è possibile estrapolare diverse informazioni. Innanzitutto sull'asse delle ascisse abbiamo la portata in m^3/s , in cui viene indicato il valore con cui viene eseguita la rilevazione in situ. Sull'asse delle ordinate viene fornita la quantità d'area del canale disponibile per le varie specie target, in termini di m^2 e in %. Nel caso di specie è possibile notare come la portata d'interesse varia dal valore nullo a oltre $2,0 m^3/s$, passando per i valori $0,25 m^3/s$, $0,42 m^3/s$, $0,65 m^3/s$, e concludendo a $2,20 m^3/s$. Le specie target, ovvero quelle prese in considerazione sono rappresentate in

legenda, e ognuna, tramite diverso indicatore, rappresentata per mezzo di una curva. In questo modo siamo in grado di apprezzare la crescita o la decrescita dell'habitat, in funzione della portata. Nella situazione in esame le specie considerate erano: il Bardo adulto, il Vairone adulto e il Vairone giovane. Come si può facilmente notare per esempio per il Vairone adulto l'habitat aumenta con l'aumentare della portata, dunque per i valori analizzati, e per la specie considerata abbiamo sempre la presenza dell'animale, almeno in parte nelle aree considerate. È possibile, almeno preliminarmente, individuare degli errori, in quanto se l'andamento di presenza, in termini % (o di m^2) di una determinata specie analizzata, cambia repentinamente, allora è possibile essere di fronte a un errore di rilevazione dei dati e per questo è necessario, se possibile, rimodulare gli stessi oppure predisporre un nuovo rilievo in campo.

Le specie target prese in considerazione in questo lavoro di tesi, sono riportate di seguito:

SPECIE ANALIZZATA	SPECIE ANALIZZATA (Sim stream)
Trota Fario adulta	Adult Brown trout
Trota Fario giovane	Juvenile trout
Trota Marmorata adulta	Adult Marble trout
Barbo adulto	Adult Barbel
Scazzone adulto	Adult Vairone
Vairone adulto	Adult Vairone
Vairone giovane	Juvenile Vairone
Cavedone adulto	Adult Chub
Gambero adulto	Adult Crayfish
Gambero giovane	Juvenile Crayfish

Tabella 2: Specie target analizzate

2.3 MORFOLOGIA FLUVIALE

La morfologia fluviale non è altro che una descrizione dell'ambiente in esame sotto un punto di vista prettamente fisico. Nel caso di specie, consiste nel frazionare idealmente il sottotratto fluviale definendolo a seconda delle sue caratteristiche morfologiche. Banalmente ciò corrisponde a considerare unità di fiume aventi caratteristiche omogenee, dal punto di vista morfologico. Come vedremo in seguito a seconda del tratto di fiume considerato, che esso sia in zona montana o in zona pianeggiante, avremo certamente più probabilità di incorrere in alcune unità morfologiche piuttosto che in altre, a seconda delle caratteristiche, delle pendenze dell'alveo, dell'andamento morfologico... Di seguito sono riportate tutte le classi morfologiche a cui

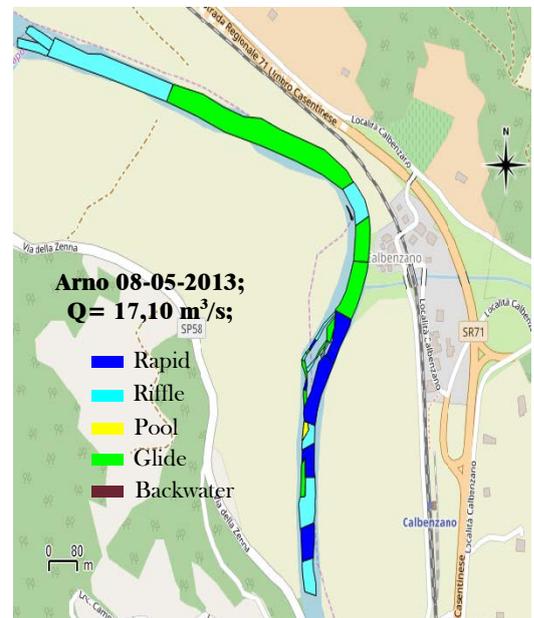


Figura 5: Esempio di descrizione morfologica

facciamo riferimento quando cerchiamo di identificare i vari sotto-tratti analizzati, per classi omogenee:

Pothole (“Marmitta”)



Unità d’erosione tipica di alvei in roccia. Si tratta di unità spesso alquanto incise, di forma circolare, scavate nella roccia in zone, dove vi è una concentrazione di flusso a elevata energia. Le *pothole* sono scolpite nella roccia attraverso processi di cavitazione e abrasione indotti dal materiale trasportato, il quale si ritrova intrappolato nella cavità stessa. Sono unità comunemente associate a livelli litologici meno resistenti o alla presenza di discontinuità strutturali.

Cascade (“Rapida a gradino”)



Unità alluvionali o semi-alluvionali costituite principalmente da massi e/o ciottoli di grandi dimensioni. I sedimenti non sono organizzati in linee (ribs) laterali né longitudinali e sono trasportati solo da piene intense e poco frequenti. Le piccole zone di pozza situate tra i massi sono poco profonde e con flusso molto turbolento, e presentano dimensioni inferiori rispetto alla larghezza dell’alveo (sono definite pocket pool, e non sono definibili come unità vere e proprie ma piuttosto come subunità). Per tutti i livelli idrometrici si ha una diffusa presenza di risalti idraulici che dominano la dissipazione dell’energia della corrente (spill resistance), derivante dalla turbolenza di scia indotta dagli elementi più grandi. Queste unità sono tipiche di alvei confinati a forte pendenza ($S > 7\%$).

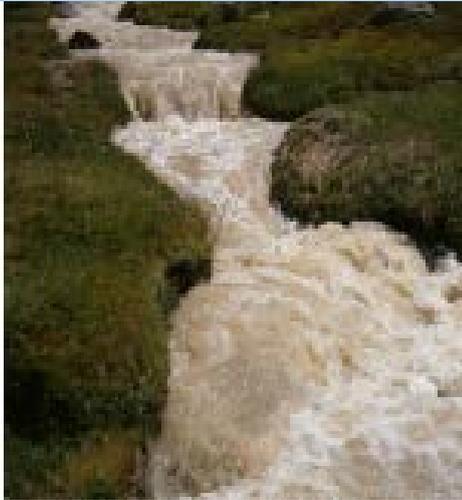
Rapid (“Rapida a scivolo”)



Unità di alvei alluvionali caratterizzate da massi e ciottoli di grandi dimensioni parzialmente organizzati in linee irregolari orientate perpendicolarmente od obliquamente all’alveo, lunghe circa quanto la larghezza dell’alveo (transverse rib, si vedano le sub-unità). Gli elementi di dimensione maggiore sono visibili solamente in condizioni di portata medio-bassa, e risultano sommersi in condizioni di portata a piene rive. Le aree apparentemente simili a pozze visibili in condizioni di magra sono poco profonde e scarsamente sviluppate, pertanto non sono classificabili come unità morfologiche distinte.

Riffle (“Raschio”)

Unità caratterizzate da flusso meno profondo e più veloce rispetto a unità contigue, composte da sedimento relativamente uniforme (ghiaia e piccoli ciottoli) che raramente emergono dall’acqua. Le differenze di profondità e velocità tra i riffle e le unità adiacenti (tipicamente pool e glide) diminuiscono con l’aumentare delle portate. I riffle si formano nei punti di inflessione tra le sponde in corsi d’acqua alluvionali di tipo sinuoso, dove l’alveo è dominato da una sequenza di barre alternate.

Step (“Gradino”)

essere scavati nella roccia (rock step).

Sono unità tipiche dei corsi d’acqua ad elevata pendenza alluvionali, semi-alluvionali ed in roccia. Si tratta di salti (gradini) verticali o fortemente inclinati che occupano l’intera larghezza dell’alveo, formati da diversi tipi di materiale (roccia, sedimento, legno, o loro combinazione). Tali gradini sono approssimativamente più alti rispetto alla profondità del flusso in condizioni di piene rive valutata in corrispondenza del gradino stesso, ovvero non vengono sommersi almeno fino ad eventi di piena ordinaria. Gli step determinano accelerazione e convergenza del flusso, che comportano limitate fluttuazioni turbolente ed un pelo libero piuttosto regolare. Come già menzionato, gli step possono essere formati, oltre che da sedimento trasportato dalla corrente, da materiale legnoso (log step) o

Waterfall (“Cascata”)

Sono gradini sub-verticali di notevole altezza formati dall’attività erosiva del corso d’acqua in corrispondenza di eterogeneità di resistenza del substrato roccioso o di discontinuità strutturali. Vengono distinti da un rockstep per l’altezza elevata, indicativamente > 3 m, e per il presentarsi come salti singoli o comunque non formanti una sequenza relativamente regolare in termini di interdistanza.

Glide (“Scivolo”)



Si tratta di unità caratterizzate da un profilo longitudinale del fondo e del pelo libero piuttosto regolare. Il pelo libero può presentarsi leggermente increspato ma si mostra quasi parallelo al fondo dell'alveo (condizioni molto prossime a quelle di un flusso a moto uniforme) e visivamente poco turbolento ed aerato.

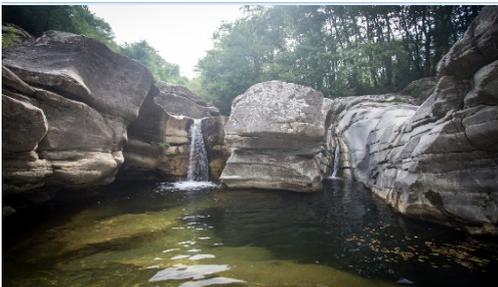
In alvei ghiaiosi relativamente pendenti, queste unità presentano sedimenti non uniforme, spesso corazzato, e negli alvei a maggiore pendenza possono anche esserci sedimenti molto grossolani (ciottoli e massi) che emergono però solo localmente dalla superficie dell'acqua. Comunque le unità “Glide” sono anche comuni in corsi d'acqua ghiaiosi di bassa pendenza così come in corsi d'acqua a fondo sabbioso, dove sono tipicamente localizzate a valle di unità “Pool” o a monte da unità “Riffle”.

Pool (“Pozza”)



Sono unità prevalentemente di origine erosiva che si presentano come depressioni topografiche del fondo dell'alveo con pendenza inversa nella porzione più a valle, ed occupano l'intera sezione trasversale. Sono caratterizzate da tiranti relativamente elevati e velocità ridotte, ma anche da caratteristiche idrodinamiche (fluttuazioni turbolente) complesse. Il sedimento spesso appare più fine rispetto alle unità adiacenti, nel caso in cui vi sia stata sedimentazione, altrimenti può essere anche molto grossolano. Le pool si alternano spesso a step o a riffle, rispettivamente in corsi d'acqua ad elevata pendenza in massi e ciottoli ed in alvei ghiaiosi, ma possono trovarsi anche in corsi d'acqua a fondo sabbioso associate ai meandri. Numerosi sono infatti i processi alla base della loro formazione, dando quindi origine a diversi sotto-tipi.

Plunge pool



Sono unità di pool in genere piuttosto profonde e circolari, formate in alvei in roccia da processi di corrosione e cavitazione a valle di unità a gradino di tipo rock step o waterfall grazie all'azione di caduta del getto d'acqua.

Tabella 3: Principali unità morfologiche tratte dal Manuale Sum 132/2016 edito da ISPRA (Rinaldi et al 2016)

Precedentemente è stato anticipato come, a seconda del corso d'acqua considerato, si potevano avere diverse caratteristiche morfologiche. Infatti la morfologia cambia significativamente se si esamina un corso d'acqua montano piuttosto che uno fluviale o ancora, uno stesso fiume a seconda del tratto analizzato, può portare con se diverse caratteristiche morfologiche. Un alveo tipicamente montano, presenta una pendenza elevata, di solito superiore allo 0.2%; ciò comporterà certamente una velocità della corrente significativa e in alcuni casi anche un'incisione d'alveo importante. Tipico dei tratti di fiume montani sono larghezze del letto ridotte e in virtù della velocità di scorrimento della portata, si avrà un sedimento grossolano e molto eterogeneo.



Figura 6: Canale singolo Meandriforme

La definizione di morfologia fluviale si completa valutando come le diverse forme fluviali si assemblino tra di loro determinando quello che caratteristicamente viene definito “Pattern morfologico complessivo”. Leopold e Wolman nel 1957 provarono a dare la loro classificazione nelle seguenti principali tipologie:

1. **Rettilineo (Straight):** Tracciato all'incirca rettilineo (generalmente per brevi distanze)
2. **Menadriforme:** Alveo a canale singolo caratterizzato da andamento sinuoso con successione di meandri, più o meno regolari
3. **Sinuoso:** Tracciato a canale singolo con sinuosità intermedia tra quella rettilinea e quella meandriforme
4. **Canali intrecciati:** Tracciato multiplo caratterizzato da canali separati da barre laterali

sommariamente capire se le unità formanti il sottotratto, quale tipo di habitat a livello generale ci suggeriscono, e se la portata analizzata, per sommi capi garantisca o no la sopravvivenza delle specie. Di seguito viene presentato un caso studio, in cui è possibile comprendere come la curva-habitat-portata, analizzata precedentemente, venga costruita sulla base dei dati ottenuti grazie a un'analisi numerica dell'habitat disponibile per le varie specie target:

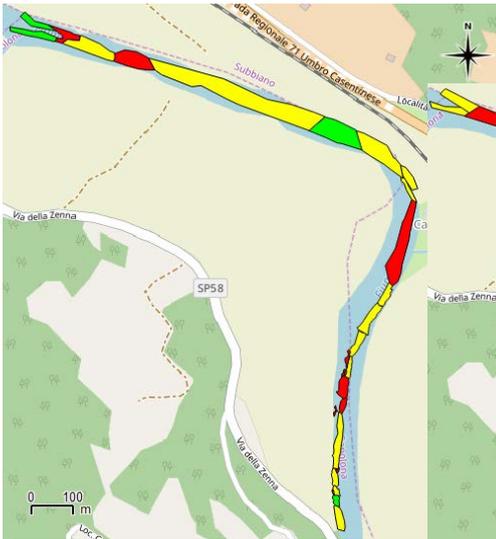


Figura 8: Habitat -Scazzone adulto-
 $Q=1.17 \text{ m}^3/\text{s}$

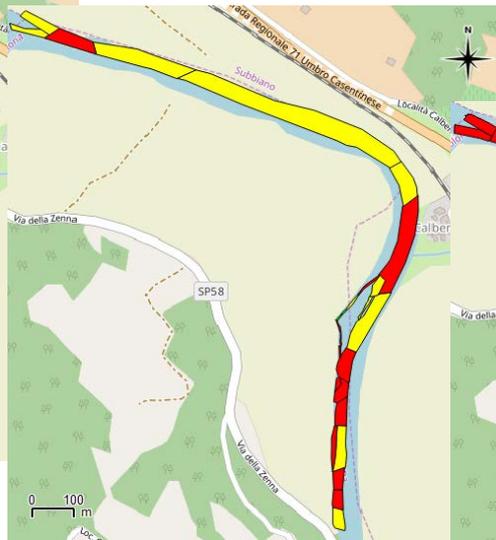


Figura 9: Habitat -Scazzoneo adulto-
 $Q=7.15 \text{ m}^3/\text{s}$

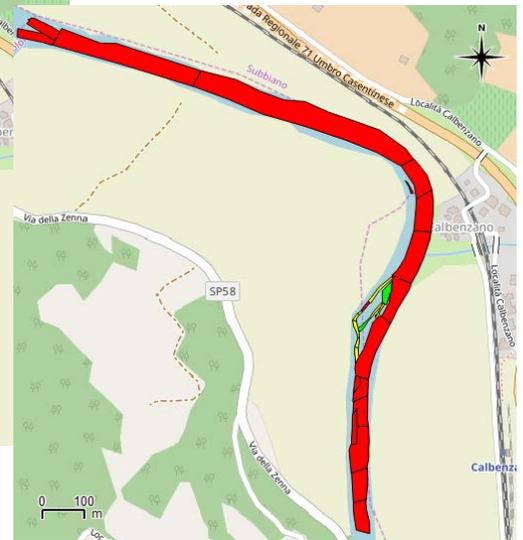


Figura 10: Habitat -Scazzone adulto-
 $Q=17.10 \text{ m}^3/\text{s}$

Risulta molto chiaro come un sottotratto del fiume Arno per una medesima specie target, cambi drasticamente il suo habitat a fronte di un significativo aumento della portata.

Per quantificare numericamente l'habitat disponibile, facciamo riferimento alla superficie bagnata, che ovviamente ha ottenuto un' identificazione di "Suitable" oppure di "Optimal". Facendo riferimento a quanto proposto da Parasiewicz (2007), l'Habitat disponibile (H_d) è dato da:

$$H_d = 0.25 \cdot H_i + 0.75 \cdot H_o$$

Con H_i e H_o rispettivamente sommatoria delle superfici bagnate delle HMU risultate Suitable e Optimal; mentre i coefficienti moltiplicativi hanno come unico scopo quello di rendere maggiormente

significativo l'habitat ottimale nei confronti di quello ottimale. Nella tabella seguente vengono proposti i dati precedentemente presentati:

Portata [m ³ /s]	Superficie bagnata totale [m ²]	H _i [m ²]	H _o [m ²]	H _d [m ²]	H _d [%]
1.17	26844.57	3052.21	2763.94	2836.00	10.56
7.15	35768.16	6206.34	754.11	2880.22	8.05
17.10	42264.59	3976.72	1067.88	1795.09	4.25

Tabella 4: Dati necessari al calcolo dell'habitat disponibile

Tali valori vengono poi utilizzati per ottenere la curva Habitat-Portata di cui si faceva ampio cenno

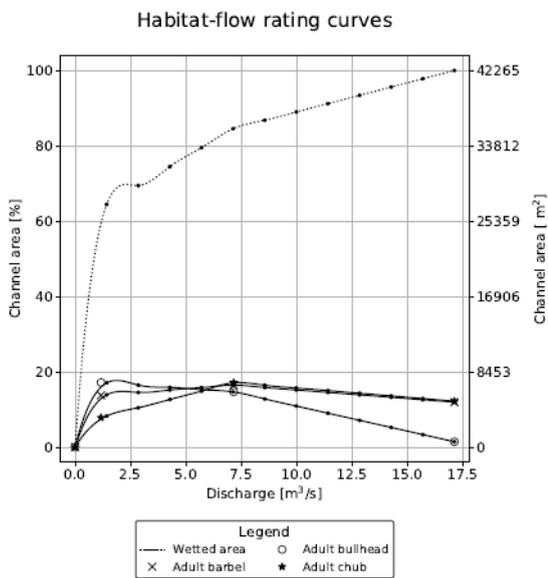


Figura 11: Curva Habitat-Portata

precedentemente. Interpolando i valori con quello della portata si ottiene l'andamento ricercato.

Si possono ricavare diverse informazioni utili una volta ottenuta la curva Habitat-Portata. Innanzitutto, l'andamento della curva d'interpolazione; se essa si presenta pseudo-orizzontale, allora significa che non abbiamo modifiche della disponibilità di Habitat all'aumentare delle portate investigate. Diversamente se la pendenza risulta essere maggiore o minore di 0. In questo caso avremo rispettivamente un aumento o una diminuzione dell'habitat disponibile per la specie target e grazie alla curva dell'area bagnata possiamo giudicare il rapporto che nasce tra questi andamenti.

Di seguito vengono proposte due curve di Habitat-Portata per i quali è possibile effettuare alcuni ragionamenti circa i vari andamenti riscontrabili e cosa essi possono comunicarci intuitivamente prima di iniziare un'analisi approfondita:

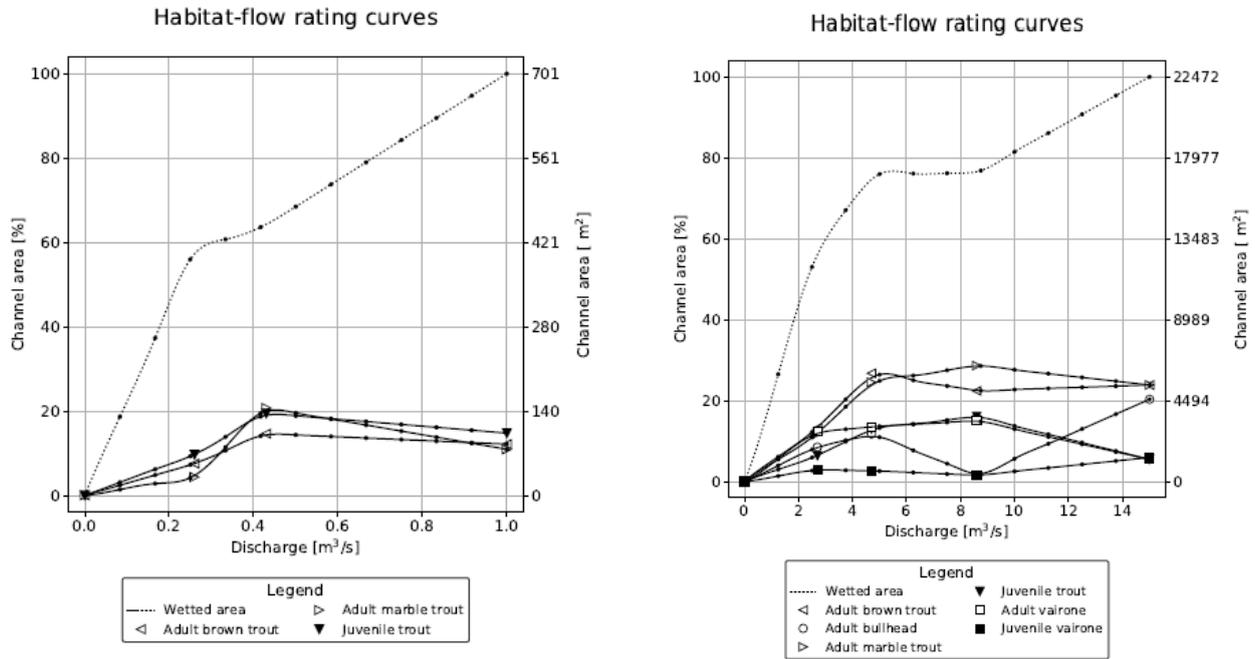


Figura 12: Confronto tra curve Habitat-Portata

È da tenere presente che di solito l'habitat di specie acquatiche, all'aumentare della portata mostra un picco di crescita più o meno marcato per poi scendere quando le condizioni idrauliche non permettono più una così ampia diffusione. Nel caso in esame, la curva di sinistra presenta un andamento dell'Habitat per le specie analizzate, molto simile, dunque le curve seguono tutte pressochè lo stesso andamento. Come precedentemente detto, si nota un aumento dell'habitat fino a un valore di portata di circa 0.45 m³/s (picco massimo), successivamente il valore diminuisce in quanto l'aumentare della portata induce una diminuzione delle specie in esame, creando un habitat meno favorevole rispetto alle condizioni precedenti. Nell'andamento Habitat-Portata di destra, sono state considerate molte più specie target, si nota come ognuna di loro, abbia punti di "massima presenza" per poi calare o crescere all'aumentare della portata. Si nota molto facilmente un andamento anomalo, specificatamente per lo Scazzone adulto, in cui si osserva un repentino aumento in % (e in m²) di habitat, per poi scendere all'improvviso nell'intorno di 8.5 m³/s. Questo è un andamento probabilmente errato in quanto in natura è difficile imbattersi in cambiamenti così repentini. I punti angolosi in natura sono difficilmente

riscontrabili e, anche in questo caso, risulta inattendibile un azzeramento dell'habitat ad una specifica portata per poi successivamente tornare a crescere. In questi casi è necessario effettuare una correzione statistica, oppure un'integrazione dei dati tramite ulteriori rilievi in sito.

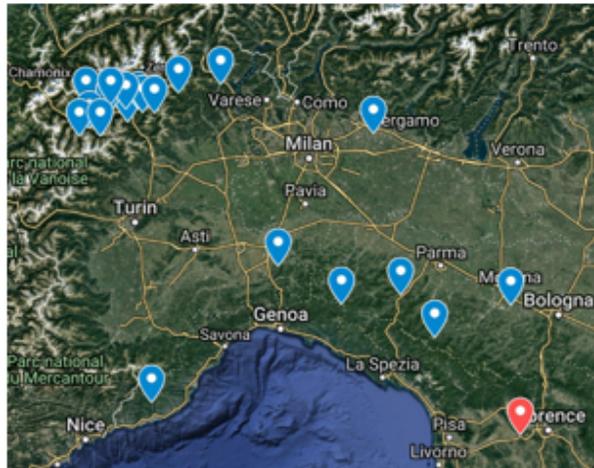
Gli strumenti precedentemente analizzati, vengono riuniti in una scheda riepilogativa del sottotratto fluviale analizzato. Ad esclusione delle informazioni di base, reperite sulla rete, le altre sono state ricavate tramite software QGIS, in cui i dati di input sono stati ricavati da analisi in situ. Tali schede hanno il compito di riassumere le informazioni di base, di un fiume soggetto ad analisi, utili ad definire le caratteristiche tecniche di un sottotratto fluviale

Nella scheda tecnica sono stati inseriti:

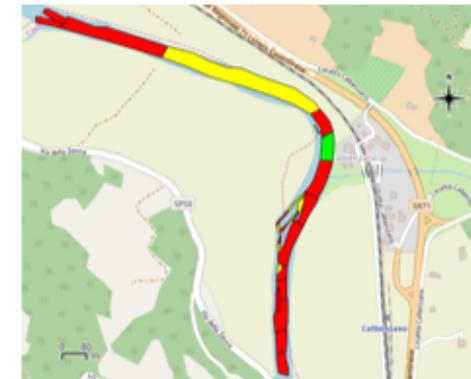
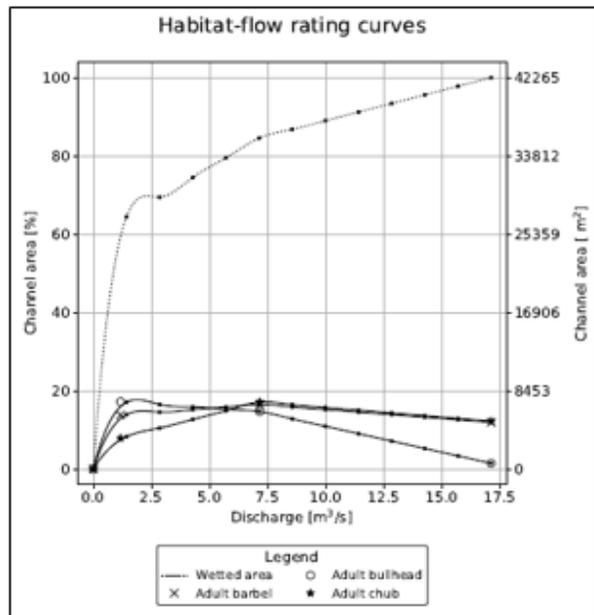
- 1 Inquadramento geografico:** Fornisce il posizionamento approssimativo del sottotratto fluviale analizzato e ci può suggerire anche di che tipo di fiume sia, montano, caratterizzato da forti pendenze, trasporto solido compatto e plurimo, portata media esigua ma velocità significativa; oppure situato in pianura, con pendenze molto ridotte, un trasporto solitamente vario, a seconda della situazione, portate più elevate specie in situazioni di piena e velocità più contenute.
- 2 Informazioni generali:** Reperate per lo più dalla rete, forniscono informazioni generali sul torrente/fiume analizzato. Innanzitutto le portate per le quali viene esaminato il corso d'acqua, di solito quantificate in 3 o 4 valori in periodi diversi dell'anno. Viene indicato il verso di percorrenza, il quale abbinandolo alle mappe idromorfologiche e di habitat siamo in grado di capire in che direzione scorre l'acqua. Vengono inoltre definite importati caratteristiche fluviali di carattere generali quali la morfologia (Confined, Unconfined o Partly Confined) e la tipologia morfologica ad essa abbinata, seguendo quanto riportato nella "Extended river typology" di Rinaldi et al.
- 3 Curva Habitat-Portata:** Già ampiamente descritta, la curva habitat-portata ci indica sommariamente, in funzione delle portate analizzate, come "risponde" la quantità di habitat disponibile all'aumentare della portata per tutte le specie target sotto esame.

- 4 Rappresentazione delle unità idromorfologiche:** Ogni unità investigata è stata catalogata in funzione di alcuni parametri idraulici sotto una categoria specifica; esse ci consentono di visualizzare in prima battuta la “composizione” idromorfologica del sotto-tratto.
- 5 Rappresentazione dell’habitat disponibile:** Ogni specie esaminata a seconda della portata considerata, fornirà una risposta di presenza o assenza a tali condizioni. Quello che si è rappresentato, è l’assenza, la presenza o l’abbondanza di specie target al cambiamento delle condizioni di portata fluente.

Inizialmente sono stati catalogati fiumi e torrenti italiani, come è possibile vedere in allegato, successivamente invece sono stati posti a indagine anche altri fiumi Europei dell’Est, per i quali anche se spesso scarsi di informazioni generali, si è proceduto comunque a inquadrarli sotto il punto di vista idromorfologico e abitativo di specie.



Fiume	<i>Arno</i>
Data di rilievo	<i>18-01-2013</i>
Provincia	<i>Arezzo</i>
Nazione (Regione)	<i>Italia (Toscana)</i>
Specie analizzate	<i>Bardo adulto; Cavedone adulto; Scazzone adulto</i>
Verso di percorrenza	<i>Est --> Ovest</i>
Portate considerate	<i>1.17; 7.15; 17.10</i>
Morfologia	<i>Unconfined</i>
Tipologia morfologica	<i>(13) Sinuous</i>
Substrato prevalente	<i>Mesolithal</i>



LEGENDA MORFOLOGICA:		Q = 17.10 m³/s	LEGENDA HABITAT:	
■ Rapid	■ Backwater		■ Cavedone adulto Optimal	
■ Riffle			■ Suitable	
■ Pool			■ Not suitable	
■ Glide				

Figura 13: Esempio di scheda tecnica in cui sono riunite tutte le informazioni fondamentali dei siti analizzati

CAPITOLO 3

ANALISI DEI SITI DI RIFERIMENTO

Sono stati analizzati diversi corsi fluviali, per i quali grazie ad un'analisi morfologica, è stato possibile caratterizzarli seguendo quanto riportato nella guida Reform (REstoring rivers FOR effective catchment Management). In essa viene proposta una metodologia per classificare i fiumi/torrenti analizzati, sotto il punto di vista morfologico, su due diversi livelli:

1° Livello (Classificazione semplice): La classificazione di primo livello, è quella di carattere più generale, in cui si va a definire la tipologia di confinamento e della “forma” che essi hanno in pianta (Planform)

2° Livello (Classificazione estesa): La classificazione di secondo livello, analizza i siti d'interesse in maniera più approfondita, considerando altri descrittori che al precedente livello non venivano osservati, primo su tutti la composizione del substrato ma anche stabilità, pendenza dell'alveo...

In totale sono definite, per la classificazione estesa, 23 tipologie diverse di canale fluviale, le quali oltre a essere distinte tramite i descrittori proposti ai livelli 1 e 2 sono distinguibili tramite la pendenza approssimata del canale, stabilità dello stesso e una descrizione generale della tipologia in esame. Queste informazioni sono in grado di fornirci in maniera definitiva a che tipologia un fiume/torrente fa parte. Per definire la morfologia fluviale, prima di tutto è bene indicare la definizione di Segmento fluviale. Esso corrisponde alla sezione di fiume (longitudinale) soggetta ad analoghe

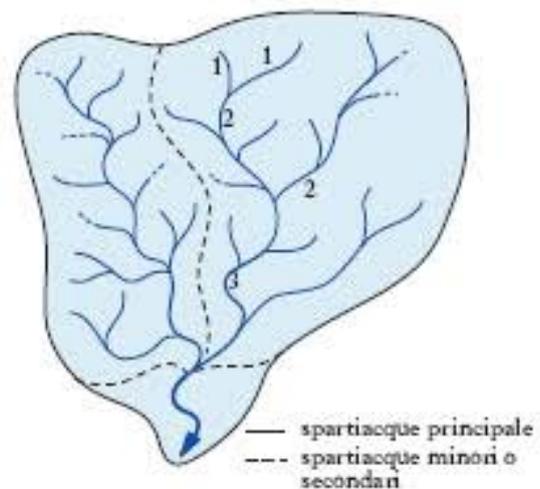


Figura 14: Rappresentazione grafica segmenti fluviali

influenze e condizioni energetiche su scala valliva (D2.1 HyMO Hierarchical Multi-scale Framework – I. Main Report).

Definiamo inizialmente il segmento fluviale come quella porzione indipendente di fiume che può essere di diverso grado, a seconda, dell'importanza dello stesso.

Basandosi su ciò che dicono Brierley e Fryirs nel 2005 e riportato da Rinaldi et al. (2012, 2013) possiamo definire diversi gradi di confinamento.

3.1 APPLICAZIONE DELLA CLASSIFICAZIONE DI 1° LIVELLO

Confinato: Oltre il 90% delle rive del fiume sono direttamente a contatto con colline o comunque rilievi che ne impediscono per gran parte del suo percorso, di allargarsi, costringendolo a seguire un determinato percorso. Solo il 10% della lunghezza longitudinale della sponda è occupata dalla piana alluvionale, circondata in piccole sacche isolate

Parzialmente confinato: Le rive dei fiumi sono a contatto con la pianura alluvionale per una percentuale di lunghezza longitudinale compresa tra il 10% e il 90%. È possibile dunque che ci siano tratti contenuti in cui il corso del fiume confina direttamente con un rilievo che ne impedisce il movimento.

Non confinato: Meno del 10% della lunghezza longitudinale della riva del fiume è a contatto con colline o piccoli rilievi, dunque la pianura alluvionale è praticamente continua, e il fiume non ha vincoli laterali alla sua mobilità.

È necessario far presente un'ulteriore definizione utile per catalogare opportunamente un corso d'acqua, quella del tratto. Per tratto si definisce una lunghezza in cui le condizioni al contorno risultano sufficientemente uniformi, consentendo di mantenere una serie quasi costante di interazioni. In altre parole il tratto può essere definito come quella porzione di segmento fluviale, in cui si mantiene inalterato il grado di confinamento e non si presentano forti discontinuità di carattere naturale o artificiale. Di solito, come regola generale, la lunghezza di un tratto non dovrebbe essere inferiore ad almeno 20 volte la larghezza media del canale. È possibile inoltre definire un indice di confinamento,

determinato dal rapporto tra la larghezza della pianura alluvionale (compreso il canale) e la larghezza del canale, tale valore può essere utile a individuare e a classificare il confinamento (Manuale ISPRA).

Per quanto riguarda i fiumi/torrenti, vengono divisi in 2 grandi categorie, in base al numero di rami che possiedono:

1. A ramo o a filo singolo: I fiumi o torrenti che ricadono in questa categoria, di solito confinati, seguono l'andamento del rilievo che di fatto guida, piuttosto che dall'andamento planimetrico del canale. Pertanto questi fiumi/torrenti non sono ulteriormente suddivisibili, in quanto non è possibile effettuare ulteriori distinzioni dal punto di vista planimetrico
2. Transitori e a più fili/rami: Possono essere non confinati, parzialmente confinati, transizionali o a canali multi ramo. Tale tipologia, è di solito sufficientemente grande per essere discriminata dal telerilevamento. È possibile, talvolta, che alcuni piccoli flussi transitori o multiramo necessitino di un'indagine sul campo per essere confermati.

I fiumi/torrenti non confinati o parzialmente confinati, in base alla Classificazione semplice, vengono suddivisi in 6 diverse tipologie:

1. Singolo ramo rettilineo: Prettamente rettilineo, in cui è possibile che si formino lateralmente dei piccoli cumoli di materiale, specie in periodi di magra.
2. Singolo ramo sinuoso: L'andamento risulta piuttosto curvilineo, il canale resta comunque singolo anche se caratterizzato da una curvatura che ne modifica l'andamento
3. Meandriforme: Prettamente curvilineo, pochi tratti risultano rettilinei, esso è caratterizzato da forti curvature definite meandri, i quali possono talmente modificarne l'andamento che il verso del flusso d'acqua può in un breve spazio invertirsi. Ovviamente si avranno sedimentazioni di materiale sul lato interno del meandro.
4. Transizionale vagante: Alternanza di sottotratti in cui il canale risulta singolo e in altri dove la portata si divide in canali minori, caratterizzato da un'importante sedimentazione e talvolta da isole che possono ospitare vegetazione temporanea.
5. Multi-ramo intrecciato: In questo caso non esiste un vero e proprio canale principale; da foto aeree si vede chiaramente come l'alveo sia contraddistinto da una forte ramificazione intrecciata caratterizzante gran parte della lunghezza longitudinale del tratto del corso d'acqua.
6. Multi-ramo anabrancing: Simile al caso precedente solo il corso del fiume è caratterizzato da

7. diverse isole che separano i vari canali intrecciati ospitanti flora permanente che resiste alle piene ordinarie.

Di seguito sono riportate, per mezzo di una rappresentazione grafica, le varie tipologie sopra descritte.

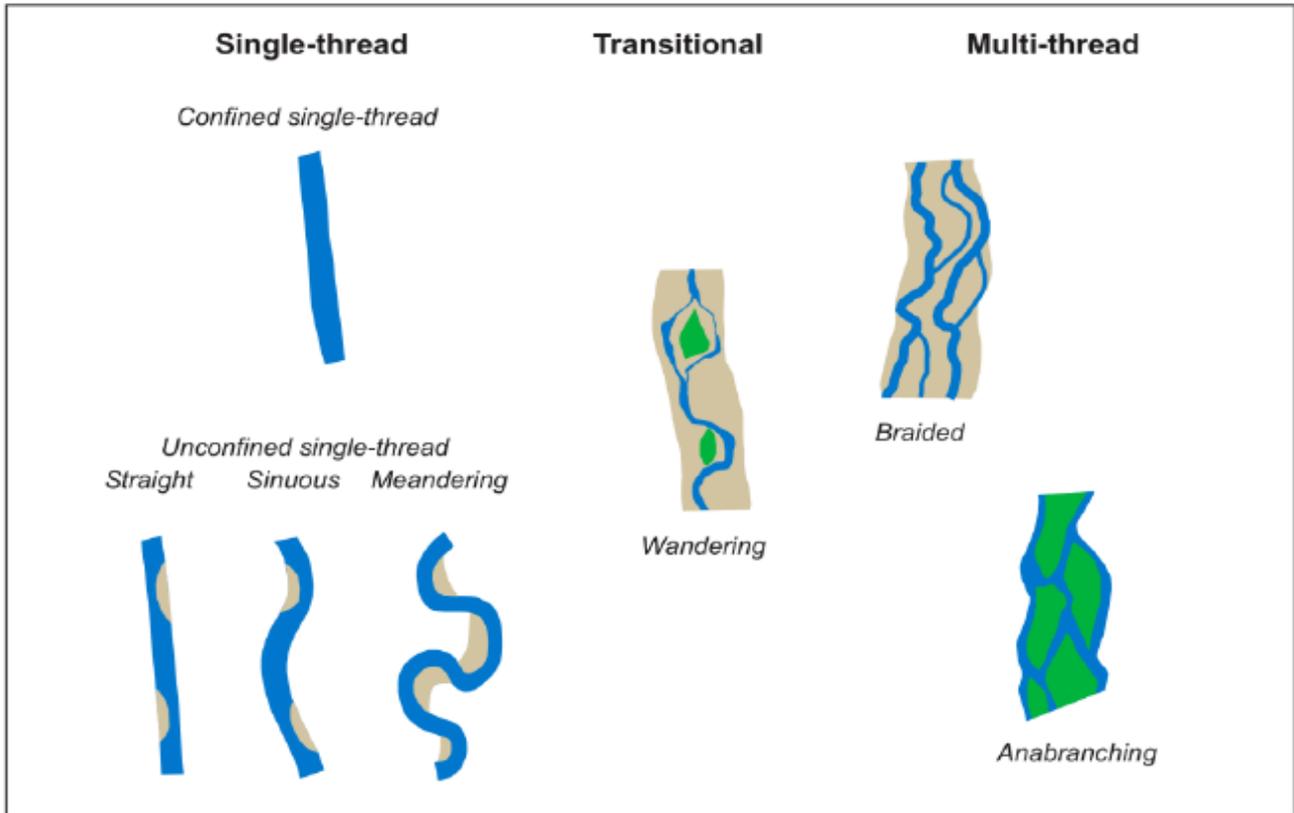


Figura 15: Classificazione di 1° livello (REstoring rivers FOR effective catchment Management – Rinaldi et al.)

È importante riuscire a capire come è possibile distinguere i casi precedentemente elencati in maniera univoca, in funzione delle loro caratteristiche morfologiche. Tenendo presente che questa rappresenta una classificazione ancora generale, essa può essere determinata grazie alla quantificazione di 3 indici:

1. **L'indice di Sinuosità (Sinuosity index)**

(Is): Corrisponde al rapporto tra la distanza misurata lungo il canale principale e la distanza misurata seguendo l'andamento planimetrico. In altri termini fornisce il valore del rapporto tra la lunghezza del

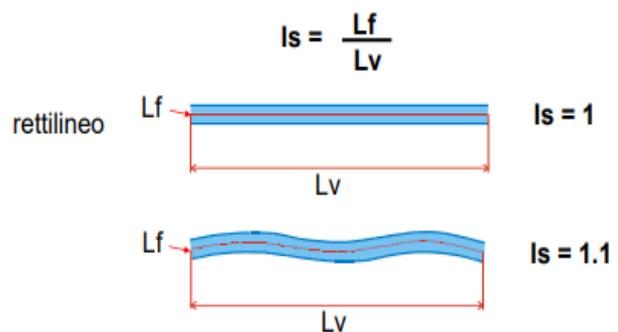


Figura 16: 1° Metodo utilizzato per il calcolo dell'Indice di sinuosità

corso d'acqua valutato seguendo la sua linea di mezzeria longitudinale, e la lunghezza che si ottiene collegando "punta-coda". In letteratura esistono diverse modalità per valutare l'indice di Sinuosità, in questo lavoro di tesi ne sono stati utilizzati specificatamente due, ottenendo così l'indice come media aritmetica dei due criteri di misura. Il primo è quello che è stato appena descritto, il secondo si distingue dal precedente per il fatto che nei termini di rapporto si considera la lunghezza che si ottiene collegando dal punto iniziale fino al punto finale i flessi che si ottengono seguendo la sinuosità del fiume/torrente oltre che la lunghezza valutata seguendo la sua linea di mezzeria longitudinale. Le Figure 16 e 17 chiariscono ancor meglio i metodi utilizzati.

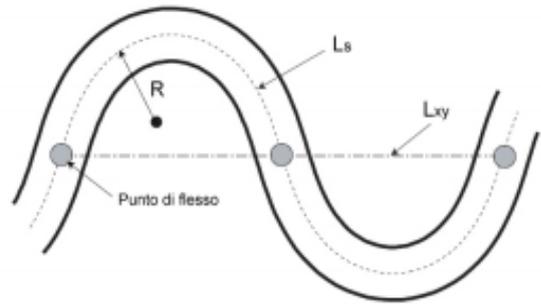


Figura 17: Lunghezze utilizzate seguendo il 2° metodo per il calcolo dell'indice I_s

1. **Indice d'intrecciamento (Braiding index) (Bi):** Tale indice determina il valore medio di canali attivi separati tra loro da barre o isole sedimentate all'interno dell'alveo fluviale. Esso viene calcolato tracciando una serie di sezioni trasversali del sottotratto da analizzare, distanti al massimo la larghezza media del contorno bagnato per tutta la lunghezza del sottotratto. Ogni sezione individuerà un numero di canali attivi e questi saranno sommati e rapportati al numero di sezioni tracciate, ottenendo così la media aritmetica, ottenendo quindi il Braiding Index. Si raccomanda di tracciare almeno 10 sezioni trasversali per ottenere un valore sufficientemente preciso di tale indice, così da poter classificare opportunamente il corso d'acqua.

Nel lavoro di tesi, per la valutazione dell'indice sono state tracciate, per i casi più complessi, almeno 20 sezioni, così da avere ridondanza di informazioni.

2. **Indice d'Anabranching (Anabranching index) (Ai):** Valuta il numero di canali attivi, separati da un'isola vegetativa. La differenza dal "Bi" sta proprio nel fatto che le isole presenti nei canali, ospitano vegetazione permanente, anche a fronte di piene ordinarie. Anche per questo indice, il numero minimo di sezioni da effettuare nel sottotratto d'interesse è pari a 10.

Tra i fiumi/torrenti analizzati in questo argomento di tesi, non erano presenti fiumi che richiedessero la quantificazione di questo indice in quanto non sono stati presi in considerazione corsi d'acqua Anabranching.

A seconda della tipologia di fiume/torrente che si sta analizzando, sono stati definiti dei valori (o dei range di valori) in cui possono ricadere gli indici sopra definiti.

Per i fiumi non confinati a ramo singolo abbiamo, come precedentemente definito, 3 categorie distinte, per ognuna delle quali l'indice di Braiding e di Anabranching sono posti pari a 1. Ciò che invece discrimina la catalogazione dei vari fiumi/torrenti, è l'indice di Sinuosità. A seconda del valore di quest'ultimo avremo tre diverse tipologie:

- A. Singolo ramo (Single thread): Rettilineo ($Si < 1.05$)
- B. Singolo ramo (Single thread): Sinuoso ($1.05 < Si < 1.50$)
- C. Singolo ramo (Single thread): Meandriforme ($Si > 1.50$)

Per i corsi d'acqua transizionali, aventi caratteristiche intermedie tra quelli a canale singolo e quelli ramificati, in termini di intrecciamento (Braiding) e di Anabranching i valori dei rispettivi indici variano tra 1 e 1.5. In questi tipi di fiumi/torrenti, le barre sono periodicamente presenti, occupando la maggior parte de letto fluviale. Tale morfologia è molto simile a quella dei fiumi ramificati, in cui si nota un canale principale più ampio (rispetto ai fiumi a singolo canale) e una significativa presenza di intrecciamento dei canali secondari.

I fiumi a canale multiplo (Multi-thread) hanno valori di Bi o di Ai maggiori di 1.50. È possibile distinguere due tipologie: quelli definiti Braided per i quali le ramificazioni sono altamente instabili, mentre quelli definiti Anabranching in cui si mantiene una certa stabilità, per entrambi, i flussi di canale sono piuttosto bassi.

- A. Multi ramo (Multi-thread): Braided ($Bi > 1.50$ e $Ai < 1.50$)
- B. Multi ramo (Multi-thread): Anabranching ($Ai > 1.50$ e $Bi < 1.50$ o $Bi > 1.50$)

La tipologia che nella classificazione di Rinaldi et al. è definita "tipologia 0", corrisponde a quei tratti di lunghezza sufficiente, il cui l'andamento è indotto tramite un canale artificiale. Questi corsi d'acqua sono costretti a scorrere entro dei confini prestabiliti, ed essi sono da trattare come categoria separata in quanto la loro stabilità e le loro unità geomorfe non riflettono condizioni limite che si possano definire naturali.

TIPOLOGIA	CONFINAMENTO	RAMIFICAZIONE	PIANTA	Si	Bi	Ai
1	Confinati	Singola	Rettilinea-Sinuosa	/	≈ 1	≈ 1
2	Parzialmente confinati / Non confinati	Singola	Rettilinea	< 1.05	≈ 1	≈ 1
3	Parzialmente confinati / Non confinati	Singola	Sinuosa	$1.05 < Si < 1.50$	≈ 1	≈ 1
4	Parzialmente confinati / Non confinati	Singola	Meandrizzata	> 1.50	≈ 1	≈ 1
5	Confinati / Prazialm. Confinati / Non confinati	Transizionale	Vagante	/	$1.0 < Bi < 1.50$	$Ai > 1.50$
6	Confinati / Prazialm. Confinati / Non confinati	Multipla	Intrecciata	/	$Bi \geq 1.50$	$Ai < 1.50$
7	Confinati / Prazialm. Confinati / Non confinati	Multipla	Anabanching	/	$Bi < 1.50$ o $Bi > 1.50$	$Ai > 1.50$

Tabella 5: Classificazione di 1° Livello – Rinaldi et al.

I siti presi in considerazione in questo lavoro di tesi corrispondono ad alcuni fiumi/torrenti analizzati dal punto di vista morfologico tra il 2010 e il 2018. Viene di seguito spiegato come le informazioni trattate al capitolo 2 siano state utilizzate per classificare opportunamente i vari siti in esame. È bene definire brevemente, anche se non fa parte dell'argomento di tesi, come siano state effettuate le analisi in sito, così da comprendere meglio gli output ottenuti.

3.1.1 ANALISI IN CAMPO

Come riportato sul Manuale ISPRA le operazioni di settaggio degli strumenti e di rilevamento dei siti d'interesse devono essere effettuate da personale competente e che abbia svolto i corsi di formazione sulla metodologia proposti periodicamente. Di solito le figure professionali maggiormente indicati per questo genere di operazioni sono geologi, ingegneri, dottori forestali o naturalisti, le quali nel loro percorso di studio hanno acquisito le conoscenze necessarie di base per la raccolta di dati in campo

In particolare, la strumentazione è la seguente:

- Telemetro laser con tecnologia Bluetooth
- Cavalletto fotografico
- Computer palmare provvisto di posizionamento GPS
- Correntometro acustico o elettromagnetico per la misurazione delle velocità o delle profondità

Il Telemetro laser ha la funzione di eseguire misurazioni di dislivelli e di distanze tramite un laser infrarosso a energia pulsata (invisibile e sicuro per gli occhi). Esso è equipaggiato da un cronometro ad alta precisione il quale misurando il tempo di andata e di ritorno impiegato dal laser e conoscendo la velocità dello stesso in atmosfera, calcola la distanza D dallo strumento stesso. Seguendo l'equazione sotto riportata:

$$D = \frac{\text{Velocità laser} \cdot \text{Tempo}}{2}$$

Grazie poi alla presenza integrata di inclinometro e di una bussola elettronica, è possibile tramite triangolazione automatica ottenere la posizione nelle tre dimensioni del punto sul piano locale ossia sul piano orizzontale con quota, pari alla media della zona in esame.

Il computer palmare o tablet da campo di solito è un dispositivo definito “rugged” ossia in grado di raccogliere dati anche in condizioni climatiche avverse (temperature sotto zero, precipitazioni piovose o nevose...) oppure in grado di mantenere i dati se lo strumento stesso venisse sommerso dall'acqua. Il posizionamento GPS, integrato nel tablet consente di posizionare l'operatore in un'immagine georiferita. Tali dati si utilizzeranno in seguito servendosi della piattaforma GIS come riferimento durante i rilievi idromorfologici.



Figura 18: Telemetro laser

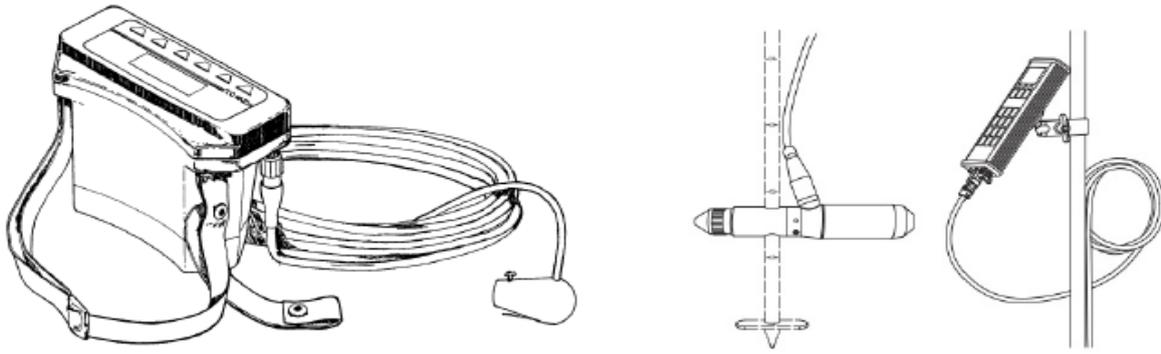


Figura 19 Correntometro elettromagnetico (a sinistra) e acustico (A destra)

I correntometri per le misure delle velocità di campo possono essere di natura elettromagnetica o acustica, nel primo caso si basano sulla legge dell'induzione elettromagnetica di Faraday per la stima della velocità, mentre i secondi sull'effetto Doppler.

Nel primo caso, quando un conduttore (in questo caso l'acqua) si muove all'interno di un campo magnetico, viene generata una tensione direttamente proporzionale alla velocità con cui si muove il conduttore. Il flusso d'acqua che colpisce perpendicolarmente il sensore dello strumento, generatore del campo magnetico produce una tensione che lo strumento converte, mediante una relazione lineare in misura di velocità. Nel caso invece di un correntometro che utilizza l'effetto Doppler, consiste nel trasmettere brevi pulsazioni tramite dei trasmettitori, essi sono in grado di ricevere i segnali riflessi dalle particelle presenti lungo il fascio (bolle, organismi o altro materiale organico), tali riflessioni ci permettono di calcolare la velocità della corrente (Manuale ISPRA – Vezza et al.).

È necessario prestare attenzione al fatto che, se si ha intenzione di utilizzare un telemetro laser, come attività preliminare, di ogni rilievo idromorfologico è necessario provvedere alla calibrazione dello stesso, del suo inclinometro, e della sua bussola elettronica, entrambi sensori sono interni al telemetro laser.

3.1.2 STATISTICA DEI SITI ANALIZZATI

Come riportato all’inizio di questo capitolo, sono stati presi in esame diversi casi studio effettuati durante un lasso di tempo relativamente lungo e di cui si avevano dati sufficienti per classificare opportunamente i fiumi/torrenti sotto osservazione. Di seguito viene riportata una tabella dei corsi d’acqua interessati

FIUME/TORRENTE:	REGIONE:	COMUNE:
Argentina	Liguria	Montaldo Ligure
Arno	Toscana	Capolona-Subbiano
Artanavaz	Valle d'Aosta	Gignod
Ayasse	Valle d'Aosta	Pontboset
Buthier	Valle d'Aosta	Valpelline
Buthier Ollomont	Valle d'Aosta	Valpelline
Chalamy	Valle d'Aosta	Champdepraz
Collagna	Emilia-Romagna	Ventasso
Crest	Valle d'Aosta	Pontboset
Deche	Valle d'Aosta	Quart
Des	Lombardia	Varese
Dora Baltea (Aosta)	Valle d'Aosta	Aosta-Charvensod-Gressan
Dora Baltea (Bard)	Valle d'Aosta	Bard-Donnas-Hone
Dora Baltea (Chatillon)	Valle d'Aosta	Chantillon-Saint Vincent
Dora Baltea (La Salle)	Valle d'Aosta	La Salle
Dora Baltea (Mecosse)	Valle d'Aosta	Arvier-Villeneuve
Dora Baltea (Montjovet)	Valle d'Aosta	Champdepraz-Montjovet
Dora Baltea (Nus)	Valle d'Aosta	Chambave
Dora di Rhemes	Valle d'Aosta	Rhemes-Saint-Georges
Dora di Valgrisenche	Valle d'Aosta	Arvier
Droanello	Lombardia	Magasa
Evacon_1	Valle d'Aosta	Brusson

Evacon_2	Valle d'Aosta	Challand-Saint-Victor
Fossocesa	Abruzzo	Rocca Santa Maria
Giongo	Lombardia	Sorisolet
Graines_IT	Valle d'Aosta	Brusson
Graines_2	Valle d'Aosta	Brusson
Grand'Eyvia	Valle d'Aosta	Aymavilles
Lanterna	Lombardia	Lanzada
Lys_1	Valle d'Aosta	Gressoney-Saint-Jean
Lys_2	Valle d'Aosta	Gressoney-Saint-Jean
Lys_3	Valle d'Aosta	Issime
Lys_4	Valle d'Aosta	Lillianes
Mareta	Trentino	Racines
Marmore_1	Valle d'Aosta	Valtournenche
Marmore_2	Valle d'Aosta	Antey-Saint-Andrè
Marmore_3	Valle d'Aosta	Chantillon
Noce	Trentino Alto Adige	Folgarida
Predina	Lombardia	Nembro
Rio Fino	Abruzzo	Arsita
Rio Freddo	Lombardia	Montevecchia
Saint-Barthelemy	Valle d'Aosta	Nus
Savara	Valle d'Aosta	Introd-Valsavarenche
Scrivia	Liguria	Isola del Cantone
Serio	Lombardia	Valbondione
Sermenza	Piemonte	Boccioleto
Strona	Piemonte	Camandona
Taro	Emilia-Romagna	Tornolo
Urtier	Valle d'Aosta	Cogne

Tabella 6: Fiumi/torrente esaminati

Innanzitutto di tali fiumi erano disponibili tutti i dati di input, cioè i rilievi effettuati tramite telemetro e procedendo nelle modalità viste nel sotto-capitolo precedente. Si avevano a disposizione in sostanza i rilievi effettuati in sito, i quali grazie a software come QGIS è stato possibile, leggerli e modificarli.

In questi file erano presenti alcune info delle varie unità rilevate, come ad esempio la tipologia d'unità, altezza massima e minima, presenza o assenza di ciottoli di grandi dimensioni, presenza o assenza di vegetazione... Tali rilievi sono georeferenziati per cui è possibile posizionarli, grazie al software, con buona approssimazione all'interno di una mappa come ad esempio Gmaps o Bing maps.

Tali informazioni sono poi state elaborate tramite un plugin di QGIS, SimStream il quale è in grado di ottenere un'output del rilievo in cui siano ben definite le unità idromorfologiche, la curva habitat-portata delle specie in esame e una mappatura della valutazione d'habitat per le stesse. Questo è possibile grazie a un'analisi approfondita, per le varie portate dei siti esaminati, e di seguito viene proposto un esempio delle info necessarie per ottenere appunto una rappresentazione su QGIS.

ID	TIPOLOGIA	N°	PROFOND.	VELOCITÀ	SUBSTRATO
1	RIFFLE	1	0.25	0	PSAMMAL
1	RIFFLE	2	0.1	0.3	MICROLITHAL
1	RIFFLE	3	0.2	0.77	MICROLITHAL
1	RIFFLE	4	0.3	0.5	MICROLITHAL
1	RIFFLE	5	0.12	0.6	MESOLITHAL
1	RIFFLE	6	0.1	0.3	MICROLITHAL
1	RIFFLE	7	0.3	1	MICROLITHAL
1	RIFFLE	8	0.3	0.8	MACROLITHAL
2	STEP	1	0.35	0.66	MACROLITHAL
2	STEP	2	0.1	0.1	PSAMMAL
2	STEP	3	0.2	0.8	MESOLITHAL
2	STEP	4	0.3	1	MACROLITHAL
2	STEP	5	0.1	1	MEGALITHAL
2	STEP	6	0.3	0	PSAMMAL
2	STEP	7	0.25	0	MESOLITHAL
2	STEP	8	0.2	1.25	MICROLITHAL
3	RAPID	1	0.2	0	PSAMMAL

3	RAPID	2	0.15	0.02	MESOLITHAL
3	RAPID	3	0.15	0.03	AKAL
3	RAPID	4	0.25	0	MESOLITHAL
3	RAPID	5	0.05	0.6	MESOLITHAL
3	RAPID	6	0.3	0	AKAL
4	RAPID	1	0.2	1.4	MACROLITHAL
4	RAPID	2	0.25	1	MICROLITHAL
4	RAPID	3	0.3	0.5	MACROLITHAL
4	RAPID	4	0.2	1	MICROLITHAL
4	RAPID	5	0.2	1.21	MEGALITHAL
4	RAPID	6	0.25	0.8	MESOLITHAL
4	RAPID	7	0.2	1	MICROLITHAL
4	RAPID	8	0.18	1.6	MACROLITHAL
5	POOL	1	0.2	0.43	MICROLITHAL
5	POOL	2	0.8	0	AKAL
5	POOL	3	0.7	0	MEGALITHAL
5	POOL	4	0.5	0.2	MICROLITHAL
5	POOL	5	0.6	0.1	PSAMMAL
5	POOL	6	0.8	0	AKAL
6	RIFFLE	1	0.1	0.6	AKAL
6	RIFFLE	2	0.1	0.6	MICROLITHAL
6	RIFFLE	3	0.15	0.26	MESOLITHAL
6	RIFFLE	4	0.2	0	AKAL
6	RIFFLE	5	0.3	0	PSAMMAL
6	RIFFLE	6	0.3	0	MACROLITHAL
6	RIFFLE	7	0.2	0.63	MACROLITHAL
7	RIFFLE	1	0.35	0.2	MICROLITHAL
7	RIFFLE	2	0.4	0.5	MICROLITHAL
7	RIFFLE	3	0.25	0.66	MEGALITHAL

7	RIFFLE	4	0.2	0.3	AKAL
7	RIFFLE	5	0.3	0.5	MACROLITHAL
7	RIFFLE	6	0.2	0.11	MACROLITHAL
7	RIFFLE	7	0.27	0.3	MICROLITHAL
7	RIFFLE	8	0.18	0.8	MEGALITHAL
7	RIFFLE	9	0.2	0.45	MACROLITHAL
8	STEP	1	0.3	0.5	AKAL
8	STEP	2	0.3	0.05	MACROLITHAL
8	STEP	3	0.5	1	MACROLITHAL
8	STEP	4	0.45	1	MESOLITHAL
8	STEP	5	0.15	0.3	MEGALITHAL
8	STEP	6	0.2	1	MEGALITHAL
8	STEP	7	0.34	0.13	AKAL
8	STEP	8	0.45	0.4	PSAMMAL
8	STEP	9	0.5	0.5	MEGALITHAL
8	STEP	10	0.17	0.17	MESOLITHAL
9	POOL	1	0.7	0	PSAMMAL
9	POOL	2	0.6	0	MACROLITHAL
9	POOL	3	0.5	0	MESOLITHAL
9	POOL	4	0.7	0	MACROLITHAL
9	POOL	5	0.4	0.2	MACROLITHAL
9	POOL	6	0.5	0.5	MEGALITHAL
10	STEP	1	0.3	0.5	MACROLITHAL
10	STEP	2	0.2	0	MACROLITHAL
10	STEP	3	0.3	0.3	MESOLITHAL
10	STEP	4	0.25	0.45	MESOLITHAL
10	STEP	5	0.2	0.9	MEGALITHAL
10	STEP	6	0.5	0.77	AKAL
10	STEP	7	0.2	0	AKAL

10	STEP	8	0.4	0.3	MEGALITHAL
10	STEP	9	0.12	0.3	MESOLITHAL
11	RAPID	1	0.4	1.43	MEGALITHAL
11	RAPID	2	0.2	0.7	MEGALITHAL
11	RAPID	3	0.1	1	MESOLITHAL
11	RAPID	4	0.2	1.3	MEGALITHAL
11	RAPID	5	0.3	1	MEGALITHAL
11	RAPID	6	0.12	2	MEGALITHAL
11	RAPID	7	0.2	0.7	MESOLITHAL
12	POOL	1	0.5	0	MEGALITHAL
12	POOL	2	1	0	MEGALITHAL
12	POOL	3	0.7	0.2	PSAMMAL
12	POOL	4	0.5	0.3	MACROLITHAL
12	POOL	5	1.2	0.12	MEGALITHAL
12	POOL	6	0.2	0.2	MACROLITHAL
12	POOL	7	0.6	0	MEGALITHAL

Tabella 7: Torrente Artanavaz – Esempio di informazioni di input per $Q = 0.26 \text{ m}^3/\text{s}$

I file di input per i casi in esame sono tutti analoghi, la prima informazione è data dal numero di identificazione dell'unità morfologica, seguita appunto dalla denominazione della stessa. Successivamente, abbiamo il numero di punti rilevati per ogni UMI, i quali perché forniscano un'opportuna modellazione del sistema, deve constare in almeno 7 rilievi puntuali. È possibile intuire come non tutte le unità posseggano questa caratteristica e dunque in tal caso la modellazione potrà essere affetta da un eccessivo errore. Infine vengono rilevate le info probabilmente più interessanti, ossia quelle della velocità, della profondità e del substrato. Con esse otteniamo una modellazione sufficientemente completa del sistema. Per quanto riguarda le prime due, esse vengono poi catalogate in range specifici di ampiezza pari a 15 cm/s per la velocità e 15 cm per la profondità, mentre per quanto riguarda il substrato, a seconda della dimensione dei ciottoli, si definisce l'appartenenza a una categoria in particolare.

CLASSI GRANULOMETR.	DEFINIZIONE	DIMENSIONE [mm]	DEFINIZIONE
Phytal	Piante sommerse	256	Massi (Boulder)
Sapropel	Fango anossico	256 - 64	Ciottoli (Cobble)
Xylal	Legno e radici	64 - 4	Ghiaia (Pebble)
Detritus	Materiale organico	4 - 2	Ghiaia molto fine (Granule)
Pelal	Limo, argilla	2 - 1	Sabbia molto grossolana (Very coarse sand)
Psammal	Sabbia	1 - 0.5	Sabbia grossolana (Coarse sand)
Akal	Ghiaia	0.5 - 0.25	Sabbia media (Medium sand)
Microlithal	2-6	0.25 - 0.125	Sabbia fine (Fine sand grain)
Mesolithal	6-20	0.125 - 0.0625	Sabbia molto fine (Very fine sand grain)
Macrolithal	20-40	0.0625 - 0.03125	Limo (Silt)
Megalithal	>40	< 0.03125	Argilla (Clay particle)
Gigalithal	Roccia		

Tabella 8: Classi di substrato a cui si fa riferimento

Tra i file di output prodotti, tramite SimStream, è disponibile anche un file PDF in cui sono riportati gli andamenti di profondità e velocità per le varie categorie a cui si faceva cenno. Sull'asse delle ascisse, è indicato il valore percentuale di una determinata categoria, che nel caso della profondità e della velocità, si tratta di classi di range. Per quanto riguarda il substrato invece, si tratta di determinate classi granulometriche. Si può notare come tutte e tre le caratteristiche tendono a spostare la loro "curva di tendenza" verso destra al crescere della portata ossia come presumibile, per le profondità e per le velocità la tendenza è di avere, in un medesimo punto, una maggior battente o una più alta velocità all'aumentare della portata. Il substrato in caso di riempimento dell'alveo va a comprendere tutte quelle porzioni superficiali aventi consistenza più fine e dunque sul grafico si evidenzierà un aumento percentuale, appunto, della componente più fine.

Di seguito viene riportato il file di output del fiume Artanavaz per la portata $Q = 0.26 \text{ m}^3/\text{s}$ semplicemente a titolo esemplificativo:

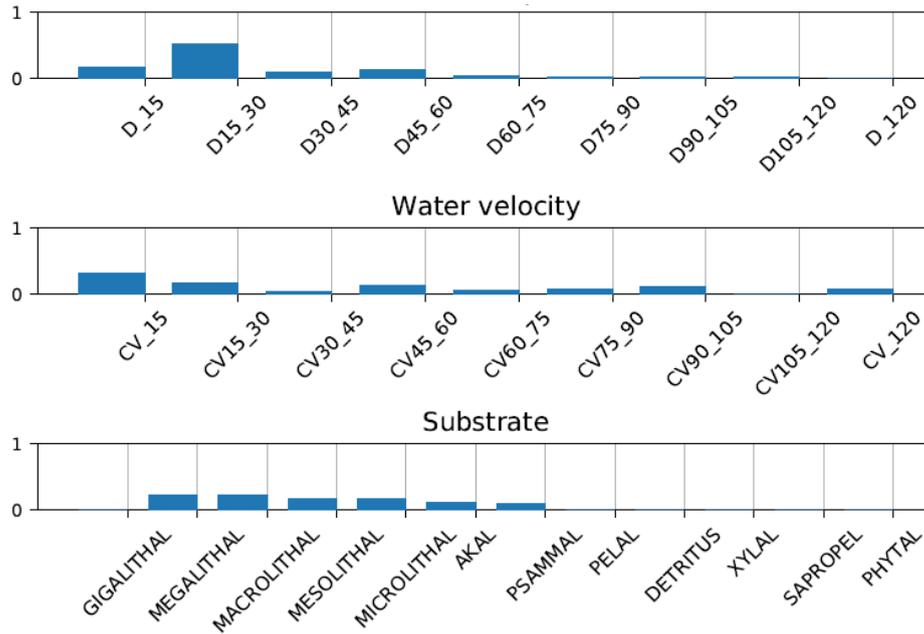


Figura 20: Output SimStream torrente Artanavaz per $Q=0.26 \text{ m}^3/\text{s}$

La fase iniziale dell'analisi statistica, è stata quella di quantificare per le tre caratteristiche sopra citate (Profondità, Velocità e Substrato) il numero di punti ricadenti in ogni categoria. Con l'ausilio di un foglio elettronico opportunamente programmato e autocompilante si è ottenuto un catalogazione per classi, per ogni unità idromorfologica, di cui sotto un esempio:

		0-0.15	0.15-0.30	0.30-0.45	0.45-0.60	0.60-0.75	0.75-0.90	0.90-1.05	1.05-1.20	>1.20	
	Velocità	1	2	0	2	0	2	1	0	0	
	Profondità	3	5	0	0	0	0	0	0	0	
Phytal	Sapropel										
	Xylal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Detritus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Pelal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Psammal	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
	Akal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Microlithal	0	0	0	0	0	5	0	0	0	
	Mesolithal	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
	Macrolithal	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
	Megalithal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Gigalithal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Tabella 9: Suddivisione per classi di Velocità, Profondità e Substrato

Successivamente è stato predisposto un foglio Excel in cui a seconda dei valori inseriti forniva una risposta grafica conseguente. Cominciando dalla statistica per il substrato, di seguito è proposto un esempio per il torrente Artanavaz a portata $Q=0.26 \text{ m}^3/\text{s}$.

Unità investigata:	1		2		3	
SUBSTRATO:	Quantità [#]:	Percen. [%]:	Quantità [#]:	Percen. [%]:	Quantità [#]:	Percen. [%]:
Phytal	0	0.00	0	0.00	0	0.00
Sapropel	0	0.00	0	0.00	0	0.00
Xylal	0	0.00	0	0.00	0	0.00
Detritus	0	0.00	0	0.00	0	0.00
Pelal	0	0.00	0	0.00	0	0.00
Psammal	1	12.50	2	25.00	1	16.67
Akal	0	0.00	0	0.00	2	33.33
Microlithal	5	62.50	1	12.50	0	0.00
Mesolithal	1	12.50	2	25.00	3	50.00
Macrolithal	1	12.50	2	25.00	0	0.00
Megalithal	0	0.00	1	12.50	0	0.00
Gigalithal	0	0.00	0	0.00	0	0.00
Totale:	8	100.00	8	100.00	6	100.00

Tabella 10: Statistica delle prime tre Unità Idromorfologiche del torrente Artanavaz a $Q=0.26 \text{ m}^3/\text{s}$

Una volta calcolato il totale per ogni classe granulometrica e per ogni UMI, si sono ottenuti alcuni grafici utili per valutare l'andamento del substrato all'interno del sottotratto analizzato. La Figura 21 indica, in termini quantitativi, il valore totale di presenza delle varie classi granulometriche. La Figura

22 invece propone la distribuzione percentuale delle classi granulometriche presenti per ogni Unità Idromorfologica:

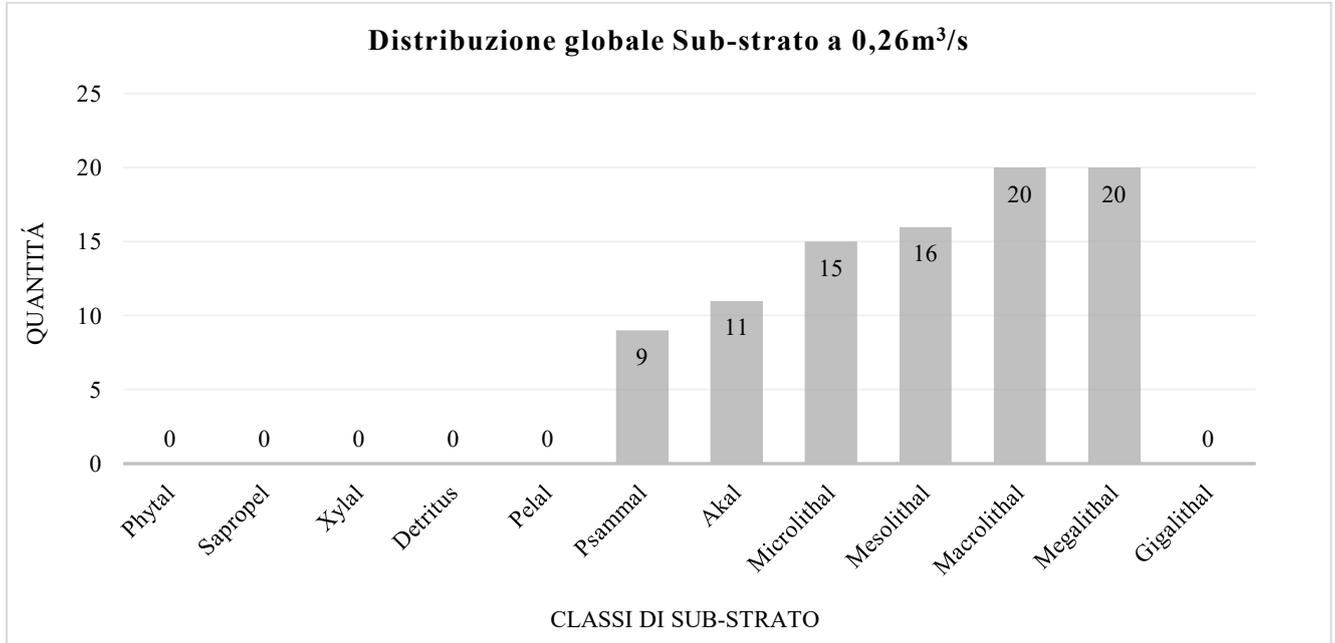


Figura 21: Andamento del Substrato per ogni classe considerando tutte le UMI globalmente

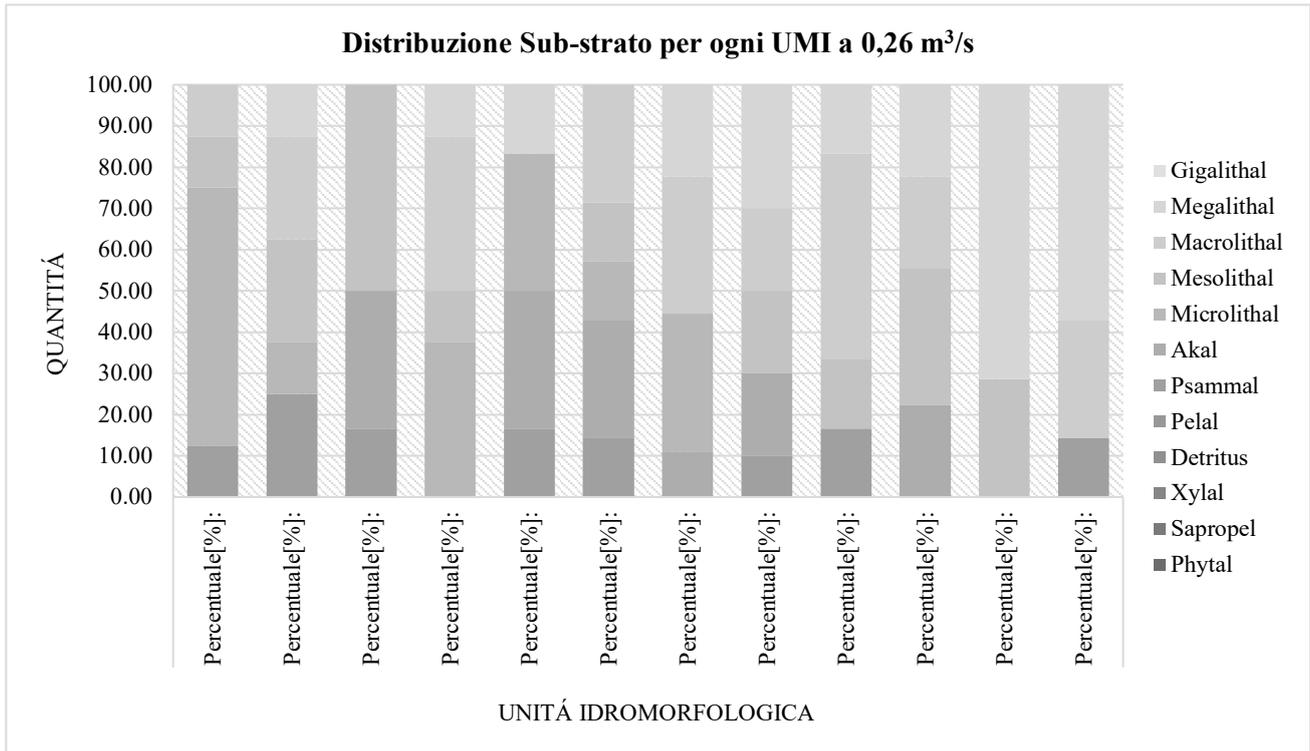


Figura 22 Andamento del Substrato per ogni classe considerando separatamente ogni UMI

Per quanto riguarda la velocità e la profondità si è seguito un criterio analogo, tenendo presente che per questi non si valuta più una classe granulometrica, bensì un'appartenenza a un determinato range. Di seguito sono illustrati, i risultati ottenuti per la velocità del fiume Artanavaz considerando una portata $Q=0.26 \text{ m}^3/\text{s}$:

Unità investigata:

Velocità [cm/s]:	#	Frequenza:	Frequenza cumulata:	Totale [#]:
< 15		0.319	0.319	29
15	30	0.176	0.495	16
30	45	0.044	0.538	4
45	60	0.132	0.670	12

60	75	0.055	0.725	5
75	90	0.077	0.802	7
90	105	0.121	0.923	11
105	120	0.000	0.923	0
>120		0.077	1.000	7

Tabella 11: Analisi statistica della velocità considerando tutte le UMI globalmente

Di seguito i grafici ottenuti rispettivamente per frequenza, frequenza cumulata e quantità globale. È intuitivo notare come sia distribuita la velocità nei vari punti analizzati per le UMI considerate globalmente.

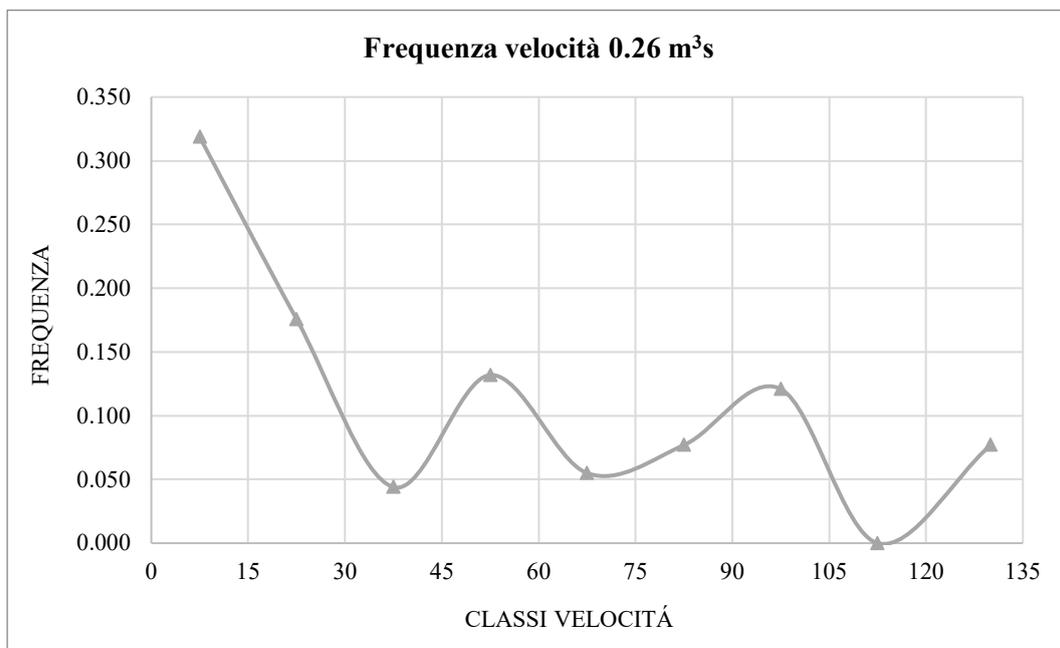


Figura 23: Frequenza della velocità per il Torrente Artanavaz a $Q = 0.26 \text{ m}^3/\text{s}$

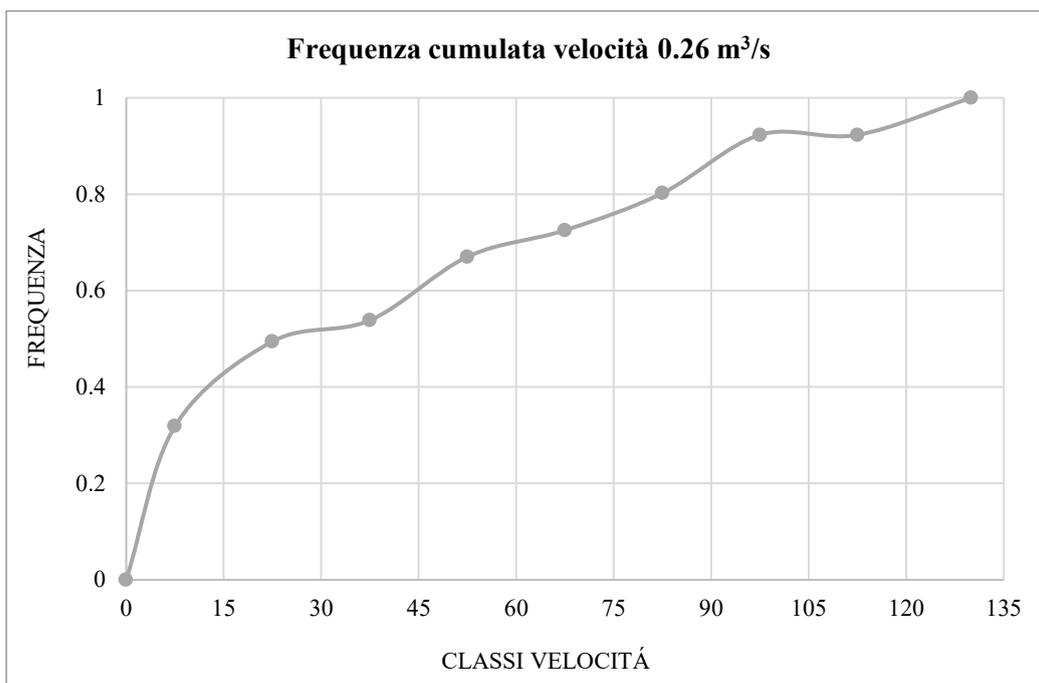


Figura 24: Frequenza cumulata per il Torrente Artanavaz a $Q = 0.26 \text{ m}^3/\text{s}$

La frequenza cumulata, per definizione, ha il punto d'origine a 0 e a ogni step in cui si somma via via la frequenza porta l'ultimo punto al 100%, o in tal caso all'unità.

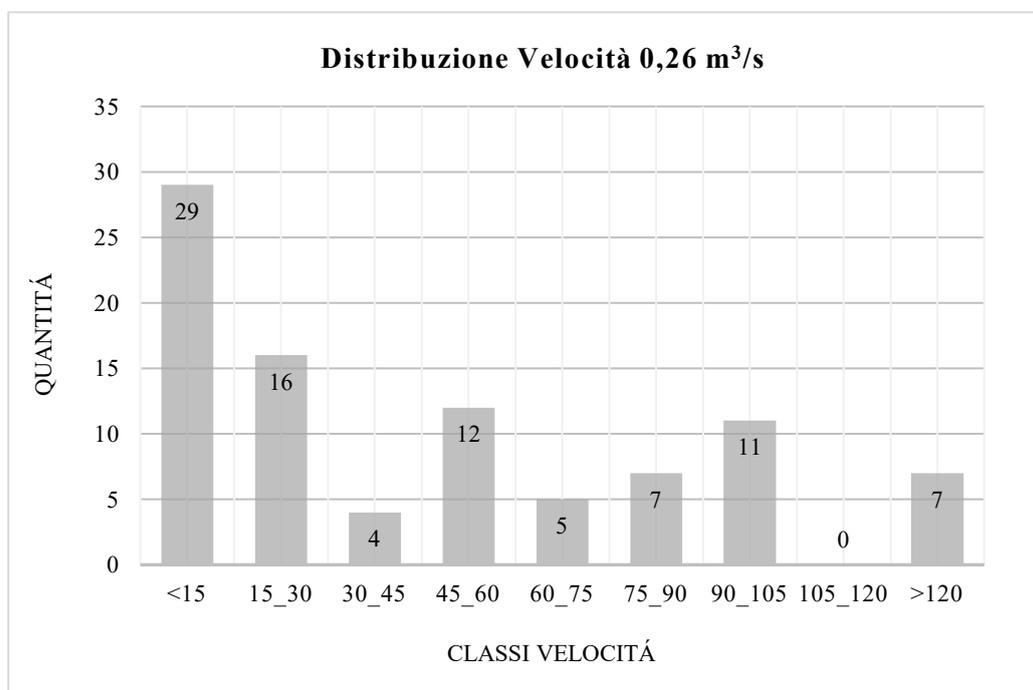


Figura 25: Quantità numerica di punti compresa tra le varie classi di velocità

Di seguito vediamo sotto un'altra forma, la distribuzione globale proposta in Figura 23, tramite istogramma, suddivisa per classi di velocità

Un'analisi analoga è stata effettuata per lo studio della profondità. È importante invece presentare il lavoro di confronto effettuato tra le varie portate a cui è stato rilevato il fiume/torrente. In questo modo è possibile avere un termine di paragone e valutare come le tre grandezze fondamentali (profondità, velocità e substrato) varino all'aumentare della portata. Di seguito viene illustrato il confronto per il fiume Dora Baltea ad Aosta per le portate a cui è stato rilevato (2.50, 3.20 e 8.00 m³/s). Ci si è limitati a proporre solo i grafici ottenuti, in quanto sono più esplicativi delle tabelle e rendono più comprensibili i termini di paragone.

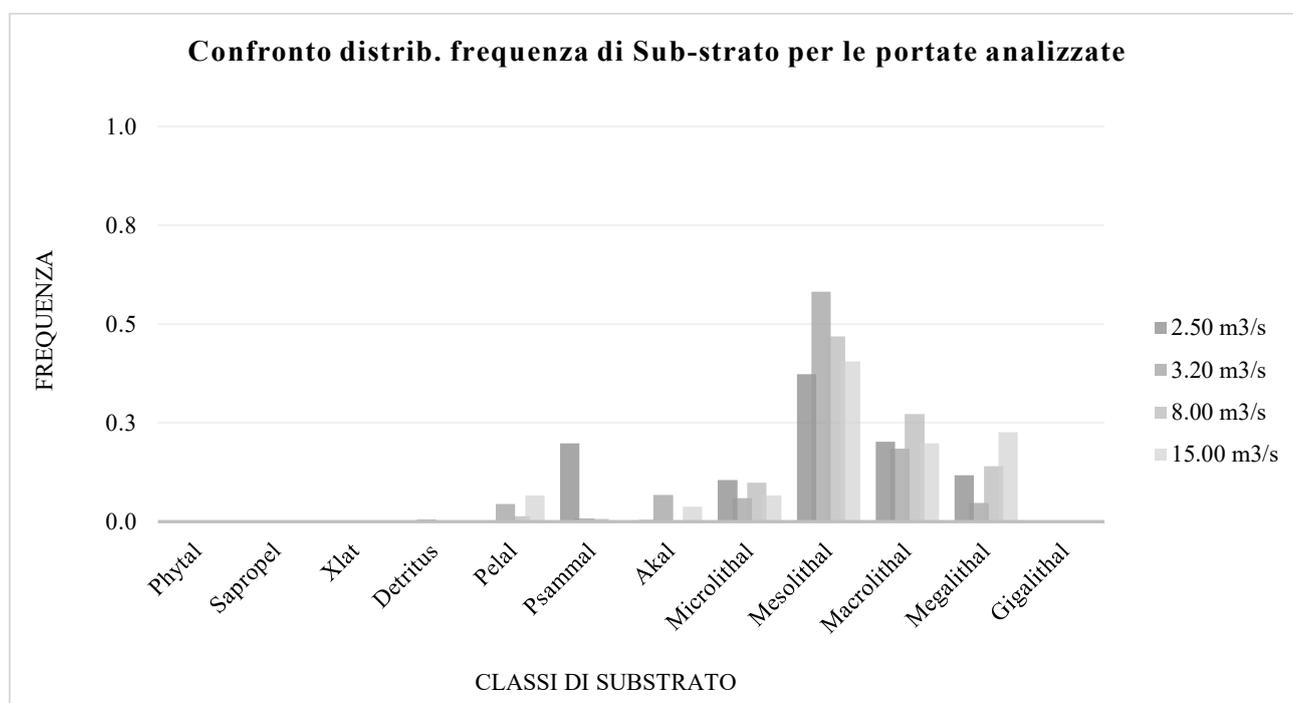


Figura 26: Distribuzione delle frequenze del fiume Dora Baltea ad Aosta, per il substrato alle portate di rilievo

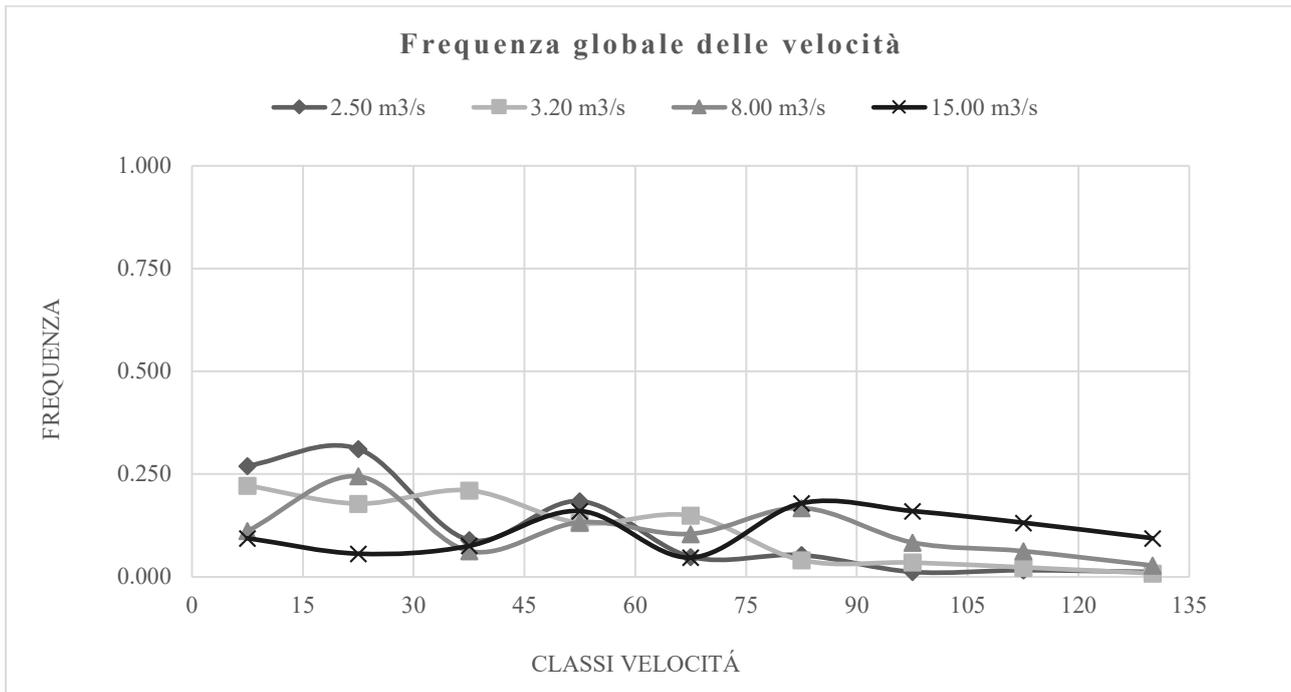


Figura 27: Distribuzione delle frequenze di velocità, del fiume Dora Baltea ad Aosta, alle portate di rilievo

È facile osservare come all’aumentare della portata, almeno complessivamente, i punti rilevati forniscano valori sempre più grandi, ossia la curva in media, tende a spostarsi verso destra, verso valori più alti di velocità.

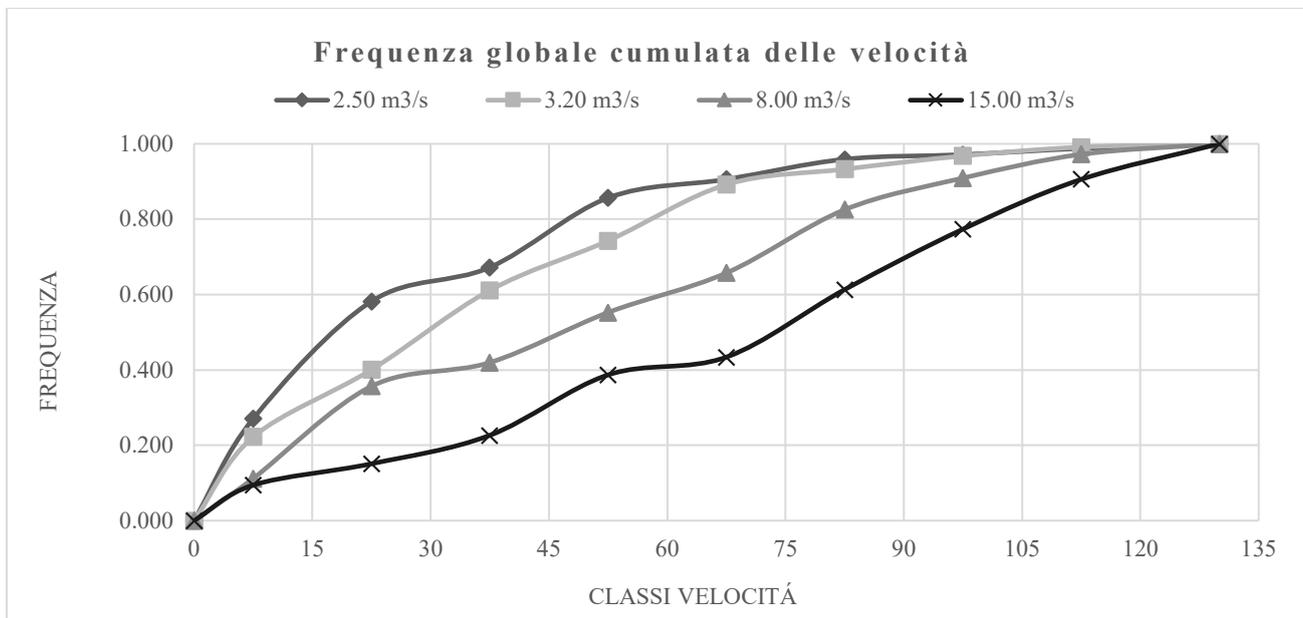


Figura 28: Distribuzione delle frequenze di velocità cumulate, del fiume Dora Baltea ad Aosta, alle portate di rilievo

I grafici in Figura 28 e 29 mostrano come all'aumentare delle portate i valori di velocità tendono a spostarsi verso range più alti. In Figura 28 si nota come la curva tende a “coricarsi” sempre più all'aumentare della portata fluente assumendo appunto valori sempre maggiori (rispetto a rilievi a portate più contenute). La Figura 29 conferma quanto detto e propone in maniera più intuitiva, tramite istogramma, come i valori di portata assumino la tendenza sopra descritta.

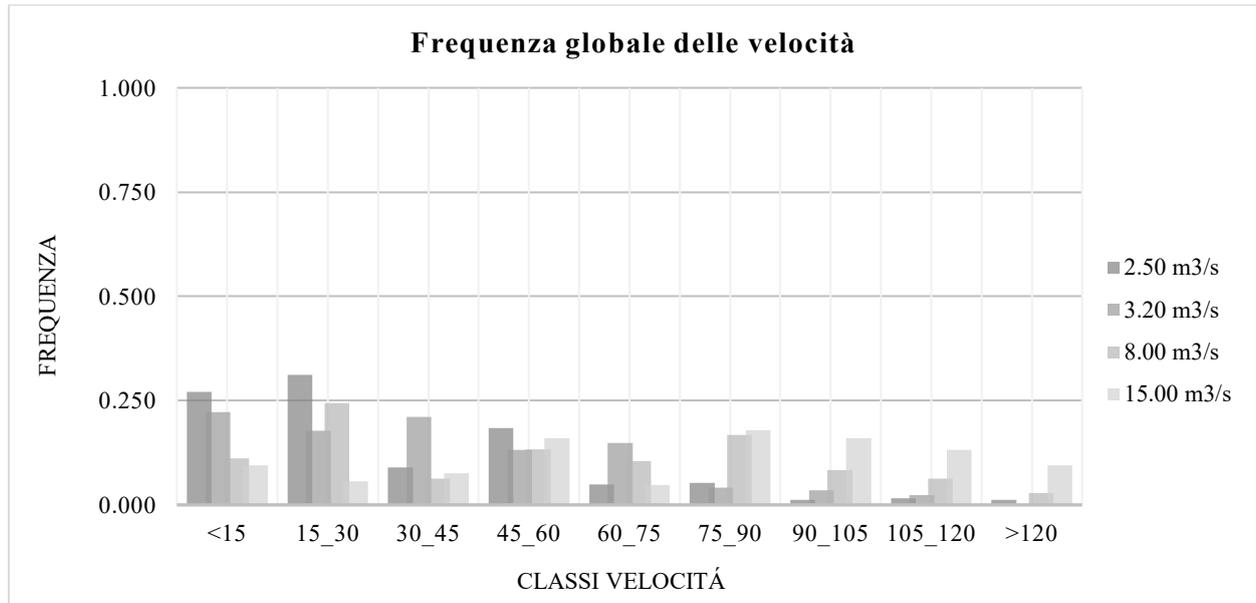


Figura 29: Distribuzione tramite istogramma delle frequenze di velocità, del fiume Dora Baltea ad Aosta, alle portate di rilievo

Discorso analogo lo si può fare per le profondità, in quanto all'aumentare della portata, essa tende in frequenza, ad occupare i range di valore maggiore come accadeva per le velocità. Solo in termine esemplificativo, di seguito, viene proposto il grafico per le frequenze di profondità cumulata.

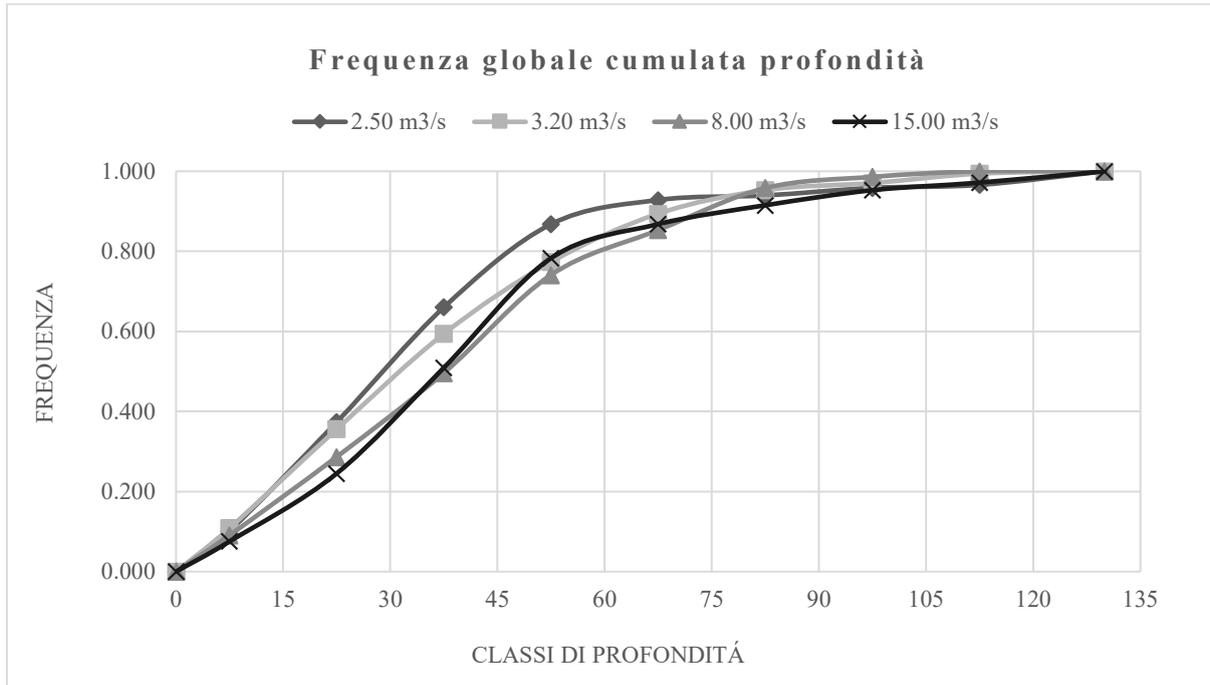


Figura 30: Distribuzione delle frequenze di profondità cumulate, del fiume Dora Baltea ad Aosta, alle portate di rilievo

3.1.3 CLASSIFICAZIONE SEMPLICE

La classificazione di 1° livello è stata ampiamente presentata nel capitolo precedente, essa si pone l'obiettivo di classificare in maniera generale i corsi d'acqua, sotto il punto di vista morfologico. In altri termini sono utilizzate alcune informazioni come ad esempio l'indice di sinuosità, l'indice di Braiding e l'indice di Anabranching per ottenere una classificazione per sommi capi dei fiumi in esame. Inizialmente si valutava il loro grado di confinamento, per poi passare alla tipologia morfologica (Single thread, Transitional o Multi thread).

Inizialmente è stato necessario, tramite i file “.shp”, implementarli in Google Earth per ottenere



un'immagine georiferita del sotto tratto d'interesse. In questo modo è stato possibile definire con adeguata precisione il sottotratto d'interesse. In Figura 31 vediamo indicati tutte le varie unità idromorfologiche, il mosaico, indicano il perimetro delle UMI presenti.

Figura 31: Sottotratto analizzato con evidenziate le varie UMI presenti

1. **Valutazione del contorno bagnato medio di sottotratto:** In questa fase abbiamo, tramite misurazioni random, abbiamo ottenuto il valore medio del contorno bagnato utilizzato successivamente come passo costante nel calcolo dell'indice di Braiding.
2. **Tracciamento delle sezioni a passo costante:** Tracciano le sezioni a passo costante è stato possibile individuare il numero di canali attivi presenti nell'alveo principale.
3. **Valutazione della lunghezza d'asse fluviale di tratto (L_f):** Tale lunghezza risulterà necessaria per la successiva valutazione dell'indice di sinuosità (I_s), in quanto tale indice è rappresentato dal rapporto tra la lunghezza d'asse e la lunghezza di "punta-coda" o la lunghezza vista come sommatoria tra le lunghezze ai flessi (L_v).
4. **Valutazione della lunghezza di congiunzione dei vari flessi (L_v):** Necessaria anch'essa per la successiva valutazione dell'indice di sinuosità (I_s). Utilizzando il secondo metodo (quello dei flessi) il cui risultato sarà mediato con quello ottenuto dal primo metodo.
5. **Valutazione della lunghezza "punta-coda" di tratto:** Necessaria per la successiva valutazione dell'indice di sinuosità (I_s).

Di seguito sono riportati graficamente i passi sopra descritti:

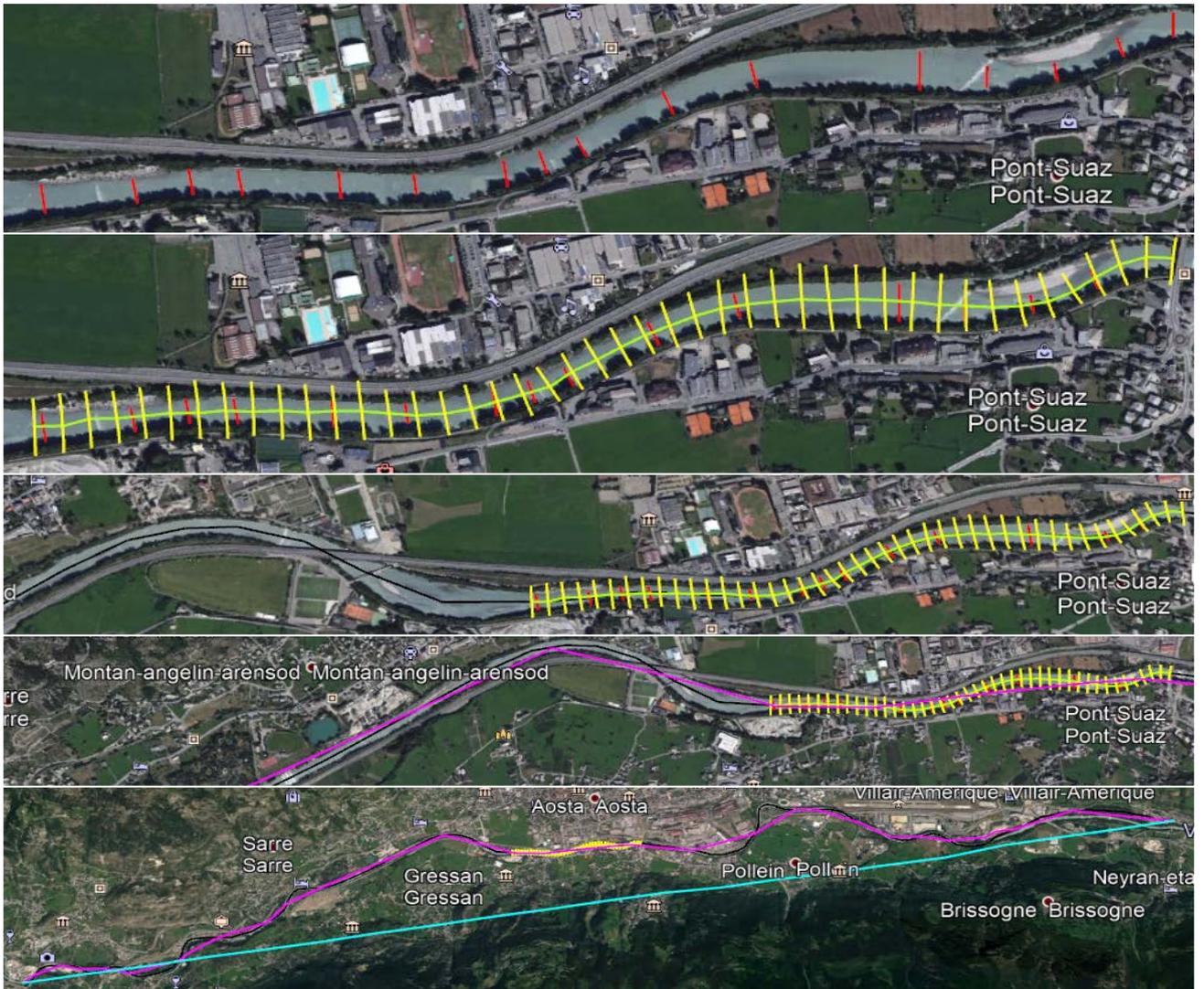
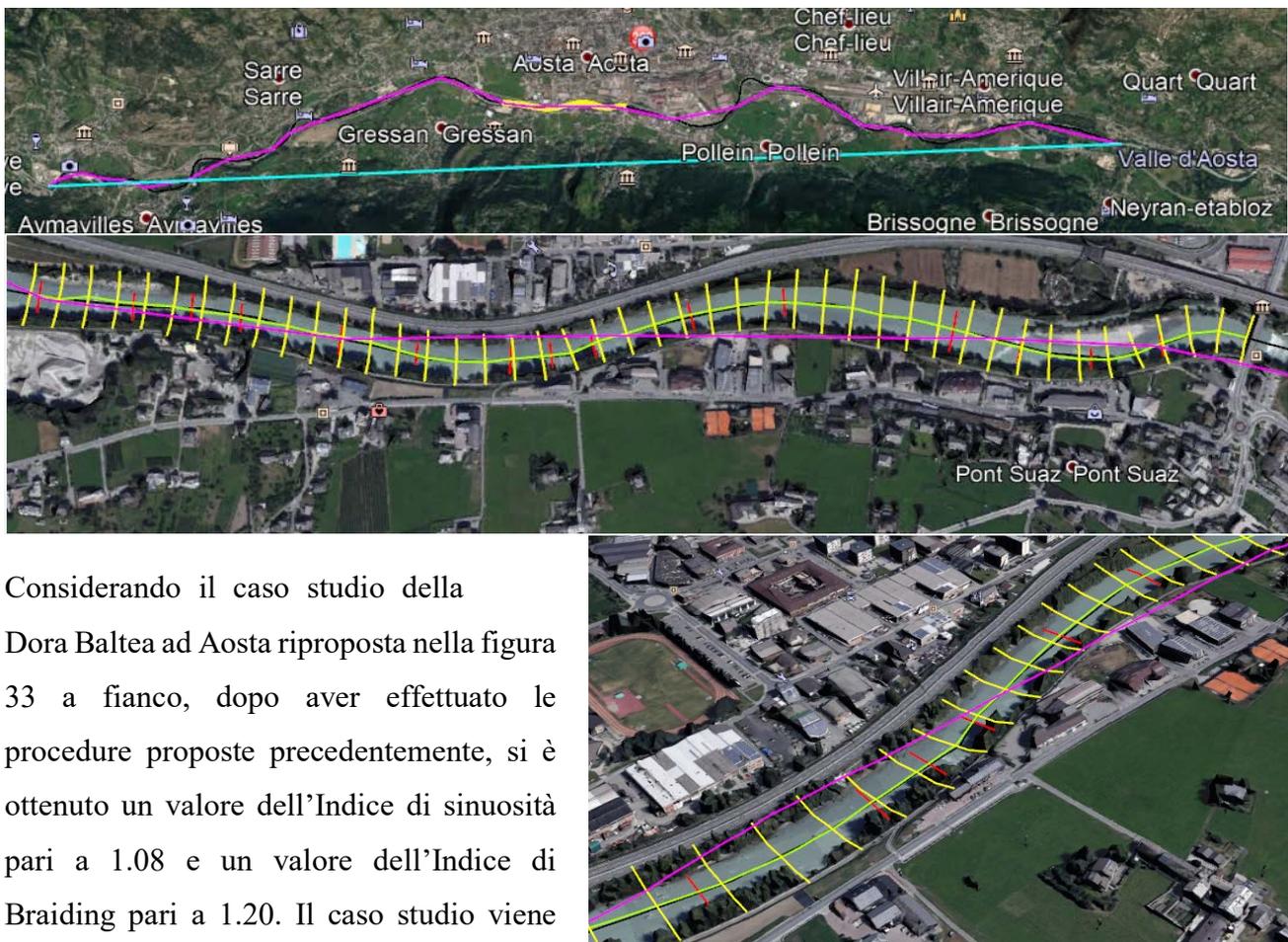


Figura 32: Rappresentazione grafica dei passaggi logici esplicitati precedentemente

È importante evidenziare come per il calcolo dell'indice di sinuosità, come rapporto tra la “lunghezza d'asse” e la lunghezza di “punta-coda”, mediata con il rapporto tra la “lunghezza d'asse” e la “lunghezza dei flessi”, sia stata necessaria considerare la scala di tratto per ottenere una valutazione conforme alla natura del fiume. Diversamente per il calcolo dell'indice di Braiding, il quale come da manuale, per essere ricavato è sufficiente tracciare almeno 10 sezioni, per i casi analizzati, è stato deciso di coprire almeno tutto il sottotratto, oppure in caso esso risultasse non sufficientemente esteso, di arrivare almeno a 20 sezioni (nei casi più complessi) per avere una sufficiente ridondanza di dati.

Prendendo come esempio la Dora Baltea ad Aosta, di seguito vengono proposti i dati che sono stati ottenuti durante il calcolo dell'indice di sinuosità e di braiding. Tale procedura è stata ovviamente effettuata per tutti i casi studio.



Considerando il caso studio della Dora Baltea ad Aosta riproposta nella figura 33 a fianco, dopo aver effettuato le procedure proposte precedentemente, si è ottenuto un valore dell'Indice di sinuosità pari a 1.08 e un valore dell'Indice di Braiding pari a 1.20. Il caso studio viene dunque, seguendo le regole proposte al sottocapitolo 4.1, classificato come un *Non confinato – Single thread – 13 Sinuous*

Figura 33: Rappres. grafica della Dora Baltea Aosta per il calcolo degli indici

Di seguito sono proposti i dati di riferimento che permettono di arrivare a tale classificazione:

FIUME	DORA BALTEA (AOSTA)							
L_f [m]	16280							
L_v [m]	14700							
S_i	1.11							
L_{v2} [m]	15500							
S_{i2}	1.05							
S_iMEDIO	1.08							
P_i (Contorno bagnato)	40.2	33.2	32.1	36.5	63.7	42.6	40.8	34.9
	40	45	33.8	45.5	43.6	43.4	41.1	47.5
n_i (Canali attivi)	2	2	2	2	2	2	2	2
	2	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1			
B_i	1.2							

Tabella 12: Calcolo degli indici *I_s* e *B_i*

3.1.4 CLASSIFICAZIONE ESTESA

La classificazione di 2° livello definita anche classificazione estesa (Extended river typology), permette una classificazione più specifica dei corsi d'acqua, mettendo in gioco altri descrittori. Come riportato nel REstoring rivers FOR effective catchment Management, la classificazione estesa analizza le associazioni che si generano tra la planimetria del canale, il calibro dei sedimenti e le unità geomorfe, inquadrare nei vari contesti vallivi.

Essendo la classificazione di 2° livello nient'altro che un approfondimento della classificazione semplice, va detto che rispetto ad essa, la classificazione estesa, fornisce informazioni più dettagliate sui caratteri di portata. Dunque diverse tipologie semplici sono ulteriormente suddivise a seconda di alcune caratteristiche morfologiche o di calibro dei sedimenti, in diversi sottotipi. Per questo si sono indicati 22 tipologie morfologiche estese, differenziate in base al loro grado di confinamento (confinato, parzialmente confinato o non confinato), alla dimensione del materiale prevalente, che potremmo definire come d_{50} , e alla forma planimetrica del corso d'acqua (rettilineo-sinuoso, meandrizzato, pseudo meandrizzato, vaganti, intrecciati...)

È corretto puntualizzare, anche l'esistenza nella classificazione estesa di un "tipo 0" la quale ingloba tutti quei fiumi/torrenti compresi in una situazione di confinamento dato da un letto artificiale. La classificazione semplice e quella estesa, sono formate in modo tale da evitare incongruenze tra le due classificazioni, ad esempio se un canale è definito "diritto" nella classificazione semplice, mentre in quella estesa viene definito rettilineo-sinuoso con barre alternate, in base ai descrittori morfologici, il tutto porterà nella classificazione estesa a un "rettilineo con barre alternate".

I 22 tipi estesi ovviamente non sono una descrizione esaustiva di tutte le possibili combinazioni di forme planimetriche, unità morfologiche, assetti vallivi e dimensione dei sedimenti. Piuttosto rappresentano un quadro generale e indicativo. Questo perché molti fiumi, specie quelli di transizione, possono mutare facilmente durante i vari periodi dell'anno.

Di seguito vengono proposte le 22 tipologie previste nella classificazione estesa:

Tipolog.	Confinam.	Substrato	Pianta	Pendenza [mm ⁻¹]	Unità morfologiche	Stabilità	Descrizione
LETTO ROCCIOSO E CANALI ALLUVIONALE							
1 (1)	Confinato	Letto roccioso	Rettilineo-sinuoso	Ripido	Scalini di roccia, rapide cascate	Fortemente confinato ad alta stabilità fornita dalla bassa erodibilità	Materiale compatto intervallato limitati depositi alluvionali
2 (1)	Confinato	Misto grossolano	Rettilineo-sinuoso	Ripido	Cascate di sabbia estesi canali abbandonati	Instabilità fornita dal passaggio dell'acqua tra i depositi alluvionali	Sedimenti molto grossi, pezzi di legno trasportati di grandi dimensioni. Trasporto fluviale limitato da flussi poco profondi
3 (1)	Confinato	Misti	Rettilineo-sinuoso	Pendenza limitata	Canali poco definiti e informi	Molto instabili e molto profondi	Piccoli canali di gradiente relativamente basso alle estremità della rete di flusso. Trasporto fluviale limitato
4 (1)	Confinato	Massi	Rettilineo-sinuoso	>>0.04	Cascate, piccole piscine	Di solito stabili, occasionalmente catastrofiche destabilizzazioni durante i debris flows	Molto ripida, materiale del letto grezzo, localmente rocce esposte che dividono il letto e consentono un trasporto più fine rispetto ai grandi clasti che contraddistinguono il letto
5 (1)	Confinato	Massi o ciottoli	Rettilineo-sinuoso	>0.04	Gradini e pozze (alternanza di canali ripidi e piscine)	Di solito stabili, occasionalmente catastrofiche destabilizzazioni durante i debris flows	Sequenze di canali che si incontrano, accumuli di massi e ciottoli (gradini rocciosi), vari rami poco profondi, acqua spesso turbolenta
6 (1)	Confinati	Massi, ciottoli e ghiaia	Rettilineo-sinuoso	>0.02	Letto relativamente piano, piscine create da ostacoli, flusso abbondante nei canali laterali	Stabile per lunghi periodi, il flusso può indurre laterali smottamenti, i quali possono temporaneamente occupare i canali secondari	Prevalentemente a filo singolo, anche se possono essere presenti canali secondari. Letto piano composto da ciottoli e ghiaia occasionalmente intervallati da macigni e depositi di sabbia. Il flusso sono uniformi con rapide occasionali. Il trasporto solido è limitato e per lo più dato dall'erosione o trasporto da monte.

CANALI ALLUVIONALI

7 (1)	Confinati	Ciottoli e ghiaia	Rettilineo-sinuoso	>0.01	Piscine e barre laterali	Soggetti a frequenti spostamenti delle barre	Sottoposto a frequenti spostamenti delle barre. Il trasporto solido è dato principalmente dal trasporto da monte, e occasionalmente da debris flow
8 (6)	Confinati / Parzialmente confinati / Non confinati	Ghiaia, sabbia	canali intrecciati	<0.04	Isole a metà del canale (particolarmente evidenti nei grandi canali)	Instabile lateralmente che verticalmente	Si formano quando l'apporto di sedimenti è relativamente più alto e/o i sedimenti sono più grossolani dei tipi 9 o 10. Il materiale è fornito principalmente dall'erosione e dal cedimento spondale. Le colate detritiche possono verificarsi solo in luoghi confinati o parzialmente confinati
9 (6)	Confinati / Parzialmente confinati / Non confinati	Ghiaia, sabbia	Isole intrecciate	<0.04	Isole a metà del canale (particolarmente evidenti nei grandi canali)	Instabile lateralmente che verticalmente	I canali insulari si distinguono dal tipo 11 per una superficie >20% del tratto attivo in cui è coperto da isole di vegetazione stabile. Il materiale del letto è fornito principalmente dall'erosione o dal cedimento delle sponde e dal trasporto fluviale da monte. Le colate detritiche possono verificarsi solo in luoghi confinati o parzialmente confinati
10 (7)	Confinati / Parzialmente confinati / Non confinati	Ghiaia, sabbia	Anabranching (alta energia)	<0.01	Isole e piscine	I più stabili, data dalla ghiaia e sabbia, instabili le sponde	Si estendono isole coperte da vegetazione, mentre occasionalmente si hanno barre di sedimenti. Il materiale del letto è fornito principalmente dall'erosione o cedimento spondale o dal trasporto fluviale a monte
11 (5)	Confinati / Parzialmente confinati / Non confinati	Ghiaia, sabbia	Wandering	<0.04	Isole a metà del canale. Barre marginali e piscine increspate	Di solito altamente instabili sia lateralmente che verticalmente.	Transizione da filo singolo a filo multiplo, il quale riflette il locale cambiamento di pendenza o apporto di sedimenti. Il materiale di letto è apportato prevalentemente dall'erosione o cedimento delle sponde e dal trasporto fluviale da monte, ma i flussi detritici, possono verificarsi nei confinati e parzialmente confinati
12 (3)	Confinati / Parzialmente confinati / Non confinati	Ghiaia, sabbia	Pseudo-meandrizzati	<0.04	Larghe, continue barre alternate e piscine increspate	Di solito altamente instabili sia lateralmente che verticalmente e anche quando non sono confinati	Si differenzia dal tipo 11 per la sua bassa sinuosità e lo sviluppo delle barre laterali. Il fondo valle riflette le sequenze di piscine increspature e barre.

13 (2 or 3)	Parzialmente confinati / Non confinati	Ghiaia, sabbia	Rettilineo-sinuoso	<0.02	Piscine increspature, barre di punti alternati (continui) che confinano a stretto contatto con il canale a bassa portata	Soggetti a frequenti spostamenti delle barre	Anche se dominato dalla ghiaia, può essere presente materiale da letto di diverse dimensioni nella gamma di sabbia a ciottoli. I sedimenti sono di solito ben ordinati per riflettere lo schema di flusso e la morfologia del letto. Il trasporto totale dei sedimenti è basso e viene fornito principalmente dall'erosione o cedimento delle sponde e dal trasporto fluviale a monte, ma in alcune località possono verificarsi colate detritiche.
14 (4)	Parzialmente confinati / Non confinati	Ghiaia, sabbia	Meandrizzati	<0.02	Piscine increspature barre puntuali, intervalli di sabbia e canali abbandonati (nella pianura alluvionale)	Canali sinuosi lateralmente instabili, soggetti a migrazione laterale e/o progressiva.	Percorso ondulato che riflette una sequenza alternata longitudinale e laterale di piscine, riffles e barre. L'instabilità laterale si riflette spesso in sequenze di forme di terreno come banchi puntiformi e barre di scorrimento, che si estendono lungo la pianura alluvionale.
15 (6)	Confinati / Parzialmente confinati / Non confinati	Ghiaia fine - Sabbia	Intrecciati	<0.03	Barre, ondulazioni (e dune)	Di solito altamente instabili sia lateralmente che verticalmente	Vegetazione critica nel limitare l'estensione laterale delle barre tra i canali intrecciati
16 (3)	Confinati / Parzialmente confinati / Non confinati	Ghiaia fine - Sabbia	Pseudo meandrizzato	<0.02	Continue, estese barre laterali, piscine e increspature (e dune)	Verticalmente instabili a causa del movimento della barra che talvolta può migrare lateralmente	Continui, estesi e altamente sinuosi, sviluppo delle barre all'interno di un canale diritto o sinuoso
17 (1 or 2)	Parzialmente confinati / Non confinati	Ghiaia fine - Sabbia	Rettilineo-sinuoso	<0.02	Piscina, barre puntuali, increspature (e dune). Occasionalmente barre di scorrimento	Canali sinuosi lateralmente instabili, a volte soggetti a migrazione laterale e/o progressiva.	Percorso ondulato che riflette una sequenza alternata longitudinale e laterale di piscine, riffles e barre.

18 (4)	Parzialmente confinati / Non confinati	Ghiaia fine - Sabbia	Meandrizzati	<0.02	Piscina, barre puntuali, inespature (e dune). Occasionalmente barre di scorrimento	Canali sinuosi instabili lateralmente soggetti alla progressione e all'estensione del loop meandro laterale e / o progressivo con creazione di scorciatoie	Ondulazione del fondovalle che riflette una sequenza alternata longitudinale e laterale di piscine e barre. L'instabilità laterale si riflette spesso in sequenze di formazioni rocciose come curve sinuose a meandro, banchi a punta e barre di scorrimento, che si estendono lungo la pianura alluvionale come lanche, creste e balze con pronunciato sviluppo di zone umide intorno alle lanche, nelle balze e alle estremità esterne della pianura alluvionale.
19 (7)	Confinati / Parzialmente confinati / Non confinati	Ghiaia fine - Sabbia	Anabanching	<0.005	Ripple e duene zone vegetate con canali abbondanti	Stabile	La vegetazione è fondamentale per stabilizzare le barre tra i fili dei canali, formando isole che si sviluppano per accrescimento verticale di sedimenti fini. Piccolo sviluppo del letto del canale a meno che non sia stabilizzato dalla vegetazione
20 (2 o 3)	Parzialmente confinati / Non confinati	Sabbia fine, limo e argilla	Rettilineo-sinuoso	<0.005		Molto stabile	I banchi di limo-argilla spesso ad alto contenuto organico sono altamente coesivi. Poco canale di sviluppo della forma del letto. Il materiale del letto è molto fine, dominato da particelle di limo, ma può includere anche materiale più grossolano, in particolare la sabbia. L'offerta di sedimenti è abbondante rispetto alla capacità di trasporto. Scarso sviluppo della forma del letto del canale, a meno che non sia stabilizzato dalla vegetazione
21 (4)	Confinato / Parzialmente confinato / Non confinato	Sabbia fine, limo e argilla	Meandrizzato	<0.005		Molto stabile	I banchi di limo-argilla spesso ad alto contenuto organico sono altamente coesivi. Poco canale di sviluppo della forma del letto. Il materiale del letto è molto fine, dominato da particelle di limo, ma può includere anche materiale più grossolano, in particolare la sabbia. L'offerta di sedimenti è abbondante rispetto alla capacità di trasporto. Scarso sviluppo della forma del letto del canale, a meno che non sia stabilizzato dalla vegetazione

22 (7)	Confinato / Parzialmente confinato / Non confinato	Sabbia fine, limo e argilla	Anabanching	<0.005	Isole con paludi torbiere, canali crepacci, canali crepacci, canali stagni. Forma di bar e panchina indotta dalla vegetazione Canali abbandonati Backswamps	Molto stabile	I banchi di limo-argilla spesso ad alto contenuto organico sono altamente coesivi. Ampie isole coperte da vegetazione di zone umide e separate da molteplici canali stabili. Scarso sviluppo della forma del letto del canale, a meno che non sia stabilizzato dalla vegetazione. Il materiale del letto è molto fine, dominato da particelle di dimensioni ridotte, ma può includere anche materiale più grossolano, in particolare la sabbia. L'offerta di sedimenti è abbondante rispetto alla capacità di trasporto. Scarso sviluppo della forma del letto del canale, a meno che non sia stabilizzato dalla vegetazione.
--------	---	-----------------------------------	-------------	--------	---	---------------	---

Tabella 13: Classificazione fluviale di 2° livello secondo il REstoring rivers FOR effective catchment Management

Di seguito è proposta una rappresentazione grafica delle tipologie fluviali sopra descritte, essa permette di comprendere meglio e più intuitivamente le differenze che intercorrono tra le diverse tipologie fluviali sopra menzionate:

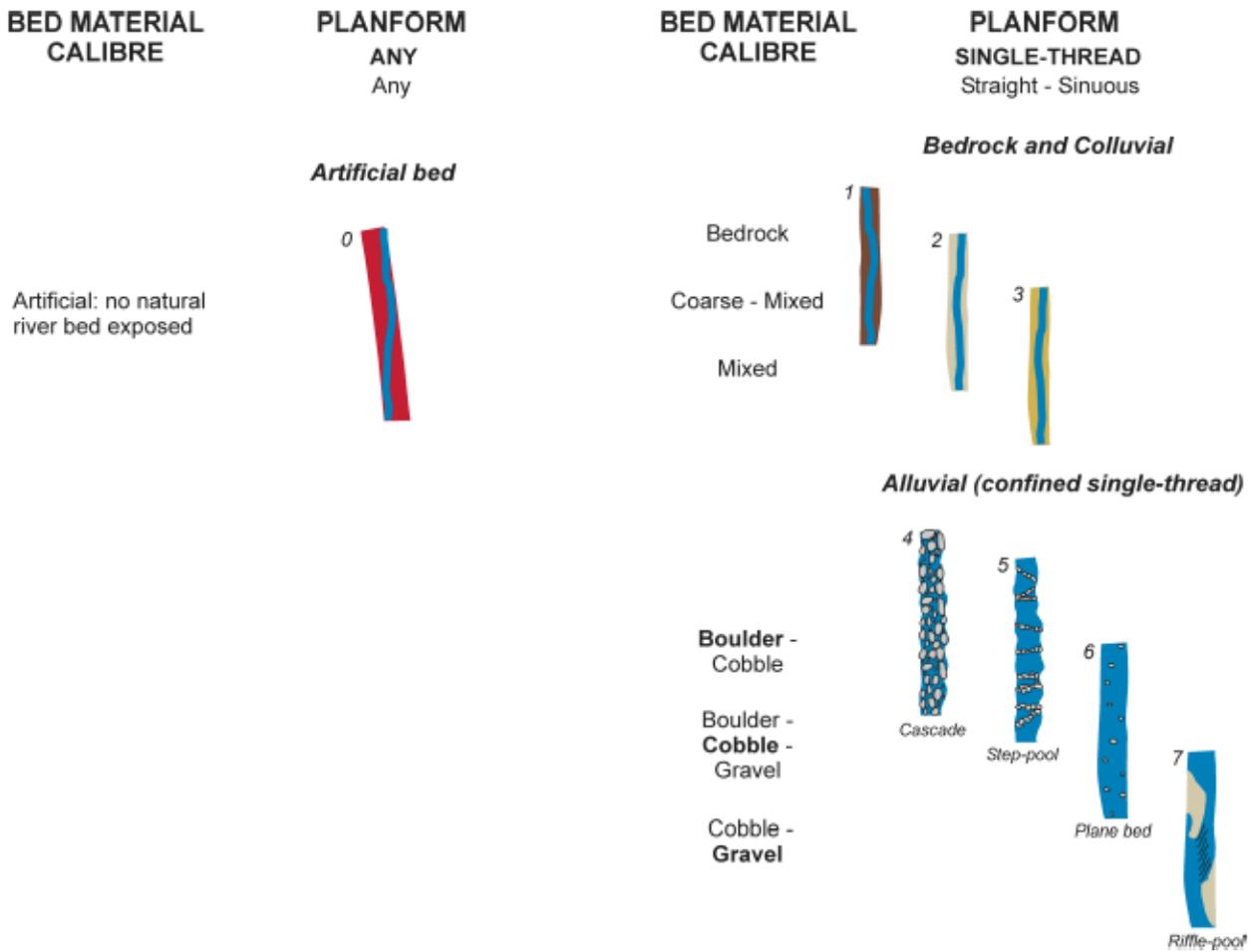


Figura 34: Classificazione fluviale di 2° livello secondo il REstoring rivers FOR effective catchment Management – Corsi d’acqua confinati

Non è mai molto semplice classificare i vari corsi d’acqua infatti spesso bisogna far fronte a informazioni parziali o non completamente esatte. Per questo possono essere utilizzate a sostegno anche delle fotografie scattate al momento del rilievo che, insieme alle altre fonti disponibili, possono farci comprendere meglio a che tipologia fluviale il corso d’acqua appartiene.

Le prime tre tipologie si differenziano tra di loro semplicemente dalla composizione del substrato. Si passa dalla roccia molto compatta (Bedrock) della tipologia 1 fino a materiale misto della 3, passando per un substrato misto grossolano della tipologia 2.

Per le restanti categorie, ciò che invece è rappresentativo è la tipologia di sedimenti che affiorano dal letto del fiume. Si passa da massi e ciotoli davvero grossolani per la tipologia 4 (Cascade) a materiale più fine, prossimo alla granulometria della ghiaia e della sabbia per il Riffle-Pool di categoria 7. Anche in questa situazione spesso risulta complicata una univoca classificazione, la quale per essere effettuata deve contare su informazioni complete, coerenti e corrette. Di seguito vengono proposte alcune fotografie dei rilievi effettuati in campo per i casi studio trattati in questo lavoro di tesi.



Figura 35: Fotografia Torrente Ayasse anno 2010 – Classificazione 4-Cascade



Figura 36: Fotografia Torrente Artanavaze anno 2010 – Classificazione 5 Step-pool

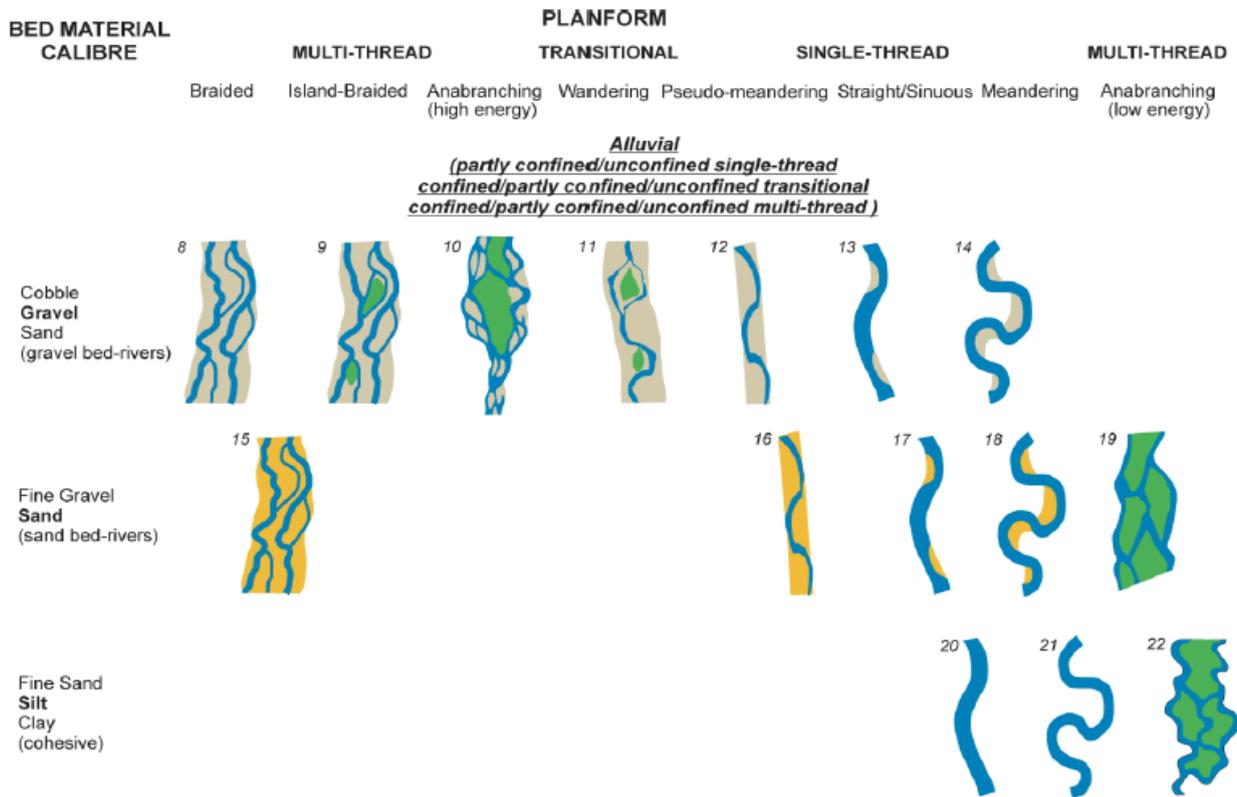


Figura 37: Classificazione fluviale di 2° livello secondo il REstoring rivers FOR effective catchment Management – Corsi d’acqua substrato alluvionale

Dalla tipologia 8 in avanti, possiamo avere anche corsi d’acqua parzialmente confinati (Partly confined) o non confinati (Unconfined). Ricordiamo che per non confinati, intendiamo tutti quei corsi d’acqua che non posseggono canali naturali o artificiali ben definiti che ne inducono il percorso. Innanzitutto la differenziazione è data dal numero di canali, infatti questa può risultare a singolo canale (Single thread) o a multi canale (Multi thread). Tale distinzione è prettamente di carattere planimetrico la quale prevede anche una fase di transizione tra Multi thread a Single thread per mezzo della categoria Transitional. I corsi d’acqua che fanno parte di questa categoria posseggono una distribuzione alternativa dei canali con alcuni rami attivi oltre a quello principale. Successivamente abbiamo una catalogazione sempre dal punto di vista planimetrico, che tiene conto della “quantità di intrecciamento” del corso d’acqua in esame, della sua sinuosità e della presenza o meno di vegetazione permanente sulle isole formate dai vari canali attivi. Questo ci porta a categorie che spaziano da braided (Intrecciato) al Wandering o ancora all’ Anabranching. Per finire un altro parametro di classificazione

è dato dal substrato presente, questo come si può apprezzare dalla rappresentazione grafica, suddivide i corsi d'acqua in tre fasce, quelli con presenza di massi o ciotoli di grandi dimensioni (8 – 14), quelli caratterizzati da ghiaia grossolana intervallati da piccole quantità di sabbia (15 – 19) e per ultimo quelli il cui substrato è prevalentemente formato da sabbia fine, limo e argilla (20 – 22).

È intuitivo capire come la tipologia di substrato sia un'informazione molto importante per poter catalogare al meglio il corso d'acqua. Per i casi studio in esame è stata effettuata una valutazione statistica, in cui si è andati a valutare la composizione dei vari substrati. Così facendo è stato possibile individuare il substrato prevalente sia per ogni portata analizzata che considerando mediamente tutte le portate. Di seguito viene riportato un esempio che può aiutare a comprendere meglio il lavoro svolto:

<u>DORA BALTEA (Mecosse)</u>	d [cm]	1.18 m³/s		1.69 m³/s		6.50 m³/s		32.40 m³/s		TOT	
		[#]	[%]	[#]	[%]	[#]	[%]	[#]	[%]	[#]	[%]
Phytal	Piante sommerse	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Sapropel	Fango anossico	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Xylal	Legno e radici	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Detritus	Materiale organico	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Pelal	Limo, argilla	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Psammal	Sabbia	9.0	12.5	18.0	28.6	13.0	10.6	5.0	7.8	45.0	14.0
Akal	Ghiaia	1.0	1.4	0.0	0.0	3.0	2.4	0.0	0.0	4.0	1.2
Microlithal	2-6	0.0	0.0	0.0	0.0	15.0	12.2	0.0	0.0	15.0	4.7
Mesolithal	6-20	2.0	2.8	7.0	11.1	7.0	5.7	4.0	6.3	20.0	6.2
Macrolithal	20-40	23.0	31.9	23.0	36.5	26.0	21.1	21.0	32.8	93.0	28.9
Megalithal	>40	35.0	48.6	15.0	23.8	59.0	48.0	31.0	48.4	140.0	43.5
Gigalithal	Roccia	2.0	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	4.7	5.0	1.6
TOT		72.0	100.0	63.0	100.0	123.0	100.0	64.0	100.0	322.0	100.0
<u>Substrato predominante</u>		48.6		36.5		48.0		48.4		43.5	

Tabella 14: Classificazione statistica del fiume Dora Baltea a Mecosse con evidenziati i valori di substrato prevalenti

Nella tabella successiva sono riportati i casi studio in cui è stata applicata la metodologia REstoring rivers catchment Management (Reform), catalogati per mezzo della classificazione di 2° livello (o classificazione estesa):

Fiume/Torrente	Confinamento	Ramificaz.	Pianta	Classificaz. di 2° livello
Argentina	Confined	Single	Straight-Sinuuous	4 - Cascade
Arno	Unconfined	Single	Sinuuous	13
Artanavaz	Confined	Single	Straight-Sinuuous	5 - Step pool
Ayasse	Confined	Single	Straight-Sinuuous	4 - Cascade
Buthier	Partly confined	Single	Sinuuous	4 - Cascade
Buthier Ollomont	Confinato	Single	Straight-Sinuuous	5 - Step pool
Chalamy	Confined	Single	Straight-Sinuuous	4 - Cascade
Collagna	Confined	Single	Straight-Sinuuous	5 - Step pool
Crest	Confined	Single	Straight-Sinuuous	4 - Cascade
Deche	Confined	Single	Straight-Sinuuous	4 - Cascade
Des	Confined	Single	Straight-Sinuuous	1- Bedrock
Dora Baltea (Aosta)	Unconfined	Single	Sinuuous	13
Dora Baltea (Bard)	Partly confined	Single	Straight	13
Dora Baltea (Chatillon)	Partly confined	Single	Straight	13
Dora Baltea (La Salle)	Partly confined	Single	Sinuuous	12
Dora Baltea (Mecosse)	Partly confined	Single	Sinuuous	13
Dora Baltea (Montjovet)	Partly confined	Single	Sinuuous	13
Dora Baltea (Nus)	Unconfined	Single	Sinuuous	13
Dora di Rhemes	Confined	Single	Straight-Sinuuous	5 - Step pool

Dora di Valgrisenche	Confined	Single	Straight-Sinuuous	5 - Step pool
Droanello	Confined	Single	Straight-Sinuuous	4 - Cascade
Evacon_1	Confined	Single	Straight-Sinuuous	4 - Cascade
Evacon_2	Confined	Single	Straight-Sinuuous	4 - Cascade
Fossocesa	Confined	Single	Straight-Sinuuous	1
Giongo	Confined	Single	Straight-Sinuuous	2
Graines_IT	Confined	Single	Straight-Sinuuous	4 - Cascade
Graines_2	Confined	Single	Straight-Sinuuous	4 - Cascade
Grand'Eyvia	Confined	Single	Straight-Sinuuous	5 - Step pool
Lanterna	Confined	Single	Straight-Sinuuous	4 - Cascade
Lys_1	Confined	Single	Straight-Sinuuous	5 - Step pool
Lys_2	Unconfined	Single	Straight-Sinuuous	6 - Plain bed
Lys_3	Unconfined	Single	Straight-Sinuuous	5 - Step pool
Lys_4	Confined	Single	Straight-Sinuuous	4 - Cascade
Mareta	Unconfined	Multi-thread	Braided	8
Marmore_1	Confined	Single	Straight-Sinuuous	4 - Cascade
Marmore_2	Confined	Single	Straight-Sinuuous	5 - Step pool
Marmore_3	Confined	Single	Straight-Sinuuous	5 - Step pool
Noce	Unconfined	Single	Sinuuous	13
Predina	Confined	Single	Straight-Sinuuous	5 - Step pool
Rio Fino	Confined	Single	Straight-Sinuuous	2
Rio Freddo	Confined	Single	Straight-Sinuuous	4 - Cascade
Saint-Barthelemy	Confined	Single	Straight-Sinuuous	5 - Step pool

Savara	Confined	Single	Straight-Sinuous	4 - Cascade
Scrvia	Unconfined	Single	Sinuous	/
Serio	Confined	Single	Straight-Sinuous	4 - Cascade
Sermenza	Confined	Single	Straight-Sinuous	4 - Cascade
Strona	Confined	Single	Straight-Sinuous	5 - Step pool
Taro	Unconfined	Transitional	Wandering	12
Urtier	Confined	Single	Straight-Sinuous	6 - Plane bed

Tabella 15: Classificazione di 2° Livello (o Classificazione estesa) per i siti in esame

CAPITOLO 4

DELIMITAZIONE DEI BACINI IMBRIFERI E REGIONALIZZAZIONE

I fiumi o torrenti durante il percorso verso il mare raccolgono il volume idrico a loro disposizione principalmente da due fonti, dalla pioggia e dall'acqua proveniente dai loro affluenti. Quest'ultimi, a loro volta avranno raccolto la loro riserva idrica dagli eventi atmosferici, e dai loro affluenti. La vera questione è capire l'estensione in km² della valle preposta alla raccolta di acqua per uno specifico sottotratto fluviale in esame. Tale area viene definita Bacino idrografico, tecnicamente corrisponde all'area topografica, di solito identificabile da una valle, in cui si raccolgono le acque che scorrono sulla superficie del suolo, e che

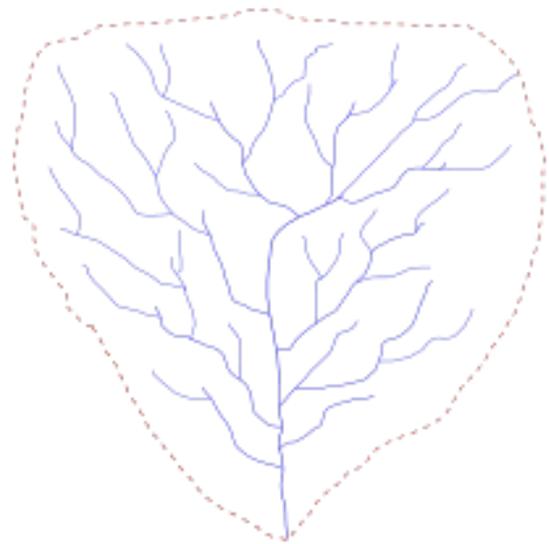


Figura 38: Schematizzazione di un bacino idrografico

risultano confluenti verso un determinato corpo idrico definito recettore. È possibile molto semplicemente schematizzare il Bacino idrografico (o Bacino imbrifero) con la rappresentazione grafica proposta in Figura 35. È intuitivo capire come l'estensione di un bacino idrografico sia funzione del punto in cui si decide di quantificarlo, in quanto più a monte si stabilisce la sezione di chiusura e minore sarà l'area "collaborante" alla raccolta delle acque.

La maggior parte dei bacini idrografici sono formati dall'unione dei diversi sottobacini idrografici secondari dei fiumi/torrenti affluenti al corso d'acqua d'interesse; per questo in una rete fluviale complessa come quella italiana è necessario servirsi di opportuni software tecnici per poter ottenere

risultati sufficientemente corretti e utilizzabili. Per questo lavoro di tesi si è deciso di utilizzare il software ArcGis 10.4.

4.1 ESTENSIONE DEI BACINI IMBRIFERI TRAMITE ARCGIS

ArcGis è un software atto alla creazione e all'analisi di mappe, compilazione e gestione di dati geografici. Innanzitutto per definire correttamente l'estensione areale dei bacini idrografici è necessario avere una mappa rappresentante il territorio da esaminare, avente una risoluzione sufficiente per poterne ricavare le informazioni necessarie. La mappa di cui si fa cenno, è la rappresentazione georiferita del territorio, più specificatamente si tratta di DTM (Digital Terrain Model) per esteso Modello Digitale del Terreno il quale rappresenta l'andamento della superficie del suolo senza gli elementi atropici e vegetazionali. Per questo si è deciso di lavorare sulle mappe messe a disposizione dal sito internet <http://srtm.csi.cgiar.org/srtmdata/> in cui, grazie al progetto SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), è stato possibile avere DTM con risoluzione approssimata a 30m; il formato dei file scaricabili sono in *.tiff*.

Come è possibile notare nella Figura 36, sono messe a disposizione dell'utente tutte le mappe relative ai principali siti d'interesse. Una volta che sono state definite le aree di lavoro, che nel caso di specie sono quelle relative al territorio italiano, si procede alla fase di scaricamento con indicato dall'immagine sottostante.

In tale pagina oltre al nome del prodotto richiesto, vengono riportate anche le specifiche coordinate di longitudine e latitudine a cui fa riferimento. È importante far notare come tali file si riferiscano a mappe DEM (Digital Elevation Model) le quali per il lavoro che è stato svolto sono comunque utilizzabili, senza alcun problema.

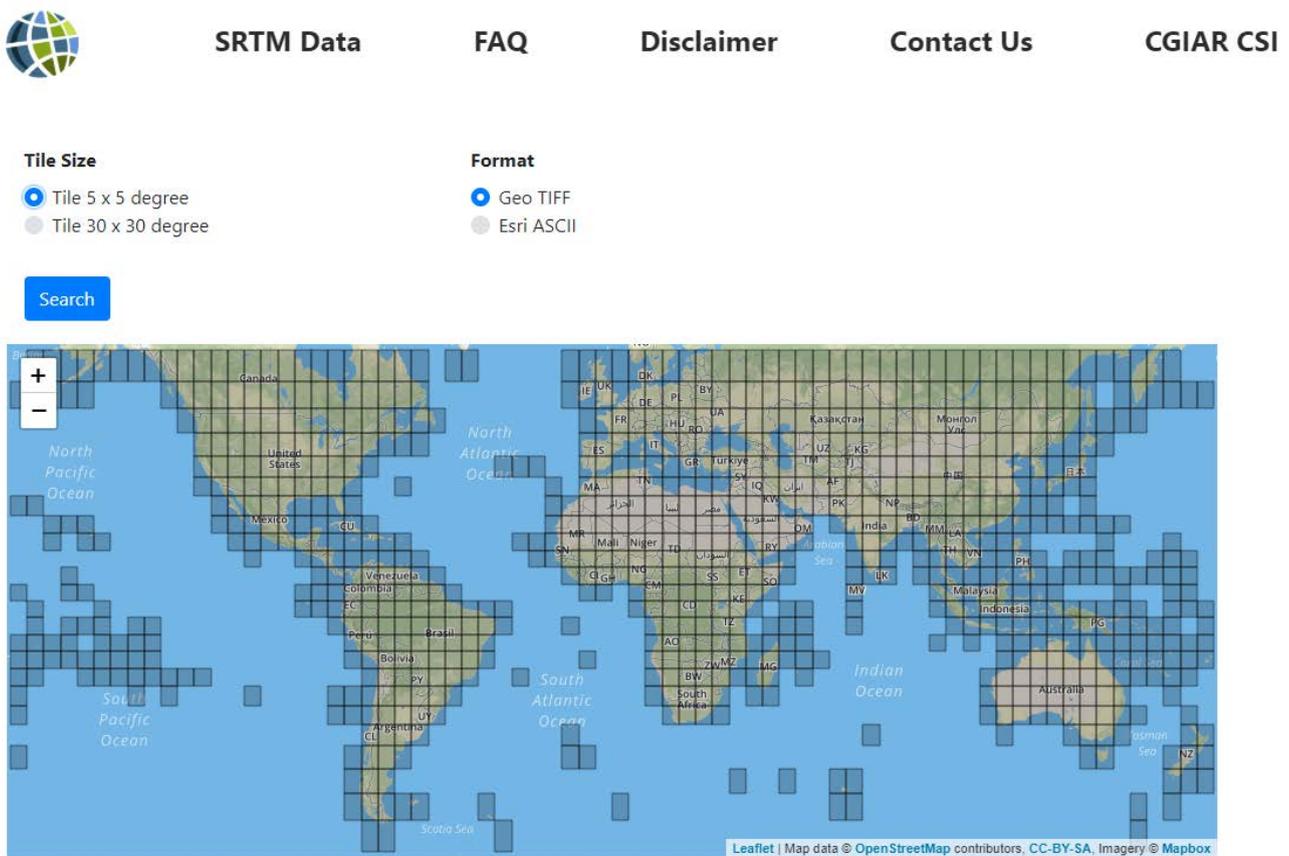


Figura 39: DEM scaricabili dal sito cgiar.org

Tramite il software Arcgis è stato necessario georeferire i DEM scaricati in funzione del sistema di riferimento standard per l'Italia ossia quello definito come Latitudine 32N EPSG: 23032.

Di seguito sono proposti i passaggi effettuati, coadiuvati da immagine esemplificative per ottenere l'estensione dei Bacini imbriferi.

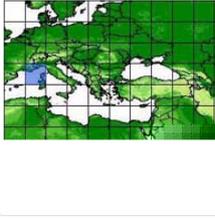
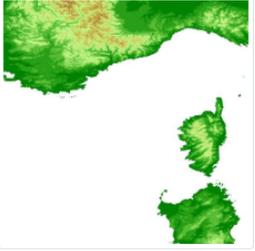
 <p>SRTM Data</p> <p>Product: SRTM 90m DEM Version 4 Data File Name: srtm_38_04.zip Mask File Name: srtm_mk_38_04.zip Latitude Min: 5 N Max: 10 N Longitude Min: 40 E Max: 45 E Center Point Lat: 7.5 N Long: 42.5 E</p> <p>Download SRTM</p>	<p>FAQ</p> 	<p>Disclaimer</p> 	<p>Contact Us</p>	<p>CGIAR CSI</p>
<p>Description</p> <p>Product: SRTM 90m DEM Version 4 Data File Name: srtm_39_04.zip Mask File Name: srtm_mk_39_04.zip Latitude Min: 10 N Max: 15 N Longitude Min: 40 E Max: 45 E Center Point Lat: 12.5 N Long: 42.5 E</p> <p>Download SRTM</p>	<p>Location</p> 	<p>Image</p> 		

Figura 40: Pagina di Dowload sito cgiar.org

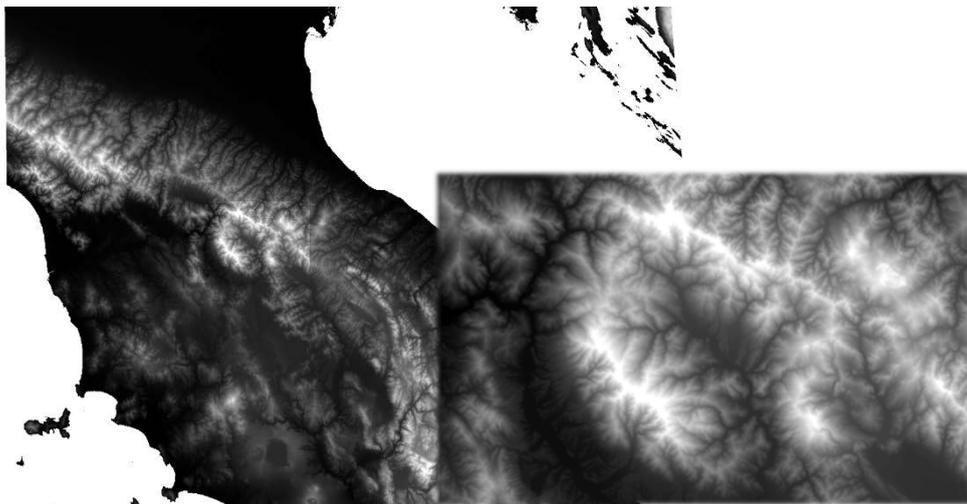


Figura 41: DEM 32N Italia Centrale con visualizzazione in dettaglio della zona d'interesse

Come si può notare dalla Figura 41, trattandosi del Fiume Arno, è stato necessario servirsi del DEM dell'Italia centrale, per il quale è disponibile anche un'immagine più dettagliata del territorio di nostro interesse. Si può notare come sia facile individuare gli alvei dei fiumi di maggior importanza. Non sempre tali informazioni sono così chiare, specie per i torrenti di montagna di modeste dimensioni. Per evitare eccessivi calcoli computazionali da parte di ArcGis, si è utilizzata una funzione denominata "Clip" che permette di ritagliare dalla mappa originaria, solo la zona strettamente necessaria; se si dovesse operare senza questo comando i tempi di calcolo del pc sarebbero notevoli.

Successivamente si è dovuto procedere con la l'applicazione del comando "fill" il quale una volta definita la zona di lavoro cerca di rendere più definite le zone a diversa altitudine rimuovendo piccole imperfezioni nei dati raster.

Ora è necessario capire la direzione di percorrenza dell'acqua. Per questo servendosi della funzione "Flow direction" la quale è in grado, conoscendo le informazioni raster fornite dal DEM, di definire la direzione di percorrenza dell'acqua, nella figura 42 possiamo vederne un esempio:

Ora sono molto evidenti le varie incisioni nel terreno dovute al percorso del fiume. Questa funzione comincia a fornire un'idea di massima della superficie che collabora a creare il bacino idrografico del fiume in esame.

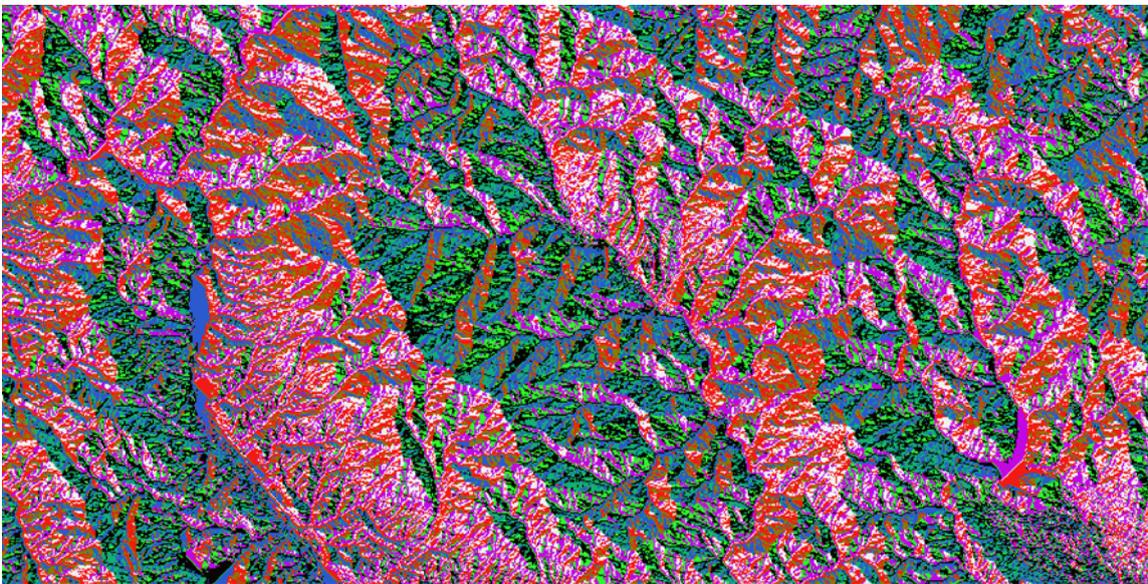


Figura 42: Applicazione della funzione Flow direction in ArcGis 10.4

La funzione che è stata successivamente utilizzata è stata Flow accumulation, che con operazioni analoghe alla Flow direction riesce a capire quali sono le aree in cui si vanno ad accumulare le risorse idriche derivanti dalle precipitazioni e dagli affluenti. In maniera molto semplice, ci mostra, se la carta ha un'opportuna risoluzione, dove scorre il fiume indagato ed è possibile in questo modo posizionare il nostro punto che determinerà la sezione di chiusura, per la quale si calcolerà il bacino sotteso. La Figura 43 esemplifica tale concetto.

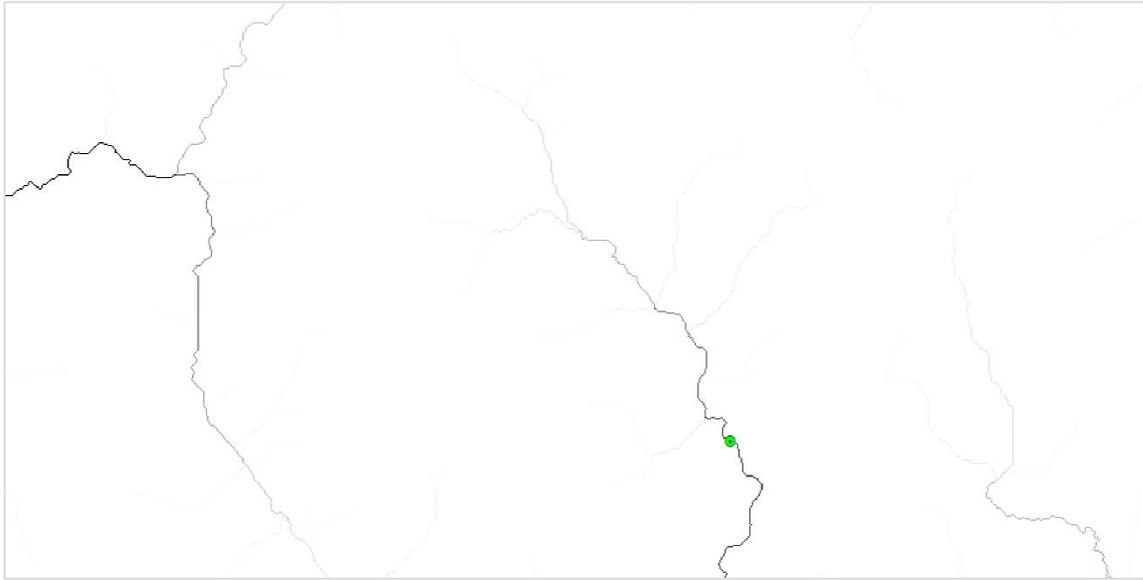


Figura 43: Applicazione della funzione Flow Accumulation in ArcGis 10.4

Una volta posizionato il punto in cui si vuole calcolare l'estensione del bacino imbrifero, è sufficiente procedere alla rappresentazione dello stesso, per mezzo della funzione Watershed, la quale riesce a individuare quali sono le celle che contribuiscono alla creazione del bacino sotteso.

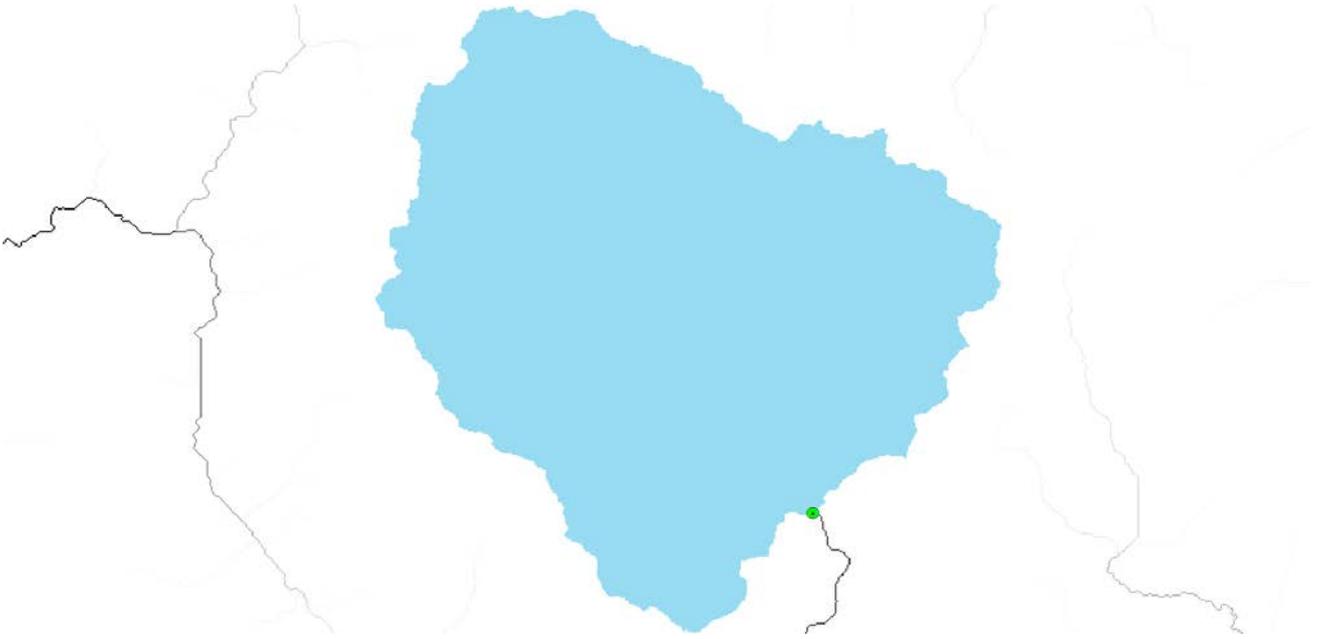


Figura 44: Applicazione della funzione Watershed in ArcGis 10.4

È possibile per avere un'idea più chiara, completa e intuitiva utilizzando la funzione “Layer to KML” che fornisce la possibilità di ottenere un file compatibile con il software Google Earth, e in grado di posizionarsi autonomamente sulla zona d'interesse. Si può vedere come in Figura 45 tale operazione renda effettivamente l'idea dell'estensione del bacino imbrifero compreso entro la sezione di chiusura, e quali sia dunque l'area entro la quale ogni risorsa idrica superficiale contribuisce a creare il bacino idrografico analizzato

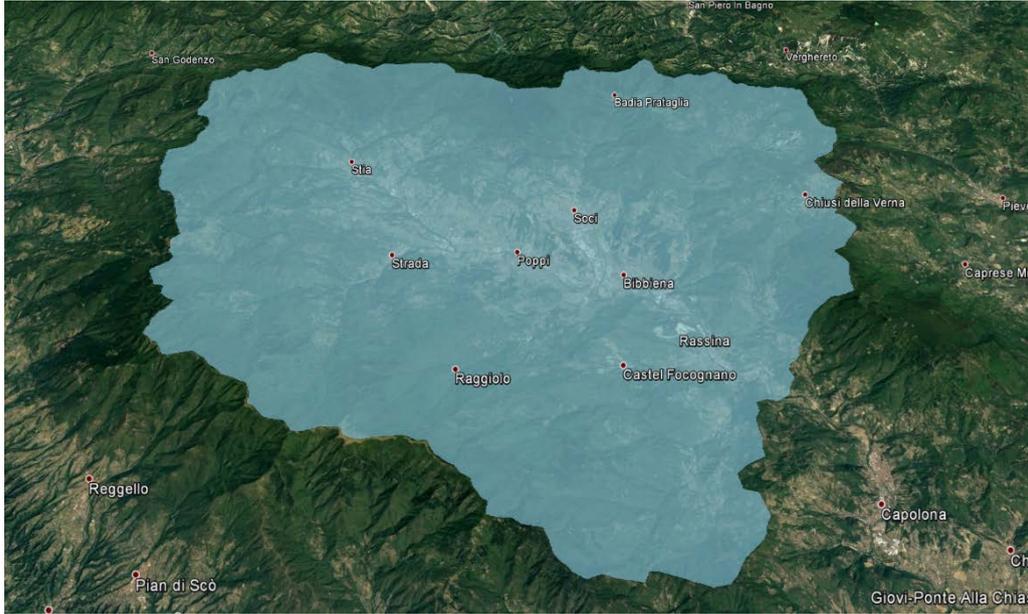


Figura 45: Applicazione della funzione Layer to KML in ArcGis 10.4

Tale procedura è stata effettuata per tutti i casi d'interesse nel territorio italiano e di seguito sono riportati i valori ottenuti:

FIUME/TORRENTE	AREA DI BACINO [km ²]
Argentina	127.48
Arno	702.76
Artanavaz	131.99
Ayasse	62.64
Buthier	213.36
Buthier Ollomont	261.07
Chalamy	32.00
Collagna	56.53
Crest	12.22
Deche	7.69
Des	0.044
Dora Baltea (Aosta)	1316.99
Dora Baltea (Bard)	2940.45

Dora Baltea (Chatillon)	2127.42
Dora Baltea (La Salle)	443.23
Dora Baltea (Mecosse)	712.49
Dora Baltea (Montjovet)	2416.03
Dora Baltea (Nus)	2127.42
Dora di Rhemes	118.67
Dora di Valgrisenche	155.73
Droanello	19.16
Evacon_1	148.51
Evacon_2	225.82
Fossocesa	49.20
Giongo	2.46
Graines_IT	14.85
Graines_2	19.19
Grand'Eyvia	238.45
Lanterna	100.87
Lys_1	67.40
Lys_2	107.85
Lys_3	171.99
Lys_4	234.62
Mareta	102.90
Marmore_1	59.44
Marmore_2	115.47
Marmore_3	203.38
Noce	378.33
Predina	1.76
Rio Fino	5.88
Rio Freddo	10.88
Saint-Barthelemy	42.20
Savara	137.00
Scivia	281.96

Serio	28.22
Sermenza	89.31
Strona	15.81
Taro	88.72
Urthier	48.80

Tabella 16: Estensione dei bacini imbriferi sottesi per i casi studio d'interesse

Alcuni di questi valori, erano stati assunti da una precedente pubblicazione dal titolo “Habitat modeling in high-gradient streams: the mesoscale approach and application” di P.Vezza, P Prasiewicz, M Spairani C. Comoglio

4.2 REGIONALIZZAZIONE DEI CASI STUDIO

In questo elaborato di tesi si sono posti sotto esame 49 tra fiumi e torrenti localizzati nel territorio italiano. La maggior parte di questi erano situati in nord Italia (Valle d’Aosta, Lombardia, Trentino Alto Adige, Emilia Romagna...) mentre la restante parte in centro-sud Italia (Toscana e Abruzzo). Come è stato ampiamente descritto nel sottoparagrafo 3.1.4, si è deciso di classificarli seguendo una metodologia estesa (o di secondo livello) che considerasse caratteristiche più specifiche rispetto alla classificazione semplice e suddividesse i fiumi tra le 23 tipologie differenti. Tale suddivisione ci è tornata utile in fase di regionalizzazione, in cui i casi studio sono stati raggruppati a seconda della loro tipologia fluviale. Come proposto precedentemente in Tabella 15 vediamo come la classificazione porti per lo più a catalogare i fiumi/torrenti seguendo la metodologia Reform in 4 grandi gruppi, di cui ricordiamo brevemente le caratteristiche:

1. **4-Cascade:** Caratterizzato da piccole cascate, planimetricamente rettilineo/sinuoso, confinato, avente un substrato compatto formato da massi e ciottoli di grandi dimensioni
2. **5-Step pool:** Caratterizzato da piccoli salti d’acqua, planimetricamente rettilineo/sinuoso, confinato, avente un substrato grossolano composto da ghiaia e ciottoli anche di grandi dimensioni

3. **6-Plain bed:** Piano d'alveo prettamente orizzontale caratterizzato da debole pendenza, rettilineo sinuoso, confinato avente un substrato grossolano formato da ghiaia e ciottoli
4. **Sinuuous - 13:** Può essere parzialmente confinato o non confinato di solito planimetricamente rettilineo/sinuoso avente un substrato composto da ghiaia grossolana, sabbia e talvolta anche da ciottoli di grandi dimensioni. Caratteristico dei fiumi sinuosi è il deposito di materiale solido nel lato interno della sinuosità.

Per gli altri corsi d'acqua, appartenenti a tipologie diverse da quelle sopra citate, si è deciso di non effettuare la regionalizzazione in quanto il numero di rilievi risultava troppo limitato, insufficiente per ottenere risultati attendibili.

La regionalizzazione riunisce in gruppi omogenei fiumi che dimostrano caratteristiche simili. Nella fattispecie si è deciso di utilizzare la classificazione di 2° livello come termine di paragone in quanto essa per definizione pone già a confronto diverse altre caratteristiche come il substrato, la pendenza d'alveo, la stabilità, le proprietà planimetriche...

FIUME:	TIPOLOGIA:
Argentina	4 - Cascade
Graines_IT	4 - Cascade
Graines_2	4 - Cascade
Lanterna	4 - Cascade
Lys_4	4 - Cascade
Marmore_1	4 - Cascade
Rio Freddo	4 - Cascade
Savara	4 - Cascade
Serio	4 - Cascade
Sermenza	4 - Cascade
Ayasse	4 - Cascade
Buthier	4 - Cascade
Chalamy	4 - Cascade
Crest	4 - Cascade
Deche	4 - Cascade
Droanello	4 - Cascade
Evacon_1	4 - Cascade
Evacon_2	4 - Cascade
Artanavaz	5 - Step pool
Buthier Ollomont	5 - Step pool
Collagna	5 - Step pool
Dora di Rhemes	5 - Step pool
Dora di Valgrisenche	5 - Step pool
Grand'Eyvia	5 - Step pool

FIUME:	TIPOLOGIA:
Lys_1	5 - Step pool
Lys_3	5 - Step pool
Marmore_2	5 - Step pool
Marmore_3	5 - Step pool
Predina	5 - Step pool
Saint-Barthelemy	5 - Step pool
Strona	5 - Step pool
Lys_2	6 - Plain bed
Urtier	6 - Plain bed
Arno	13
Dora Baltea (Aosta)	13
Dora Baltea (Bard)	13
Dora Baltea (Chatillon)	13
Dora Baltea (La Salle)	13
Dora Baltea (Mecosse)	13
Dora Baltea (Montjovet)	13
Dora Baltea (Nus)	13
Noce	13
Giongo	2
Rio Fino	2

Tabella 17: Gruppi omogenei, in funzione della loro classificazione estesa

La regionalizzazione, ha il compito di effettuare un confronto tra fiumi aventi caratteristiche simili. Nonostante le loro proprietà in comune, essi sono comunque corsi d'acqua molto diversi tra loro, specie dal punto di vista della lunghezza e della portata. Per questa ragione è stato necessario normalizzare le relative portate in funzione di un dato comune e noto a tutti e che potesse tener conto dei loro differenti regimi di portata. Ecco che entra in gioco l'estensione di bacino calcolata nel paragrafo 4.1; essa rapportata alle portate dei vari rilievi effettuata è in grado di produrre dati confrontabili tra loro, ottenendo così una portata idrica misurata in $[l \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}]$.

		BACINO [m ²]	PORTATA [l/s]	PORTATA [l/s km ²]	AREA [m ²]
Argentina	4 - Cascade	127.48	0	0	0
		127.48	250	1.961	891.507
		127.48	450	3.530	688.056
		127.48	650	5.099	785.832
		127.48	2200	17.258	1641.394
Graines_IT	4 - Cascade	14.85	0	0.000	0.000
		14.85	99	6.667	113.308
		14.85	306	20.606	121.145
		14.85	1085	73.064	149.788
		14.85	1643	110.640	106.057
Graines_2	4 - Cascade	19.19	0	0.000	0.000
		19.19	40.00	2.084	112.530
		19.19	570	29.703	209.455
		19.19	1053	54.872	75.557
Lanterna	4 - Cascade	100.87	0	0.000	0.000
		100.87	142	1.408	256.162
		100.87	380	3.767	368.624
		100.87	820	8.129	291.220
		100.87	1630	16.159	327.029
Lys_4	4 - Cascade	234.62	0	0.000	0.000

		234.62	975	4.156	1031.746
		234.62	1970	8.397	1071.908
		234.62	11820	50.379	1043.391
Marmore_1	4 - Cascade	59.44	0	0.000	0.000
		59.44	350	5.888	234.632
		59.44	520	8.748	458.296
		59.44	905	15.225	262.381
Rio Freddo	4 - Cascade	10.88	0	0.000	0.000
		10.88	5	0.460	10.510
		10.88	11	1.011	24.805
		137.00	0	0.000	0.000
Savara	4 - Cascade	137.00	300	2.190	468.012
		137.00	1300	9.489	372.519
		137.00	2700	19.708	772.054
		137.00	10400	75.912	499.492
Serio	4 - Cascade	28.22	0	0.000	0.000
		28.22	180	6.378	183.741
		28.22	350	12.403	131.355
		28.22	1060	37.562	342.194
		28.22	3140	111.269	267.185
Sermenza	4 - Cascade	89.31	0	0.000	0.000
		89.31	180	2.015	940.161
		89.31	380	4.255	1212.225
		89.31	1080	12.093	1239.317
		89.31	9880	110.626	2450.235
Ayasse	4 - Cascade	62.64	0	0.000	0.000
		62.64	390	6.226	399.580
		62.64	560	8.940	608.273
		62.64	3750	59.866	1343.615
Buthier	4 - Cascade	213.36	0	0.000	0.000
		213.36	470	2.203	466.577

		213.36	1090	5.109	728.176
		213.36	1430	6.702	760.786
Chalamy	4 - Cascade	32.00	70	2.188	117.594
		32.00	190	5.938	165.387
		32.00	960	30.000	175.793
		32.00	1670	52.188	171.064
Crest	4 - Cascade	12.22	0	0.000	0.000
		12.22	120	9.820	141.435
		12.22	260	21.277	119.296
		12.22	5500	450.082	83.936
Deche	4 - Cascade	7.69	0	0.000	0.000
		7.69	27	3.511	60.531
		7.69	255	33.160	116.885
		7.69	964	125.358	151.352
Droanello	4 - Cascade	19.16	0	0.000	0.000
		19.16	62	3.236	109.353
		19.16	377	19.676	197.881
Evacon_1	4 - Cascade	148.51	0	0.000	0.000
		148.51	305	2.054	448.070
		148.51	720	4.848	689.502
		148.51	3550	23.904	690.879
Evacon_2	4 - Cascade	225.82	0	0.000	0.000
		225.82	240	1.063	1259.874
		225.82	480	2.126	1167.010
		225.82	5370	23.780	1272.912
Artanavaz	5 - Step pool	131.99	0	0.000	0.000
		131.99	260	1.970	92.904
		131.99	430	3.258	187.269
		131.99	1000	7.576	184.377
Buthier Ollomont	5 - Step pool	261.07	0	0.000	0.000
		261.07	300	1.149	45.051

		261.07	340	1.302	54.037
		261.07	870	3.332	143.719
Collagna	5 - Step pool	56.53	0	0.000	0.000
		56.53	30	0.531	134.401
		56.53	180	3.184	235.524
		56.53	770	13.621	150.198
Dora di Rhemes	5 - Step pool	118.67	0	0.000	0.000
		118.67	100	0.843	256.015
		118.67	250	2.107	264.064
		118.67	2200	18.539	276.875
Dora di Valgrisenche	5 - Step pool	155.73	0	0.000	0.000
		155.73	98	0.629	499.662
		155.73	280	1.798	539.647
		155.73	2450	15.732	557.686
Grand'Eyvia	5 - Step pool	238.45	0	0.000	0.000
		238.45	300	1.258	1033.022
		238.45	2590	10.862	2170.513
		238.45	6521	27.347	1001.816
Lys_1	5 - Step pool	67.4	0	0.000	0.000
		67.4	130	1.929	528.449
		67.4	220	3.264	327.357
		67.4	694	10.297	765.320
Lys_3	5 - Step pool	107.85	0	0.000	0.000
		107.85	570	5.285	1560.888
		107.85	800	7.418	2077.484
		107.85	11780	109.226	1915.154
Marmore_2	5 - Step pool	115.47	0	0.000	0.000
		115.47	490	4.244	337.143
		115.47	850	7.361	377.357
		115.47	1070	9.266	681.523
Marmore_3	5 - Step pool	203.38	0	0.000	0.000

		203.38	560	2.753	327.991
		203.38	700	3.442	455.189
		203.38	1460	7.179	300.439
Predina	5 - Step pool	1.76	0	0.000	0.000
		1.76	6	3.409	13.824
		1.76	12	6.818	26.372
Saint-Barthelemy	5 - Step pool	42.2	0	0.000	0.000
		42.2	70	1.659	156.098
		42.2	188	4.455	267.199
		42.2	980	23.223	115.418
Strona	5 - Step pool	15.81	0	0.000	0.000
		15.81	44	2.783	388.528
		15.81	385	24.352	519.123
		15.81	660	41.746	330.308
Lys_2	6 - Plain bed	107.85	0	0.000	0.000
		107.85	370	3.431	811.735
		107.85	783	7.260	1002.054
		107.85	4338	40.223	1886.139
Urtier	6 - Plain bed	48.8	0	0.000	0.000
		48.8	40	0.820	216.779
		48.8	150	3.074	448.052
		48.8	697	14.283	448.052
		48.8	4120	84.426	285.257
Arno	13	702.76	0	0.000	0.000
		702.76	1170	1.665	9600.486
		702.76	7150	10.174	8878.172
		702.76	17100	24.333	6174.001
Dora Baltea (Aosta)	13	1316.99	0	0.000	0.000
		1316.99	2500	1.898	30597.162
		1316.99	3200	2.430	28002.028
		1316.99	8000	6.074	25449.173

		1316.99	15000	11.390	25422.544
Dora Baltea (Bard)	13	2940.45	0	0.000	0.000
		2940.45	2800	0.952	6024.629
		2940.45	3050	1.037	2835.611
		2940.45	5430	1.847	2930.637
		2940.45	35000	11.903	3024.156
Dora Baltea (Chatillon)	13	2127.42	0	0.000	0.000
		2127.42	2700	1.269	4638.034
		2127.42	4700	2.209	6526.512
		2127.42	8600	4.042	7577.381
		2127.42	15000	7.051	5526.349
Dora Baltea (La Salle)	13	443.23	0	0.000	0.000
		443.23	295	0.666	1868.128
		443.23	430	0.970	2117.302
		443.23	2400	5.415	1998.775
		443.23	28500	64.301	1710.147
Dora Baltea (Mecosse)	13	712.49	0	0.000	0.000
		712.49	1180	1.656	2030.361
		712.49	1690	2.372	2296.927
		712.49	6500	9.123	1798.156
		712.49	32400	45.474	1385.369
Dora Baltea (Montjovet)	13	2416.03	0	0.000	0.000
		2416.03	3870	1.602	9190.242
		2416.03	7850	3.249	10931.503
		2416.03	15700	6.498	21979.849
		2416.03	27500	11.382	9575.936
Dora Baltea (Nus)	13	2127.42	0	0.000	0.000
		2127.42	1180	0.555	3501.863
		2127.42	1470	0.691	3767.803
		2127.42	6520	3.065	4015.091
		2127.42	25000	11.751	2560.004

Noce	13	378.33	0	0.000	0.000
		378.33	1600	4.229	5490.624
		378.33	6900	18.238	6003.609
		378.33	11000	29.075	5212.233

Tabella 18: Valori delle portate normalizzate all'estensione dei per i casi studio in esame

Una volta calcolata la portata specifica, è stato necessario mettere a confronto le varie specie target esaminate per i vari rilievi. Interessante è stato catalogare per ogni unità idromorfologica se una specifico pesce target fosse assente (not suitable) presente (suitable) o abbondante (optimal), in altre parole quanto la specifica UMI, a una determinata portata, risultasse adatta a ospitare le specie viventi poste sotto esame. Per questa ragione è stato abbinato un valore indicativo per ognuna delle 3 possibili soluzioni; se l'unità di sottotratto fosse risultato "not suitable" veniva abbinato il valore 0, nel caso invece fosse risultato "suitable" il valore indicato sarebbe stato 1, in presenza infine di unità "optimal" il numero corrispondente sarebbe stato pari a 2.

Necessario per procedere in questa direzione è stato il valore di area di ogni singola unità idromorfologica, essa infatti banalmente, rimane costante per le varie specie target rilevate a una stessa portata, ma appena quest'ultima si modifica cambia anche l'idromorfologia del sottotratto analizzato e di conseguenza le area delle unità associate. Un esempio è dato dalla tabella 14 in cui si presenta il rilievo della dora Baltea a La Salle per una portata pari a $0.295 \text{ m}^3/\text{s}$, per le specie trota Fario adulta, trota Marmorata adulta e per la trota Fario giovane. Di seguito, per semplicità, sono proposti i dati della sola trota Fario adulta:

TROTA FARIO ADULTA

ID	Area	Presenza o assenza	0/1/2
1	87.53	Suitable	1
2	183.24	Not suitable	0
3	290.58	Suitable	1
4	595.17	Optimal	2
5	184.06	Suitable	1

6	86.53	Suitable	1
7	279.00	Optimal	2
8	75.30	Not suitable	0
9	147.08	Optimal	2
10	106.89	Suitable	1
11	338.49	Optimal	2
12	107.81	Suitable	1
13	121.61	Not suitable	0
14	203.77	Optimal	2

Tabella 19: Suddivisione UMI in funzione della possibilità di ospitare la specie target

Questa catalogazione è stata utile per capire quali UMI e soprattutto quali aree risultavano adatte alla vita e alla proliferazione di una determinata specie vivente. Intuitivamente è possibile comprendere come per gli altri animali sia stato effettuato uno studio simile a quello indicato in tabella 14, per ogni rilievo e per ogni fiume/torrente esaminato. Questo ha portato alla necessità di introdurre una nuova figura, che tenesse conto di tutte le specie considerate nei rilievi di uno determinato fiume o torrente. Per questo si è introdotto il “Generic fish” al quale, esattamente come per la fauna ittica effettivamente rilevata, gli è stato assegnato un valore (0, 1 o 2) corrispondente al valore massimo assegnato ad una specifica UMI per un dato rilievo. In altre parole viene assegnato il valore più “ottimistico” a disposizione, infatti sarebbe sufficiente che una sola specie, tra quelle rilevate, risulti presente per assegnare un valore di presenza anche al Generic Fish. Di seguito è proposto un esempio esemplificativo per una migliore comprensione del concetto.

ID	TROTA FARIO ADULTA			TROTA MARMORATA ADULTA			TROTA FARIO GIOVANE			Pesce generico	Area pesce generico	Tot area [m ²]	Tot area [%]
	Area	Presenza o assenza	0/1/2	Area	Presenza o assenza	0/1/2	Area	Presenza o assenza	0/1/2				
1	87.525	Suitable	1	87.525	Optimal	2	87.525	Optimal	2	2	65.644	1868.128	88.232
2	183.238	Not suitable	0	183.238	Not suitable	0	183.238	Not suitable	0	0	0.000		
3	290.579	Suitable	1	290.579	Optimal	2	290.579	Optimal	2	2	217.934		
4	595.174	Optimal	2	595.174	Suitable	1	595.174	Optimal	2	2	446.381		
5	184.055	Suitable	1	184.055	Optimal	2	184.055	Optimal	2	2	138.041		
6	86.532	Suitable	1	86.532	Suitable	1	86.532	Not suitable	0	1	21.633		
7	279.003	Optimal	2	279.003	Optimal	2	279.003	Suitable	1	2	209.252		
8	75.298	Not suitable	0	75.298	Not suitable	0	75.298	Not suitable	0	0	0.000		
9	147.082	Optimal	2	147.082	Optimal	2	147.082	Optimal	2	2	110.312		
10	106.891	Suitable	1	106.891	Optimal	2	106.891	Suitable	1	2	80.168		
11	338.488	Optimal	2	338.488	Optimal	2	338.488	Optimal	2	2	253.866		
12	107.814	Suitable	1	107.814	Optimal	2	107.814	Optimal	2	2	80.861		
13	121.611	Not suitable	0	121.611	Not suitable	0	121.611	Optimal	2	2	91.208		
14	203.771	Optimal	2	203.771	Optimal	2	203.771	Optimal	2	2	152.828		

Tabella 20: Esempio per la quantificazione dell'area disponibile per il pesce generico, Dora Baltea La Salle $Q=0.295 \text{ m}^3/\text{s}$

Coerentemente con quanto riportato nel paragrafo 2.4 è stata valutata l'area disponibile servendosi dei coefficienti opportuni a seconda che si trattasse di una UMI "suitable" piuttosto che di una UMI "optimal". È bene ricordare che i valori moltiplicativi dell'area sono rispettivamente di 0.25 e a 0.75, in questo modo è stato possibile definire la superficie effettivamente a disposizione della specie esaminate. Ovviamente tale valore è stato calcolato in base al valore ottenuto dal pesce generico (Generic fish)

L'area totale in termini percentuali è stata ricavata rapportando l'area disponibile (pesce generico) sull'area massima a disposizione per quello specifico fiume o torrente analizzato. Ciò comporta l'individuazione di un punto sul grafico habitat-portata specifica e indica molto semplicemente l'habitat disponibile della specie target ad un valore dell'habitat normalizzato (in funzione e del valore più alto disponibile per quello specifico corso d'acqua). I valori sull'asse delle ascisse in cui sono definite le portate dei rilievi sono stati normalizzati, come precedentemente detto, in funzione dell'estensione di bacino. Di seguito vediamo, a titolo d'esempio, come si presenta il grafico di regionalizzazione:

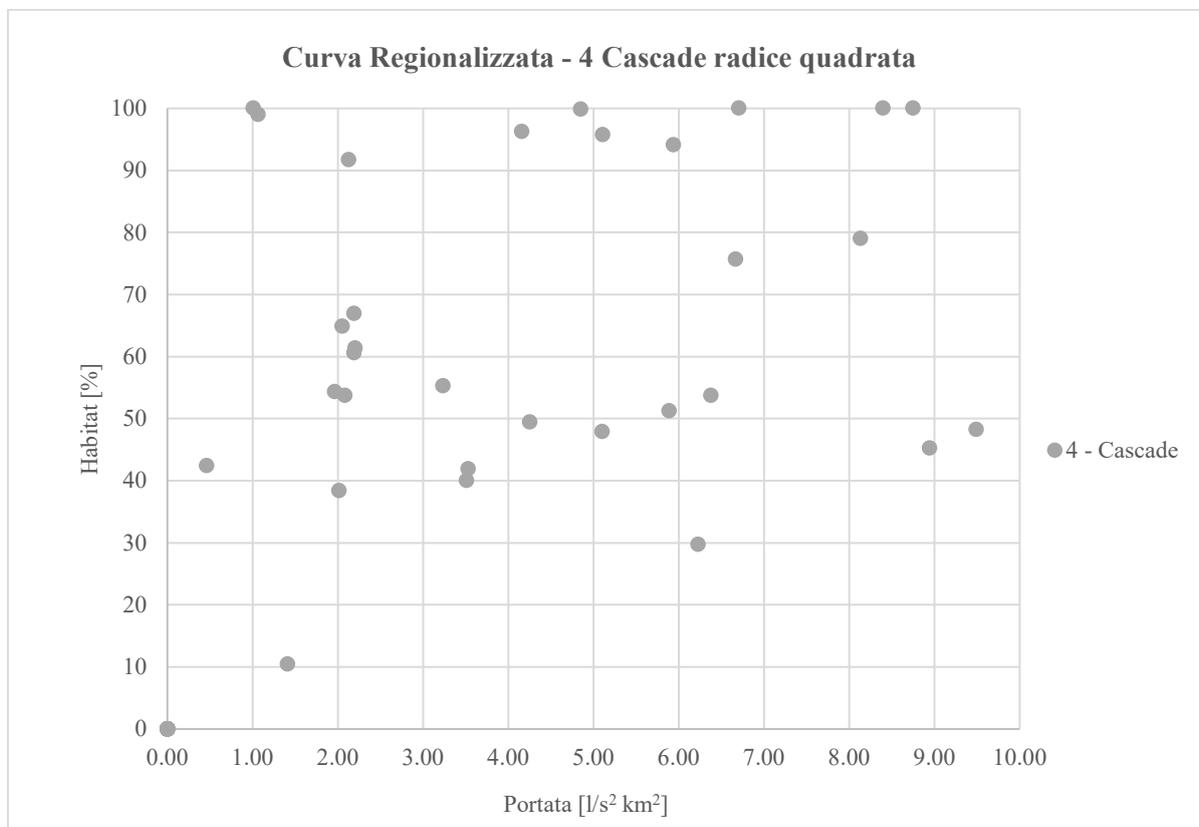


Figura 46: Grafico Habitat-Portata specifica regionalizzata

I punti individuati sul diagramma indicano tutti i rilievi effettuati alle rispettive portate (normalizzate in funzione dell'estensione del bacino imbrifero sotteso) alle quali corrisponde un valore di portata individuato con la procedura precedentemente proposta.

CAPITOLO 5

CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

Il presente lavoro di tesi ha trattato l'applicazione del MesoHabitat nel territorio italiano. I 49 casi studio presi in esame sono stati inizialmente analizzati, per valutare opportunamente la correttezza e la coerenza dei dati rilevati tramite un'analisi statistica accurata. Successivamente è stata effettuata una classificazione semplice (classificazione di 1° livello) a cui ne è seguita una estesa (o di 2° livello), in modo da catalogare in funzione delle proprie caratteristiche i siti d'interesse. Il progetto REFORM ha costituito l'impostazione tecnica su cui si è effettuata la catalogazione. Una volta individuati i fiumi aventi proprietà simili, si è proceduto con la regionalizzazione degli stessi. Innanzitutto è stato necessario ricavare i bacini idrografici, successivamente si sono costruite i 4 grafici regionalizzati, per le categorie più comuni, risultate dalle classificazioni.

Il lavoro sviluppato si è basato su una descrizione morfologica dei corsi d'acqua, infatti in fase di classificazione, i discriminanti tra una categoria e un'altra sono stati inizialmente la disposizione del fiume/torrente dal punto di vista planimetrico in cui è stato possibile tramite l'indice di Sinuosità (Si) e l'indice di Braiding (Bi) caratterizzare la loro sinuosità e il loro grado di intrecciamento. Il substrato ha giocato un ruolo di prim'ordine in quanto è stato possibile procedere alla classificazione di 2° livello ed estendere la catalogazione a 23 tipologie differenti di corsi d'acqua (classificazione estesa). La regionalizzazione ha richiesto la determinazione dei valori d'estensione del bacino imbrifero. La sezione di chiusura è stata individuata considerando la scala di tratto, ossia in funzione del sottotratto analizzato, si è calcolato il valore nel punto d'inizio del tratto comprendente il sottotratto stesso. Per far ciò, con l'aiuto di alcune mappe reperibili in rete è stato possibile individuare quei punti di discontinuità caratterizzanti il confine di tratto. Tale discontinuità è stata individuata per esempio in corrispondenza di affluenti, oppure tramite sezioni che ospitassero costruzioni idrauliche, o ancora

punti in cui ci fosse un rilevante cambiamento di substrato in grado di modificare le condizioni idromorfologiche del corso d'acqua.

Da questo punto di vista possiamo notare come questo lavoro di tesi non abbia affrontato l'analisi dei corsi d'acqua da un punto di vista idraulico e questo può risultare uno sviluppo futuro che potrà essere interpretato come la naturale continuazione di questo elaborato. Legandosi inoltre alla regionalizzazione dei fiumi/torrenti esaminati sarà possibile ricavare il valore minimo di flusso ambientale per garantire la regolare vita della fauna ittica. Sarà possibile inoltre ottenere la disponibilità di habitat minimo per le specie target analizzate.

I criteri messi in pratica in questo argomento di tesi come peraltro la stessa metodologia MesoHABSIM, si sono dimostrati strumenti utili e validi per la caratterizzazione morfologica, in grado di stimare accuratamente gli habitat disponibili in funzione di specifiche condizioni di flusso.

RINGRAZIAMENTI

Grazie Mamma per avermi insegnato l'amore materno, l'affetto e la generosità per il prossimo.

Grazie per avermi portato alle Caravelle, facendomi la solita sorpresa alla mattina appena sveglio, di avermi mandato in gita con i compagni di scuola, di avermi curato quando ero ammalato e di avermi dato i tick-tack quando mi venivi a prendere alle elementari per via dell'allergia.

Grazie per avermi cullato quando ero piccolo anche se probabilmente avevi sonno anche te, per aver sorriso anche quando le cose non andavano poi così bene, per avermi organizzato le feste di compleanno da piccolino, per avermi fatto studiare così da poter essere una persona migliore. Hai raggiunto il tuo obiettivo; sei stata una Super-Mamma!

Grazie Andrea per avermi insegnato l'onestà, la tolleranza verso le altre persone e il rispetto per il lavoro.

Grazie, per avermi portato al mare con gli altri bambini, di aver giocato con me come fossi stato uno di noi; e tra una canzone di Guccini e una di Vecchioni...capivo quali erano i valori fondamentali che spostano il Mondo.

Grazie di aver "contrattato" con me i corsi di nuoto; per avermi mandato a scuola anche se c'era la neve o ancora nei casi in cui miei compagni di classe decidevano di fare "sciopero". Grazie per avermi insegnato le equivalenze; per aver giocato alla lotta sul divano di casa e per avermi insegnato come si fa il papà. Sei stato il mio Piedone lo Sbirro!

Ora che tutte queste cose non si possono più fare, mi basta ricordarle se ho bisogno di star bene!

Grazie Davide per essermi sempre stato vicino, nei momenti di maggior tensione hai sempre proposto una soluzione valida e percorribile. Fin da quando eravamo bambini sei stato il mio punto di riferimento, e ora che siamo cresciuti siamo uno il braccio dell'altro!

Grazie per avermi indicato la via, per avermi preso per mano e avermi insegnato l'importanza della coerenza, dell'onesta verso gli altri e della purezza dei principi.

Grazie per avermi aiutato con Analisi I, avevi da concludere il tuo percorso eppure trovavi sempre del tempo per me. Sei un grande!

Grazie di aver trasformato questi anni nel periodo migliore della mia vita, l'epilogo poteva essere differente ma tu sei sempre stato al mio fianco.

Grazie per i ripetuti "nuovi miracoli torinesi", i quali arrivavano sempre nel momento giusto rallegrando le mie settimane.

Grazie per essere stato un gradino solido nei momenti difficili, se avevo bisogno di qualcosa sapevo a chi rivolgermi, per essere stato sincero e schietto in ogni occasione, per aver fatto sempre la differenza. Sei stato il mio secondo papà!

Grazie a Sonia che reputo una persona intelligente, con la quale è possibile discutere dei temi più vari essendo sempre certi che contribuirà a fornire un aiuto sostanziale per giungere a soluzioni potenzianti ed efficaci. Grazie per stare vicino a Davide e per rendergli la vita felice.

Grazie a Giacomo il quale si è mostrato, con le sue conoscenze informatiche, indispensabile in alcuni momenti difficili del mio percorso. Le sue battute in piscina rimarranno nella storia.

Grazie a Miri e a Dino, anche se in lontananza, non mancavano occasione per starmi vicino, aggiornandosi sempre "sullo stato d'avanzamento" del ciclo di studi e congratulandosi con me per gli esami superati.

Grazie alla mia nonnina Bruna, che mi ha insegnato a essere meticoloso e preciso in tutto ciò che faccio. Il suo sostegno è stato fondamentale, e le sue tortine, hanno addolcito le mie settimane a Torino.

Grazie a mio nonno Pippo, anche se non è arrivato in tempo, sicuramente sarebbe stato contentissimo per me! Un nonno davvero divertente.

Grazie a mio Zio Marco, che a modo suo mi è stato vicino.

Grazie a mia nonna Corona, che da qualche parte, so che è fiera di me! Da quando ero bambino fino all'università ha rappresentato una colonna portante.

Grazie a mio nonno Giovanni, il quale non ha mai potuto vedere come sono cresciuto ma il suo carattere e i suoi ideali li porterò sempre con me.

Grazie a tutti i miei amici, compagni di viaggio, che in vari periodi di questa avventura, mi hanno sostenuto. In tutte le stagioni calde e fredde, quando si entrava a scuola con il buio e si usciva con il buio, quando si saltava il pranzo perché c'era lezione, quando ci consolavamo per un esame andato male e quando pensavamo di essere invincibili solo per essere riusciti a superarlo.

Grazie a Roberto che è stato per me fonte di ispirazione e di apprendimento per tutto il ciclo di studi. Ora ricompre il ruolo che merita.

Grazie a Fabio che in lontananza mi è stato vicino, aiutandomi disinteressatamente, per superare esami davvero importanti.

Grazie a Luca e ad Elia con i quali ho trascorso parte di questo percorso di studio e che mi sono sempre stati vicini nel momento del bisogno. Non potevo chiedere amici migliori.

Grazie a Emiliano con il quale ho condiviso tutto, che conosco ormai da una vita e a cui sono legato fino dai tempi delle scuole superiori. Siamo stati due tra i pochissimi “sopravvissuti” a questo lungo cammino ma ne è valsa la pena non “dargliela vinta!”.

Grazie a chi ha voluto starmi vicino, a chi mi ha dato una parola di conforto quando le cose andavano male, e grazie anche a chi mi ha detto in un momento difficile: *“Ma hai bisogno di un altro anno per capire che “la dentro” non combinerai niente?!”*. La risposta è *“sì”*, *ho avuto bisogno di un altro anno, amico!*

COSA CONTA VERAMENTE

La **Perseveranza**. Non so quanti conoscono il suo significato nel suo senso più profondo. Se cerchiamo la definizione sul dizionario troviamo “*costanza di atteggiamento o di comportamento accompagnata o motivata da propositi virtuosi o sostenuta da convinzioni personale [...]*” Dunque la *perseveranza* consiste nel susseguirsi di un modo di fare o di una condotta per un indeterminato arco temporale. Ciò che rende complicato l’essere *perseverante*, dal mio punto di vista, sono l’indeterminazione temporale e le convinzioni personali. La prima riguarda l’imprecisato tempo a cui si deve far fronte per ottenere risultati, ciò che è indefinito e non è sotto il nostro controllo...fa paura. La seconda interessa il fatto stesso che essa si basi su principi virtuosi o su convinzioni personali. Di per sé essi non hanno né “consistenza” né concretezza, dunque siamo noi stessi che in virtù delle certezze che possediamo, dobbiamo continuare ad alimentare il fuoco della *perseveranza*. È risaputo che l’uomo ha timore di ciò che è incerto, infatti nessuno può avere la tranquillità che persistendo per un dato periodo di tempo otterrà risultati positivi. Dunque il tutto è sostenuto da una solida convinzione personale e da una infinità capacità di adattarsi alle varie situazioni che si incontrano.

La perseveranza ancora, è una caratteristica di chi non si arrende davanti alle difficoltà, di chi si dimostra paziente e determinato a raggiungere la meta. “*Niente nel mondo può sostituire la perseveranza. Non il talento: non c'è nulla di più comune di uomini di talento privi di successo. Non il genio: il genio non riconosciuto è un luogo comune. Solo la perseveranza e la determinazione possono tutto*” - C. Coolidge. In un noto film si diceva “*L'importante non è come colpisci, l'importante è come reagisci, come incassi e se finisci al tappeto hai la forza di rialzarti così si è un vincente...e se credi di essere un vincente lo devi dimostrare...quindi in piedi!*”. Non si scala una montagna, e non si arriva in vetta con le “*mani in tasca*”, bisogna essere consapevoli che certe volte ci si deve “*mettere in ginocchio*”, per avanzare, alcune volte si uscirà sconfitti, e altre volte invece si urlerà di gioia per avere raggiunto un obiettivo intermedio. H Ford diceva che “*Un fallimento è un'opportunità di rifare una certa cosa...questa volta in maniera più intelligente*”.

Tutto ciò per dire che questo corso da Ingegnere civile mi ha cambiato completamente, mi ha reso più consapevole del valore dello studio, mi ha fornito la possibilità di meditare quanto estesa possa essere

l'arco della conoscenza, ma soprattutto mi ha fatto capire quanto sia possibile ottenere un obiettivo se lavori intensamente per raggiungerlo. Mi ha insegnato a non fermarmi alla “*superficie degli eventi*” ma di approfondire il più possibile la materia di studio. Ci ho messo più tempo del previsto, ma sono sicuro di aver dato tutto quello che era in mio possesso per ottenerlo, e forse, anche qualcosa in più! È stato un bel viaggio, pieno di insidie e di preoccupazioni...ma anche comprensivo di momenti di felicità, di condivisione e di euforia.

In questo percorso sono stato ispirato da molte persone, in cui ogni volta che mi trovavo in difficoltà mi chiedevo: “*Come si comporterebbe in questa situazione?*”. Anche questo modo di pensare ha avuto un impatto significativo sul raggiungimento dell'obiettivo finale. Credo che dagli eroi di una persona si possa capire tanto della stessa e di seguito propongo i miei:



RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

G. Negro (2016): Costruzione, debugging e applicazione di strumenti GIS per la modellazione dell'habitat fluviale.

P. Vezza, A. Zanin, P. Parasiewicz: Manuale tecnico-operativo per la modellazione e la valutazione dell'integrità dell'habitat fluviale.

http://www.nationalgeographic.it/natura/animali/2018/10/30/news/piu_che_dimezzato_il_numero_di_vertebrati_tra_il_1970_e_il_2014-4170407/

<http://www.comunesanmichele.it/tagliamento>

<https://it.depositphotos.com/87121542/stock-photo-winding-river-in-the-forest.html>

M. Rinaldi, N. Surian, F. Comiti, M. Bussetini (2016): Sistema di valutazione idromorfologica, analisi e monitoraggio dei corsi d'acqua.

P. Vezza (2011), P. Parasiewicz, M. Rosso e C. Comoglio: Defining minimum environmental flows at regional scale: Application of mesoscale habitat models and catchments classification.

A.M. Gurnell, M. Bussetini, B. Carmenen, M. González Del Tàngo, R.C. Grabowsky, D. Hendriks, A. Henshaw, A. Latapie, M. Rinaldi, N. Surian (2014): Restoring rivers FOR effective catchment Management.

P. Vezza, P. Parasiewicz, M. Spairani e C. Comoglio (2014): Habitat modeling in high-gradient streams: the mesoscale approach and application.

N. Surian, M. Rinaldi, L. Pellegrini: Linee guida per l'analisi geomorfologica degli alvei fluviali e delle loro tendenze evolutive.

<https://www.minambiente.it/direttive/direttive-acque>

<https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2000/6/oj/ita/pdf>