



Autorità di Bacino  
Distrettuale del Fiume Po



# Corso di formazione Ambiente Fiume

18 aprile 2024

## Processi fluviali

Andrea Mandarino, UniGe-DISTAV e CIRF



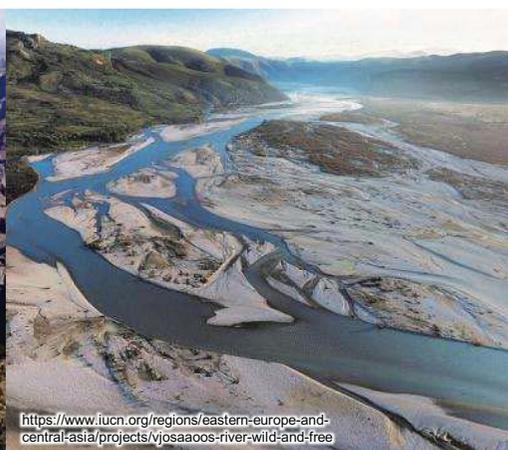
Università  
di Genova

DISTAV DIPARTIMENTO  
DI SCIENZE DELLA TERRA,  
DELL'AMBIENTE E DELLA VITA



Centro Italiano per la  
Riqualificazione Fluviale

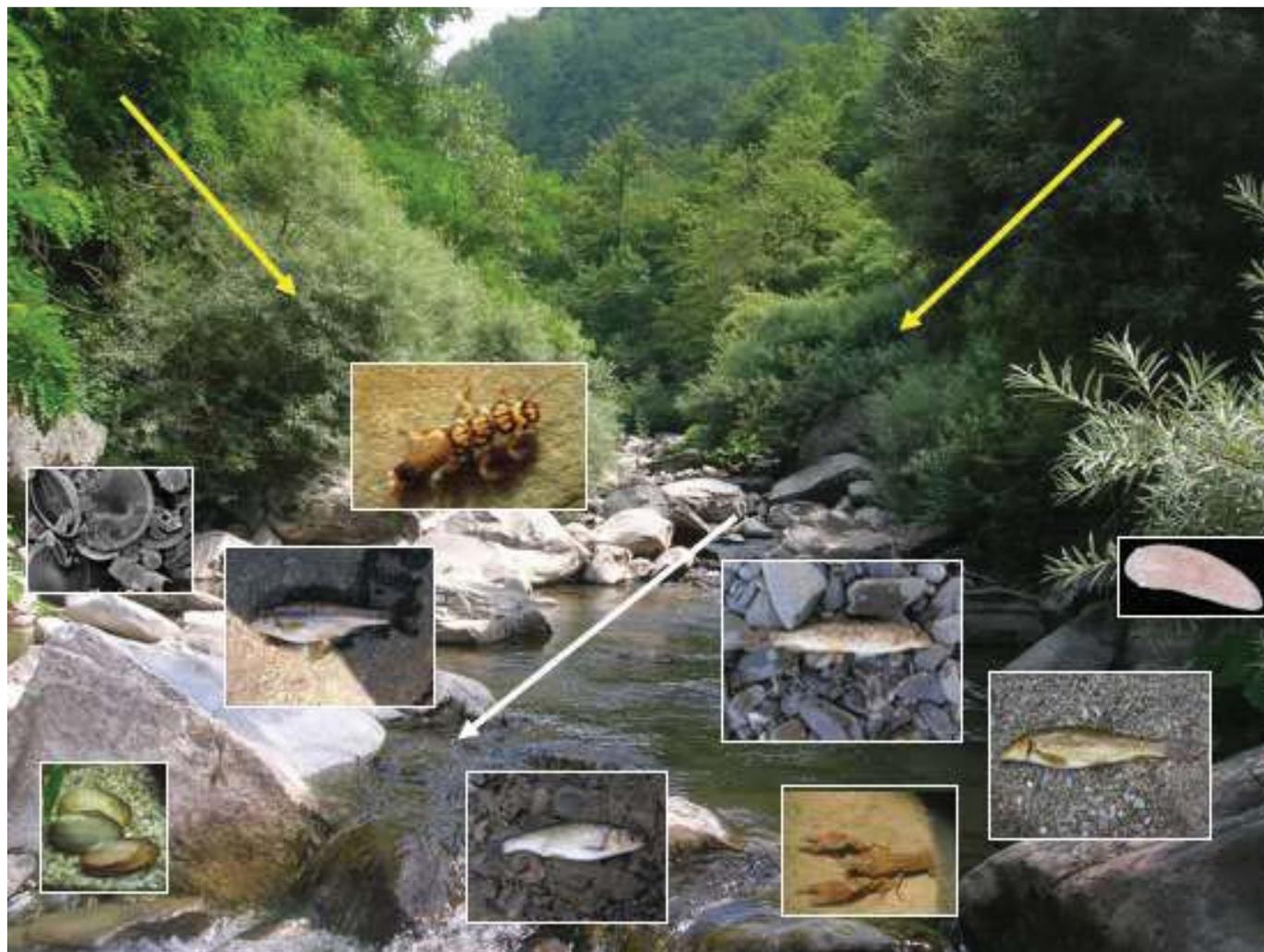
# La diversità dei corsi d'acqua

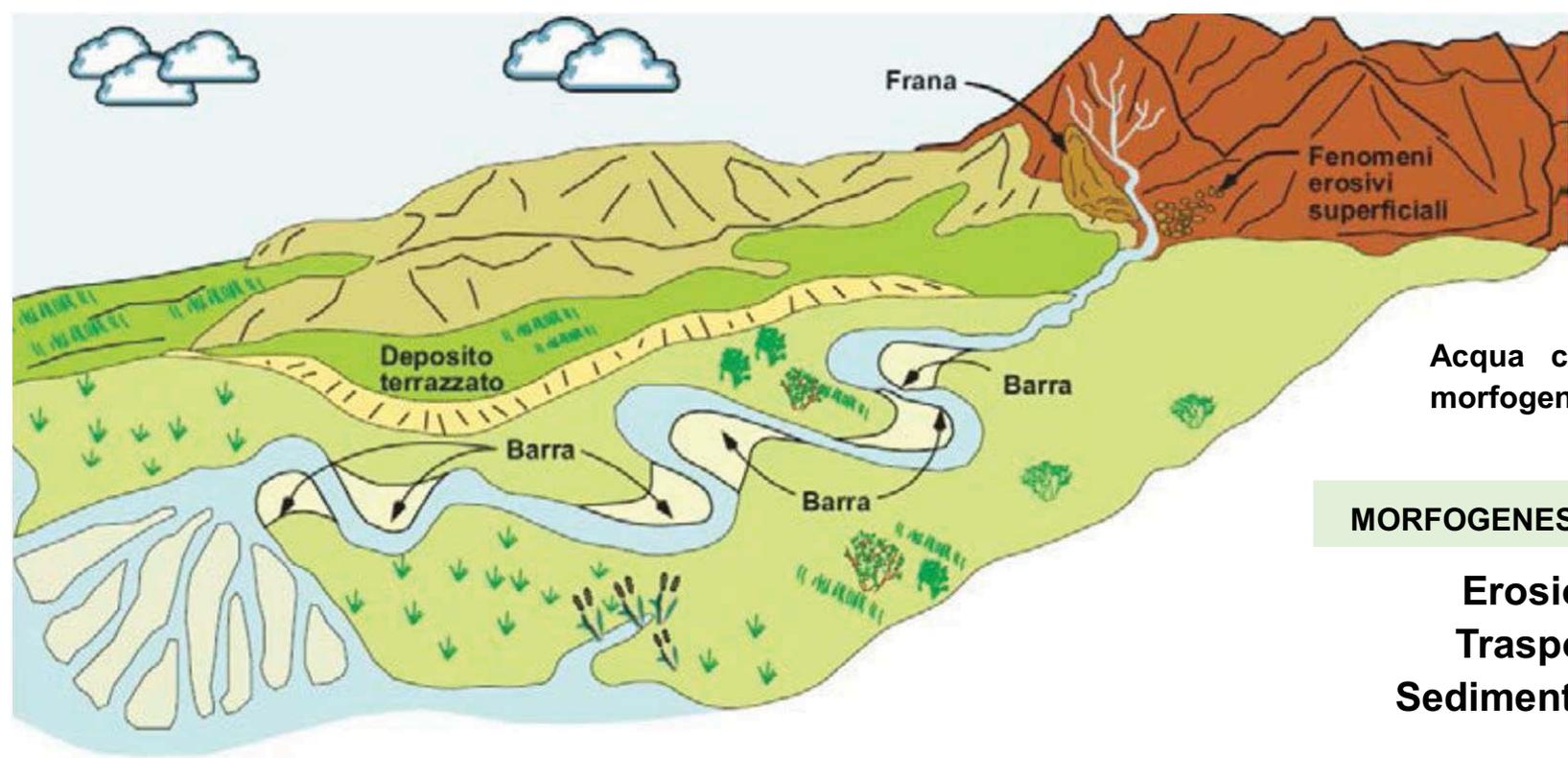


<https://www.nationalgeographic.org/hires/world-rivers/>

Corsi d'acqua:  
elementi  
caratterizzanti gran  
parte dei paesaggi  
della Terra

# L'ecosistema fluviale





Corsi d'acqua: espressione diretta del sistema morfogenetico fluviale

Acqua corrente e incanalata → agente morfogenetico (modella le forme del rilievo)

**MORFOGENESI FLUVIALE**

**Erosione  
 Trasporto  
 Sedimentazione**

→ agiscono, in misura diversa, in ogni tratto del sistema fluviale.



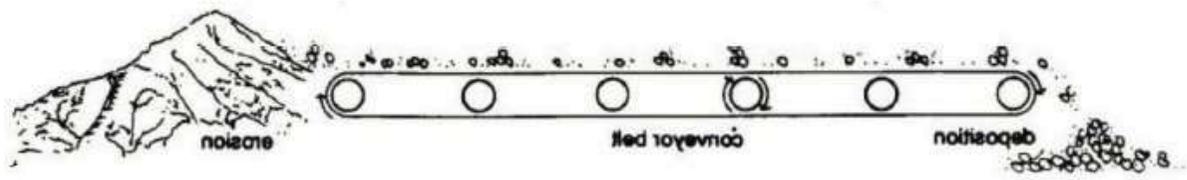
*“L'acqua alliscia li monti e riempie le valli e vorrebbe ridurre la terra in perfetta sfericità, s'ella potesse”*  
 Leonardo da Vinci

(Rinaldi et al., 2016)



Piena del Po  
22/10/2000

Tempesta «Alex» 02/10/2020



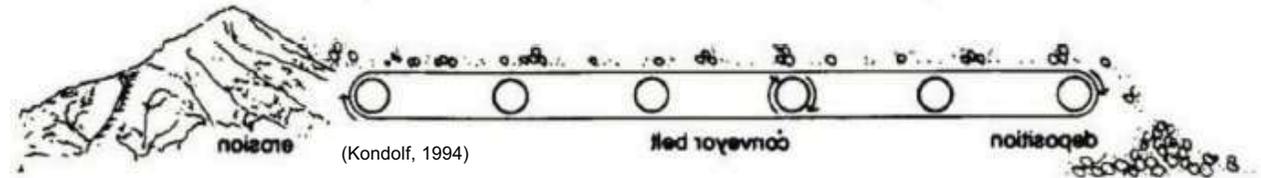
(Kondolf, 1994)

## Genova Voltri: foce del torrente Cerusa



Foto: Marco Ferrari (Università degli Studi di Genova)

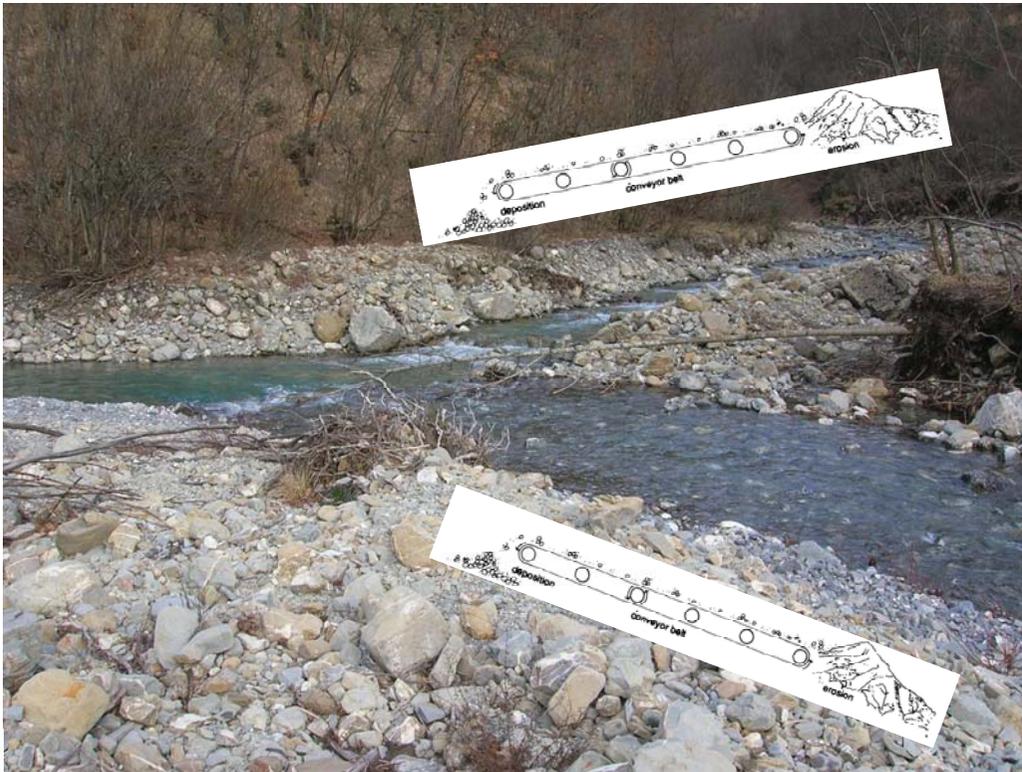
Agosto 2006 → circa 200-300 mm di pioggia concentrata in poche ore.



# Andando verso monte?



Orba - Bormida confluence, Alessandria, NW Italy (2022)



Agnellasca Creek, Borbera valley, NW Italy (2006)



Borbera Valley, NW Italy

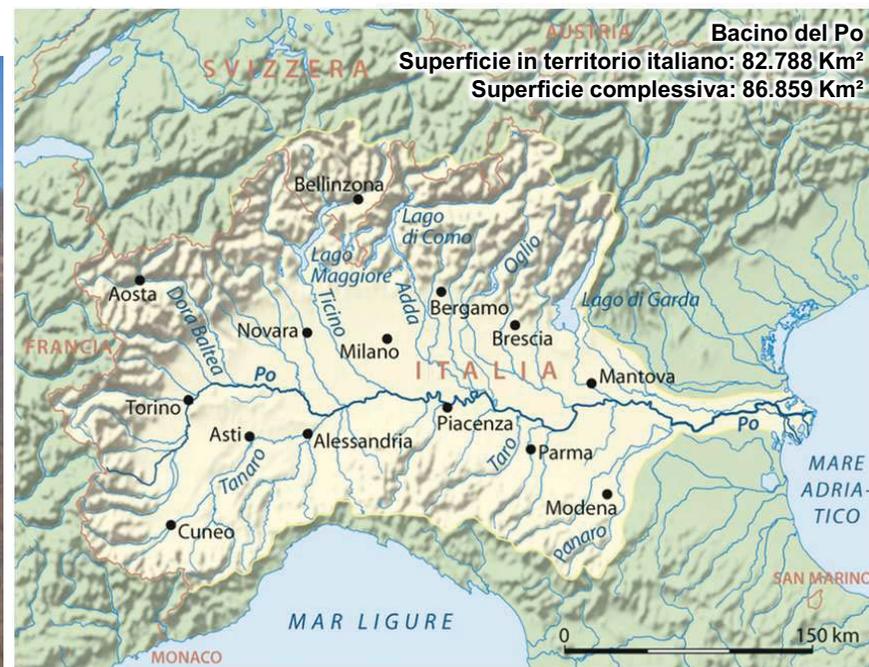
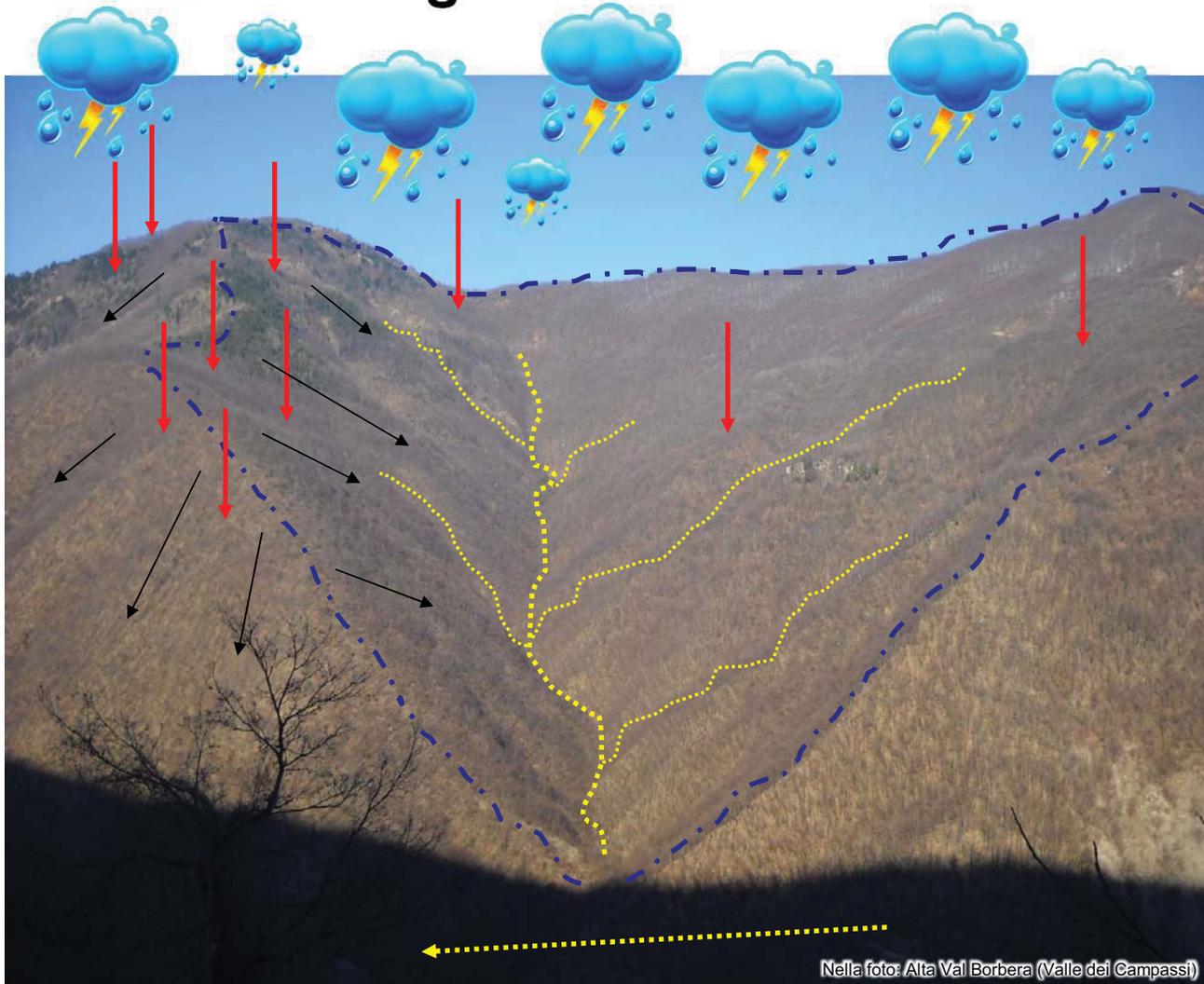


Borbera Valley, NW Italy (2013, photo by Bianchi G.L.)



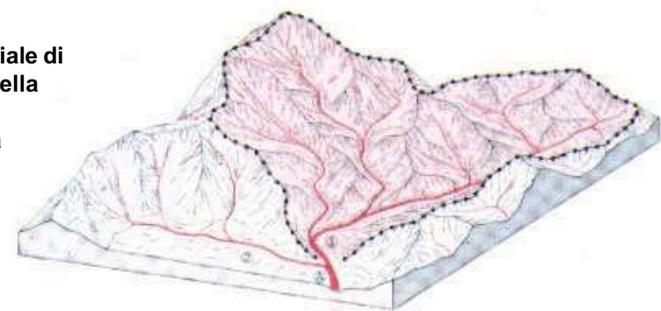
Borbera Valley, NW Italy (2023)

# Il bacino idrografico



[https://it.wikipedia.org/wiki/Bacino\\_idrografico#/media/File:Po\\_bacino\\_idrografico.png](https://it.wikipedia.org/wiki/Bacino_idrografico#/media/File:Po_bacino_idrografico.png)

Unità territoriale di riferimento della dinamica sedimentaria



# Le caratteristiche del bacino idrografico influenzano le caratteristiche del sistema fluviale

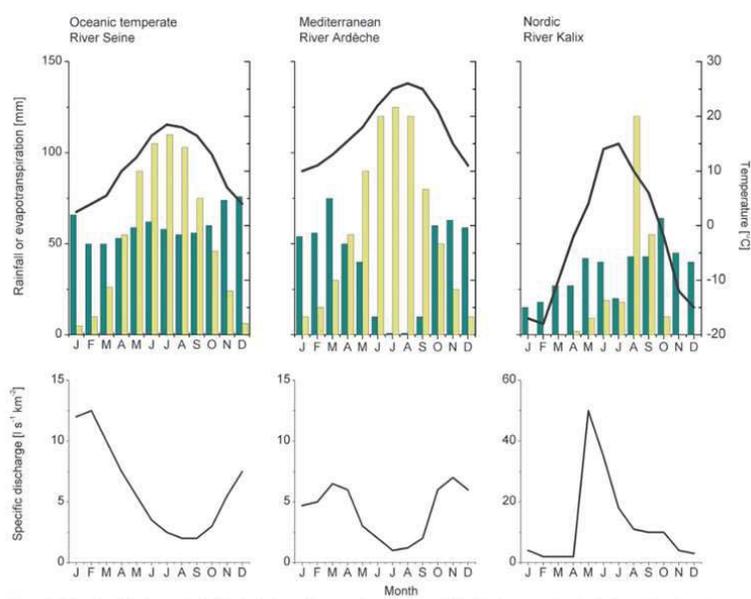


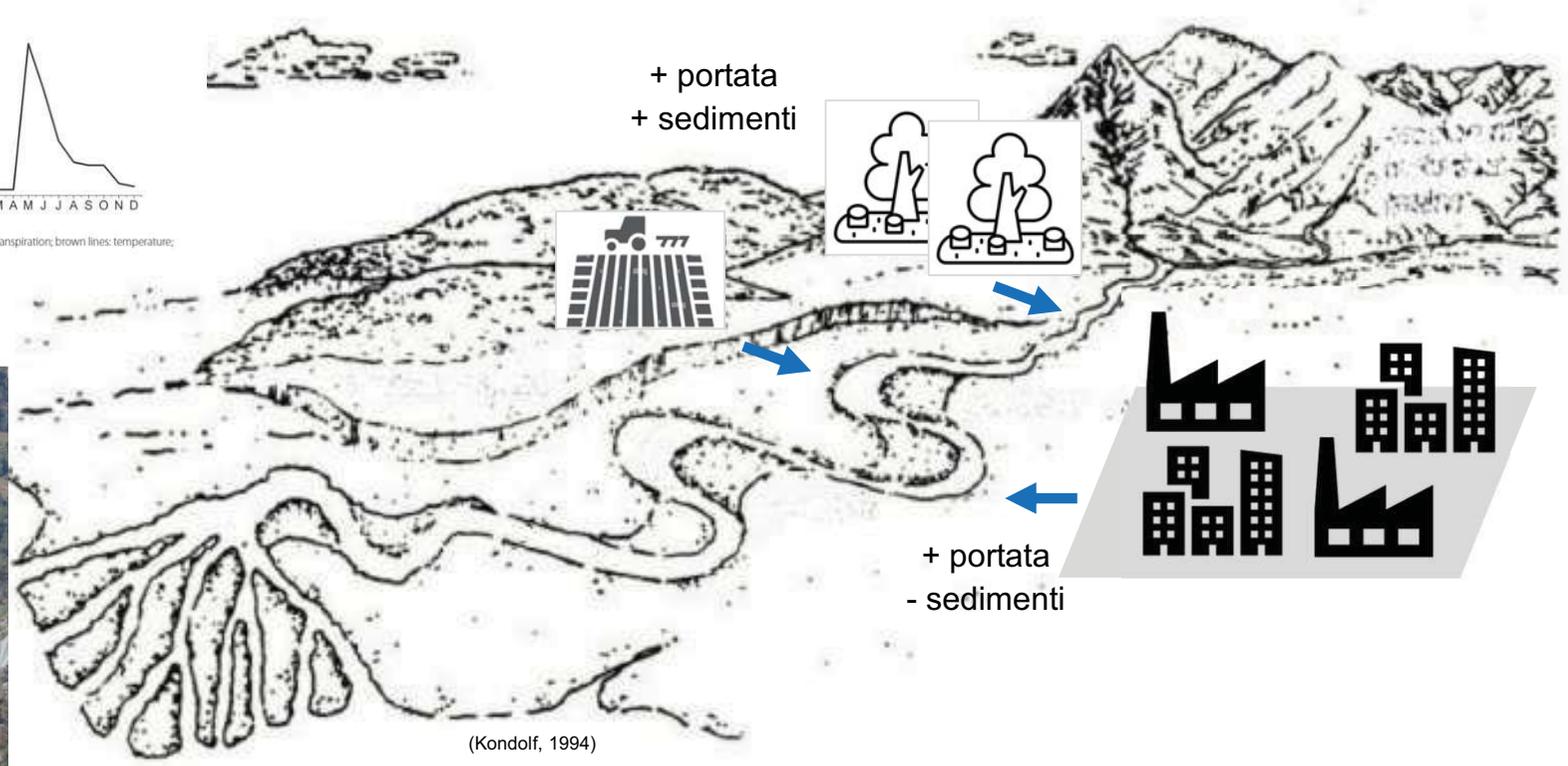
Figure 2.3 Examples of the three major hydrological regimes of European rivers. Blue bars: rainfall; yellow bars: evapotranspiration; brown lines: temperature; dark lines: specific discharge

Durand et al., 2011  
<https://www.researchgate.net/publication/260244756>  
 \_Nitrogen\_processes\_in\_aquatic\_ecosystems

Bormida, NW Italy (2021)



**CLIMA** → precipitazioni; vegetazione  
**CARATTERISTICHE GEOLOGICHE (I.s.)**  
**USO DEL SUOLO**



# L'alveo



Orba River, Castellazzo Bormida, NW Italy (2022)



Borbera Creek, Cabella Ligure, NW Italy



Alcantara River, Sicilia, Italy (2022)

**ALVEO** → porzione di superficie topografica che:

- è compresa entro le sponde o è delimitata da versanti o terrazzi antichi
- è costituita dal/i canale/i di scorrimento, dalle barre e dalle isole (porzioni di piana inondabile delimitate dall'alveo) e dalla vegetazione eventualmente presente.

*unità morfologiche*



Confinato / non confinato / semi-confinato

A fondo fisso / a fondo mobile

ALVEO A PIENE RIVE | ALVEO INCISO | ALVEO ATTIVO

**Configurazione morfologica** = aspetto/assetto planimetrico dell'alveo /// è definito da come le unità morfologiche si assemblano e si succedono, sia in senso trasversale che longitudinale (associazione di unità morfologiche).



(from Rinaldi et al., 2016)

Borbera Stream, NW Italy (2016)

(from Rinaldi et al., 2016)



T. Orba – Castellazzo B.da (2010)



**rettilineo; sinuoso; meandriforme; sinuoso a barre alternate; wandering; a canali intrecciati; anastomizzato**

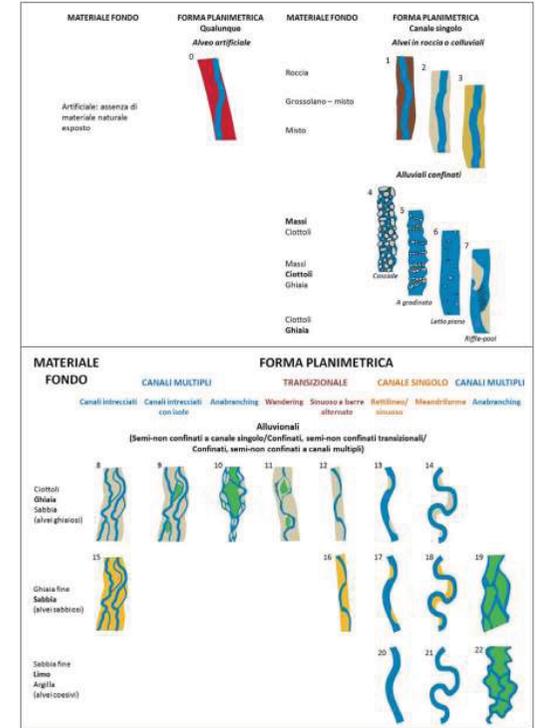


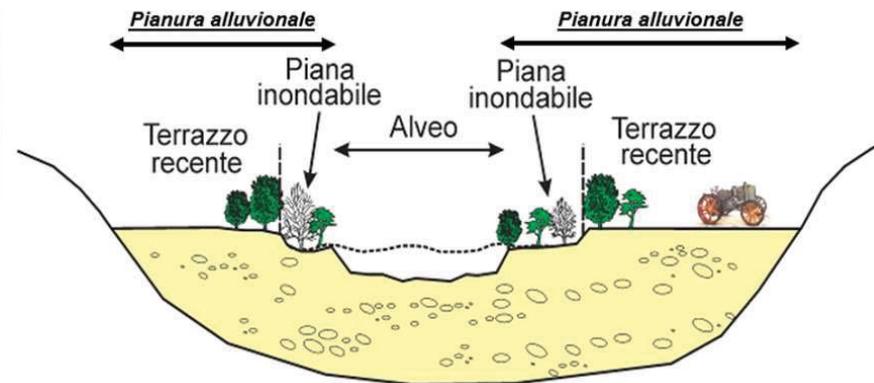
Figura 1.4 - Classificazione estesa delle tipologie morfologiche dei corsi d'acqua (*Extended River Typology*; modificato da [Rinaldi et al., 2016a](#)). Alvei artificiali: (0) A fondo artificiale. Alvei confinati a canale singolo. (1) In roccia; (2) colluviale a sedimenti grossolani - misti; (3) colluviale a sedimenti misti; (4) *cascade*; (5) a gradinata; (6) letto piano; (7) *riffle-pool*. Alvei alluvionali semiconfinati o non confinati a canale singolo, confinati/semi-fino confinati transizionali o a canali multipli. (8) A canali intrecciati ghiaioso; (9) a canali intrecciati con isole; (10) *anabranching* ghiaioso (equiv. ai tipi 3, 5 o 6 secondo [Nanson & Kneibson \(1996\)](#)); (11) *wandering*; (12) sinuoso a barre alternate ghiaioso; (13) rettilineo-sinuoso ghiaioso; (14) meandriforme ghiaioso; (15) a canali intrecciati sabbioso; (16) sinuoso a barre alternate sabbioso; (17) rettilineo-sinuoso sabbioso; (18) meandriforme sabbioso; (19) *anabranching* sabbioso (equiv. ai tipi 2 o 4 secondo [Nanson & Kneibson \(1996\)](#)); (20) rettilineo-sinuoso limoso; (21) meandriforme limoso; (22) anastomizzato (equiv. al tipo 1 secondo [Nanson & Kneibson \(1996\)](#))

(from Rinaldi et al., 2016)  
<https://www.isprambiente.gov.it/publicazioni/manuali-e-linee-guida/sum-sistema-di-rilevamento-e-classificazione-delle-unita-morfologiche-dei-corsi-dacqua>

# Oltre l'alveo (non confinato)

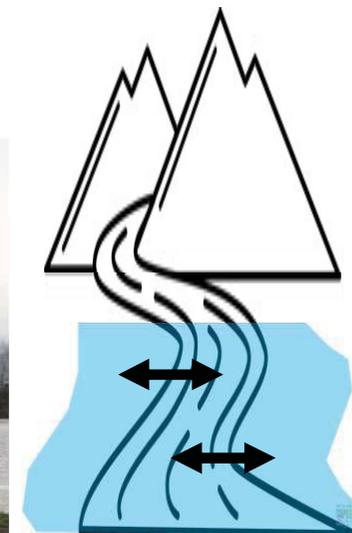


(from Sansoni, 2006)



(from Rinaldi et al., 2016)

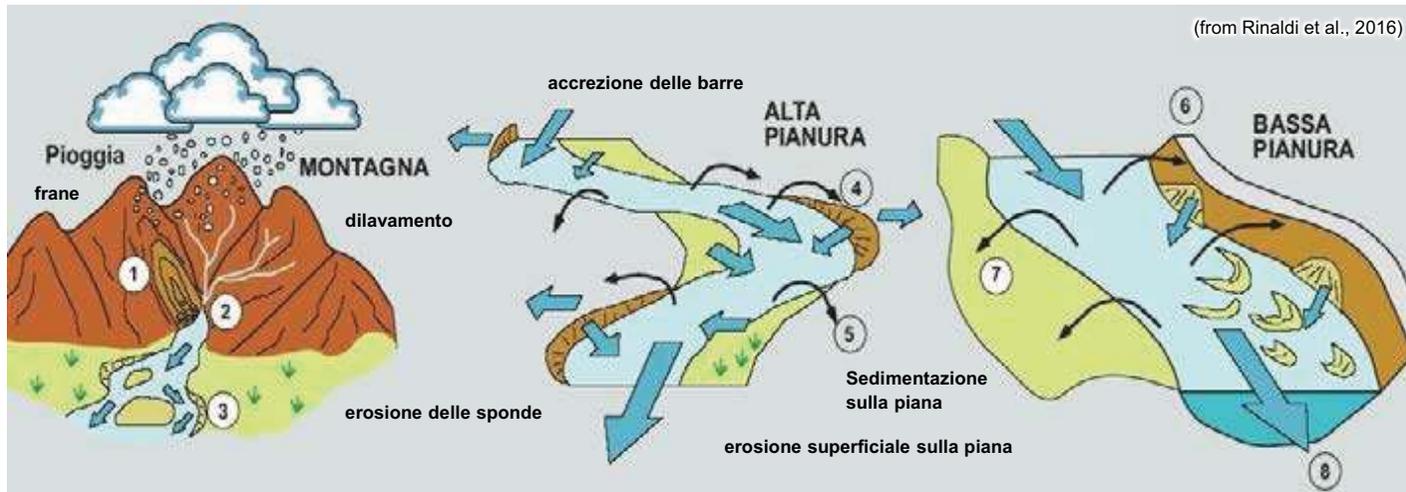
Bormida River, NW Italy (2019)



**Naturale area di espansione della piena («letto d'inondazione»)**

La piena «porta e porta via» (sedimenti, legname, ecc.)

# Sedimenti: input, output, stop & go



alveo – versanti/terrazzi antichi) → Interazioni associate a processi erosivi | alveo – piana → Interazioni associate a processi erosivi e deposizionali



→ **dipendente da precipitazioni e piene**

In alveo: - Migrazione delle barre

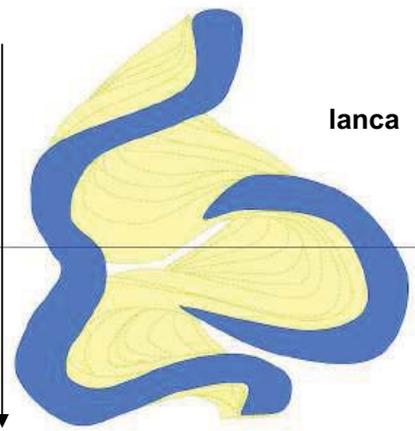


Orba River, NW Italy  
 (photo by Piero Mandarino)

Stabilità (=)  
 Aggradazione (↑)  
 Incisione (↓)



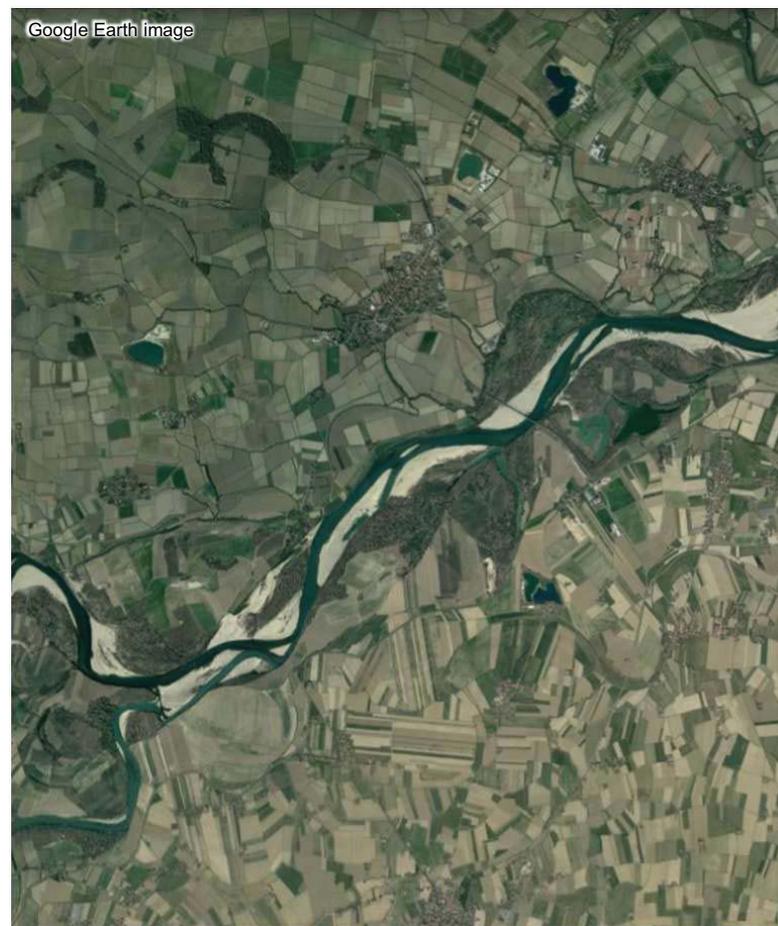
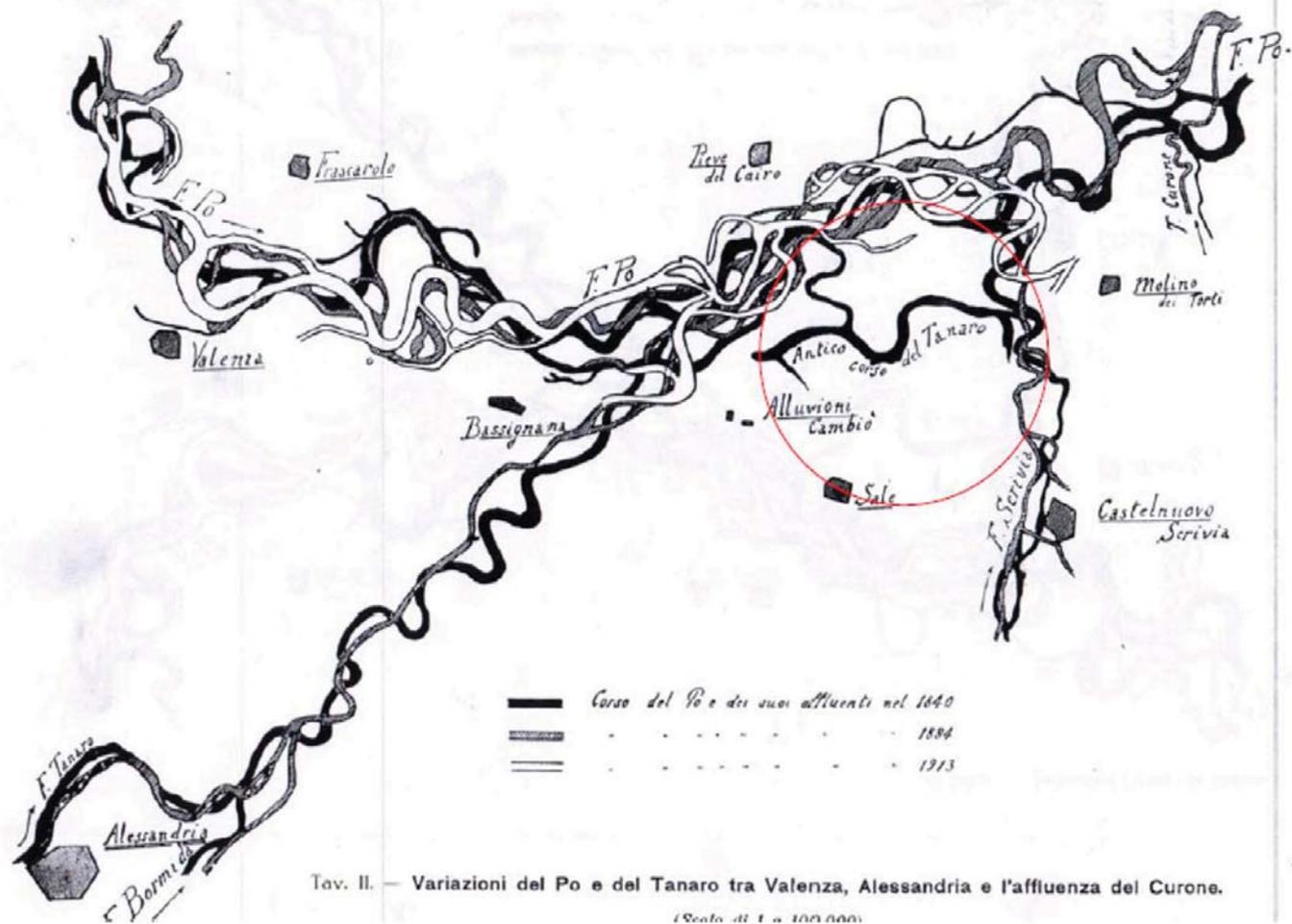
- Migrazione laterale dell'alveo



Evoluzione morfologica di un meandro nel tempo e nello spazio

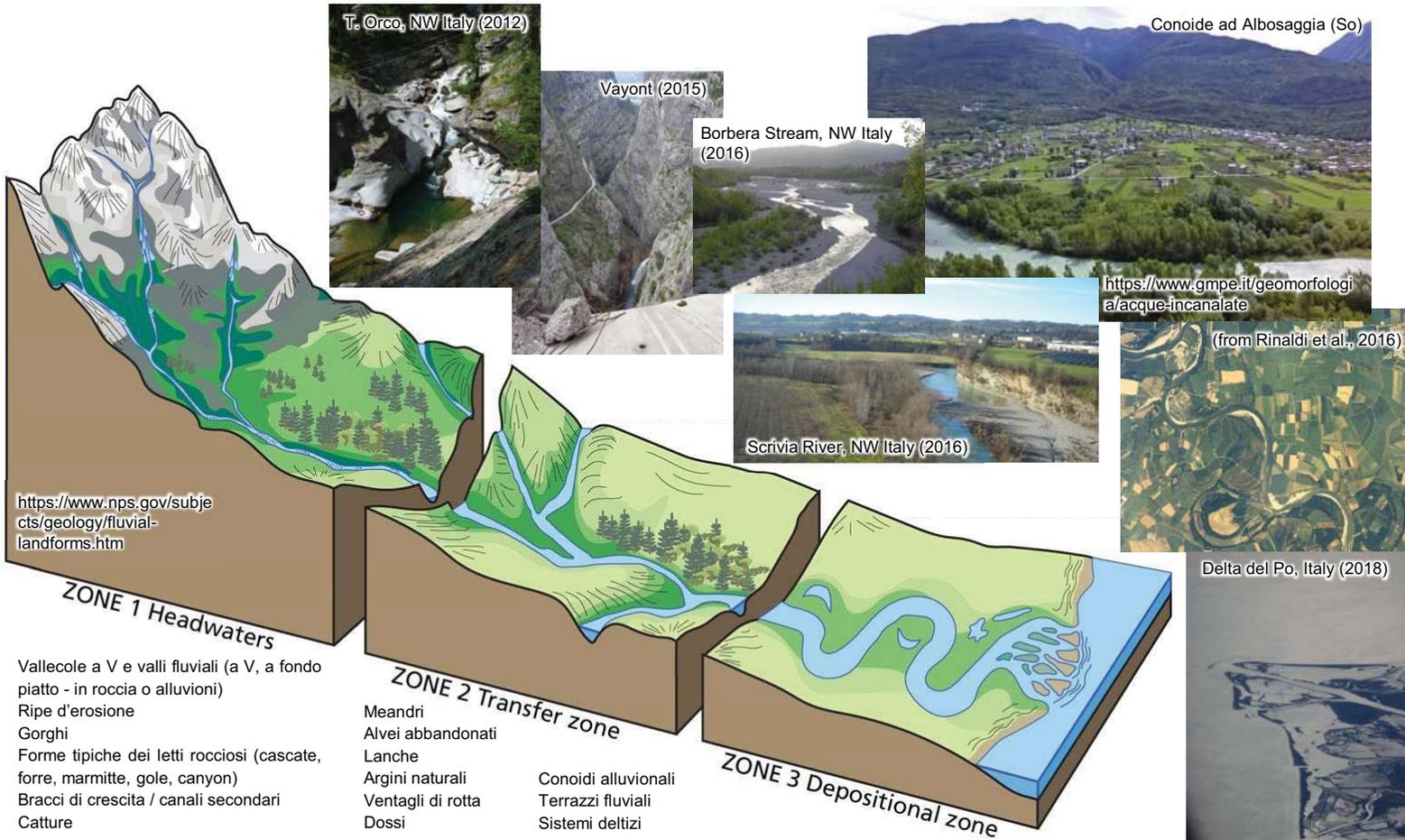
F. Sacco in "Atti del primo Congresso del Po" tenutosi a Piacenza nel 1927

F. SACCO — *Variazioni fluviali in Piemonte.*

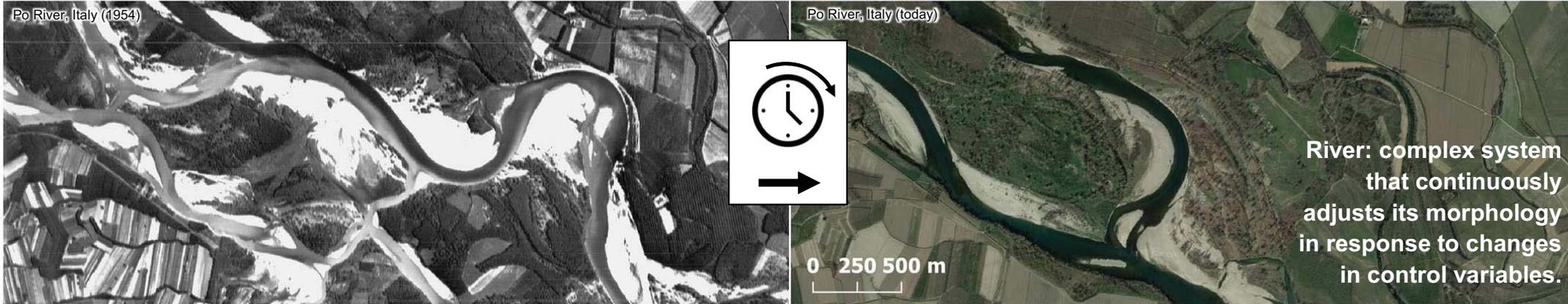


# Forme fluviali

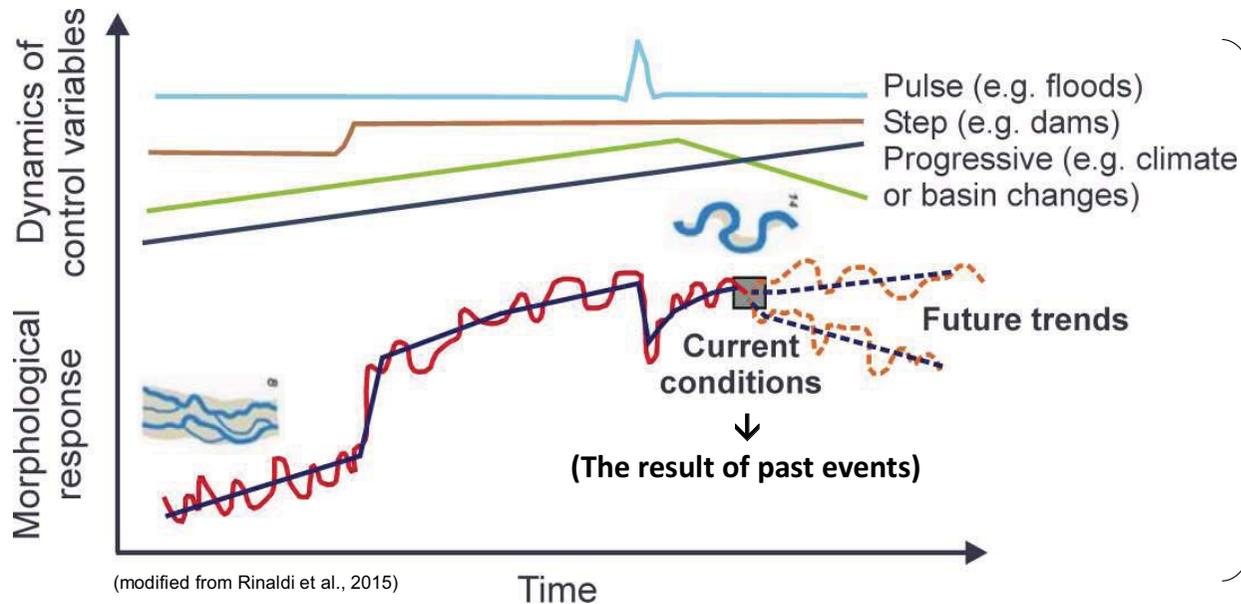
Erosione, trasporto, sedimentazione (morfogenesi fluviale) → forme (di erosione, di sedimentazione, complesse)



# L'alveo nel tempo

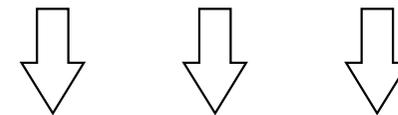


River: complex system that continuously adjusts its morphology in response to changes in control variables.



Definition of geomorphological changes over time (<250 years ago – location changes included; + analysis of possible triggering factors) is essential →

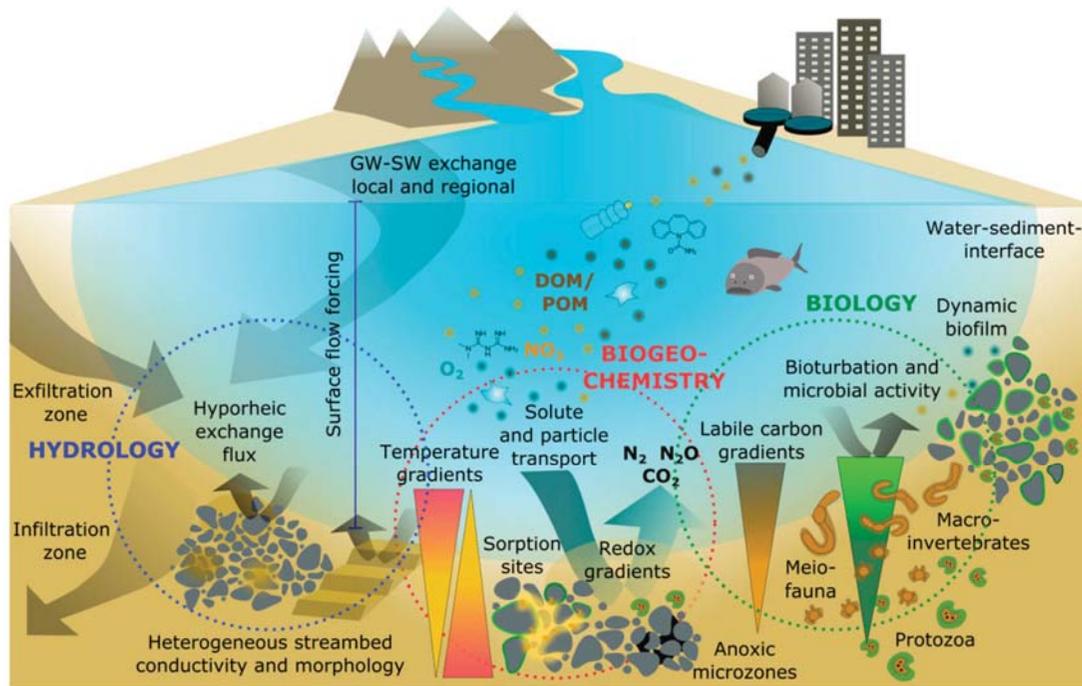
- to correctly interpret the ongoing channel conditions;
- to assess possible future trends.



**RIVER MANAGEMENT**  
 (compatible with channel adjustment trends)

# Cosa c'è sotto?

## Zona iporreica



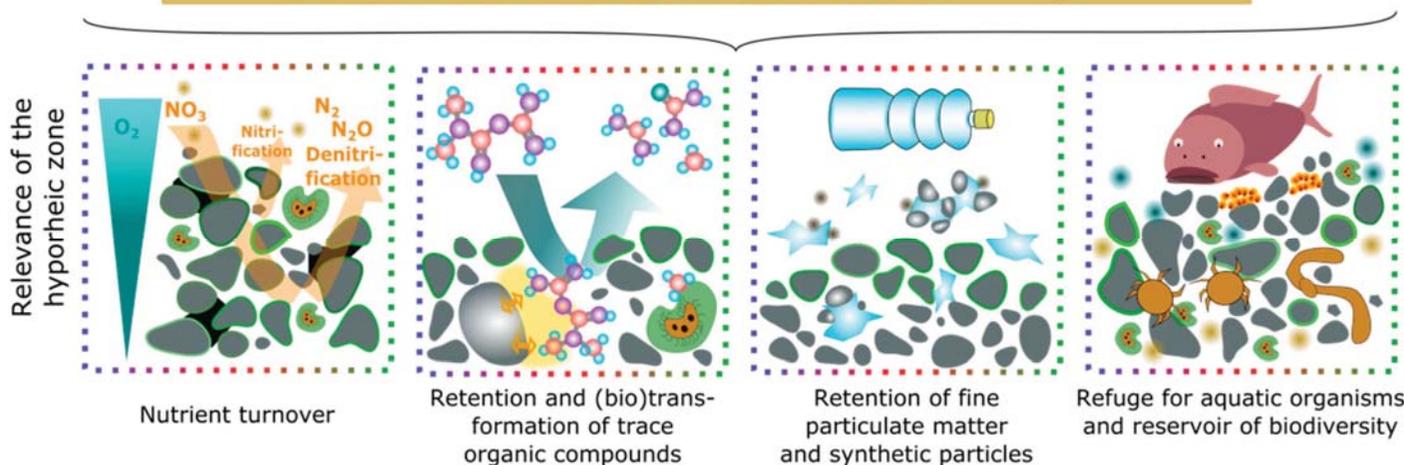
**Zona iporreica:  
Trasformatore  
Filtro  
Habitat**

<https://compass.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1749-8198.2009.00226.x>

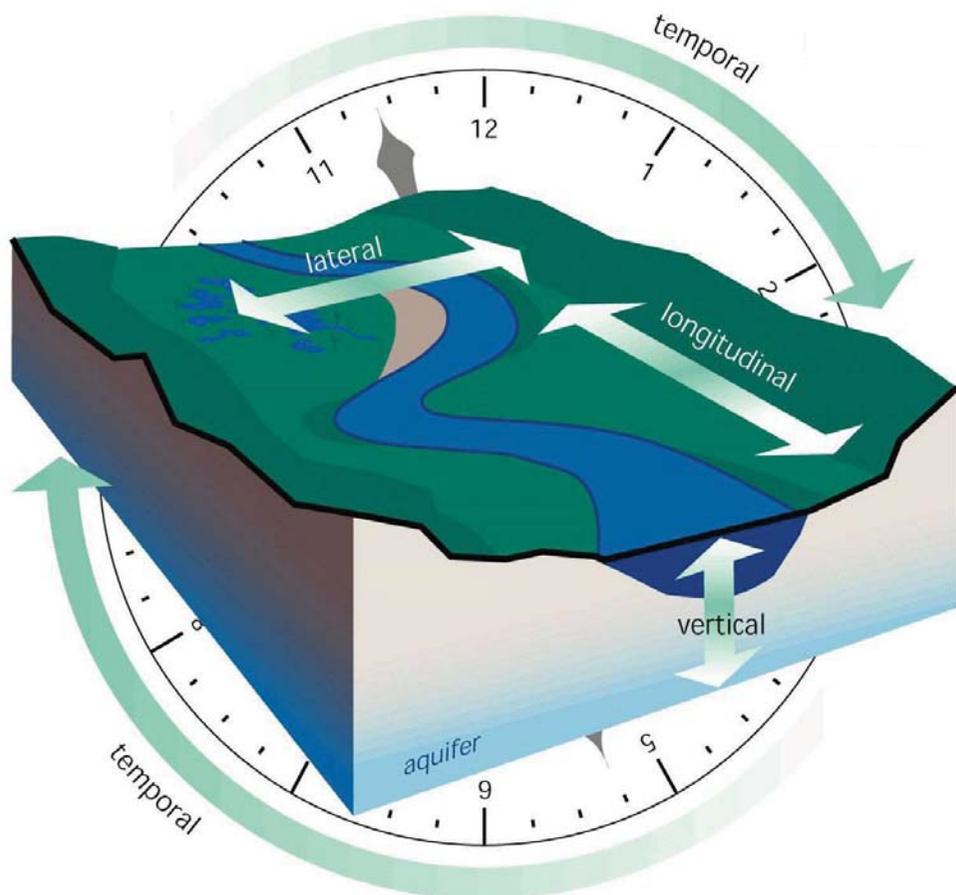
<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/2016WR020005>

Lewandowski et al., 2019

<https://www.mdpi.com/2073-4441/11/11/2230>

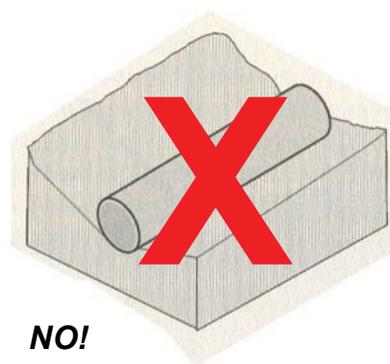


# Elementi a 4D, “connessi” e “in movimento”

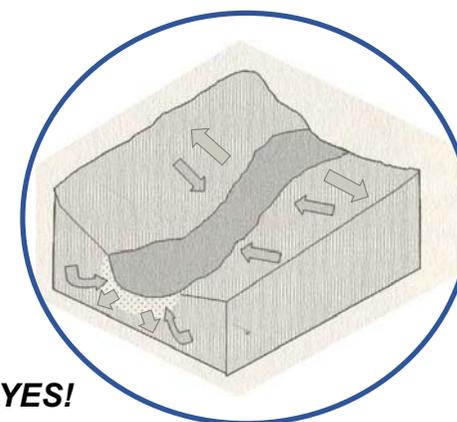


3 spatial dimensions + temporal dimension  
longitudinal lateral vertical

All 4 dimensions are highly inter-dependent.



NO!



YES!

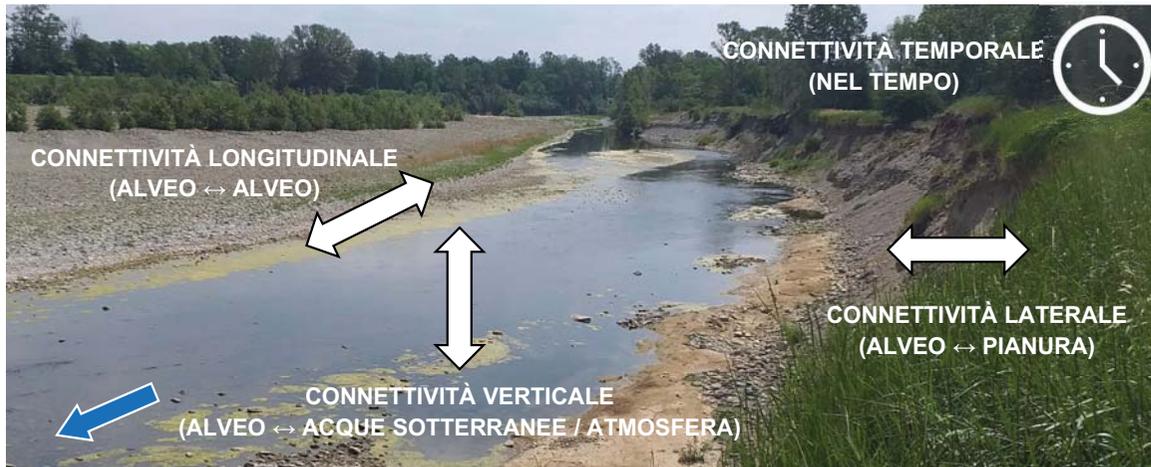
Alveo → connesso con “se stesso” e con le aree circostanti

→ Flussi/scambi:

**acqua, soluti, sedimenti, sostanza organica, organismi** (Wohl, 2017)

# La connettività

“Connectivity refers to the degree to which matter (**water, solutes, sediment, organic matter**) and organisms can move among patches in a landscape or ecosystem” (Wohl, 2017).



In riferimento ai **corsi d'acqua: connettività** → **all'interno dell'alveo e con le aree circostanti, nelle 4 dimensioni.**

*“Healthy rivers require a high degree of continuity to support the complex life cycles of many aquatic species and a functioning ecosystem”.*

<https://www.eea.europa.eu/themes/water/european-waters/water-use-and-environmental-pressures/tracking-barriers-and-their-impacts>

**Connettività / flussi → Funzionalità fluviale → Corsi d'acqua in salute → ...**

## Free-flowing rivers

*“We define FFRs as rivers where ecosystem functions and services are largely **unaffected by changes to the fluvial connectivity**, allowing unobstructed movement and exchange of water, energy, material and species within the river system and with surrounding landscapes”.*

FFRs → sono garantiti i quattro tipi di connettività

ARTICLE **nature** Corrected: Author Correction  
<https://doi.org/10.1038/s41586-019-1111-9>

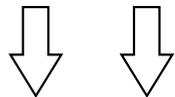
## Mapping the world's free-flowing rivers

G. Grill<sup>1\*</sup>, B. Lehner<sup>1\*</sup>, M. Thieme<sup>2</sup>, B. Geenen<sup>3</sup>, D. Tickner<sup>4</sup>, F. Antonelli<sup>5</sup>, S. Babu<sup>6</sup>, P. Borrelli<sup>7,8</sup>, L. Cheng<sup>9</sup>, H. Crochetiere<sup>10</sup>, H. Ehalt Macedo<sup>1</sup>, R. Filgueiras<sup>11,36</sup>, M. Goichot<sup>12</sup>, J. Higgins<sup>13</sup>, Z. Hogan<sup>14</sup>, B. Lip<sup>15</sup>, M. E. McClain<sup>16,17</sup>, J. Meng<sup>18,19</sup>, M. Mulligan<sup>20</sup>, C. Nilsson<sup>21,22</sup>, J. D. Olden<sup>23</sup>, J. J. Opperman<sup>2</sup>, P. Petry<sup>24,25</sup>, C. Reidy Liermann<sup>26</sup>, L. Sáenz<sup>27,28</sup>, S. Salinas-Rodríguez<sup>29</sup>, P. Schelle<sup>30</sup>, R. J. P. Schmitt<sup>31</sup>, J. Snider<sup>10</sup>, F. Tan<sup>1</sup>, K. Tockner<sup>32,33,37</sup>, P. H. Valdujo<sup>34</sup>, A. van Soesbergen<sup>20</sup> & C. Zarfl<sup>35</sup>

# I servizi ecosistemici

**Ecosistemi fluviali → forniscono servizi ecosistemici fondamentali** (per es. risorse, laminazione delle piene, autodepurazione delle acque, ricarica delle falde, ciclo nutrienti, paesaggio e fruizione)

**Servizi ecosistemici → Connettività**



Buono stato del capitale naturale

Ecosistemi «in salute» (in buono stato)

Servizi ecosistemici

Prosperità economica e benessere dell'uomo

**Rivers contribute in many ways to human wellbeing**



**Può essere molto semplice e rapido**

**Spesso costoso e complesso, talvolta impossibile**

Perdita di biodiversità

Ecosistemi indeboliti, degradati (in cattivo stato, non funzionanti)

Servizi ecosistemici ridotti o assenti

Problemi economici, cattive condizioni di vita dell'uomo

<https://twitter.com/ResearchIFI/status/1392780960098398208/photo/1>

## Consigli di lettura per i docenti

<https://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/manuali-e-linee-guida/idraim-sistema-di-valutazione-idromorfologica-analisi-e-monitoraggio-dei-corsi-dacqua> (cap. 1)

<https://www.cirf.org/manuale/>

<http://www.accademialigurediscienzelettere.it/wp-content/uploads/2021/07/Atti-Accademia-Ligure-serie-VII-vol-II-2020.pdf> (da pag. 35)

<https://www.researchgate.net/publication/333353412> L'uomo e i corsi d'acqua una convivenza che è diventata difficile fra urbanizzazioni intensive alluvioni danni e proposte di legge per rimuovere i sedimenti fluviali

Le fotografie sono di © Andrea Mandarino ove non diversamente indicato.