

Principi di geomorfologia fluviale, impatto antropico e gli effetti geomorfologici delle alluvioni estreme nei corridoi fluviali

Vittoria Scorpio

Dipartimento di Scienze Chimiche e Geologiche,
Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia

Vittoria.Scorpio@unimore.it

Cos'è un corso d'acqua? Alveo attivo



I CORSI D'ACQUA non solo acqua...

ACQUA



SEDIMENTO



+

VEGETAZIONE



+

Gli elementi del sistema fluviale



Le barre: alveo attivo

- Le barre rappresentano dei siti di **“immagazzinamento” di sedimento** facilmente (cioè frequentemente) movimentabile
- Una barra può accrescersi sia verticalmente che longitudinalmente



- **Unità sedimentarie;**
- **Depositi grossolani** (sabbia, ghiaia, ciottoli)
- **Assenza di vegetazione** o specie erbacee /arbustive
- Trasporto di fondo

Isole

Si generano per:

- stabilizzazione progressiva di **barre “alte”**
- da **accumuli di legname** con successivi ricacci (“isole pioniere”)
- **Dissezione di porzione di piana inondabile** (durante eventi di piena)



Isola legnosa

Isola arborea



Isola

La pianura inondabile

- **Superficie piatta** costruita contemporaneamente ai processi fluviali e frequentemente inondata.
- Inondata quando il pelo libero supera il livello idrico supera il livello di “piene rive”.
- **Area di migrazione laterale dell’alveo** (erosione di sponda, accumulo durante gli eventi di piena)
- **Frequenza di inondazione ogni 1-3 anni**
- Presenza di una **vegetazione** naturale spontanea



La pianura inondabile

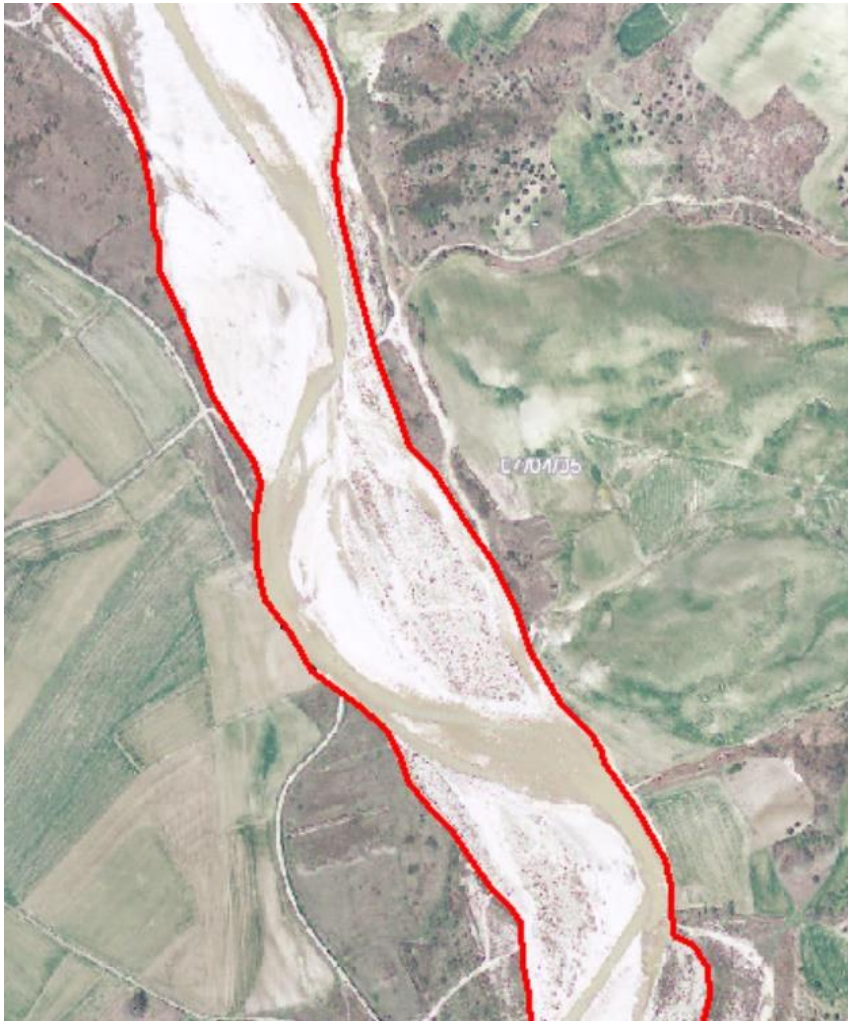


2022/3/9 12:34

La pianura inondabile



Le unità di alveo attivo



Limiti dell'alveo (sponde)

Accumuli legnosi

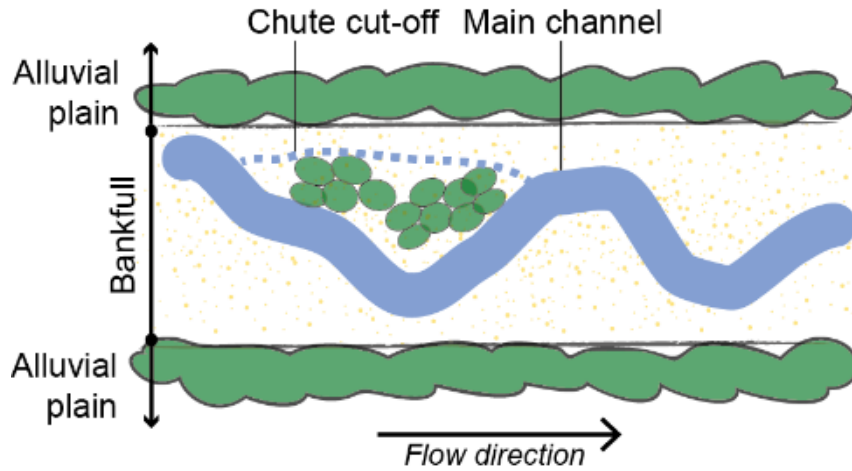
Materiale legnoso grossolano (*Large wood*, LW): diametro > 10cm e lunghezza > 1m:

- LW organizzati in **cumuli (jam)** ≥ 3 individui
- LW occupano una superficie minima di 10m²

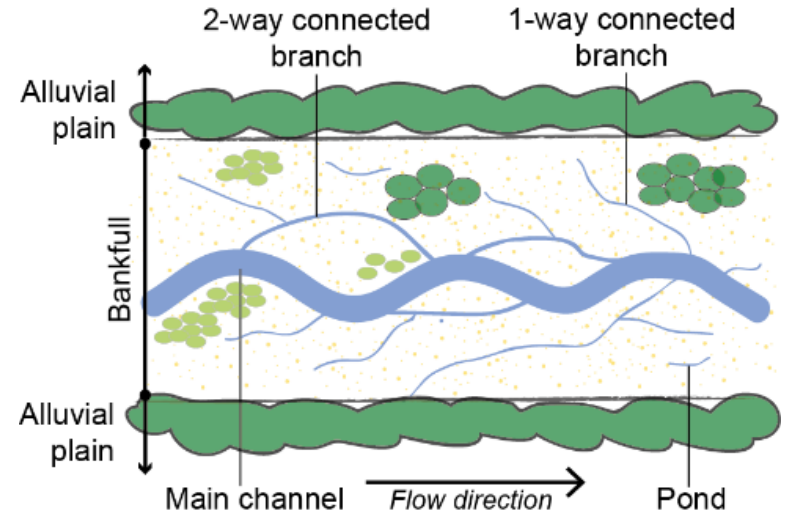


Tipologie di alvei alluvionali

Canale singolo



Canale multiplo



Canale singolo

Sinuoso



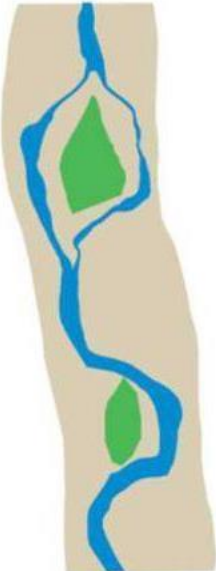
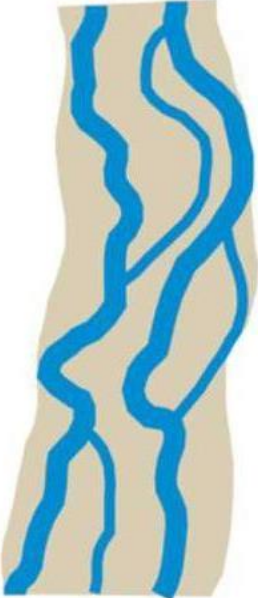
Meandriforme

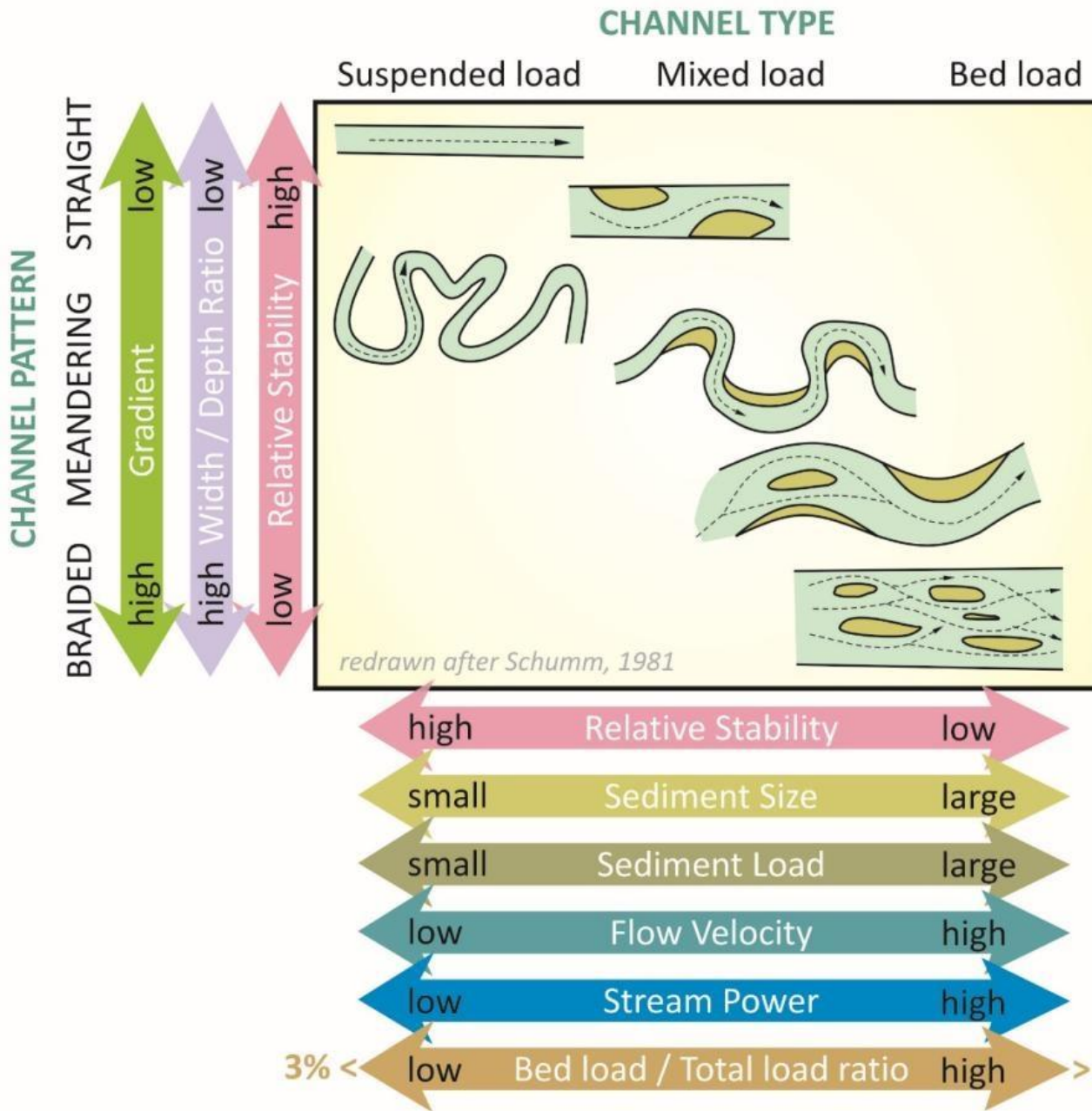


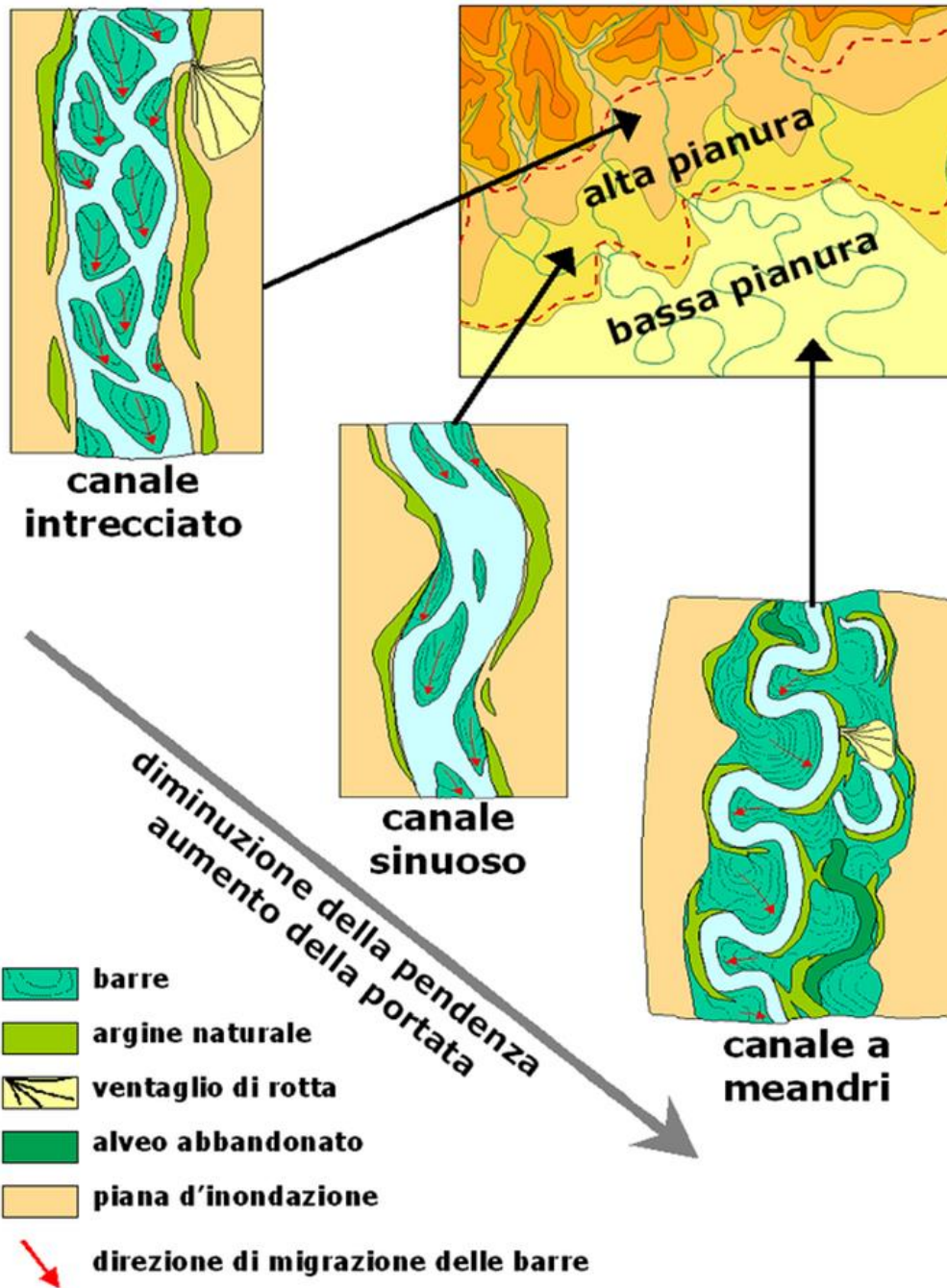
Rettilineo



Canale multiplo

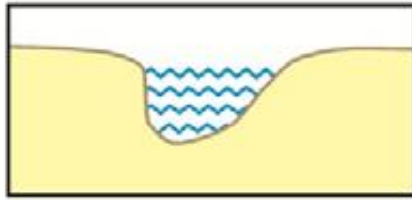






Da cosa dipende la forma di un corso d'acqua?

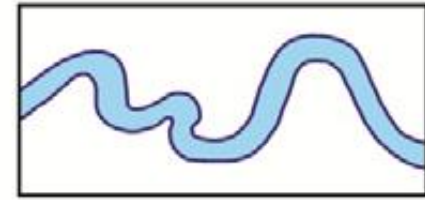
Morfologia del corso d'acqua



Geometria della sezione (larghezza, profondità)



Profilo longitudinale (pendenza del fondo)

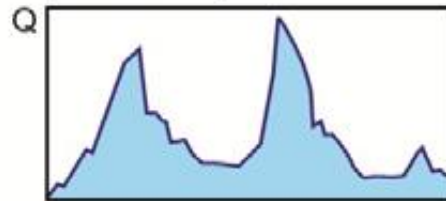


Forma planimetrica



Variabili guida

Regime delle portate liquide



Tempo

Regime delle portate solide

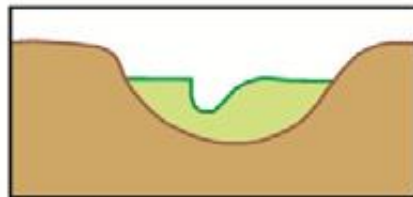


Tempo

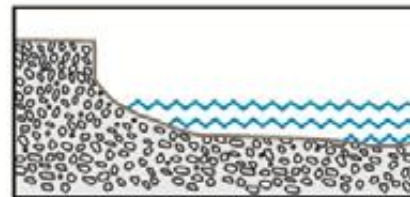
Wash load

Trasporto di materiale del fondo

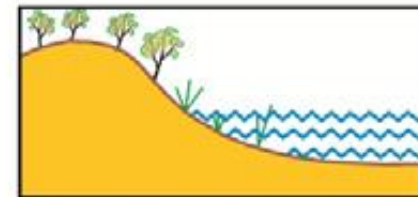
Condizioni al contorno



Pendenza e topografia della valle



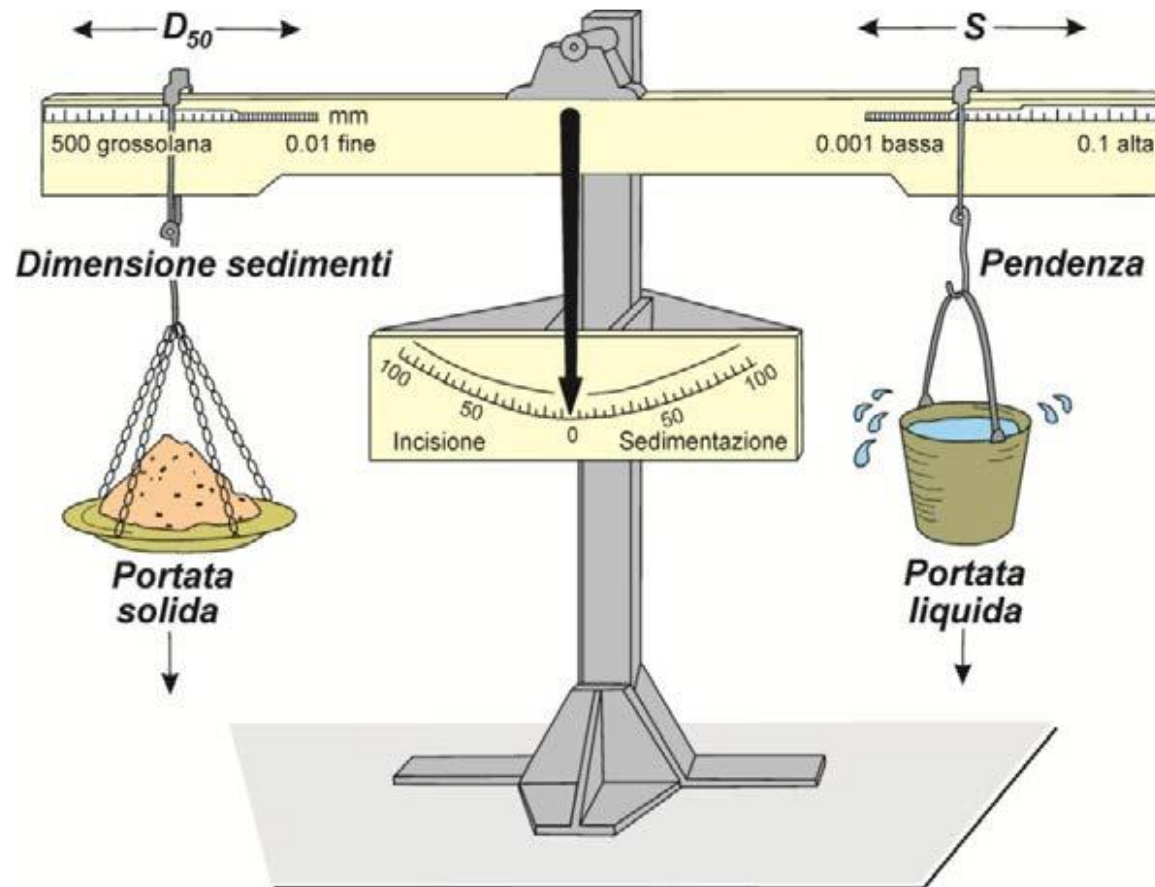
Sedimenti del fondo e delle sponde



Vegetazione riparia

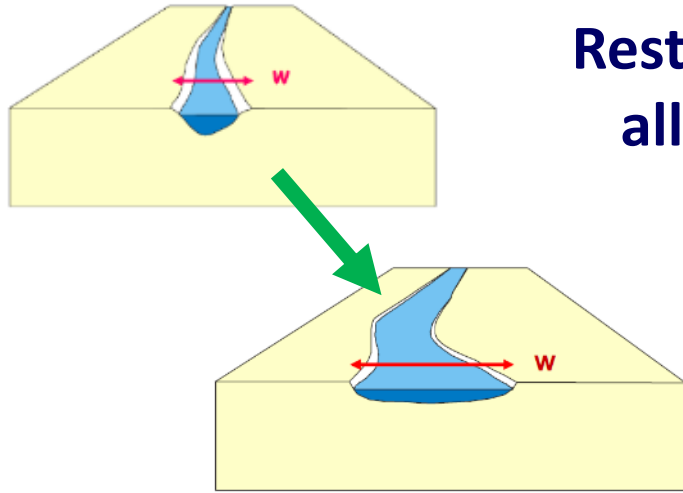
Da cosa dipende la forma di un corso d'acqua?

EQUILIBRIO DINAMICO DI UN CORSO D'ACQUA

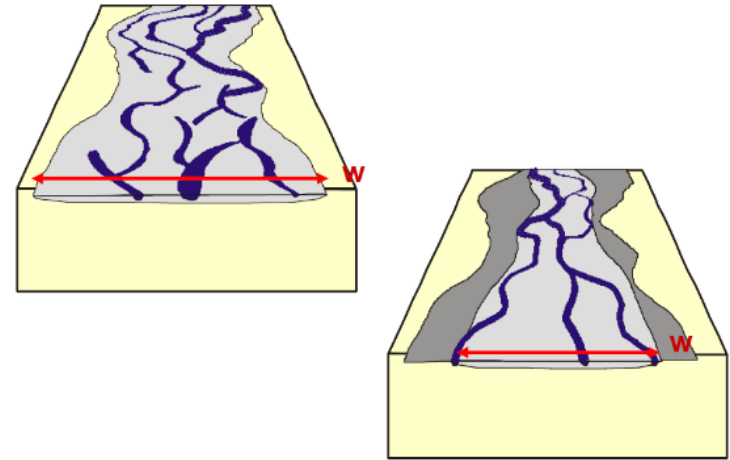


L'instabilità di un tratto di un fiume può anche essere considerata come il risultato di un'alterazione dell'equilibrio dinamico tra potenza della corrente $\Omega (= \gamma QS)$ disponibile per trasportare sedimenti e quantità e dimensioni dei sedimenti che provengono da monte e alimentano il tratto dell'alveo fluviale.

Quando cambiano le variabili guida:



Restringimento /
allargamento



Arno River, Central Italy

Fondo iniziale

Incisione

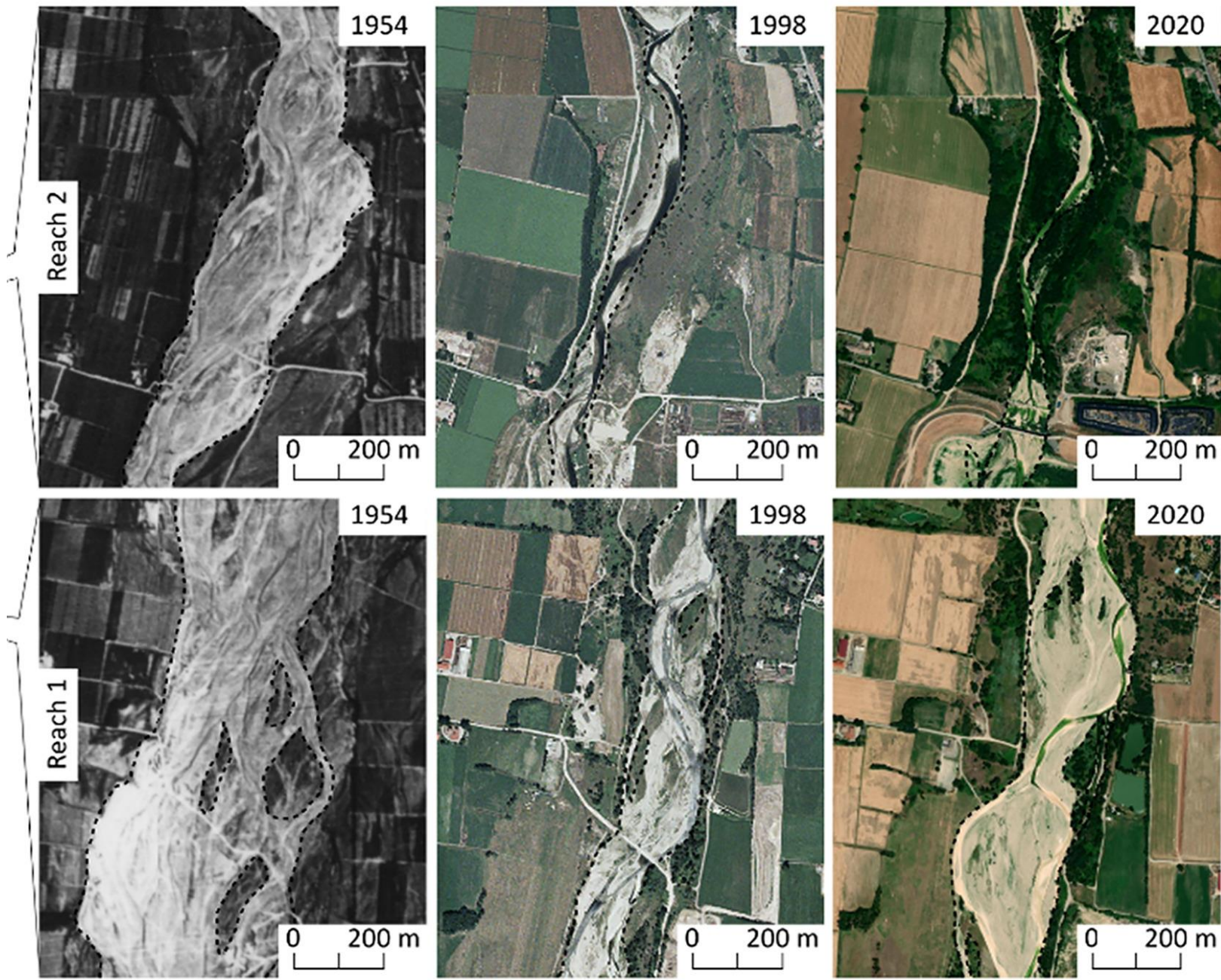
Incisione

Sedimentazione

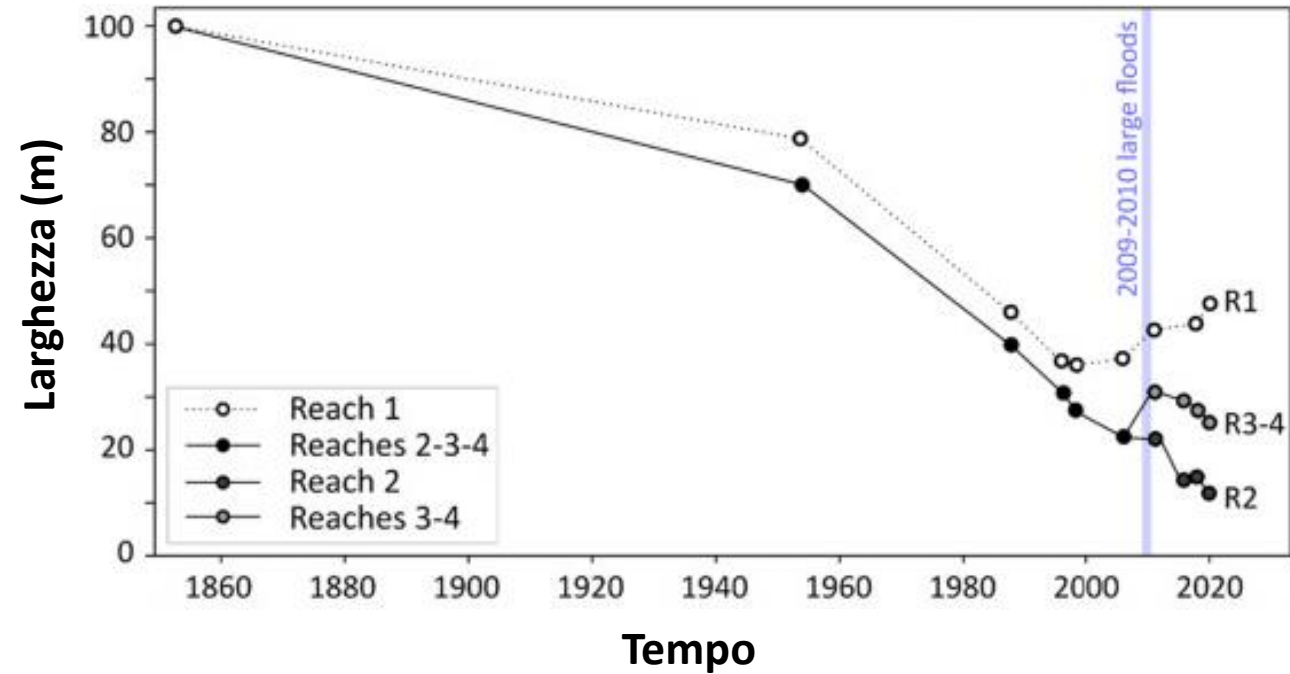
Rhine River, Germany



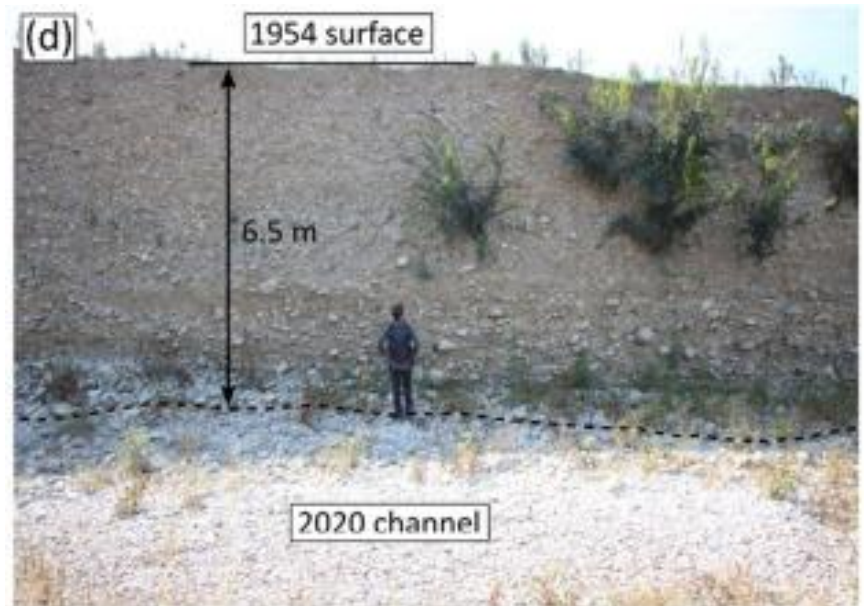
Fiume Parma



Fiume Parma



Brenna et al., 2021



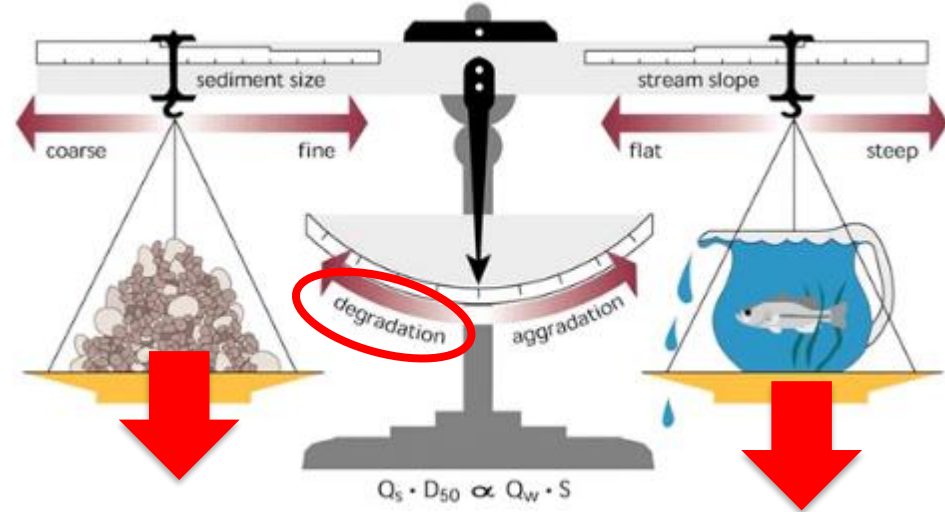
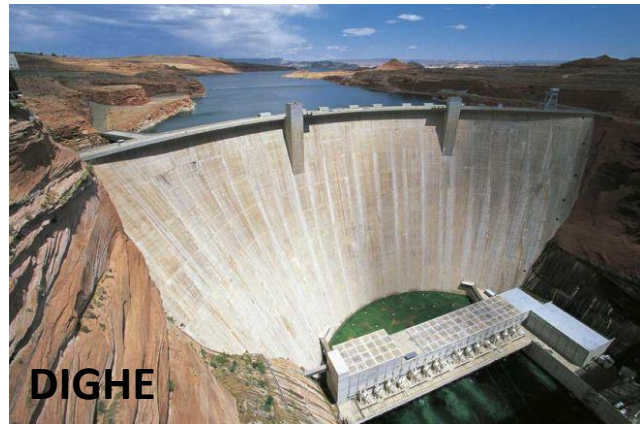
Natural and Anthropogenic controlling factors

Several natural and anthropogenic factors control channel dynamic and changes:

NATURAL FACTORS	ANTHROPIC FACTORS
<ul style="list-style-type: none">- Climate change- Hydrology changes- Floods- Changes of the sea level- Tectonic- Volcanic eruptions- Land cover changes- Landslides (magnitude)	<p>INTERVENTION AT SEGMENT-REACH SCALE</p> <ul style="list-style-type: none">- Sediment mining- Bank protection- Cut of meander
	<p>CATCHMENT AND LANDSCAPE UNIT SCALE</p> <ul style="list-style-type: none">- Dam- Afforestation- Deforestation- Torrent works

DIFFERENT TEMPORAL and SPATIAL SCALE

Fattori antropici



Come l'uomo codifica i fiumi

FATTORI ANTROPICI

INTERVENTI IN ALVEO

- Tagli di meandro
- Restringimenti
- Dighe
- Estrazione di inerti

INTERVENTI A SCALA DI BACINO

- Disboscamenti
- Rimboschimenti
- Sistemazioni idraulico-forestali
- Urbanizzazione

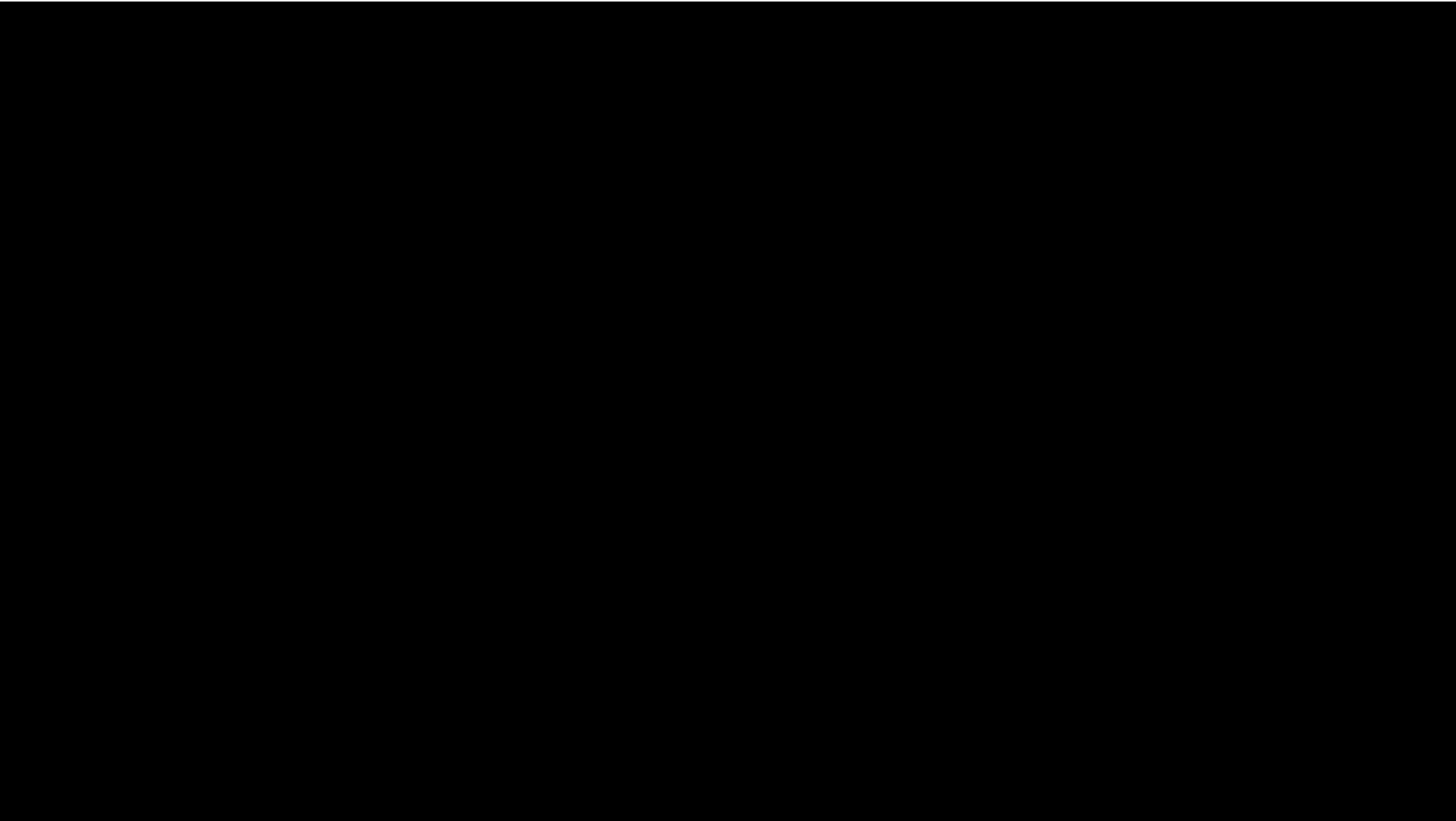


Portata liquida

Quantità dei sedimenti

Mobilità laterale

Effetto delle dighe



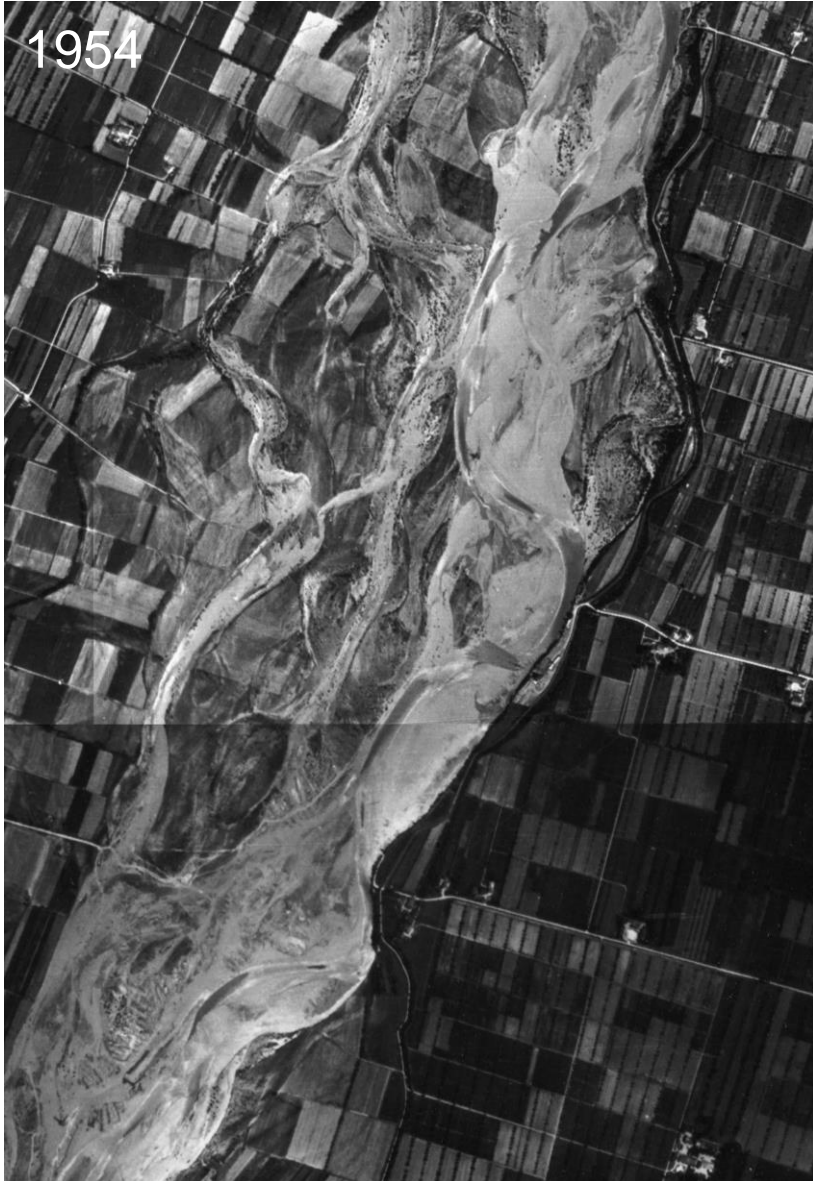
Escavazione di sedimenti

Fiume Trebbia

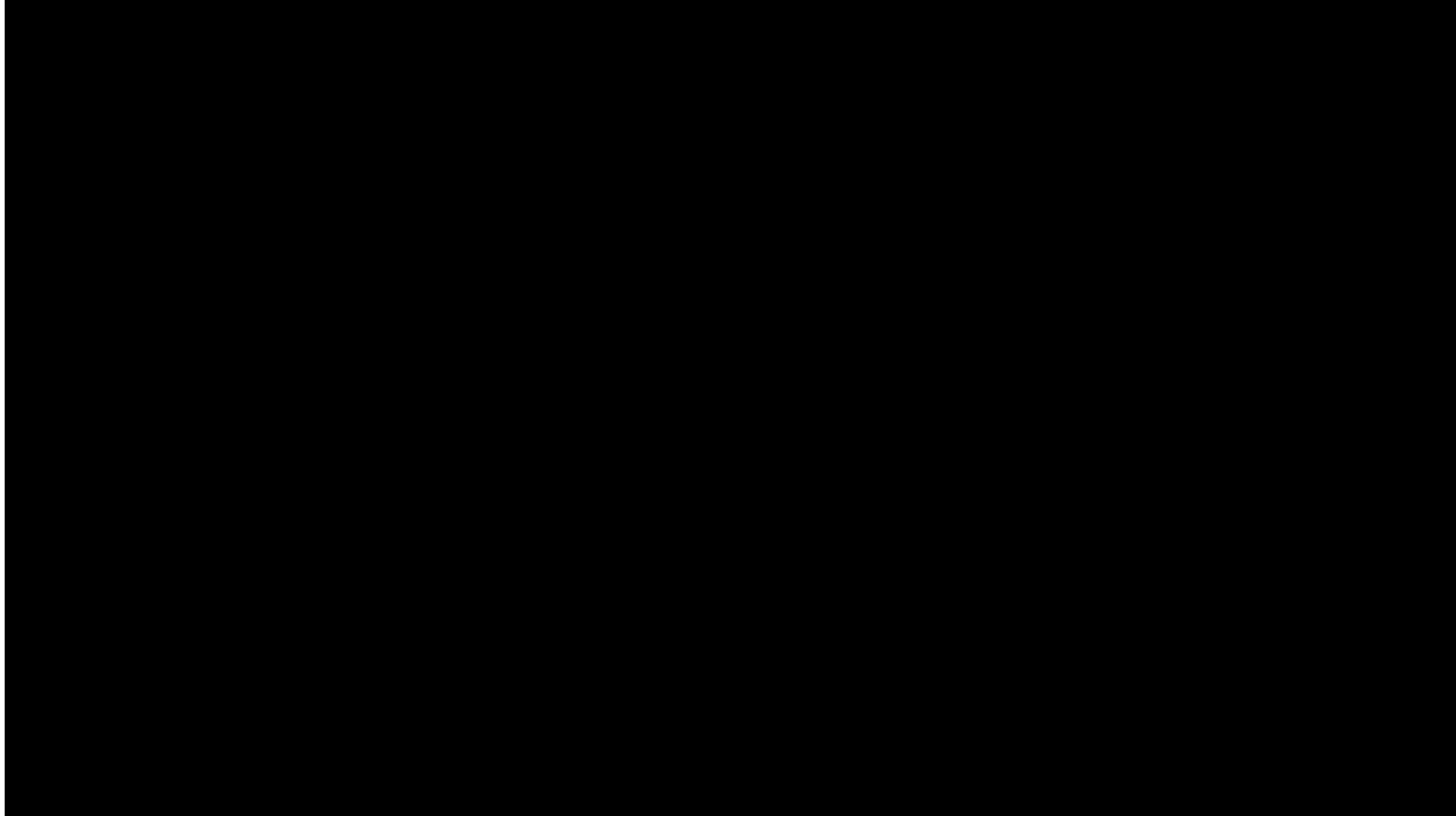


Escavazione di sedimenti

Fiume Taro



Escavazione di sedimenti



Canalizzazioni



Scopo: navigazione; rischio idraulico

Effetti:

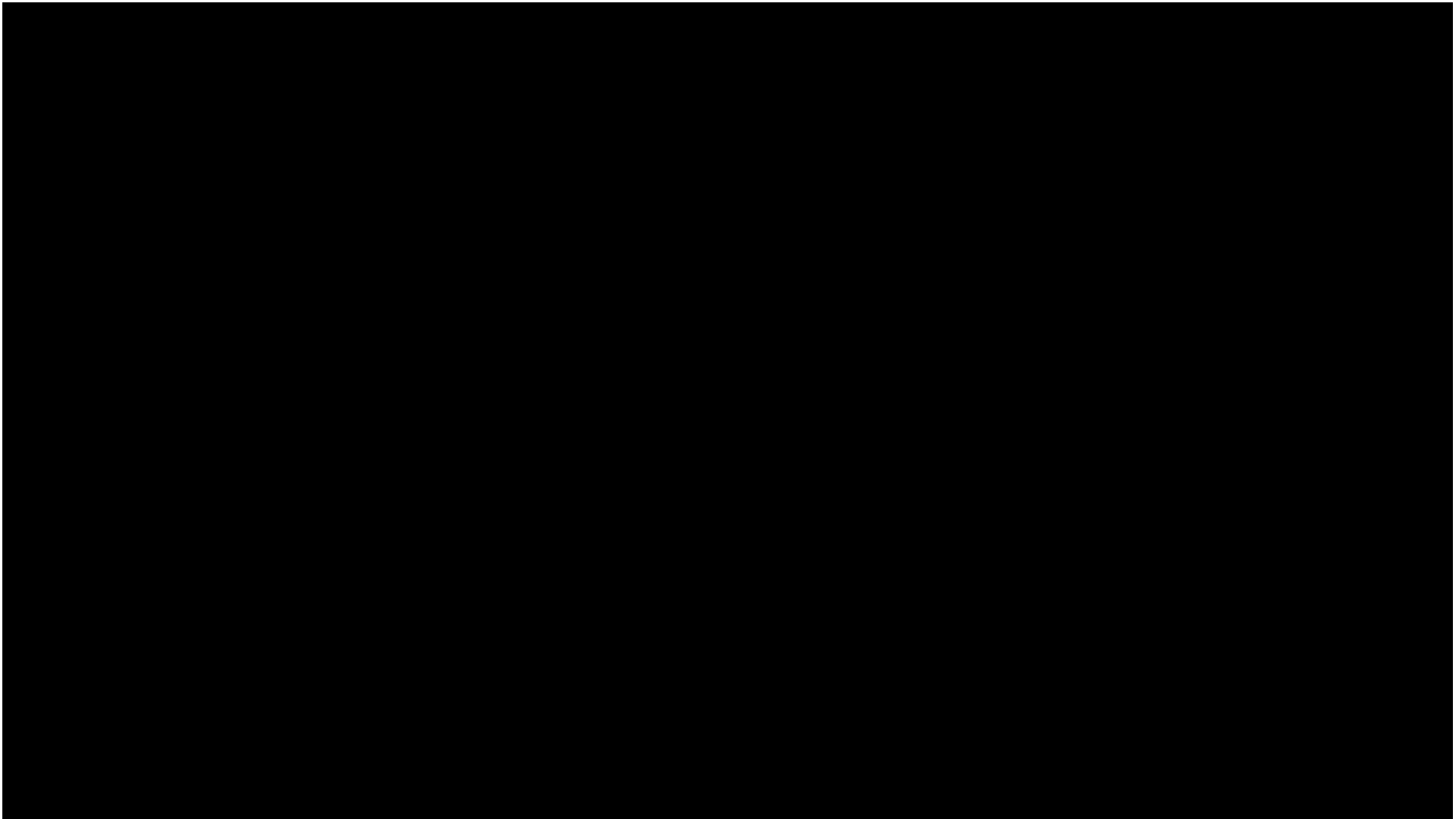
- riduzione dell'eterogeneità del corridoio fluviale
- **Aumento della velocità**, pendenza; variazione della larghezza e della rugosità del fondo
- Incisione (monte e valle)
- Riduzione dell'erosione e della migrazione laterale

Canalizzazioni



Fiume Adige nel 1803 –
Prima delle canalizzazioni

Canalizzazioni



I fiumi italiani negli anni '50

Volturno



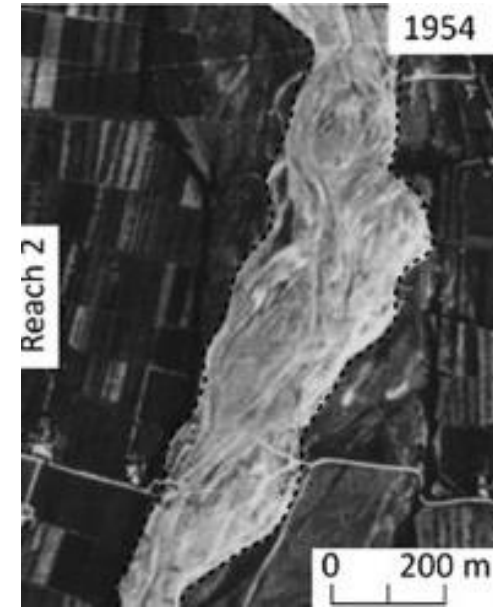
Aucelli et al., 2011

Trebbia



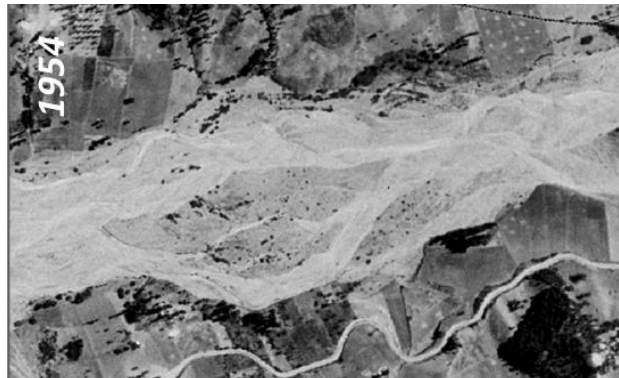
Bollati et al., 2014

Parma



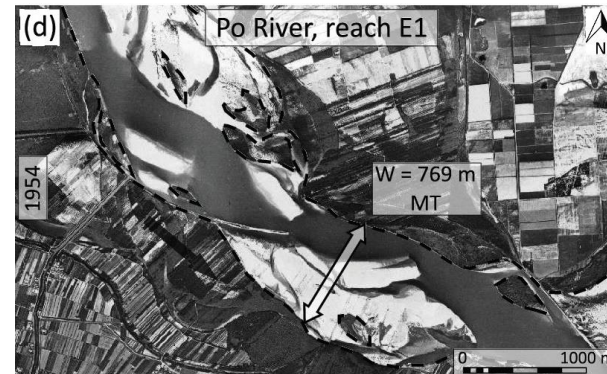
Brenna et al., 2021

Fortore



Scorpio and Roskopf, 2016

Po



Brenna et al., 2022

I fiumi europei nei nostri giorni

Volturno



Aucelli et al., 2011

Trebbia



Bollati et al., 2014

Parma



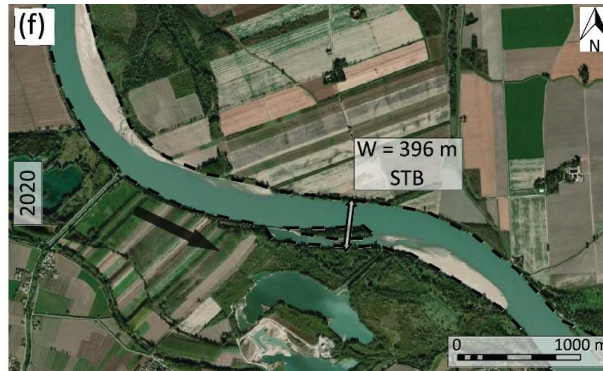
Brenna et al., 2021

Fortore



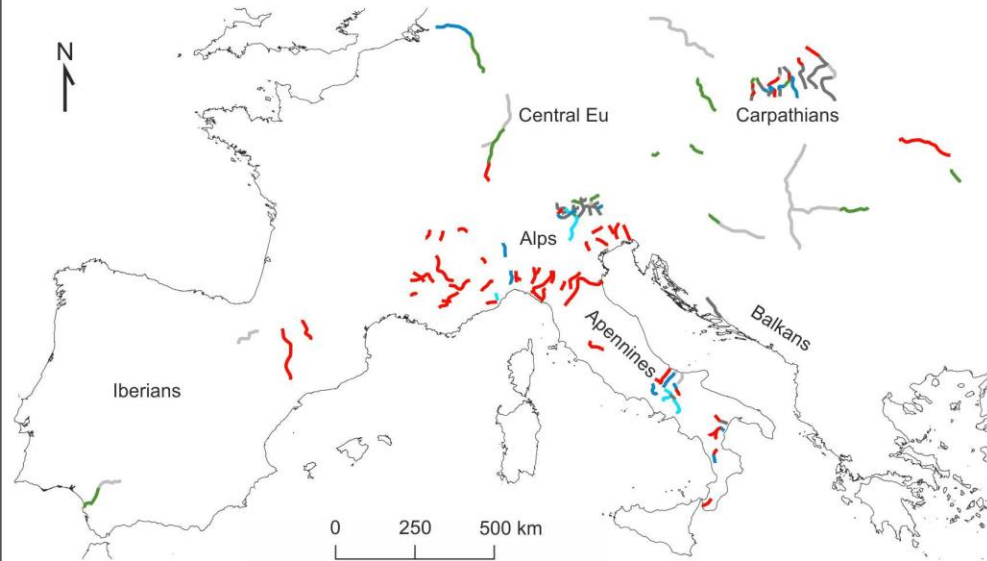
Scorpio and Roskopf, 2016

Po

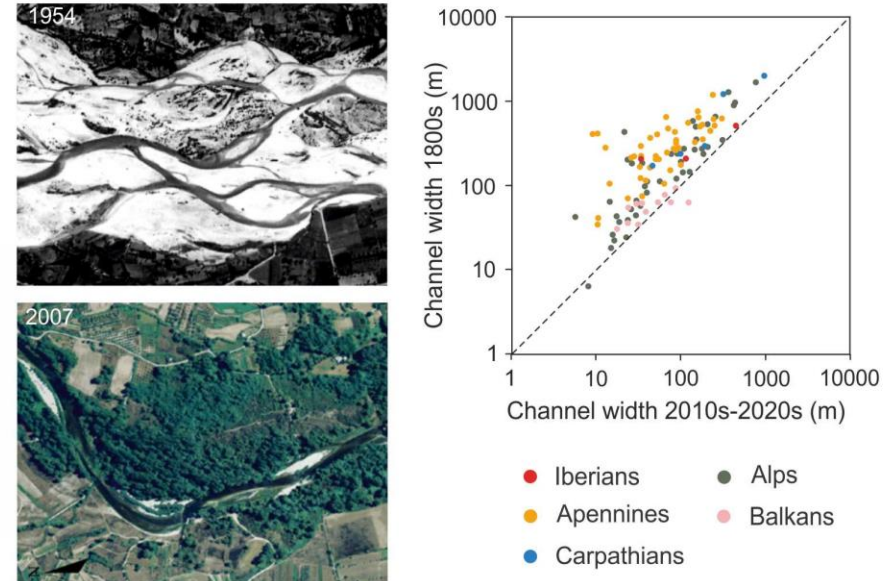


Brenna et al., 2022

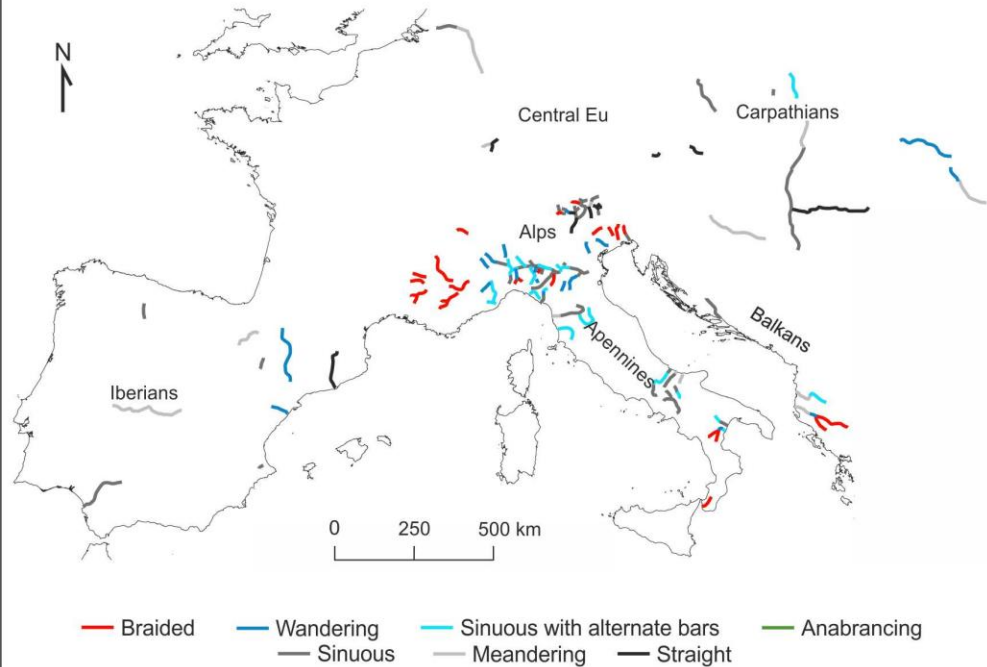
Channel patten spatial distribution in the 1800s



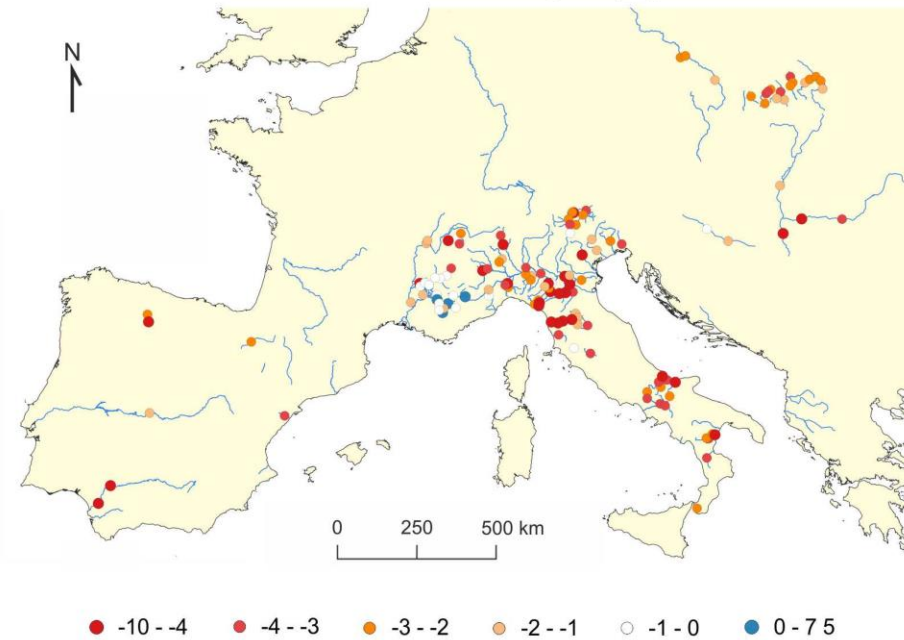
Channel width changes (m)



Channel patten spatial distribution in the 2010s-2020s



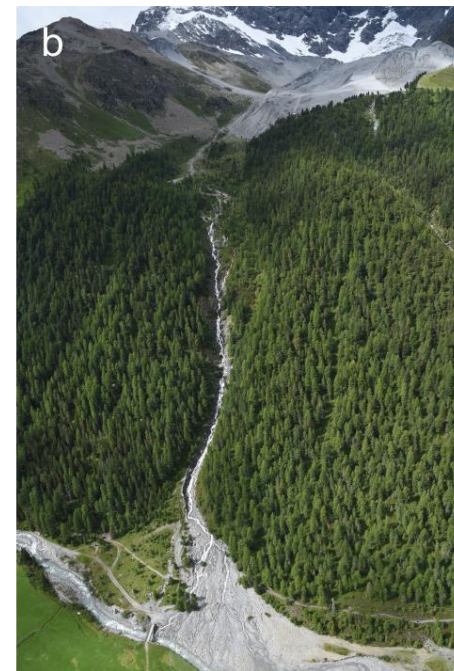
Bed level changes (m)



Erosione delle sponde

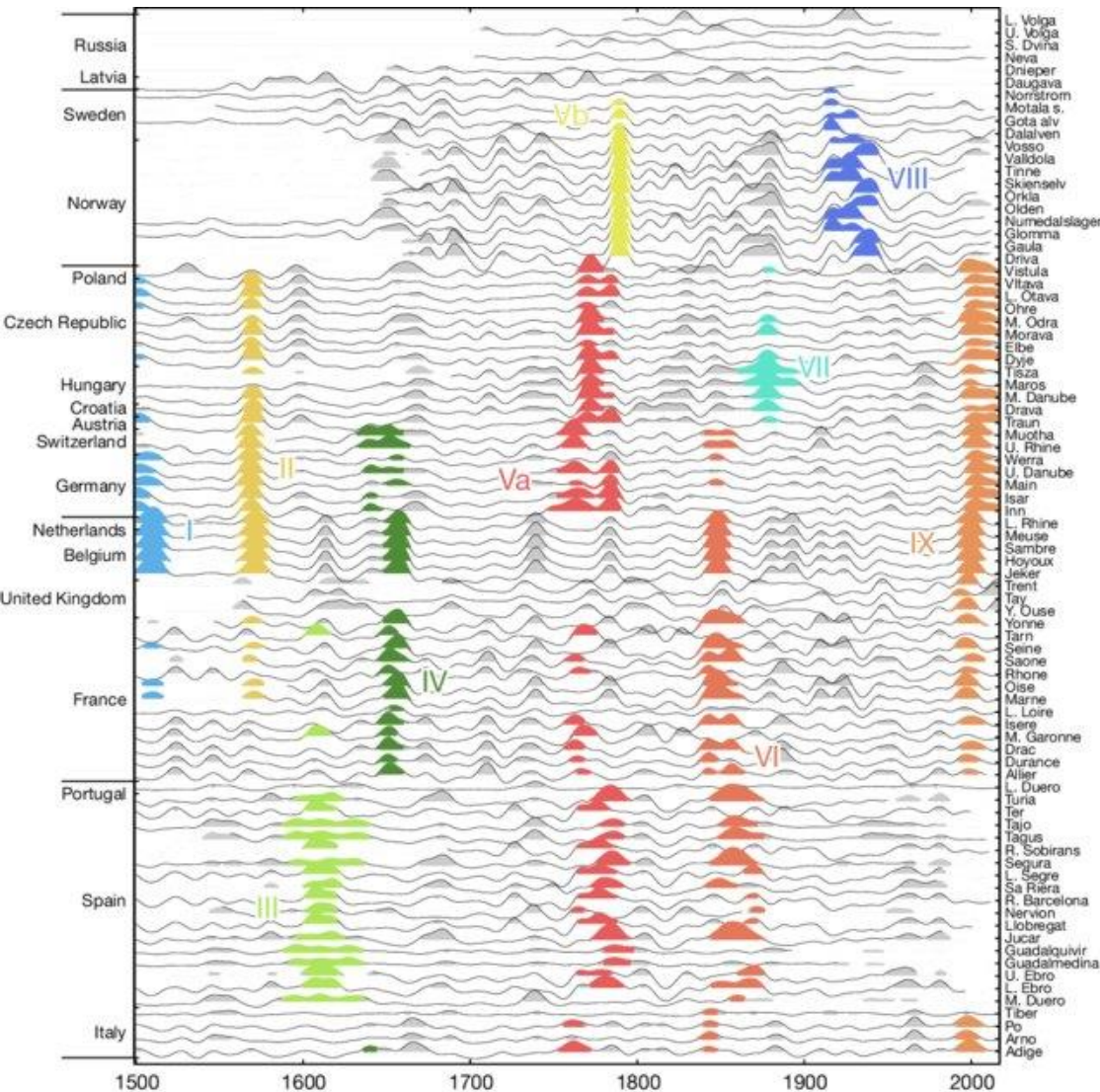


Effetto delle frane e dei tributari



ALLUVIONI ESTREME In EUROPA

Periodi di alluvioni frequenti negli ultimi 500 anni



Blöschl et al., 2020 - Nature

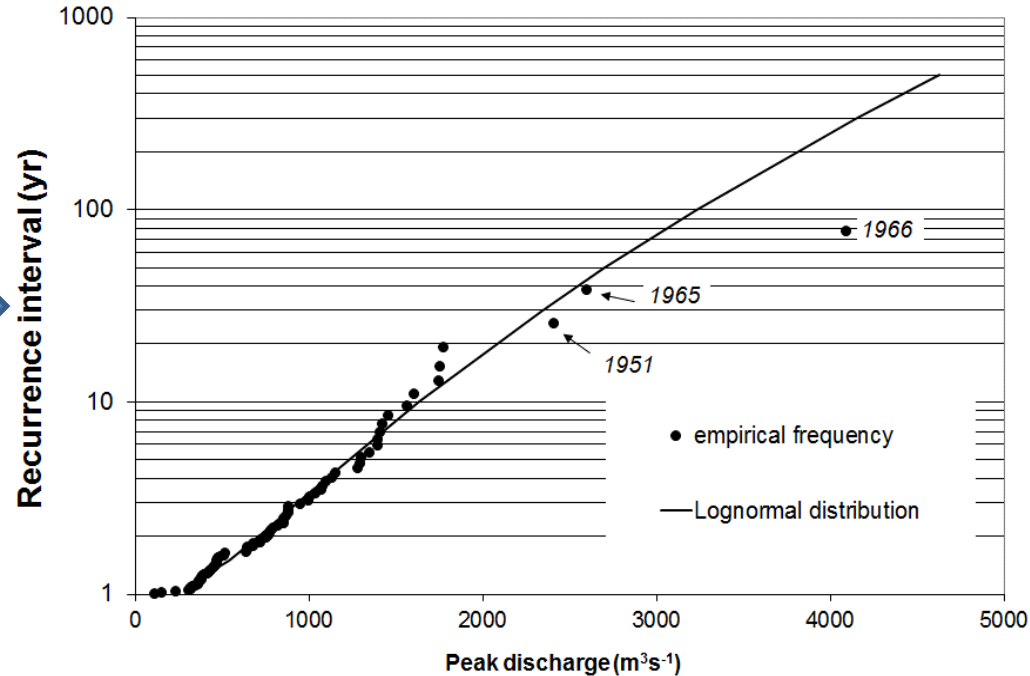
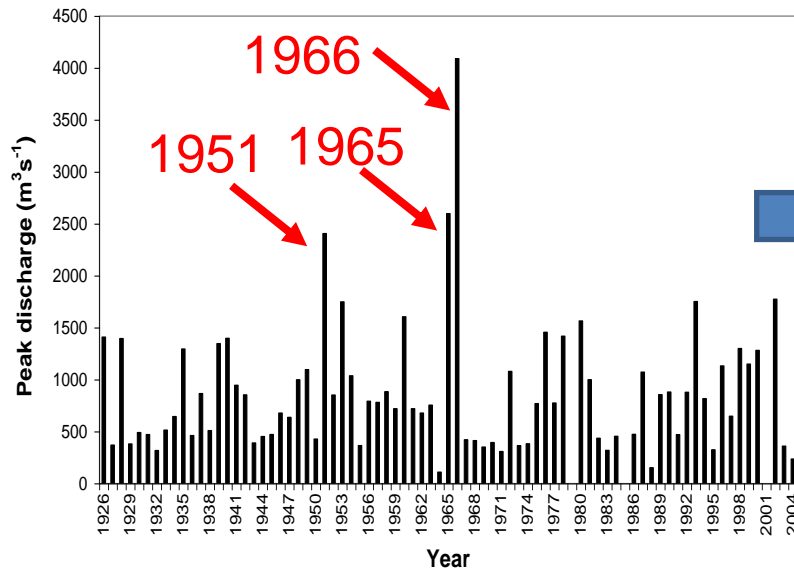
The past three decades were among the most flood-rich periods in Europe in the past 500 years (Blöschl et al., 2020).

*This period (IX) differs from other flood-rich periods in terms of its extent, air temperatures and food seasonality. Previous flood-rich periods occurred during **cooler-than-usual phases**, but the current flood-rich period has been much **warmer** (Blöschl et al., 2020).*

Period	Full time period	Spatial extent (regions)	Rank
I	1500–1520	Western Europe, central Europe	9
II	1560–1580	Western Europe, central Europe	4
III	1590–1640	Iberia, southern France	6
IV	1630–1660	Western Europe, west-central Europe, northern Italy	7
V	1750–1800	Va: central Europe, western Europe, southern Europe Vb: Scandinavia	1 5
VI	1840–1880	Western Europe, southern Europe	2
VII	1860–1900	East-central Europe	8
VIII	1910–1940	Scandinavia	10
IX	1990–2016*	Western Europe, central Europe, Italy	3

Alluvioni estreme e Tempo di ritorno

Example of the Piave River



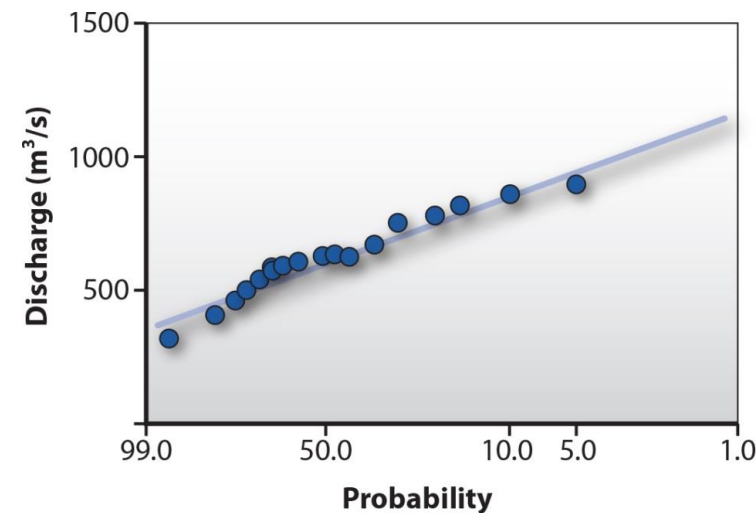
Return period (or recurrence interval) T:

➤ **number of years** for a hydrological variable (rainfall depth, peak flow discharge, low flow discharge) to be equaled or exceeded on average one time

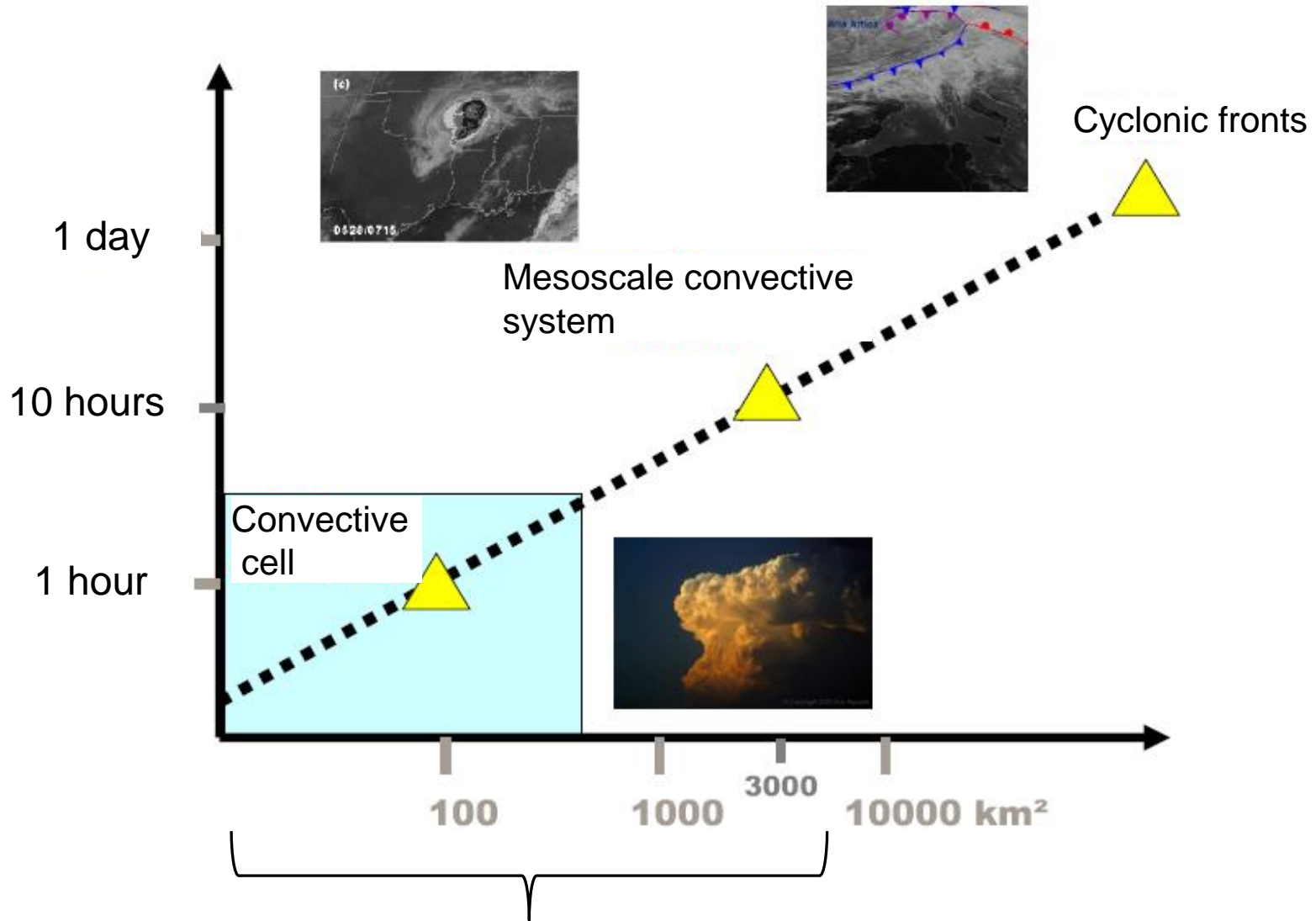
or:

➤ the event occurs at least with a certain magnitude once every T years

Inverso probabilità di accadimento



Spatio-temporal scales in precipitation



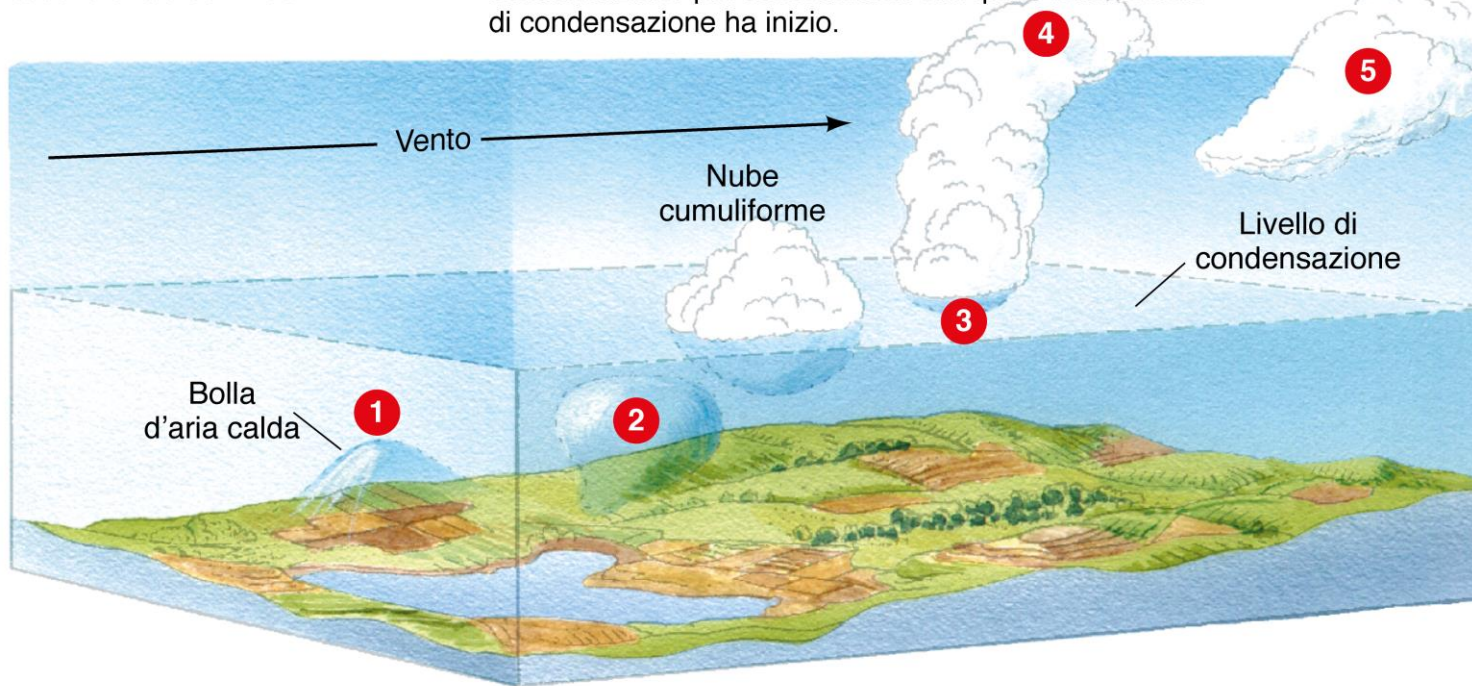
Most relevant spatial scales for mountain basins

PRECIPITAZIONI CONVETTIVE

2 Raffreddamento adiabatico. Mentre risale, la bolla convettiva si raffredda adiabaticamente. Tuttavia, finché la sua temperatura è maggiore di quella dell'aria circostante, il moto ascensionale continua.

3 Condensazione. Se la bolla si mantiene più calda dell'aria circostante e la risalita continua, il raffreddamento adiabatico la raffredda fino al punto di rugiada e si innesca il processo di condensazione. La colonna d'aria ascendente assume l'aspetto di una nuvola cumuliforme tondeggiante. Il piano di base della formazione nuvolosa corrisponde al livello di condensazione per sollevamento nel quale il fenomeno di condensazione ha inizio.

4 La convezione continua. Il punto sommitale della nuvola in cui essa assume una forma tondeggiante "a cavolfiore" corrisponde al culmine della colonna d'aria ascendente che si spinge verso le quote più elevate dell'atmosfera.



1 Riscaldamento del terreno. L'aria riscaldata dal contatto con il terreno è meno densa di quella sovrastante: si forma così una bolla convettiva che si stacca dal suolo e comincia a sollevarsi.

5 Dissoluzione. Una nube cumuliforme di piccole dimensioni in genere incontra venti in quota che rimescolano la massa d'aria con quella circostante, riducendo la differenza di temperatura e rallentando la velocità di risalita. La nube viene spinta alla deriva in balia delle correnti e dopo qualche tempo si disperde.

L'aria è spinta verso l'alto dalla **convezione**. Le correnti ascensionali si innescano all'interno di **celle convettive**, colonne verticali d'aria ascendente che si formano su ampie e calde superfici continentali.

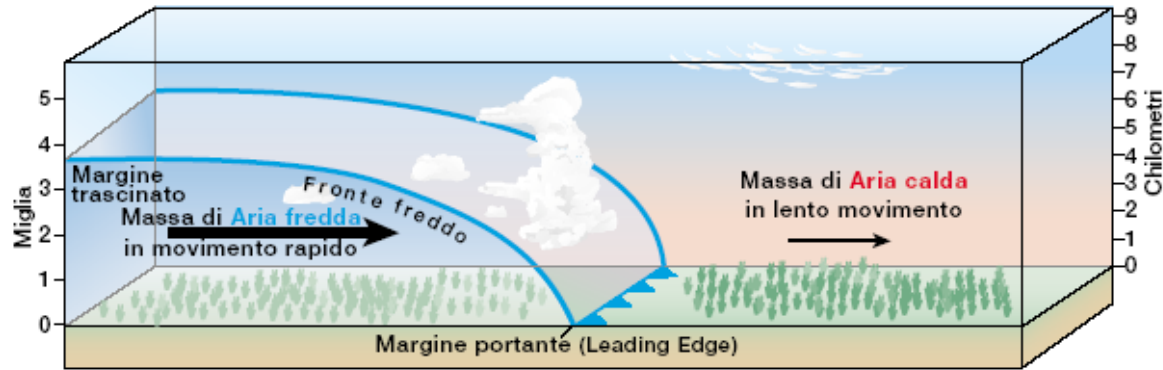
Si sviluppano nubi verticali.

PRECIPITAZIONI FRONTALI

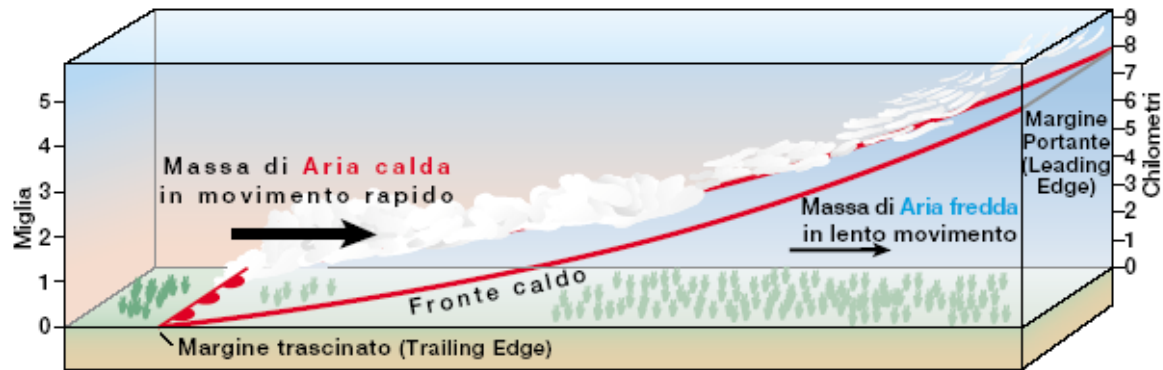
Le masse d'aria in movimento hanno dei confini ben definiti, detti fronti

Quando 2 masse d'aria si scontrano, non si mescolano subito, ma si sviluppa una zona di confine.

Una caratteristica dei fronti è che sono inclinati, e ciò permette che le masse d'aria vengano sollevate le une sulle altre con la formazione di un gradiente adiabatico.



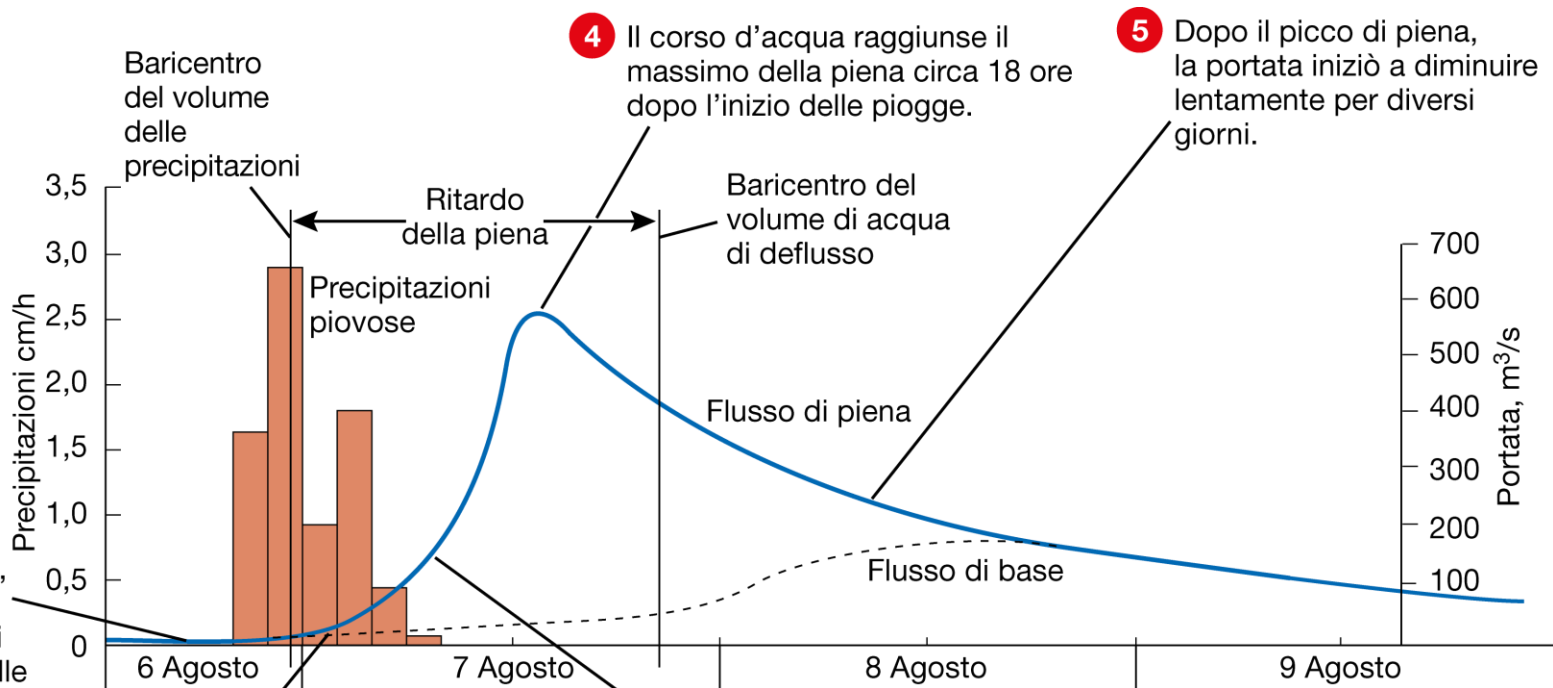
(a)



(b)

Figura 7-6. Quando masse d'aria diverse si incontrano, si genera un fronte. In ogni fronte l'aria calda si sovrappone a quella fredda: (a) quando la massa d'aria fredda s'incunea sotto ad una massa d'aria calda, si forma un fronte freddo; (b) quando una massa d'aria calda scorre sopra una massa d'aria fredda, si forma un fronte caldo (nei disegni, la scala verticale è esagerata).

EVOLUZIONE DI UN EVENTO ALLUVIONALE



1 Prima della pioggia, il fiume trasportava il modesto flusso di base alimentato dalle infiltrazioni della falda all'interno dell'alveo.

2 Durante un periodo di pioggia intensa, cadde una media di 16 cm di pioggia sull'intero bacino imbrifero del fiume.

3 Molte ore dopo l'inizio dei forti acquazzoni, il fiume iniziò a manifestare la tendenza ad aumentare il flusso. Durante questo lasso di tempo, l'articolazione della sua rete idrografica e delle varie diramazioni agì come temporaneo serbatoio di sfogo delle acque.

4 Il corso d'acqua raggiunse il massimo della piena circa 18 ore dopo l'inizio delle piogge.

5 Dopo il picco di piena, la portata iniziò a diminuire lentamente per diversi giorni.

EVENTI ALLUVIONALI e COSTRUZIONE DELLA PIANA ALLUVIONALE



Piana alluvionale: area che costeggia l'alveo, da entrambe le sponde o solo da una parte che viene allagata durante le piene.

È costituita da sedimenti alluvionali, gli stessi sedimenti che costituiscono l'alveo.



Un esempio di pianura alluvionale è la Pianura Padana formata dai depositi del Po e dei suoi affluenti.

Cosa succede durante un'alluvione estrema?

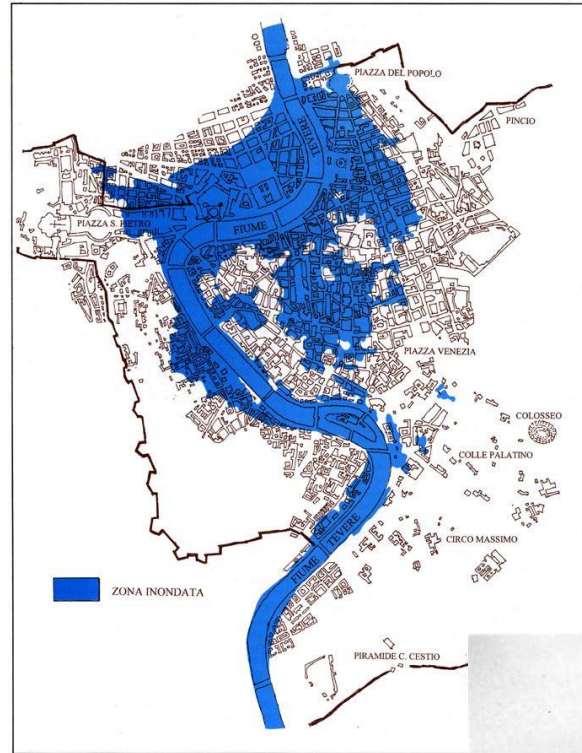
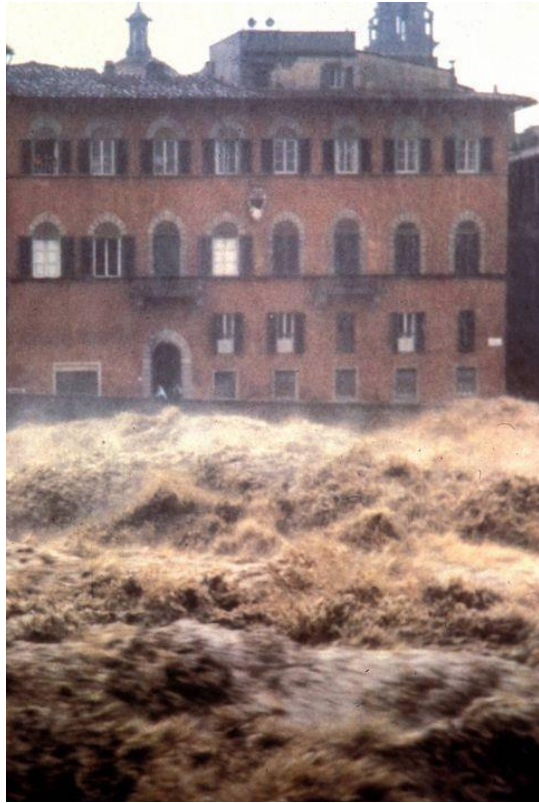
- Alvei in aree in aree di pianura



- Alvei in contesti montani



Alvei di pianura



Planimetria delle zone di Roma inondate dalla Piena del 1870. (Disegno: Sergio da Bencivenga et al., 1995)



Rotte arginali



Esondazioni

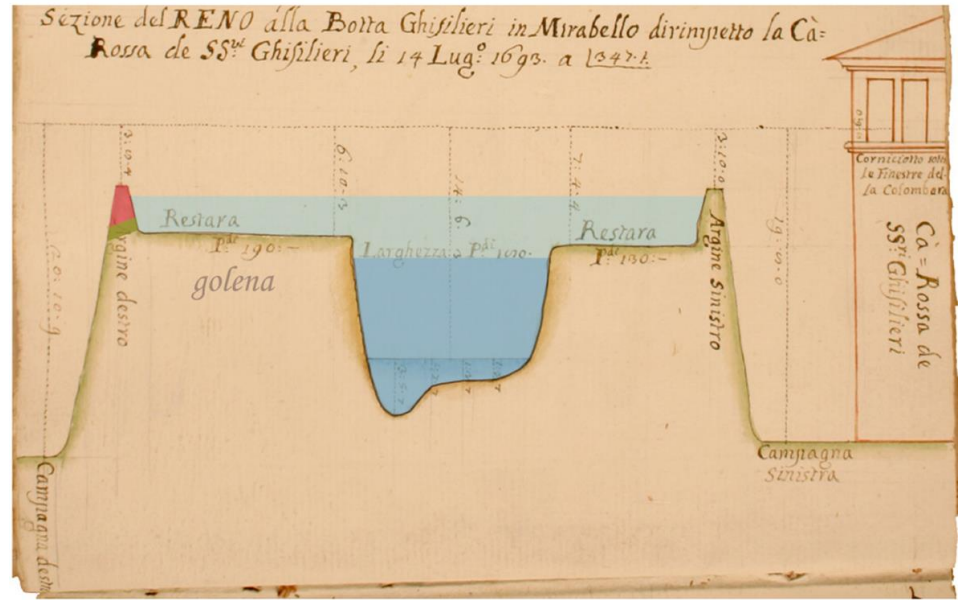
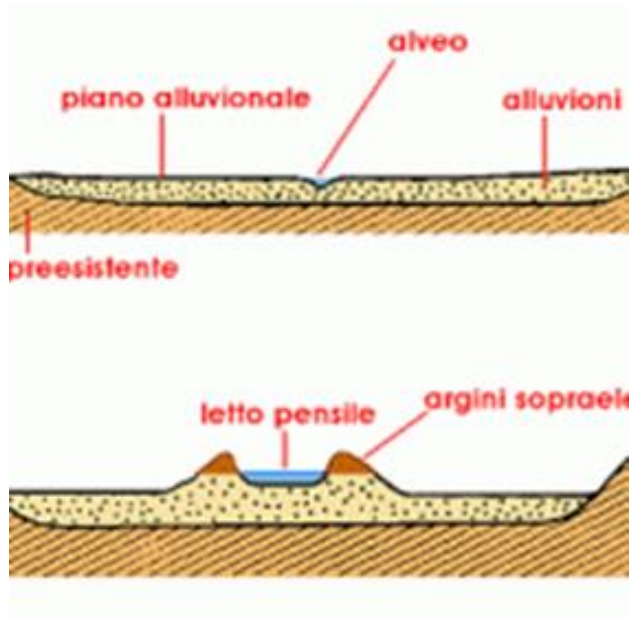
Esondazione (Alluvione)



Il termine **esonazione** indica lo **straripamento** ossia il **traboccare di acque sovrabbondanti** che **fuoriescono dagli argini o dalle rive di un corso d'acqua**, inondando le zone poste a quote altimetriche inferiori.

Per corsi regimati l'**esonazione** si manifesta con l'**uscita delle acque dalla zona compresa tra i due argini**; essa avviene per **tracimazione o rottura degli argini stessi**.

FIUMI PENSILI



Molti fiumi sono **pensili** (a livello più alto della pianura) rendendo particolarmente pericolosa l'eventuale **rottura degli argini**.

I fiumi pensili si sono formati a causa della costruzione di argini per evitare gli allagamenti, o perché i fiumi depositano i detriti alluvionali specialmente in prossimità del margini.

Alvei di pianura



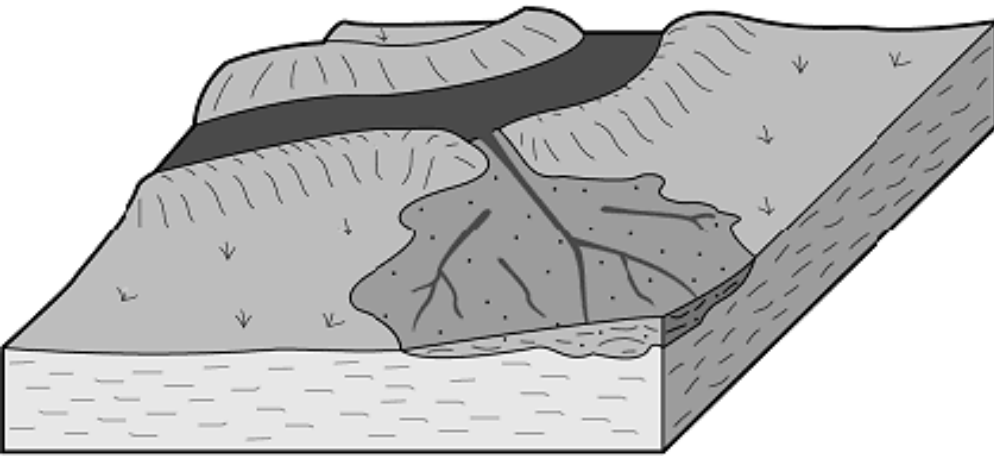
Rotte arginali

Cedimento di un tratto di argine con la conseguente apertura di una breccia

Alvei di pianura arginati

Ventagli di rota (crevasse splay)

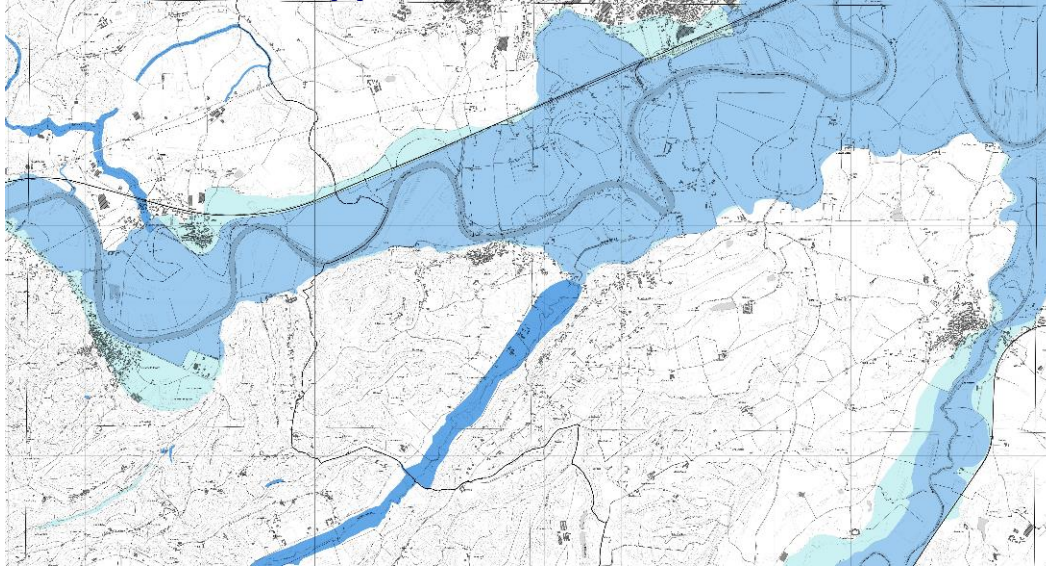
Si tratta di una **superficie lobata** o a forma di **piccolo delta** o conoide composta da materiale relativamente **grossolano** (ghiaia, sabbia) via via più fine allontanandosi dall'alveo. **Si forma a partire da un punto di esondazione**, generalmente **una breccia formatasi lungo gli argini naturali**. Esso può essere inciso da numerosi piccoli canali distributori ramificati che scaricano le acque di piena nella piana inondabile. Rispetto agli altri depositi originatesi da eventi di esondazione, i depositi di rota si osservano soprattutto in presenza di argini naturali.



**A partire da alvei
con argini naturali
pre-esistenti**

Mappatura del rischio idraulico

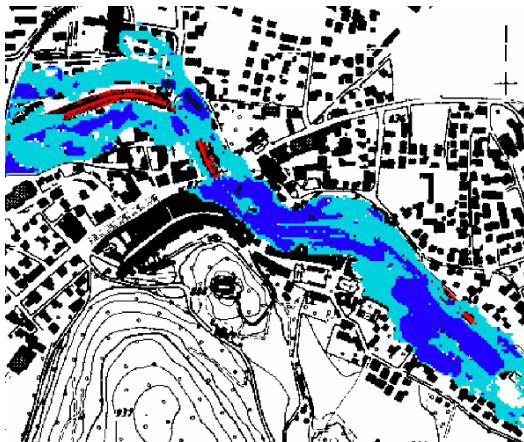
Mappa del rischio idraulico



- Alta probabilità, alta frequenza (Tr 20/50 anni)
- Media frequenza (Tr 100/200 anni)
- Bassa frequenza (Tr 100/200 anni)

↑ Frequenza
↓ Magnitudo

Inondazioni



EU Direttiva alluvioni (2007)

Articolo 6 – Per ogni scenario (probabilità):

- Area di inondazione;
- Profondità;
- Velocità del flusso

... e nei contesti montani??

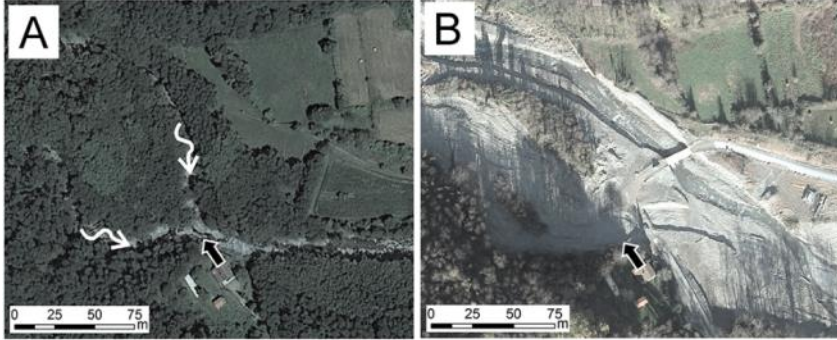
Bacino del fiume NURE – 13 / 14 Settembre 2015



Alluvione del torrente Mangiola (affluente Magra)



The flood event in the Mangiola Creek (2011)



- 3:40 p.m. the flow is around the bankfull stage, and no significant changes in the two branches and the thickly vegetated floodplain have yet occurred (Figure C)
- 4:48 the floodplain forest upstream from the point of observation has been partially stripped whereas the riparian forest downstream is still intact;
- during the interval when the flood peak occurred (4:48–4:53 p.m.), boulder bars are being created in the part where the floodplain was previously eroded;
- during the recessional phase (between 5:00 and 6:13 p.m.), the riparian forest in front of and downstream of the point of observation was largely cleared and most of the channel widening had occurred (Figure D).

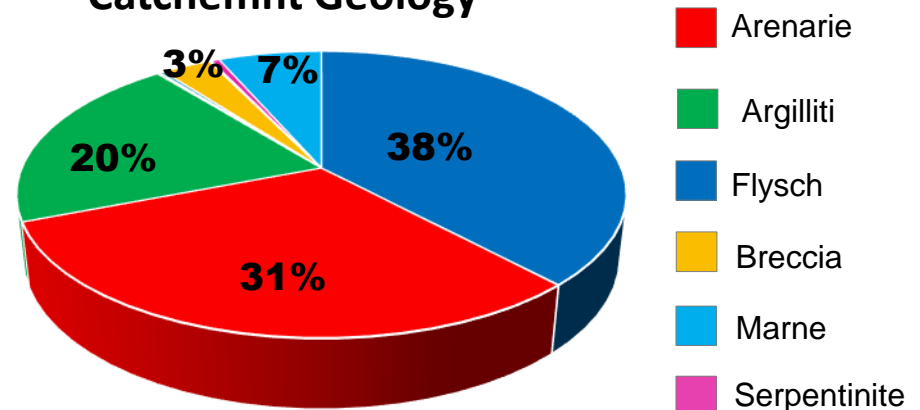
Bacino fiume NURE



Fiume NURE	
Area bacino(km ²)	430
Quota massima bacino (m)	1773
Lunghezza alveo(km)	75
Portata media (m ³ /s)	15

9 Tributari	Min - Max
Area bacino (km ²)	5 -32
Larghezza alveo prima alluvione (m)	1 - 78
Lunghezza alveo(km)	1.5 – 7.3
Pendenza alveo (%)	1 - 20

Catchemnt Geology

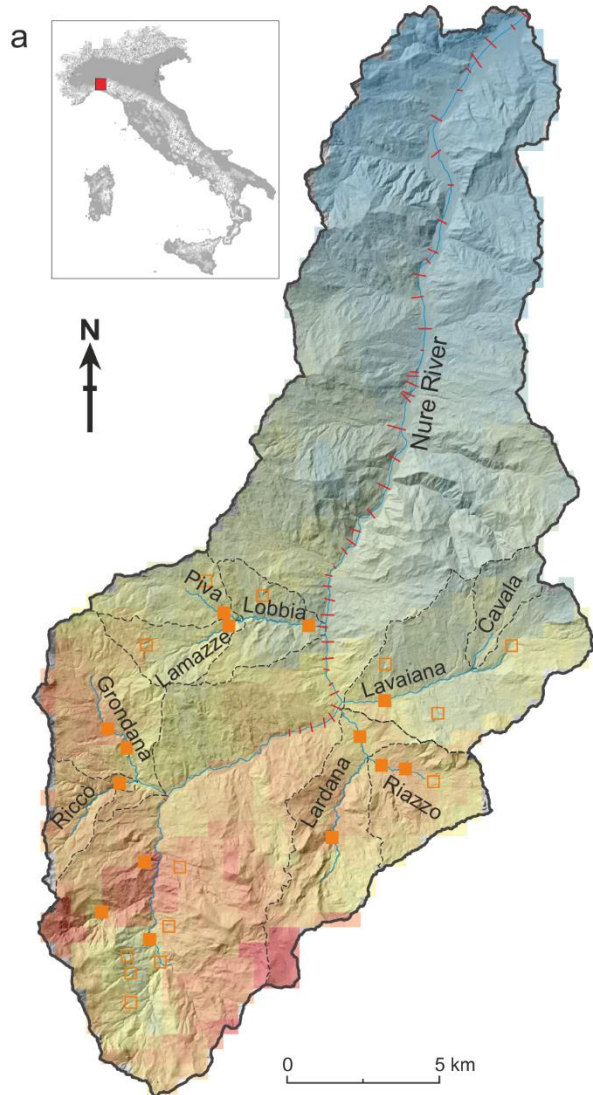


Precipitazioni del 13/14 settembre 2015

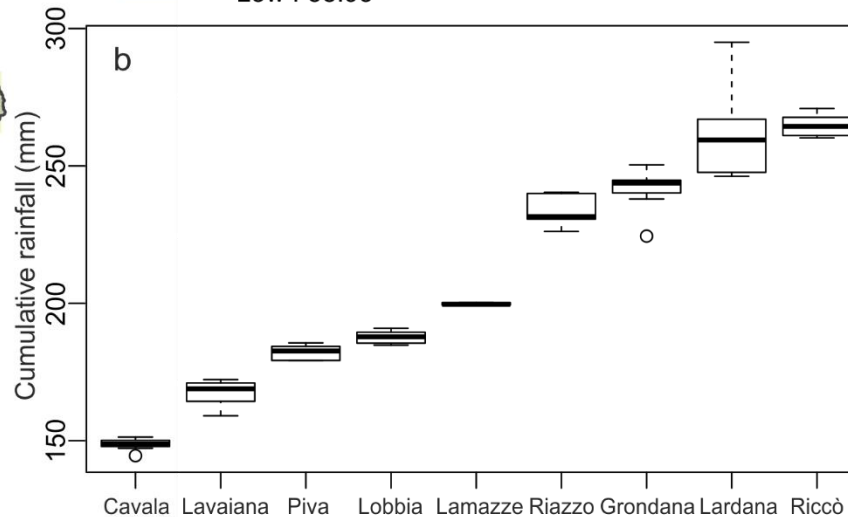
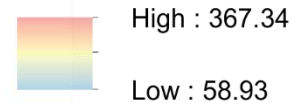
Durata: 12 ore

Precipitazione media annuale = 1900 mm

Periodo di ritorno > 300 anni

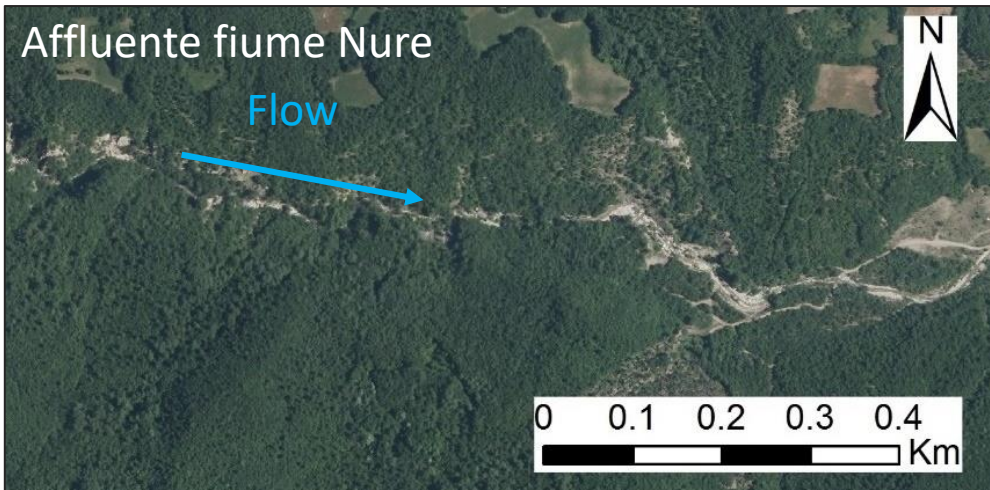


Spatial distribution of the September 2015 rainfall event



... e nei contesti montani??

Alluvione Settembre 2015



Prima

Alluvione Ottobre 2011



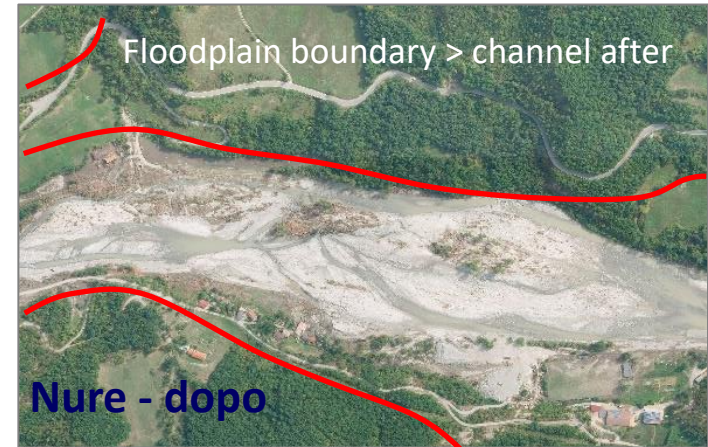
Dopo



Scorpio et al., 2018- STOTEN

Surian et al., 2016

Allargamento dell'alveo



Allargamento dell'alveo

Before flood in 2017



After flood in 2017



Torrente Stolla (Alto Adige; Agosto 2017)



Active channel



Island

Reach 34 – Before flood in 2017



Reach 34 – After flood in 2017



Allargamento dell'alveo

Erosione delle sponde – Migrazione laterale



Deposizione di materiale ghiaioso sulla piana inondabile



Allargamento



Dinamica del
sedimento
(erosione,
trasporto e
sedimentazione)

... alluvioni nella realtà (contesti montani)



FERRIERE (bacino del Nure)



Farini (bacino del Nure)



bacino del Trebbia



Quantificazione allargamento

Prima dell'alluvione

Dopo dell'alluvione



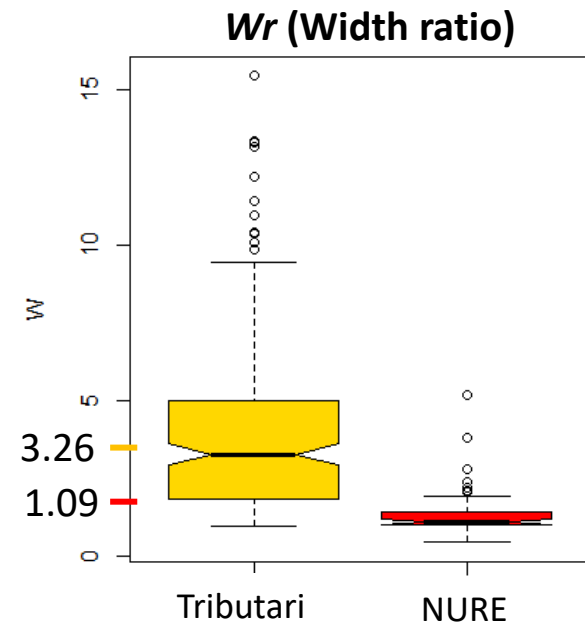
Channel width changes



WIDENING

W_r (Width ratio)
Krapesch et al., 2011

$$W_r = \frac{\text{Larghezza dopo dell'alluvione}}{\text{Larghezza prima dell'alluvione}}$$

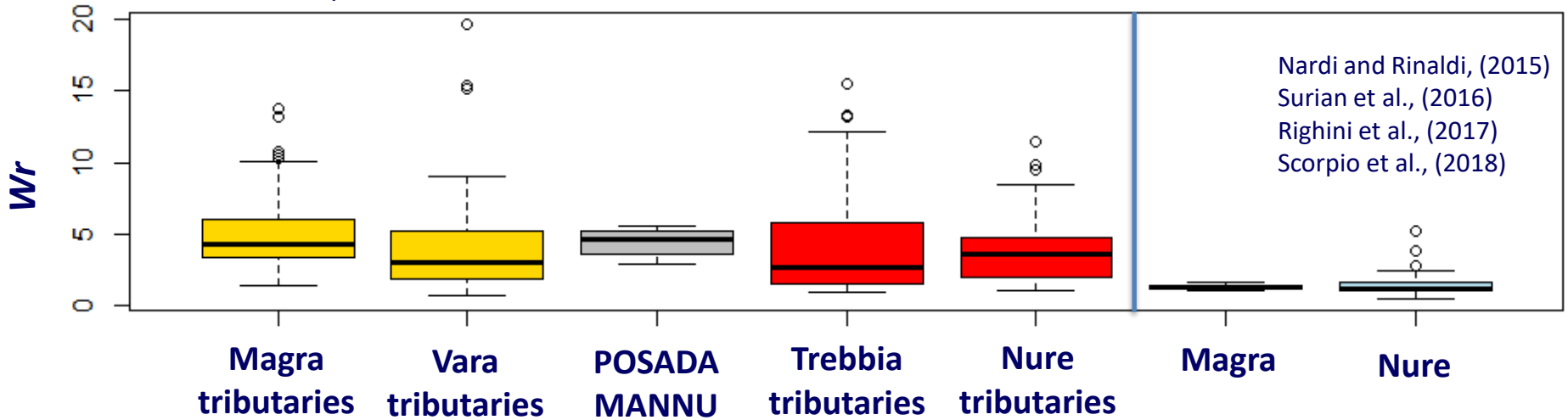


Quantificazione allargamento

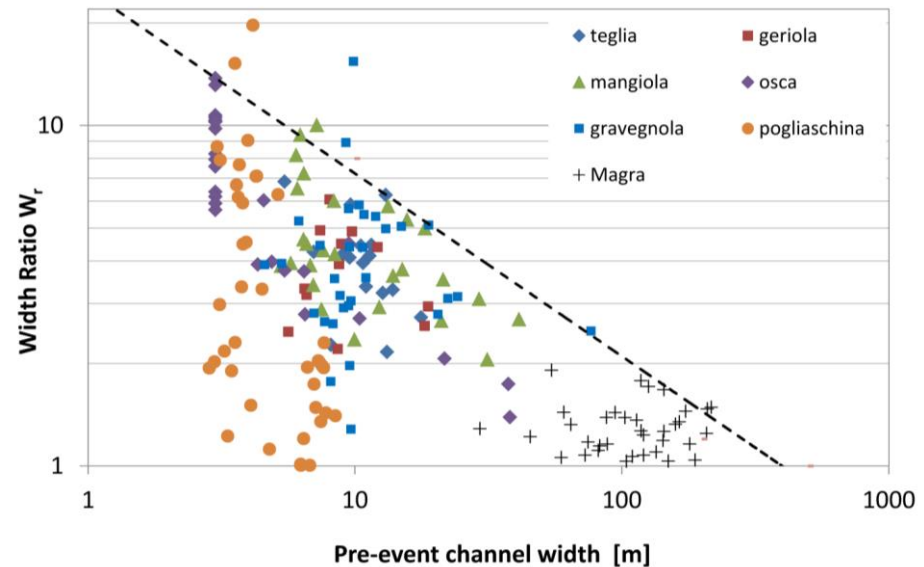
Wr (Width ratio)
Krapesch et al., 2005



$$Wr = \frac{\text{Larghezza dopo}}{\text{Larghezza prima}}$$



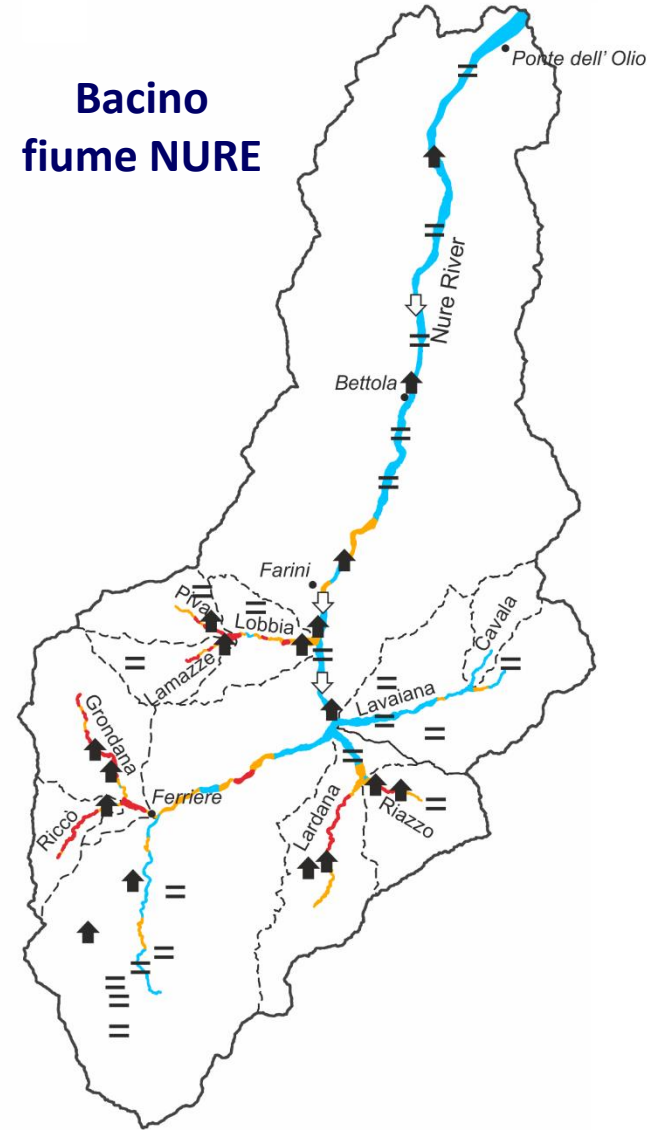
- Corsi d'acqua piccoli: valli più strette



Variazione della quota del fondo



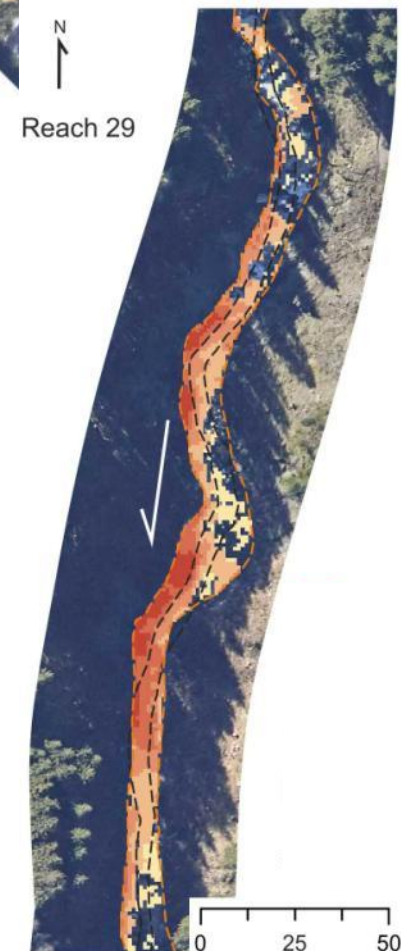
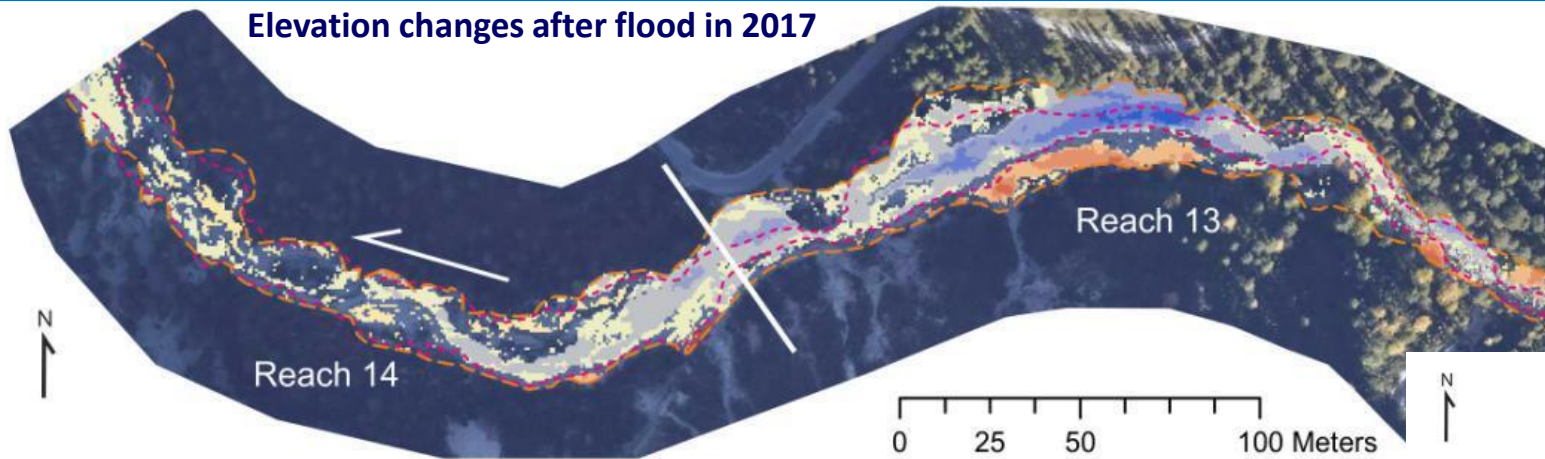
Bacino fiume NURE



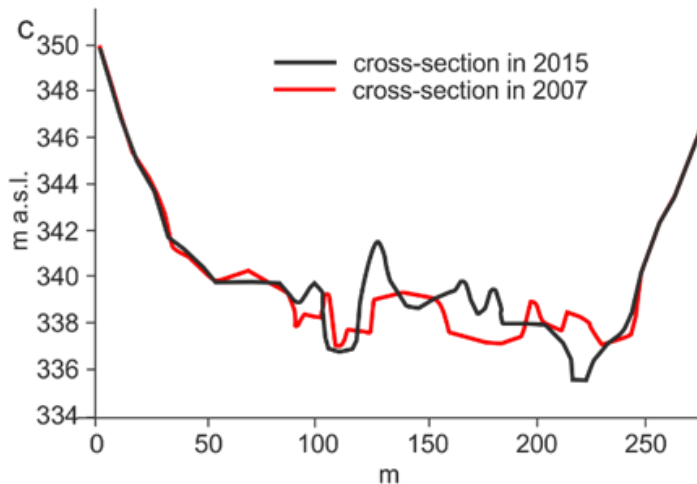
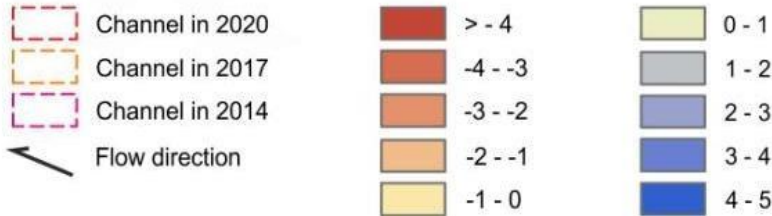
Channel width changes	Bed elevation changes
$Wr > 4$	Aggradation
$2 < Wr < 4$	Stability
$Wr < 2$	Incision

Variazione della quota del fondo

Elevation changes after flood in 2017



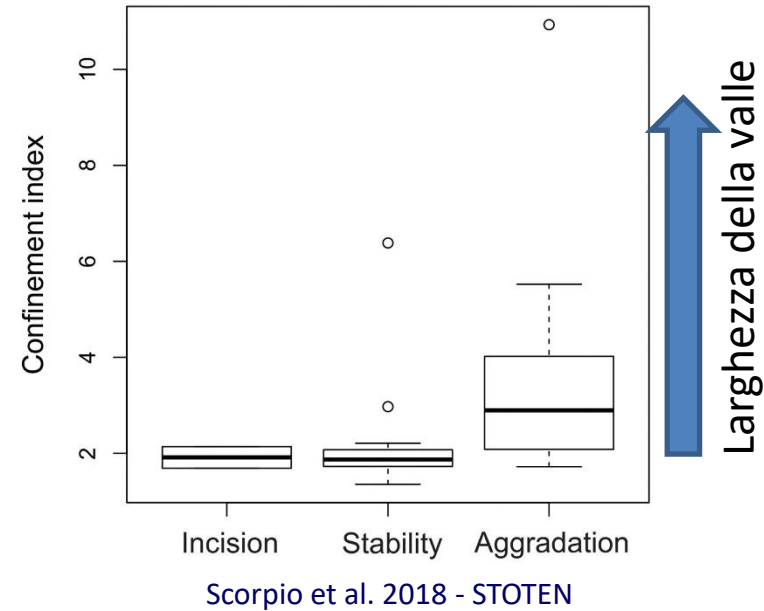
Legend



Quota del fondo - larghezza valle e pendenza

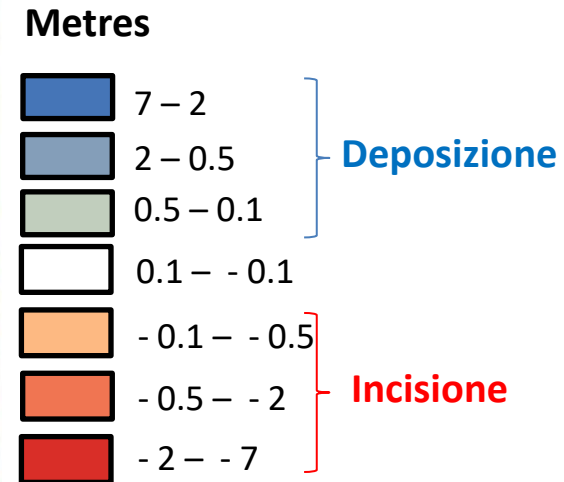
Tratti confinati

Thomson and Croke, 2013



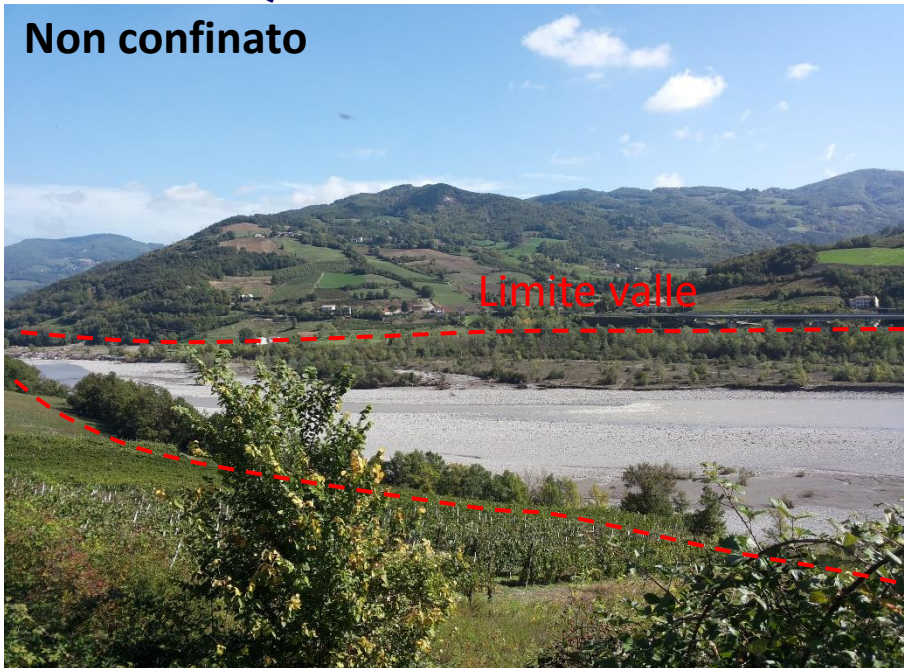
Tratti non confinati

Thomson and Croke, 2013

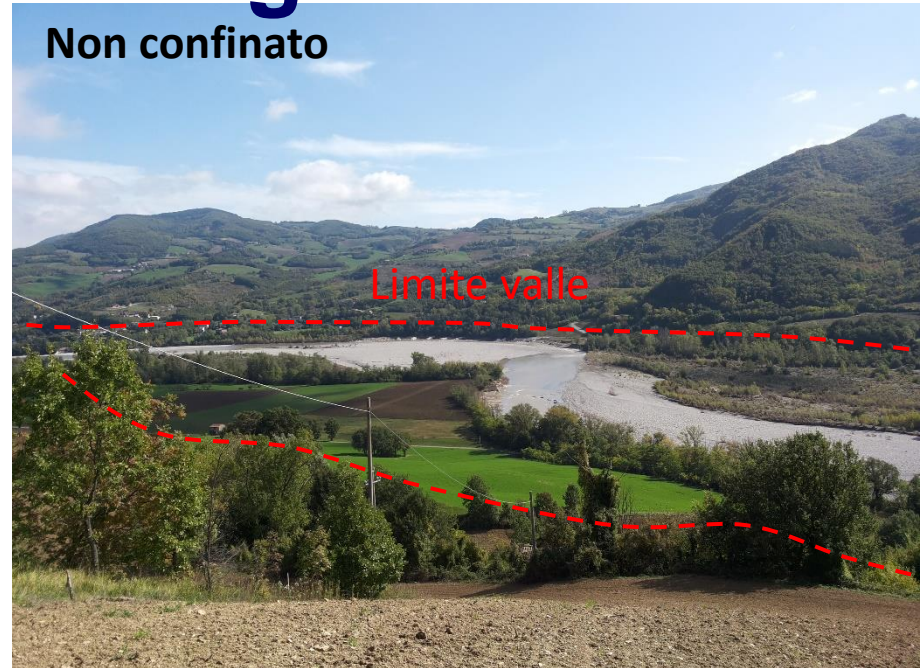


Quota del fondo e larghezza valle

Non confinato



Non confinato



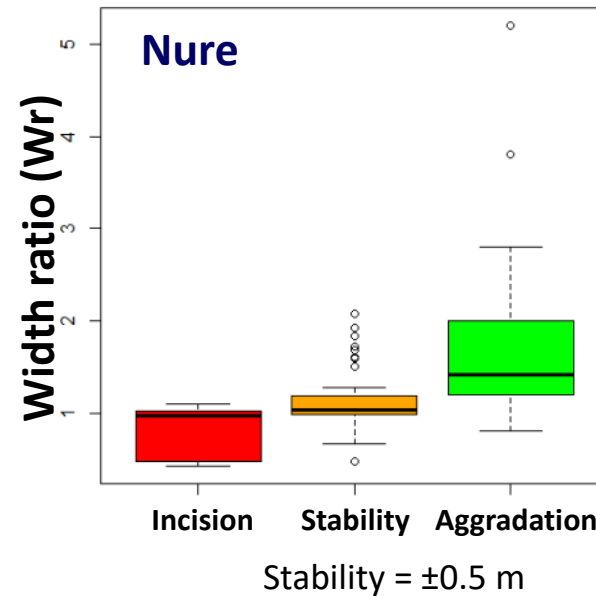
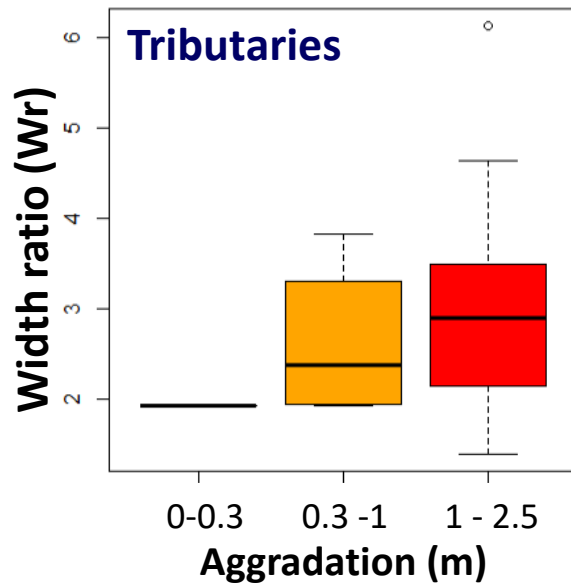
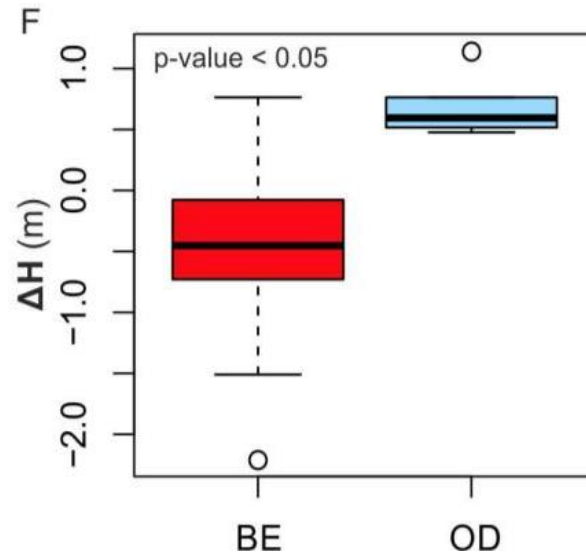
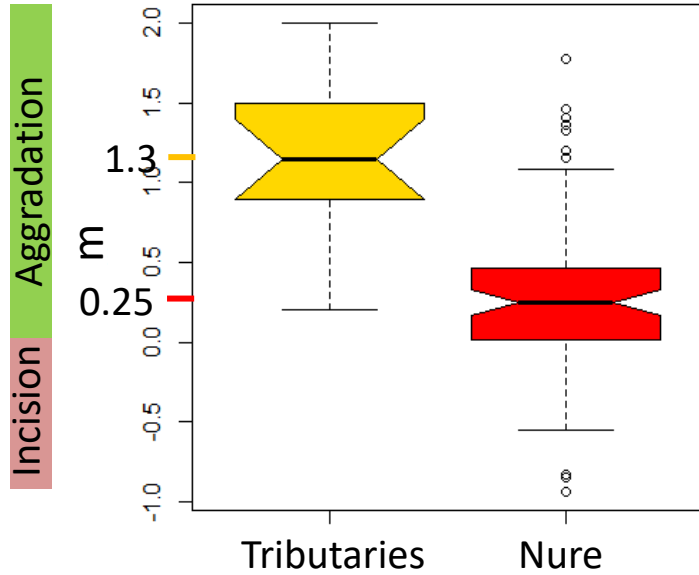
Confinato



Confinato



Variazione della quota del fondo



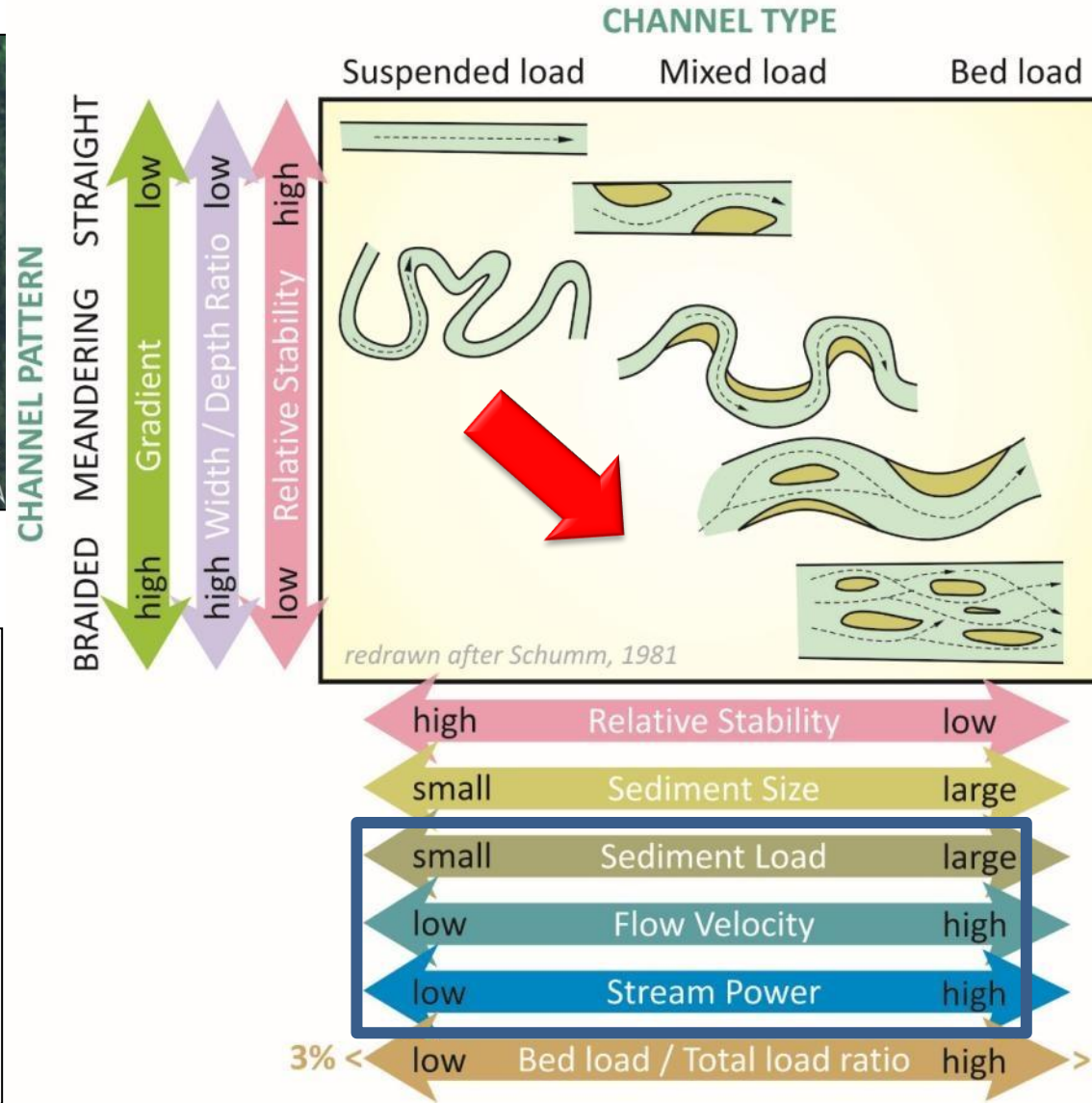
Morfologia dell'alveo- Presenza barre



Prima

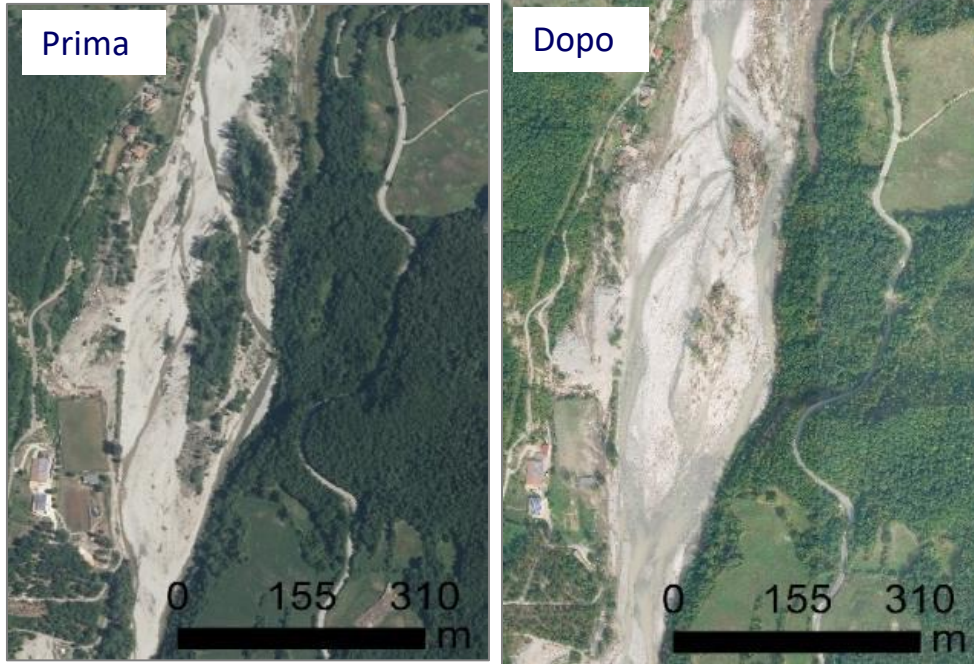


Dopo



Aumento presenza di barre
(maggiore presenza di sedimento)

Isole



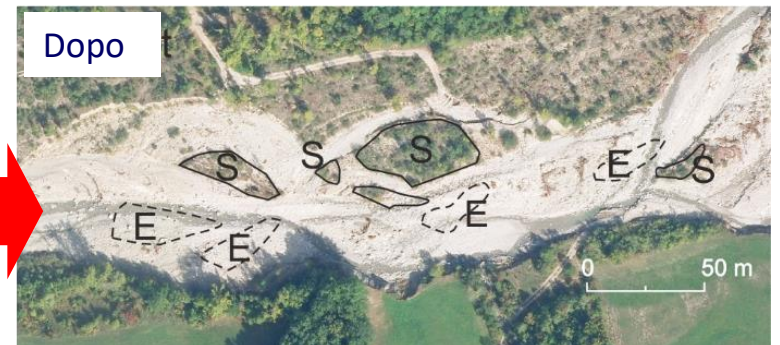
Rimozione di isole



Formazione di isole

Scorpio et al. 2018 - STOTEN

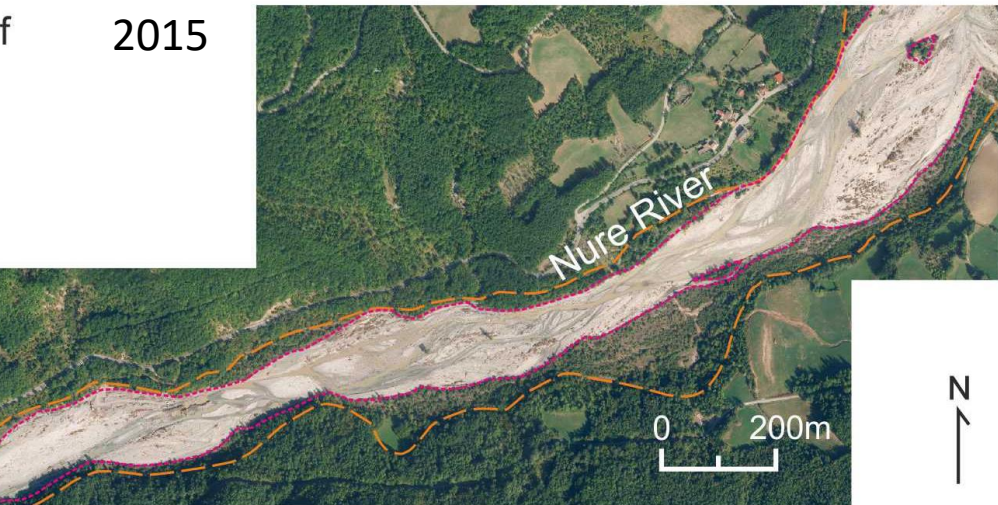
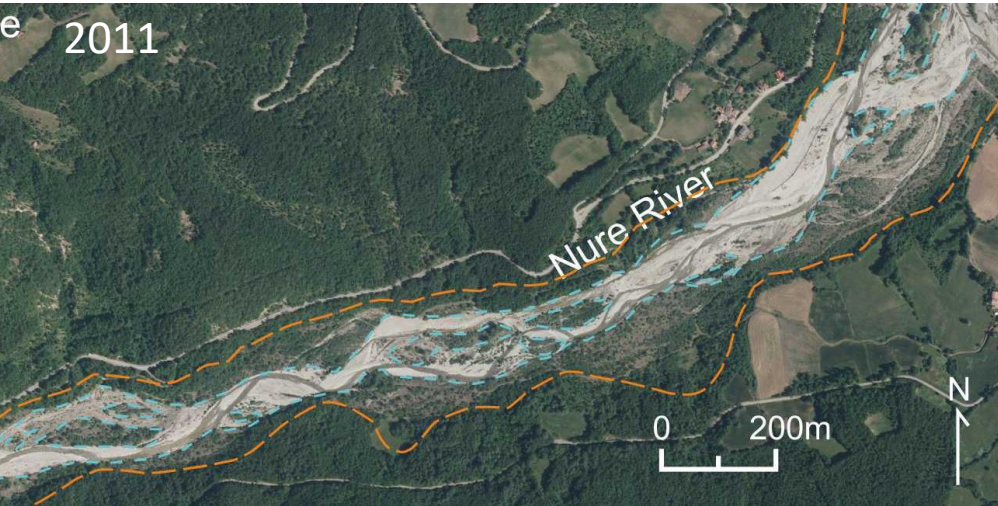
Rimodellazione delle isole



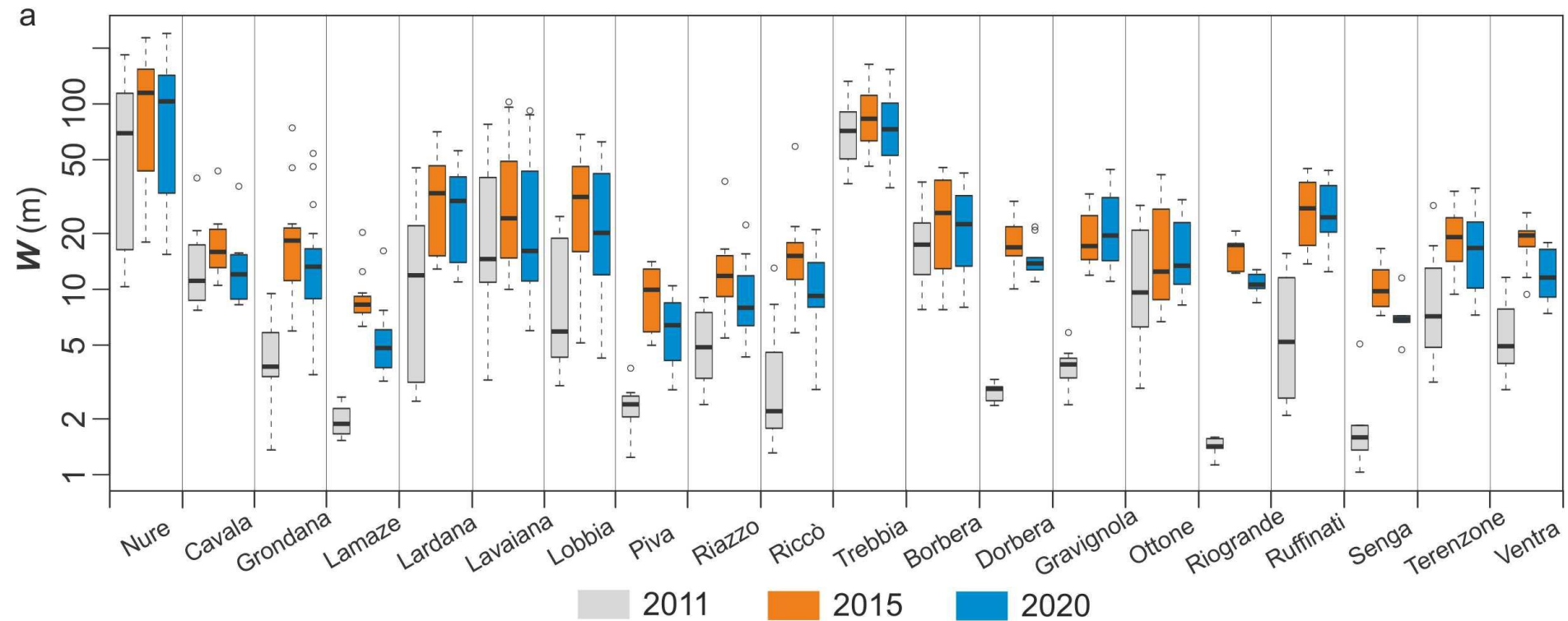
LEGENDA

- S = Stabili
- E = Erose
- N = Nuove

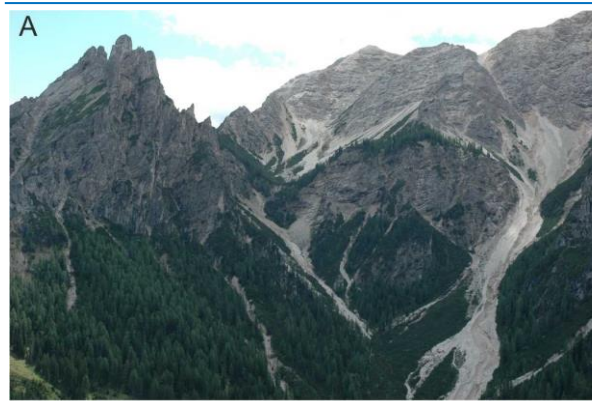
Allargamento alveo attivo ed alluvioni estreme



Allargamento alveo attivo ed alluvioni estreme



Da dove viene il sedimento?



Frane e colate detritiche



Scorrimenti superficiali

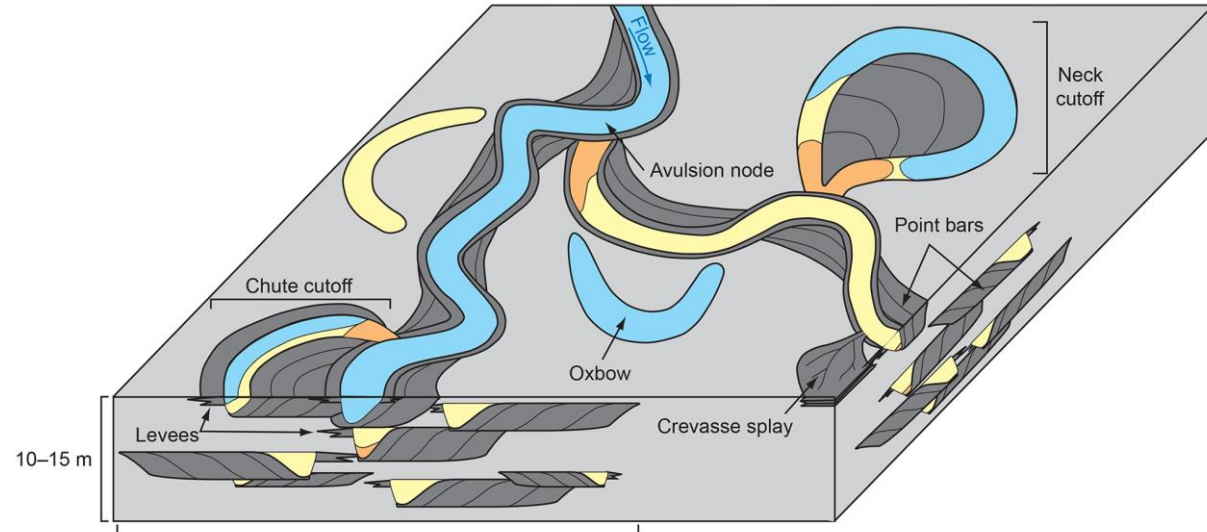


Erosione della pianura inondabile e delle sponde

Avulsione e taglio del meandro



Channel avulsion
Meander cutoff



Braudrick et al., 2009



Abandoned channel deposits

- Sand fill
- Clay/silt fill

Other alluvial deposits

- Sand
- Clay/silt

Difesa dalle alluvioni

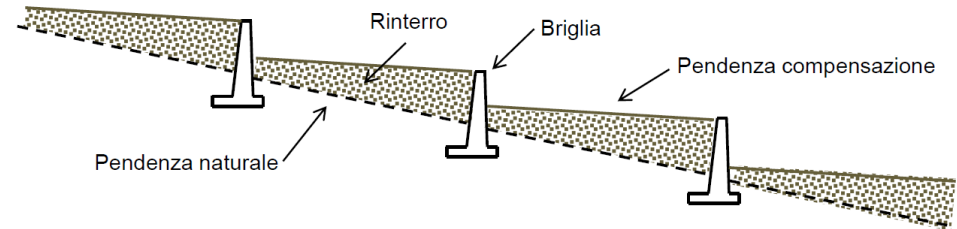


Torrenti di scavo

L'energia della corrente è tale che riesce sia a trasportare materiale proveniente dalla parte superiore del bacino sia ad erodere l'alveo localmente.

Le sistemazioni a gradinata possono essere effettuate con una serie di manufatti posti lungo il tratto dell'asta fluviale che necessita di intervento.

BRIGLIA o **TRAVERSA**: manufatto tracimabile, posto trasversalmente all'alveo, con lo scopo di diminuire la pendenza del fondo innalzandolo. Generalmente le briglie sono utilizzate in serie nelle sistemazione a gradinata



Difesa dalle alluvioni

Torrenti di trasporto

Notevole apporto di materiale solido dal bacino di monte

- L'energia della corrente viene impiegata nel trasporto del materiale e non nell'erosione del letto
- Il torrente è caratterizzato da fenomeni di sovralluvionamento e interrimento

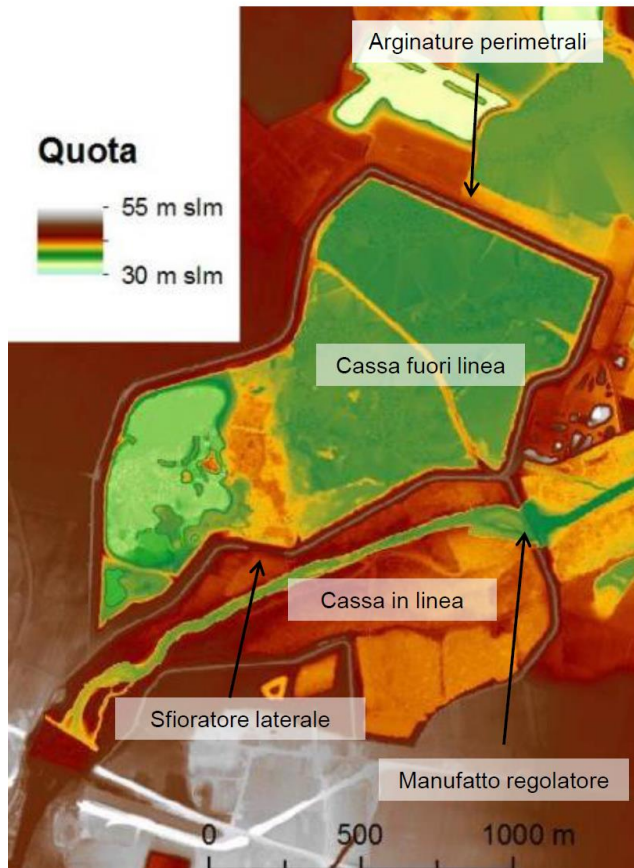


Difesa dalle alluvioni

- **Casse di espansione:** sono serbatoi ottenuti erigendo appropriate arginature intorno ad aree, le quali possono essere inondate e riempite in maniera controllata e senza arrecare danni imprevisti

Sono generalmente **interposte tra il tratto montano e il tratto di pianura** di un'asta fluviale al fine di disgiungere almeno parzialmente il funzionamento idraulico dei due tratti e laminare l'onda di piena.

La Cassa di Espansione sul Fiume Secchia – Rubiera (RE)

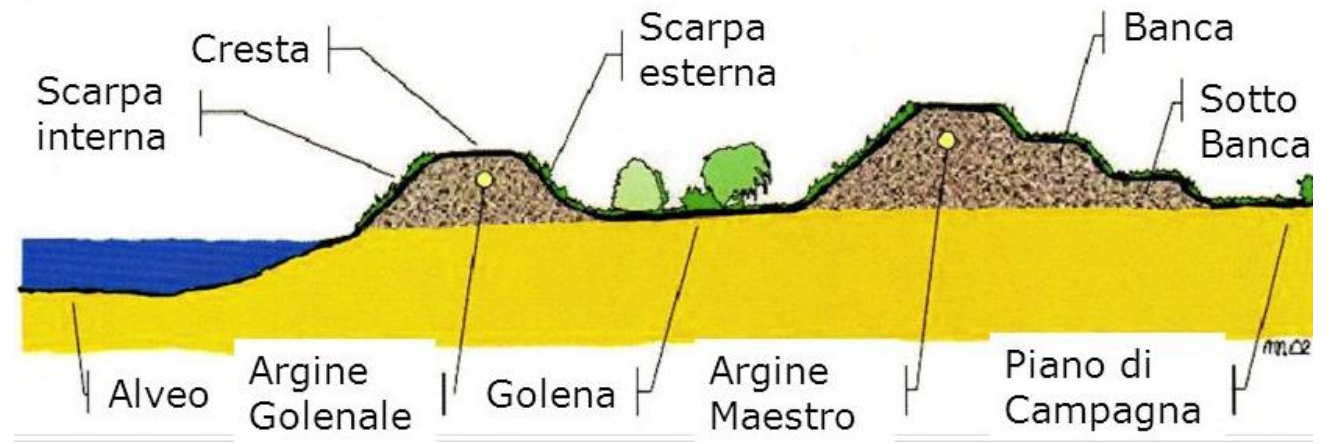


1 Cassa in linea e 1 Cassa fuori linea
Area di monte del bacino = 1250 km²
Volume di invaso = 19 x 10⁶ m³



Difesa dalle alluvioni

Argini e golene



Difesa dalle alluvioni

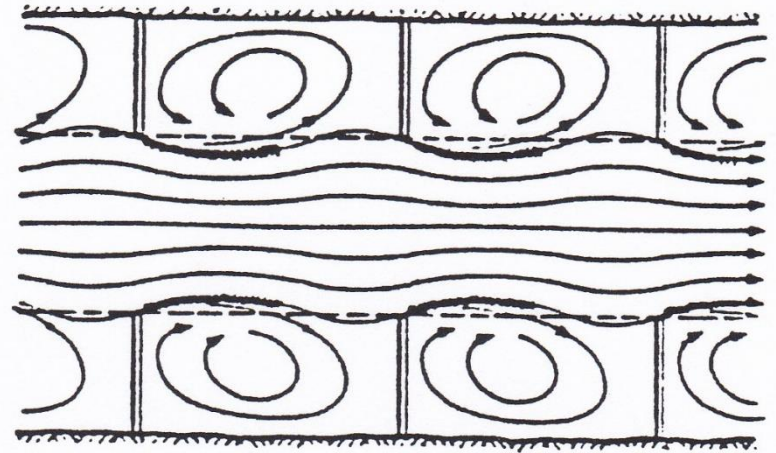
Canali scolmatori



Pennelli



Protezioni spondali





UNIMORE

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI
MODENA E REGGIO EMILIA

Dipartimento di Scienze Chimiche
e Geologiche

Corso di Laurea in Scienze Geologiche

E' vietata la copia e la riproduzione dei contenuti e immagini della lezione in qualsiasi forma.

E' inoltre vietata la redistribuzione e la pubblicazione dei contenuti e immagini della lezione non autorizzata espressamente dal docente Vittoria Scorpio