



Energie Rinnovabili ed Ambiente Montano

Impatti ambientali delle derivazioni ad uso idroelettrico sui corsi d'acqua

Marzia Ciampittiello

CNR Istituto per lo Studio degli Ecosistemi

Venerdì 7 ottobre 2016 – Forum di Omegna



Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto per lo Studio degli Ecosistemi





- Morfologia di un corso d'acqua
- Idrologia idraulica
- Impatti sulla morfologia, idrologia
- Impatti sulle biocenosi
- Proposte di mitigazione

Morfologia di un corso d'acqua

- La forma di un corso d'acqua con curve, meandri, affluenti è funzione delle caratteristiche geologiche, pedologiche e idrologiche del territorio in cui si è sviluppato:
 - Le caratteristiche idrologiche definiscono le variazioni di livello e di portata e la conseguente capacità di trasformazione del corso d'acqua.



Morfologia di un corso d'acqua

- Le caratteristiche geologiche e pedologiche influenzano la densità del sistema idrografico, la sinuosità, la facilità o difficoltà di erosione del letto o delle sponde dei corsi d'acqua, la forma della valle.



Morfologia di un corso d'acqua

- Un corso d'acqua evolve morfologicamente sia **nel tempo** che **nello spazio**; **nello spazio** infatti può essere suddiviso da monte verso valle in:

- Tratto montano



- Tratto vallivo

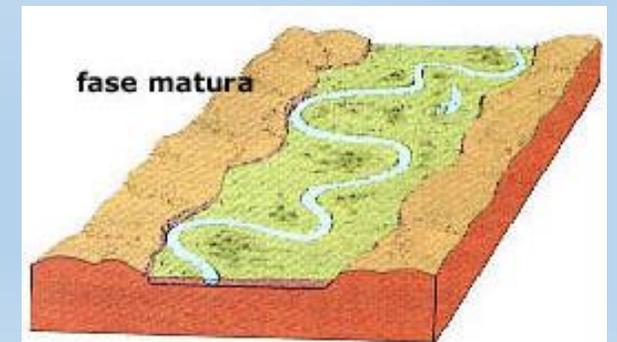
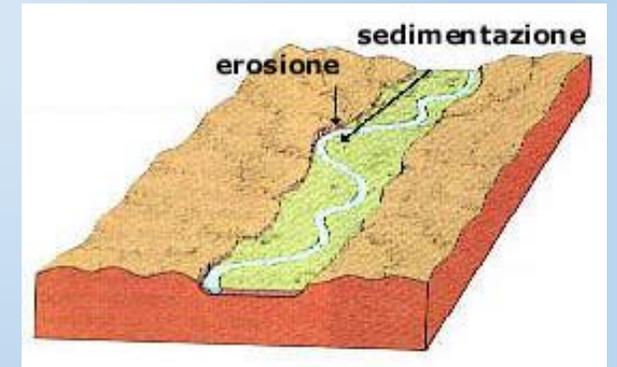
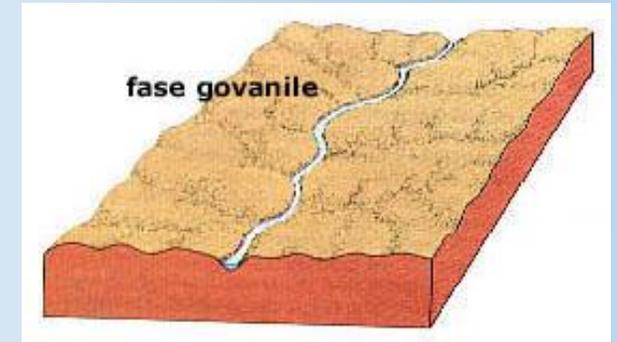


- Tratto pedemontano



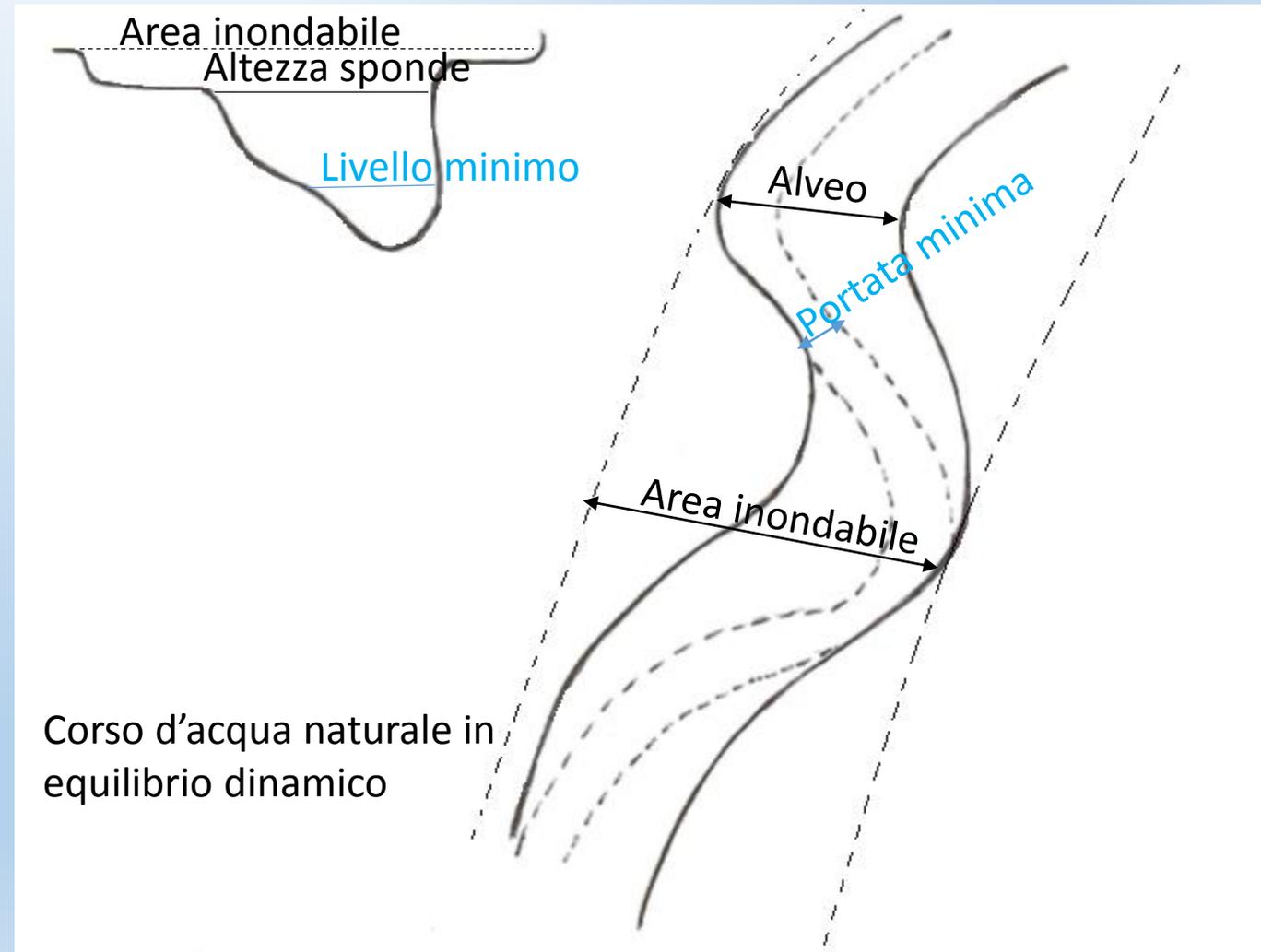
Morfologia di un corso d'acqua

- **Nel tempo** ogni corso d'acqua cerca un equilibrio idro-morfologico che consiste nello scorrere con il minor dispendio di energia possibile;
- Inizialmente l'attività principale risulta l'erosione, per ridurre la pendenza e quindi la velocità da monte verso valle in modo da «risparmiare energia» (fase giovanile);
- Successivamente vi sono erosione e sedimentazione insieme con lo sviluppo di curve, ramificazioni e meandri;
- Nel tempo, se non intervengono fattori disturbanti, l'erosione tende a diminuire fino a cessare completamente, così come la sedimentazione (fase matura).



Morfologia di un corso d'acqua

- L'erosione, il trasporto e la sedimentazione causano quindi una evoluzione altimetrica, associata a processi di abbassamento o innalzamento del fondo, e una evoluzione planimetrica;
- “Sistema di valutazione idromorfologica, analisi e monitoraggio dei corsi d'acqua”, denominato IDRAIM.
 - IDRAIM nasce nel 2008, da ISPRA al fine di disporre di strumenti geomorfologici come base per la gestione dei corsi d'acqua;
 - Rappresenta uno strumento di valutazione e monitoraggio della qualità morfologica finalizzato all'implementazione della Direttiva Quadro Acque e della Direttiva Alluvioni;
 - L'Indice di Qualità Morfologica (IQM); l'Indice di Dinamica Morfologica (IDM); la Classificazione da Dinamica d'Evento (CDE) e le fasce fluviali di dinamica morfologica (FDM, FDE);
- CARAVAGGIO (Core Assessment of River hAbitat Value and hydro-morpholoGical cOndition).



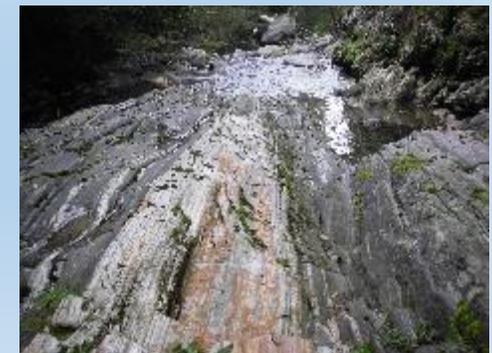
Morfologia di un corso d'acqua

- L'equilibrio in particolare tra il fenomeno dell'erosione e quello del deposito sono legati a:

- Il flusso (velocità e quantità),
- La pendenza,
- La forma del letto,
- Le caratteristiche del materiale trasportato.

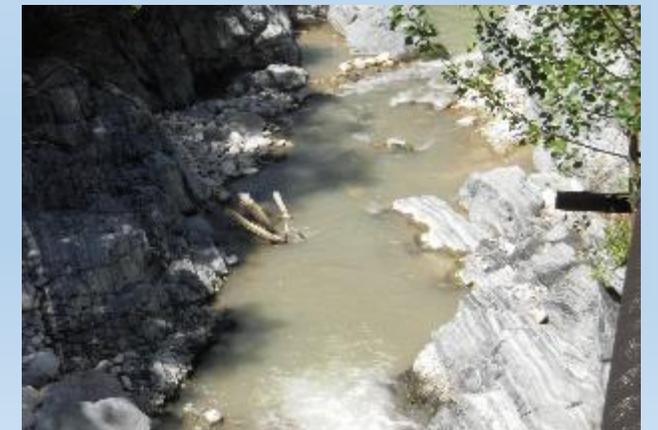
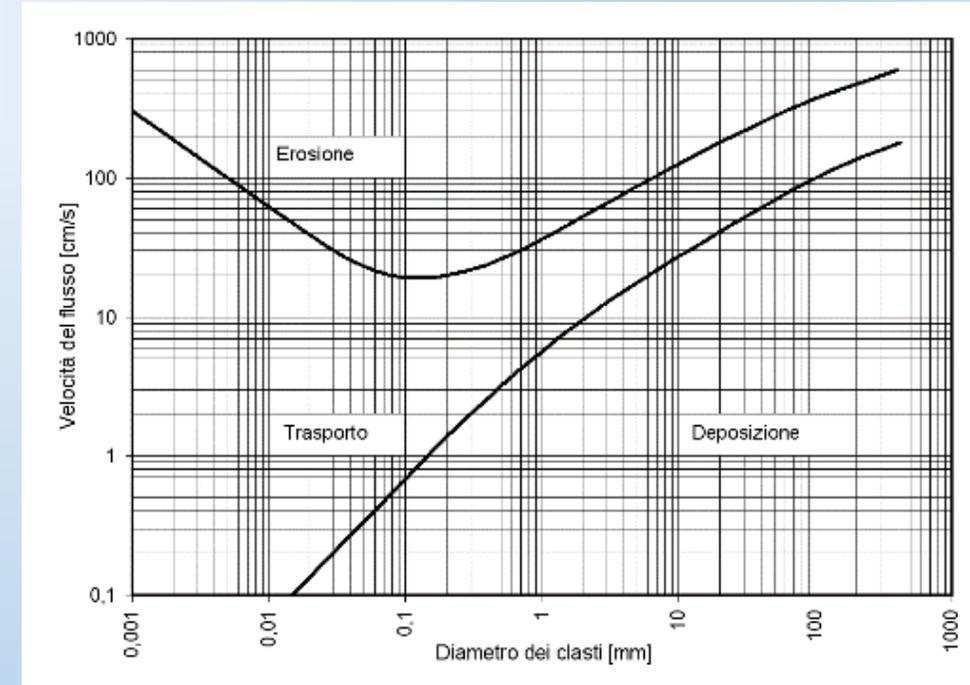


- La variazione di uno di questi fattori causa l'innescò di nuovi fenomeni di erosione e/o di deposito, fino alla formazione di un nuovo equilibrio idromorfologico.



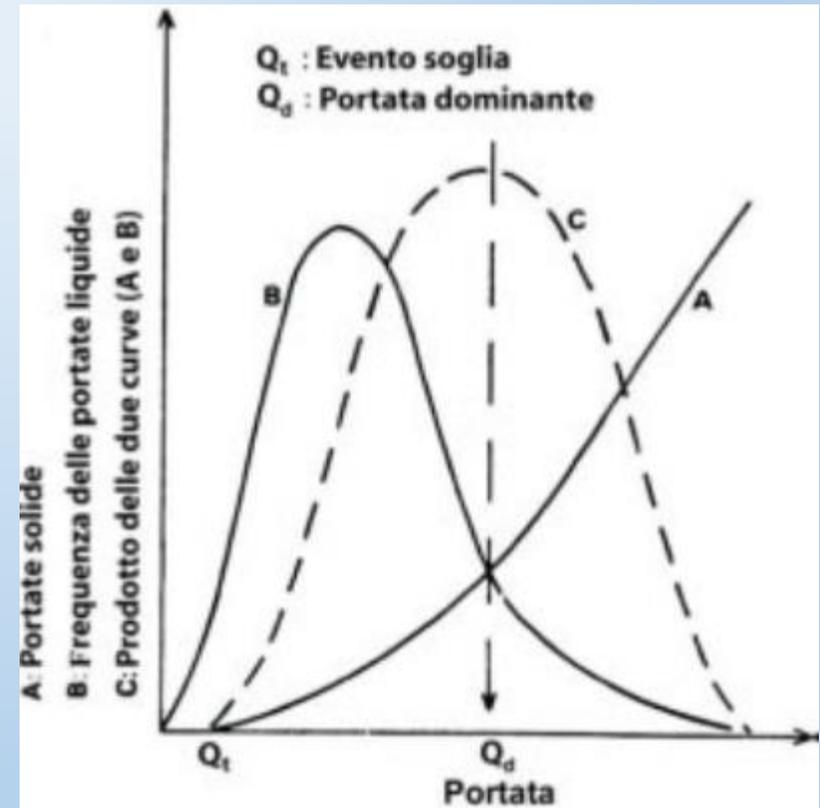
Morfologia di un corso d'acqua

- Il diagramma di Hjulström serve a stabilire teoricamente la tendenza al trasporto, all'erosione o alla sedimentazione in funzione del materiale presente nell'alveo e della velocità di corrente.



Morfologia di un corso d'acqua

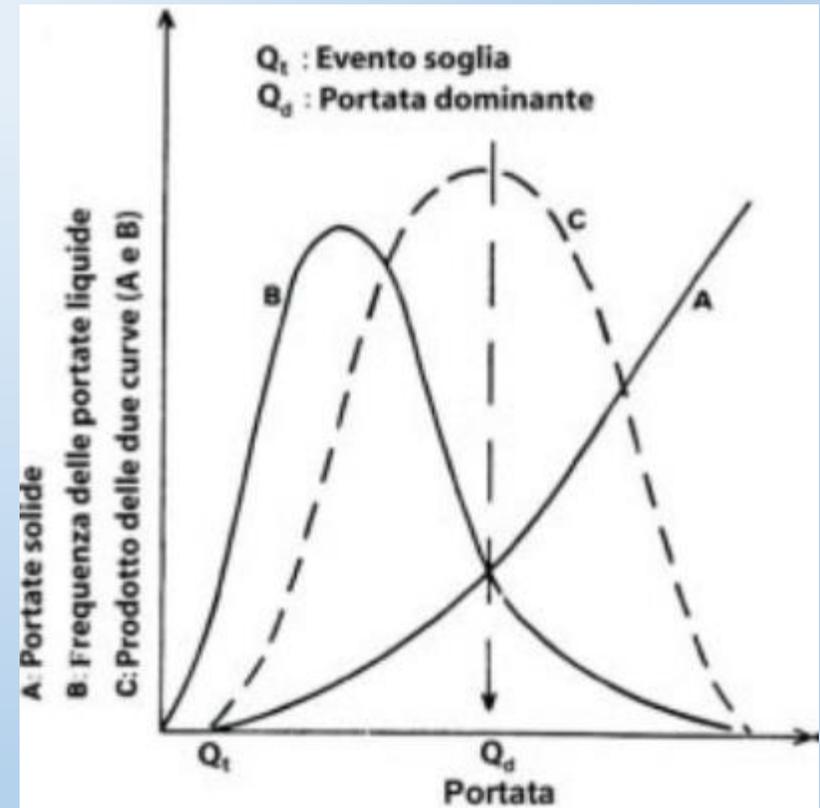
- La **portata dominante** è la portata più efficace nel modellare l'alveo e non è né quella relativamente bassa, anche se molto frequente, in grado di trasportare solo modeste quantità di sedimenti, né quella estrema, che, seppur associata a elevato trasporto solido, è troppo rara per riuscire ad imprimere un effetto duratura sulla forma del fiume; è la portata più importante nel determinare la forma e le dimensioni dell'alveo;
- Wolman & Mille (1960) introdussero quindi il termine di portata formativa in termini di prodotto tra magnitudo e frequenza delle portate liquide;
- Andrews (1980) fornì una conferma sperimentale a quanto originariamente proposto da Wolman & Miller ed introdusse il termine di portata efficace per indicare appunto la portata che trasporta più sedimenti in un certo intervallo temporale.



Wolman & Miller (1960).

Morfologia di un corso d'acqua

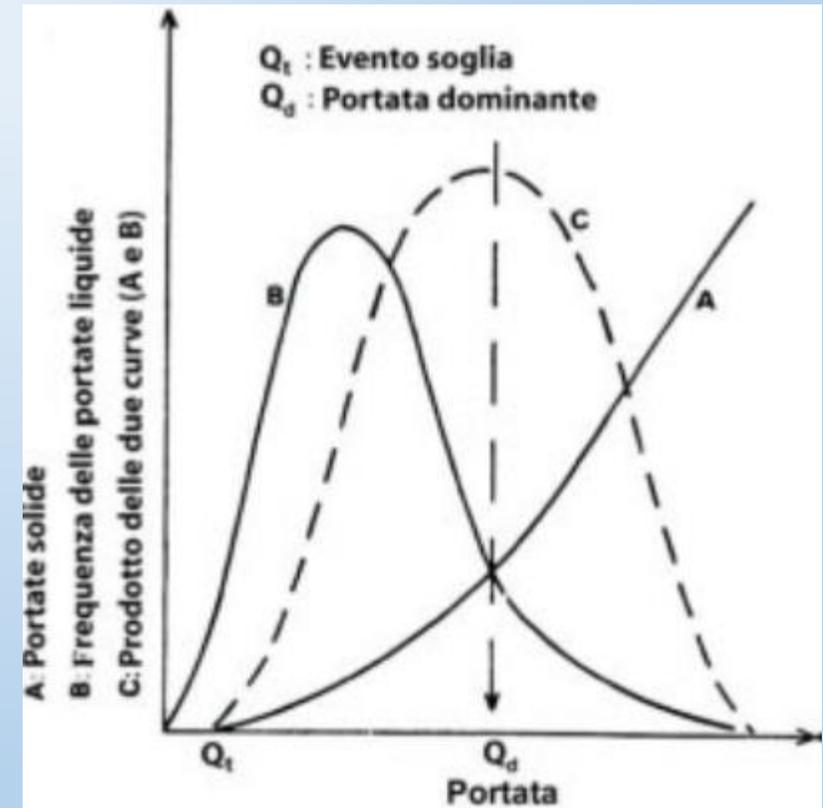
- La **portata dominante** o **formativa** o **efficace** può essere stimata attraverso uno dei seguenti tre approcci:
 - 1) Portata ad alveo pieno (in alvei stabili questa portata tende a coincidere con quella efficace);
 - 2) Portata con un dato tempo di ritorno (tipicamente compreso tra 1 e 3);
 - 3) Portata efficace (portata che trasporta più sedimenti in un intervallo di tempo sufficientemente ampio secondo quanto definito da Wolman & Miller).
- E' comunque raccomandabile usare tutti e tre i metodi e confrontarne i risultati per ridurre le incertezze del risultato finale, così come considerare un range di portate piuttosto che un singolo valore.



Wolman & Miller (1960).

Morfologia di un corso d'acqua

- Limiti e problemi nell'uso del concetto di portata dominante:
 - E' utile infine rimarcare alcune limitazioni nell'uso del concetto di portata dominante e sua identificazione con portata ad alveo pieno:
 1. Corsi d'acqua confinati o semiconfinati ad elevata energia;
 2. Alvei instabili;
 3. Alvei con morfologie a canali intrecciati o transizionali (wandering).



Wolman & Miller (1960).

Idrologia e idraulica di un corso d'acqua

- **Regime idrologico** - Si intende la variazione mensile, stagionale e/o annuale del deflusso (portata) in una specifica sezione di un corso d'acqua;
 - E' funzione principalmente delle piogge, ma anche delle caratteristiche morfologiche, geo-pedologiche e morfometriche di un bacino; e si possono distinguere:
 - Regimi nivo-glaciali;
 - Regimi nivo-pluviali;
 - Regimi pluviali
 - Regimi sublacuali.
 - E' influenzato dal cambiamento climatico in atto e dagli usi antropici della risorsa.

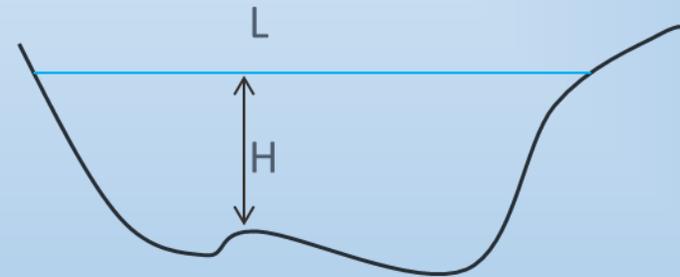
Idrologia e idraulica di un corso d'acqua

- **La portata**, può presentare variazioni orarie, giornaliere, mensili, stagionali o annuali;
- Le misure dirette di portata (es. metodi chimici) sono onerose, in termini di tempo, attrezzature e personale, si ricorre quindi a metodi indiretti :
 - Si calcola come prodotto tra la velocità di corrente e l'area bagnata:



$$Q = V * A$$

$$Q = V * H * L$$



- O attraverso ulteriori formule legate alle caratteristiche del bacino (es. Giandotti) o per particolari situazioni (es. portate al colmo) o attraverso modelli (es. empirici, deterministici, stocastici, HEC-RAS, MIKE 11)

Idrologia e idraulica di un corso d'acqua

- **La velocità di corrente** – Si può misurare:
 - attraverso il mulinello o correntometro, funzione del numero di giri dell'elica e ricavata attraverso la retta di taratura:



$$V_1 = 0,2486 * n + 0,0122$$

$$V_2 = 0,2486 * n + 0,0195$$

$$\text{per } 0,426 < n < 4,056$$

$$\text{per } 4,056 < n < 15,498$$

- Attraverso i galleggianti:

$$V = s/t$$

- Attraverso formule che dipendono dalla sezione, dalla pendenza, dalla scabrezza (Es. formule di resistenza, Manning):

$$V = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * i^{\frac{1}{2}}$$



Idrologia e idraulica di un corso d'acqua

- Attraverso l'osservazione diretta del livello di un corso d'acqua (scala delle portate):

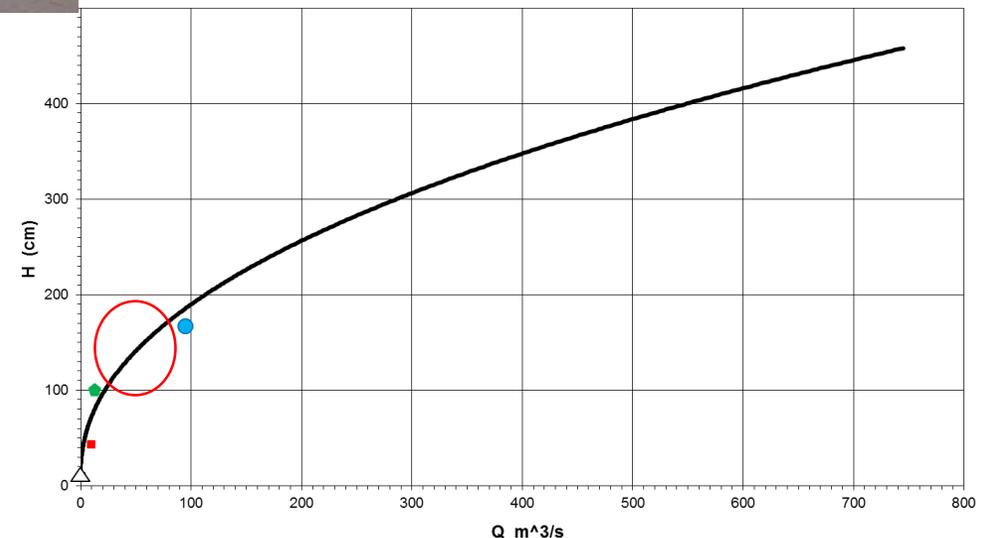
$$Q = a(h - h_0)^b$$

$$Q = 45 \left(\frac{h}{100} - 0,01 \right)^2$$



- Dove h_0 rappresenta la quota del punto più depresso dell'alveo, rispetto allo zero idrometrico;
a, b rappresentano parametri caratteristici del corso d'acqua

T. S. Giovanni P.te Possaccio (scala Q/H)



Idrologia e idraulica di un corso d'acqua

- La diminuzione delle piogge e/o la loro diversa distribuzione spazio-temporale pongono numerosi interrogativi sull'evoluzione futura della risorsa idrica, in particolare sulla quantità d'acqua a disposizione di fiumi e torrenti;
- Non è consigliabile, alla luce dei cambiamenti climatici in atto, utilizzare le piogge per ricavare la portata; risulta quindi necessario considerare:
 - permanenza dell'acqua (volume di acqua presente);
 - regime idrologico (nivoglaciale, nivopluviale e pluviale);
 - coefficiente di deflusso (a seconda del valore medio annuo D/A).

Idrologia e idraulica di un corso d'acqua

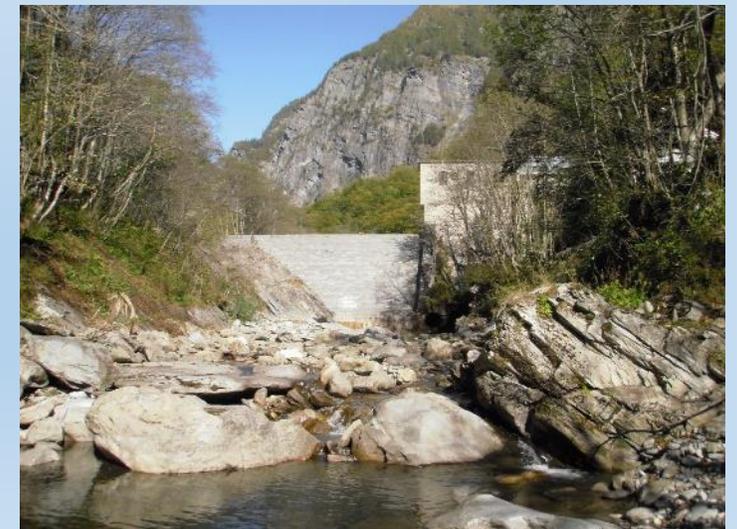
- Il **Deflusso Minimo Vitale (DMV)**

$$DMV = K * Q_{med} * S * M * Z * A * T \quad [l/s/km^2]$$

- K è un parametro sperimentale determinato per singole aree idrografiche;
- Q_{med} è la portata specifica media annua [$l/s/km^2$];
- S è la superficie del bacino sotteso alla sezione di interesse [km^2];
- M è il parametro morfologico;
- Z è il massimo di tre valori N, F e Q (rispettivamente parametri Naturalistico, di Fruizione e relativo alla Qualità biologica delle acque);
- A è il parametro di interazione fra acque superficiali e sotterranee;
- T è il parametro relativo alla modulazione del DMV.

Idrologia e idraulica di un corso d'acqua

- Il **Deflusso Minimo Vitale (DMV)** deve essere considerato come portata residua, in grado di permettere a breve e a lungo termine, la salvaguardia della normale struttura naturale dell'alveo (caratteristiche morfologiche) e, di conseguenza, la presenza di una biocenosi che corrisponda alle condizioni naturali;
- E' comunque causa di un'alterazione del regime idrologico che a sua volta induce modifiche a:
 - Morfologia
 - Chimica e fisica
 - Biologia



Alterazioni morfologiche

- Un corso d'acqua è un sistema solidale con tutte le sue parti, dove ogni variazione in un punto si ripercuote a monte e a valle;
- Risulta importante capire ed analizzare l'evoluzione di un corso d'acqua e, soprattutto la sua risposta a modificazioni morfologiche/idrologiche naturali o artificiali;
- Eventi e caratteristiche naturali che possono causare alterazioni o cambiamenti nella morfologia di un corso d'acqua:
 - Eventi estremi (piogge brevi e intense);
 - Abbassamento del livello di un corpo ricevente (lago o fiume);



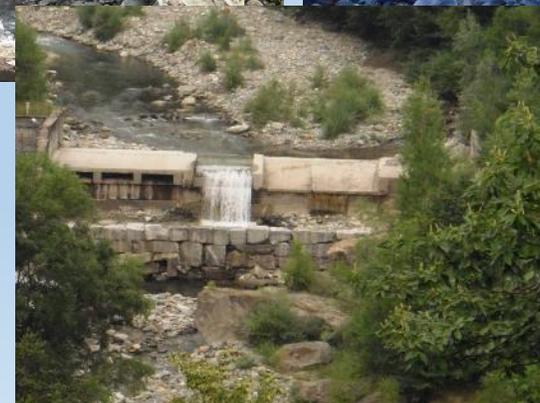
Alterazioni morfologiche

- Cause antropiche di alterazione/modifica della morfologia di un corso d'acqua:
 - Opere trasversali al corso d'acqua (es. dighe, traverse, diversioni);
 - Aumenti o diminuzioni di sezione;
 - Abbassamento di fondo (es. escavazione);
 - Opere di presa;
 - Canalizzazioni e risezioni.



Alterazioni morfologiche

- Presenza di una **diga** o di una **traversa** causano un abbassamento del fondo del corso d'acqua a valle della costruzione dovuto al fenomeno dell'erosione. Il fenomeno si ferma quando il fondo ha ridotto la sua pendenza e il corso d'acqua ha trovato un nuovo equilibrio; a monte vi è deposito di materiale;
- Il regime delle portate a valle cambia, si abbassano i livelli e quindi il corso d'acqua principale risulta avere una superficie libera più bassa di quella dei suoi affluenti, che innescano processi erosivi, che si ripercuotono a monte.



Alterazioni morfologiche

- **Aumenti o diminuzione di sezione.** Possono essere dovuti alla presenza di opere artificiali, risezionamenti o diversivi;
- Se c'è una diminuzione della larghezza della sezione si ha un aumento della velocità con conseguente diminuzione del livello e l'innescò di fenomeni di erosione;
- Se c'è un aumento della larghezza, si ha una diminuzione della velocità con innalzamenti del livello e conseguente fenomeno di deposito.

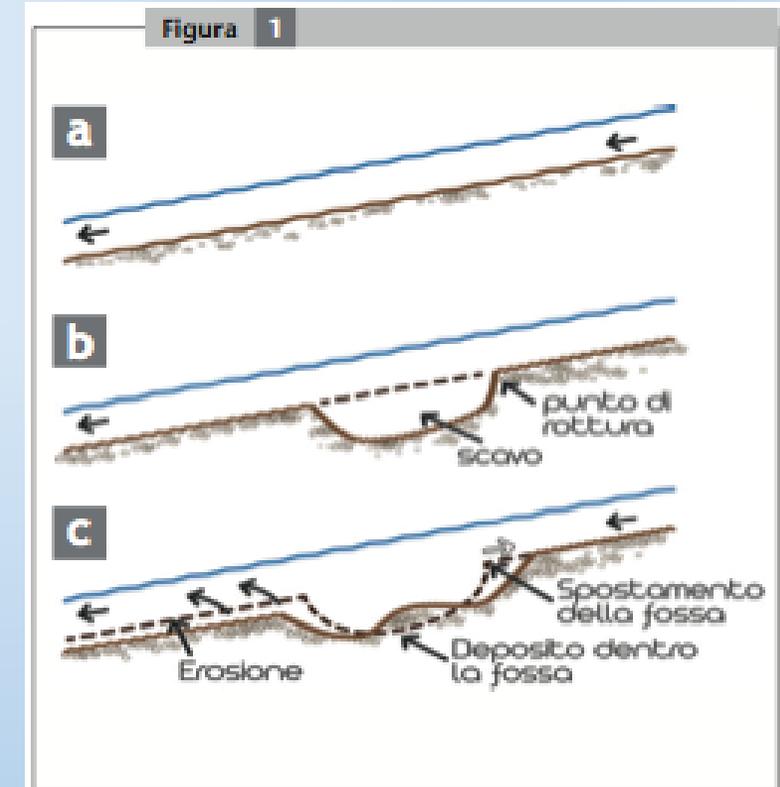


Forum di Omegna - 7 ottobre 2016



Alterazioni morfologiche

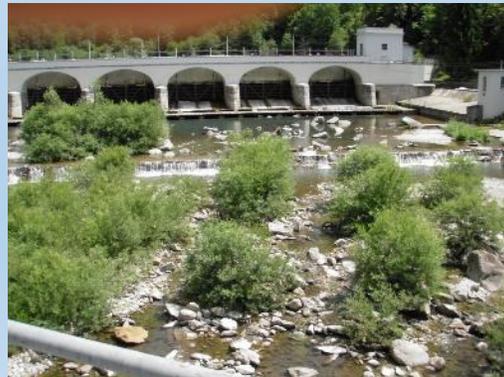
- **Abbassamento del fondo** dovuto ad eccessiva asportazione di materiale dal corso d'acqua. Si riduce la portata solida a valle del tronco dove si effettua il prelievo;
- parte dell'apporto solido di monte è utilizzato per ripascere il tronco depauperato per il prelievo di inerti, ne consegue una tendenza alla riduzione della pendenza a valle del tronco e la successiva propagazione del processo erosivo sia a valle che a monte.



Filippini et al. - <http://www.protectaweb.it/territorio-protezione-civile/rischi-ambientali/>

Alterazioni morfologiche

- Le **opere di presa** diminuiscono la quantità d'acqua all'interno di un corso d'acqua;
- A valle dell'opera vi è deposito;
- Il deposito causa un innalzamento di fondo con conseguenti innalzamenti dei livelli;
- Questo artificiale e inaspettato aumento dei livelli causa maggiori probabilità di fenomeni di esondazione.



Alterazioni morfologiche

- Tutte le opere effettuate allo scopo di rettificare e risezionare i corsi d'acqua, (es. **canalizzazioni**) causano:
 - Un'erosione prima della sezione risezionata, o dell'opera in generale;
 - Fenomeni di deposito dopo il tratto risezionato, con cambiamento della pendenza del corso d'acqua, lungo l'asta a monte e a valle;
 - Il problema maggiore si riscontra comunque a monte, con innalzamento di fondo;
 - In occasione di eventi di piena le canalizzazioni e le risezioni aumentano la velocità della corrente con conseguenze spesso disastrose alle aree di valle.



Alterazioni biologiche-ecologiche

- Si possono avere alterazioni in funzione della perdita di **connettività laterale**:
 - Le sponde di un corso d'acqua fungono da ecotono tra ambiente acquatico e terrestre, ad esempio come corridoi di dispersione per gli animali terrestri e per le specie vegetali;
 - Le sponde fungono da zone rifugio per pesci e macroinvertebrati, permettendo la chiusura dei cicli vitali di alcuni insetti;
 - Durante le piene la vegetazione presente sulle sponde aiuta a ridurre la velocità di corrente e a trattenere materia organica;
 - Con il passare del tempo la vegetazione presente apporta sostanza organica al corso d'acqua;
 - La non connessione tra ambiente acquatico e terrestre porta a una perdita del mosaico di habitat e di biodiversità.

Alterazioni biologiche-ecologiche

- Si possono avere alterazioni in funzione della perdita di **connettività verticale**:
 - La continuità verticale contribuisce significativamente alla biodiversità complessiva dei torrenti;
 - Costituisce corridoio migratorio controcorrente e fonte di colonizzazione verso habitat di alveo;
 - È una riserva trofica;
 - È una zona rifugio per i macroinvertebrati in cui superare gli eventi idrologici avversi, piene, essiccamento o congelamento;
 - È zona di nursery in alcune fasi del ciclo vitale (uova, giovani larve, pupazione e sfarfallamento di insetti con uno stadio obbligatorio epigeo).

Alterazioni biologiche-ecologiche

- Si possono avere alterazioni per **diminuzione della quantità d'acqua**:
 - La riduzione di portata a valle degli sbarramenti modifica il regime idrologico, la velocità di corrente, la temperatura, la composizione e la stabilità del substrato. Questi fattori influenzano il numero di specie e la loro abbondanza, e la struttura della comunità verso una riduzione della biodiversità, arrivando anche a compromettere la sopravvivenza delle comunità in caso di portate o rilasci troppo bassi;
 - Una diminuzione di portata causa maggiori escursioni termiche quindi una maggior produzione primaria, concentrazione di nutrienti e sostanze tossiche a discapito delle comunità biologiche, con una conseguente riduzione della biodiversità e dell'abbondanza;
 - Non è solo la riduzione di portata a causare alterazioni, ma spesso la modalità con cui avvengono tali variazioni: infatti esse dovrebbero essere il più possibile simili a quelle naturali, (non variazioni veloce all'interno della stessa giornata o portata costante durante tutto l'anno) in modo da sostenere le esigenze dell'intero comparto biologico rispettando le necessità dei singoli organismi.

Possibili mitigazioni

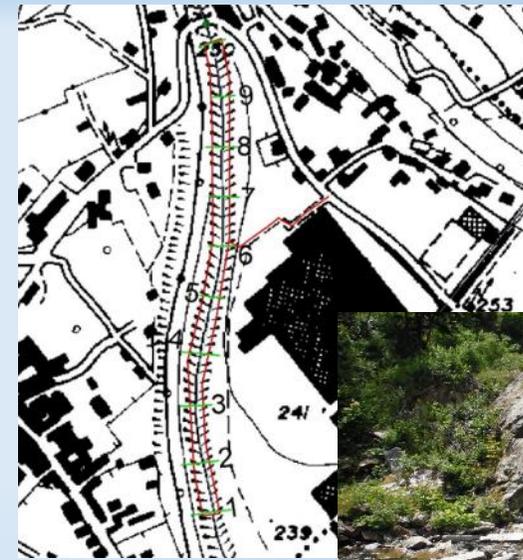
- Realizzazione di una scala di rimonta per pesci che permetta la percorrenza del corso d'acqua sia in risalita che in discesa. Il passaggio per pesci crea infatti un corridoio biologico che permette all'ittiofauna di raggiungere i siti di riproduzione, superando quegli ostacoli artificiali che, frapponendosi agli spostamenti, mettono a rischio la sopravvivenza della specie;
- Il passaggio per pesci risolve anche altre situazioni critiche che incidono negativamente sul cosiddetto continuum fluviale:
 - la frammentazione ambientale;
 - la creazione di popolamenti isolati, con scarso interscambio genetico e la forte probabilità di estinzione dell'intero gruppo a fronte di malattie o altri eventi;
 - l'impossibilità di accedere a tratti d'acqua migliori sotto il punto di vista dell'ossigenazione e del trofismo alimentare;
 - le scarse possibilità di ripristino di popolamenti isolati a seguito dei depauperamenti dovuti agli effetti delle piene;
 - drift e risalita dei macroinvertebrati per ripopolamento delle zone a valle e a monte. Le dighe sono solitamente ostacoli insormontabili per un insetto.

Possibili mitigazioni

- Aumento della portata a valle verso un DMO (deflusso Minimo Ottimale)

$$DMV_{proposto} = K \times Q_{med} \times S \times M \times A \times \frac{1}{IQM} \times T$$

- K è un parametro sperimentale determinato per singole aree idrografiche;
- Q_{med} è la portata specifica media annua [l/s/km²];
- S è la superficie del bacino sotteso alla sezione di interesse [km²];
- M è il parametro morfologico;
- $\frac{1}{IQM}$ è l'indice di qualità idromorfologica calcolata con il metodo CARAVAGGIO;
- A è il parametro di interazione fra acque superficiali e sotterranee;
- T è il parametro relativo alla modulazione del DMV.



HUMAN ACTIVITIES AND CLIMATE CHANGE: EVALUATION OF THE IMPACTS ON MOUNTAIN RIVERS

POLITECNICO DI MILANO

Department of Civil and Environmental Engineering

PhD Program in Environmental and Infrastructure Engineering

Claudia Dresti PhD

Tab. 4. Valori dei parametri per il calcolo del DMV e valore del DMV proposto per due siti caratteristici.

Corso d'acqua	DMV idrologico [m ³ /s]	M	1/IQM	A	DMV proposto [m ³ /s]
Isorno - Pontetto	0,351	0,9	1,09	1	0,34
Gravellona - Strona	1,653	0,9	1,96	1	2,92

Conclusioni

- Nel corso degli ultimi 50 - 60 anni, la morfologia e la dinamica della maggior parte dei fiumi europei ed italiani hanno subito delle profonde trasformazioni, soprattutto a causa di vari interventi antropici sia a scala di bacino che di tratto, andando a modificare quello che è il naturale flusso delle acque e dei sedimenti (es. costruzione di dighe per la generazione di energia elettrica, prelievo di sedimenti dagli alvei);
- Tali interventi hanno infatti modificato:
 - il regime delle portate liquide e di quelle solide, la mobilità laterale, la configurazione planimetrica e altimetrica;
- E' quindi necessario:
 - Identificare instabilità o disequilibri, vulnerabilità del sistema, cambiamenti naturali o modificazioni causate da azioni dell'uomo;
 - Valutare le caratteristiche e la potenzialità di una forma stabile (dimensioni stabili del corso d'acqua, profilo longitudinale e sezioni trasversali);
 - Analizzare il trend evolutivo attraverso la conoscenza delle dinamicità del corso d'acqua.

Grazie per l'attenzione