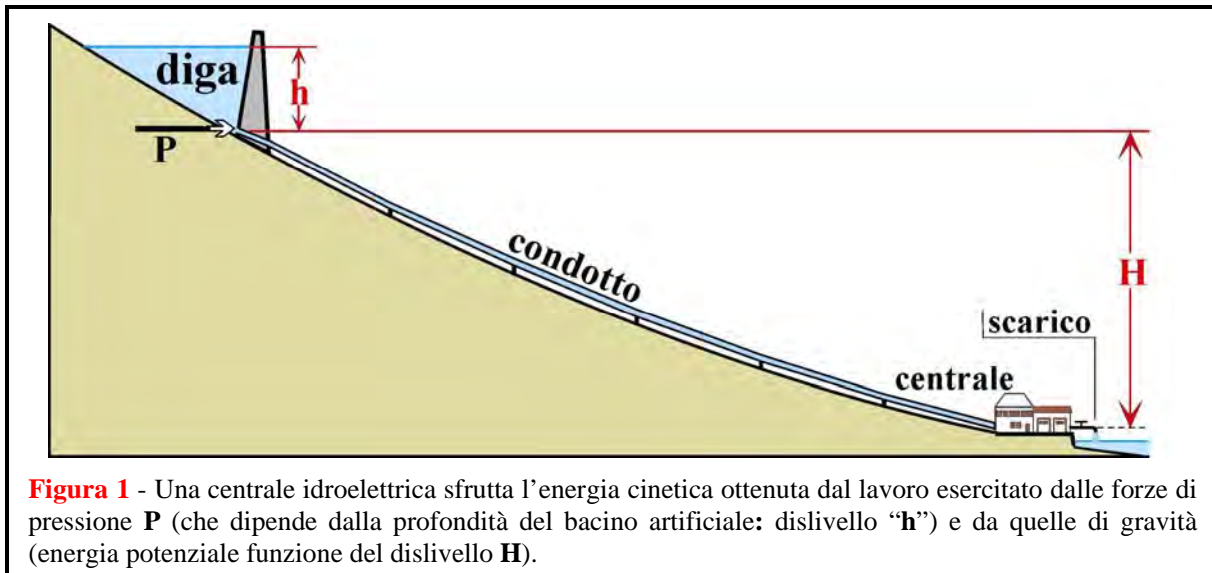


## La condotta forzata

Proviamo ad applicare uno dei principi fondamentali della fisica classica, quello della **conservazione dell'energia** ed allo scopo consideriamo l'esempio illustrato nella **figura 1**.



**Figura 1** - Una centrale idroelettrica sfrutta l'energia cinetica ottenuta dal lavoro esercitato dalle forze di pressione **P** (che dipende dalla profondità del bacino artificiale: dislivello "**h**") e da quelle di gravità (energia potenziale funzione del dislivello **H**).

L'acqua, alla base della diga, si infila nel condotto e precipita verso valle, fino ad arrivare alla centrale. L'acqua accumulata in alto a formare il bacino artificiale possiede **energia potenziale "Ep"**. L'acqua scorre lungo il condotto con velocità crescente acquisendo quindi **energia cinetica "Ec"**, quella che viene sfruttata dalla centrale per far ruotare una turbina, cioè una sorta di ruota di molino che aziona a sua volta il sistema di produzione di **energia elettrica "Ee"**. Secondo il principio di conservazione dell'energia in teoria tutta quella potenziale si trasforma in quella cinetica e questa, a sua volta, in energia elettrica: "**Ep = Ec = Ee**".

Nella realtà l'equazione sopra riportata non è esatta, in quanto non proprio tutta l'energia potenziale si trasforma in energia cinetica, così come quest'ultima non si trasforma interamente in quella elettrica e ciò perché sono presenti delle perdite che non consentono un rendimento pari al 100 % nei due passaggi "**Ep ⇒ Ec**" e "**Ec ⇒ Ee**". Per i nostri fini ci interessa il primo passaggio.

Le pareti del condotto esercitano attrito nei confronti del movimento dell'acqua e ciò comporta una certa perdita di energia. Per ridurre tale perdita occorre che le pareti del condotto stesso siano perfettamente "lisce". Inoltre il condotto è costituito dalla giustapposizione di tratti di tubo che devono essere ben saldati tra loro, in modo da evitare discontinuità in corrispondenza delle giunzioni.

La geometria a sezione circolare del condotto non è casuale; infatti gli ingegneri idraulici sanno bene che a parità di area della sezione la forma circolare è quella che comporta il perimetro minore e quindi la più adatta per minimizzare la superficie in corrispondenza della quale si manifesta l'attrito.

Le perdite di energia si manifestano anche in seguito a "turbolenze" in seno al movimento dell'acqua. La condizione ideale è un movimento dell'acqua di tipo perfettamente lineare e a tale

scopo occorre dimensionare correttamente il condotto rispetto alla portata che deve sostenere e soprattutto progettare la posa del condotto stesso lungo un percorso massivamente regolare.

Con gli accorgimenti sopra descritti si migliora il rendimento del passaggio “**Ep** ⇒ **Ec**”, fino a valori prossimi al 100 %: quasi tutta l’energia potenziale si trasforma in energia cinetica; in sostanza la quantità di energia cinetica che si ottiene dipende quasi esclusivamente dal dislivello (“**H**” nella **figura 1**) tra la diga e la centrale. Resta ora da capire quale relazione esiste tra tale argomento e la cosiddetta pulizia dei fiumi. Ancora un po’ di pazienza perché occorre un’altra premessa.

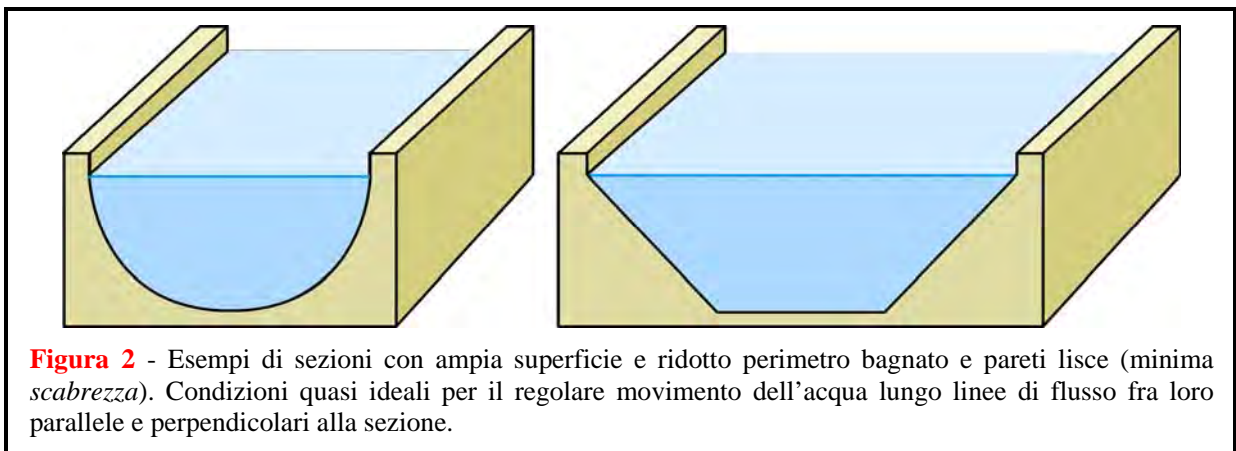
## L’acqua nei canali

Il condotto di una centrale idroelettrica, così come sopra descritto, è il sistema migliore per condurre l’acqua con dispersioni minime di energia: il risultato è l’incremento di energia cinetica verso valle.

Vi sono altri sistemi per condurre l’acqua: i **canali**. Sono anch’essi dei condotti, ma a “pelo libero”, cioè aperti in alto, non chiusi come accade in un tubo; tuttavia le regole dell’idraulica funzionano ancora abbastanza bene.

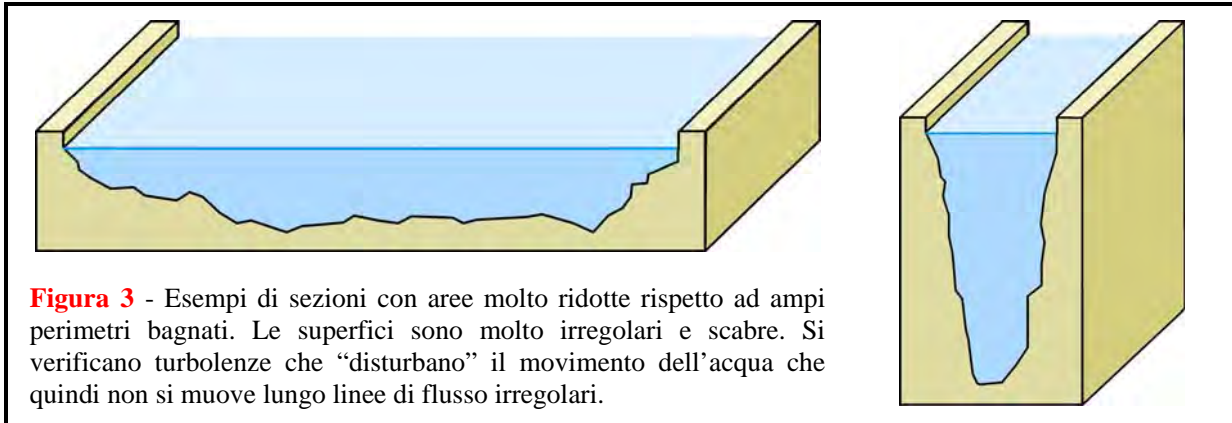
I canali sono costruiti con lo scopo principale di portare acqua per irrigazione nelle aree interessate dall’agricoltura; in qualche caso servono anche per portare acqua a centrali idroelettriche. Lo scopo principale che si pone l’ingegnere è quello di portare acqua nel modo più efficace possibile, in tempi rapidi e riducendo al minimo le dimensioni del canale. Pertanto valgono, più o meno, le stesse precedenti indicazioni e precisamente tre principali:

1. Le superfici del fondo e delle pareti devono essere regolari e “lisce” (come nel condotto) per ridurre l’attrito con l’acqua in movimento ed anche per ridurre/eliminare fenomeni di erosione delle sponde si ricorre frequentemente al rivestimento di tali superfici con cemento, lastre di pietra ed altri materiali che inoltre limitano le infiltrazioni e quindi le perdite di adduzione.
2. La migliore geometria (forma della sezione trasversale - **figura 2**) è quella circolare (come nel condotto) al fine di offrire la minor superficie di attrito, ma di difficile costruzione. Allora si ricorre alla geometria a trapezio isoscele, con base minore rivolta in basso (il fondale) e con lati obliqui a costituire le sponde. Gli ingegneri progettano una tale forma in quanto essa consente, rispetto ad altre forme e a parità di superficie della sezione, una portata idrica superiore.
3. Il percorso del canale, compatibilmente con la morfologia del terreno e dell’eventuale presenza di altri manufatti, deve essere il più lineare possibile. Così si riducono le turbolenze nel movimento dell’acqua. Tale effetto si somma con quello consentito dalla regolarità delle pareti di cui al primo punto.



La **figura 3** illustra una situazione opposta, caratterizzata, a parità della superficie di sezione, da un ampio sviluppo del perimetro bagnato, a sua volta con perimetro irregolare. Gli ingegneri idraulici,

in casi del genere, utilizzano il termine “*scabrezza*” per indicare una morfologia che oppone maggiore attrito al movimento dell’acqua e che contribuisce alla turbolenza. Il trasporto dell’acqua, che viaggia con minore velocità, è meno efficiente; un simile canale consente portate minori.



**I criteri costruttivi di un condotto o di un canale** (eliminazione/riduzione degli attriti e delle turbolenze) **sono molto simili e seguono, abbastanza fedelmente, le classiche regole della fisica idraulica, la cui corretta applicazione consente lo scorrere dell’acqua lungo linee di flusso lineari, fra loro parallele e con uguale velocità lungo le stesse, con conseguente quasi totale riduzione della perdita di energia nel caso dei condotti o riduzione significativa della stessa nel caso dei canali. Tali regole valgono anche per i trasportatori naturali dell’acqua (fiumi)?**

## La pulizia dei fiumi

Tra gli argomenti più diffusi sul problema del controllo del dissesto idrogeologico è la cosiddetta “*pulizia dei fiumi*”. In occasione degli eventi pluviometrici più intensi (piogge abbondanti ed insistenti sui grandi bacini o violenti rovesci sui bacini più piccoli) le portate idriche dei grandi fiumi e dei torrenti aumentano fino alle condizioni idrauliche di non essere più contenute entro gli alvei ordinari. Si innescano le alluvioni (o esondazioni): l’acqua invade le fasce riparie, allagando campi ed invadendo strade, ferrovie, edifici, depositando tonnellate di fango; talora le acque non si limitano ad occupare i territori che fiancheggiano gli alvei naturali, ma in virtù del loro movimento (talora anche impetuoso) e del carico solido che trasportano, esercitano un’azione erosiva nei confronti del terreno ed un’azione demolitrice sui manufatti. In molti casi i danni sono enormi.

Le cause di questi fenomeni sono dovute alle intensità e durata delle precipitazioni. Enormi quantità d’acqua precipitano sui bacini e vengono convogliate dal reticolo idrografico nell’alveo del corso d’acqua principale che, per ovvi motivi fisici, non riesce a contenere tutta quell’acqua.

**Le alluvioni sono fenomeni naturali che si sono sempre verificati e sempre si verificheranno, ma l’uomo moderno non riesce ad accettarlo.** Si invocano interventi sul territorio per evitare simili disastri; si auspica l’impegno dei cosiddetti “esperti” (ingegneri idraulici, a volte i geologi o i forestali) per affidare ad essi la progettazione di azioni di contenimento/eliminazione del rischio idrogeologico, tra le quali la pulizia/gestione/controllo degli alvei fluviali, cioè gli interventi di “*sistemazione idraulica-idrogeologica*”; cosa essi comportano? **La trasformazione dei corsi d’acqua naturali in forme paragonabili ai canali.** Se ragioniamo come l’ingegnere idraulico vale il seguente elenco di tipologie di intervento (esempio in **figura 4**):

- Rettificazione delle tracce fluviali. La presenza di anse e di meandri, cioè di “percorsi” più o meno contorti, favorisce le turbolenze dell’acqua e quindi dispersione di energia. Se gli alvei fluviali avessero andamento più lineare potrebbero smaltire più facilmente l’acqua, soprattutto in occasione delle piene.

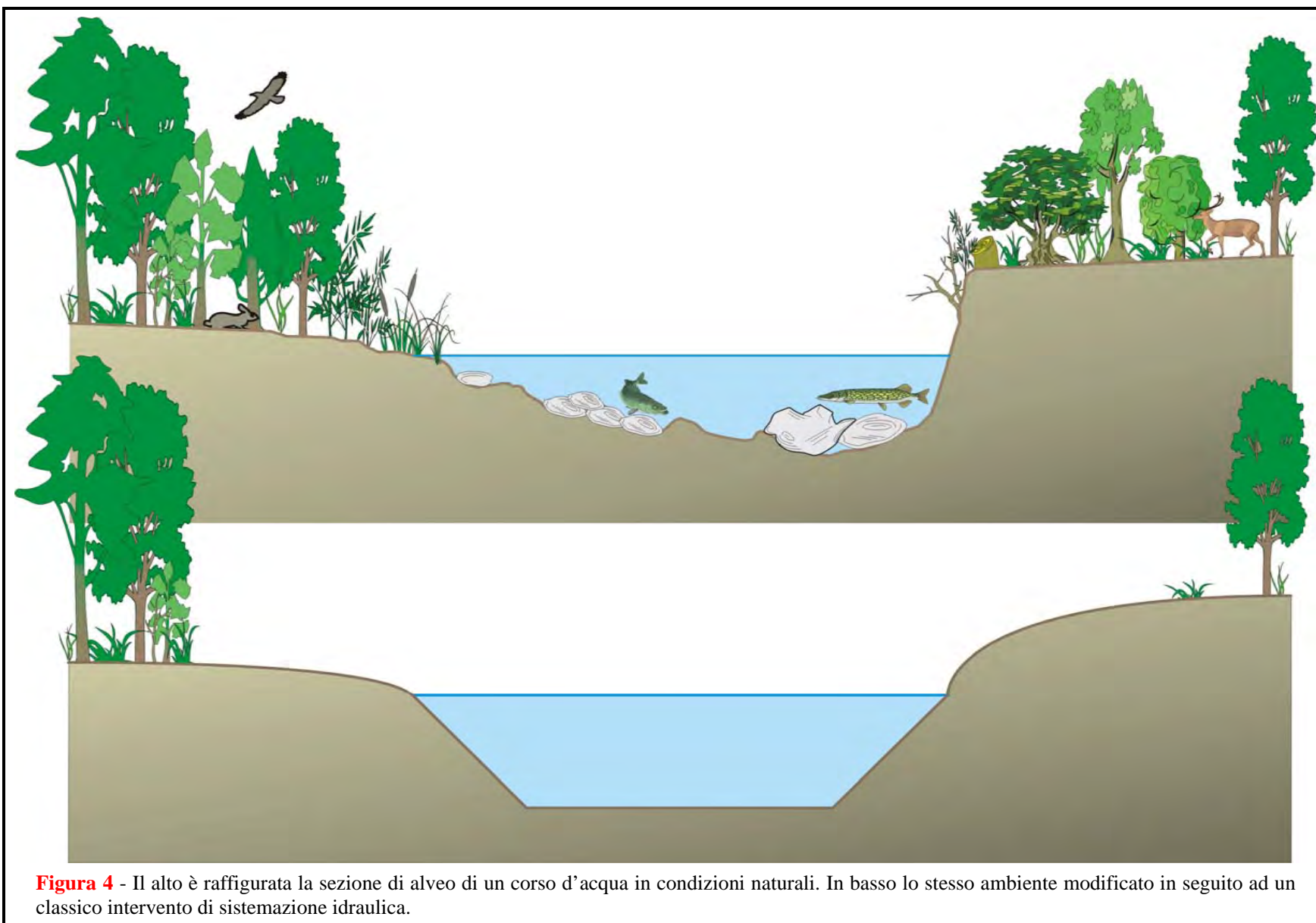
- Risagomatura della sezione dell'alveo fluviale che assume quindi una sezione a forma di trapezio isoscele con la base minore rivolta in basso a costituire il nuovo fondale un poco ribassato rispetto alla condizione precedente l'intervento. In tal modo, a parità della superficie di sezione, si riduce il perimetro bagnato garantendo una maggiore velocità dell'acqua e quindi la teorica capacità di sostenere maggiori portate senza esondazione.
- Particolare cura nella lavorazione delle superfici delle pareti delle sponde e del fondale, in modo da renderle "lisce" al fine di ridurre la scabrezza che comporta attrito rispetto al movimento dell'acqua. Talora le sponde vengono rivestite con muri o con blocchi di cemento o con massi giustapposti o con gabbioni,... per ridurre l'erosione.
- Disboscamento delle sponde e della fascia riparia, in quanto alberi ed arbusti si oppongono al movimento dell'acqua. Inoltre la vegetazione, soprattutto se spontanea, comporta la presenza anche di rami e legni che potrebbero essere coinvolti dalle acque di piena e trascinati verso valle, talora ad accumularsi contro le colonne portanti dei ponti o in corrispondenza di strettoie fluviali favorendo così le esondazioni.

La succitata **figura 4** mostra gli effetti che risultano da tali interventi, mentre le **figure 5 e 6** mostrano due casi reali. Il fiume viene rettificato, banalizzato e talora anche cementificato, mentre le sue fasce fluviali vengono desertificate. Questa è la cosiddetta pulizia dei fiumi che vengono quindi "canalizzati". Bisogna invece comprendere che tali interventi in realtà aumentano il rischio idrogeologico oltre ad essere molto costosi. In altri termini si sprecano delle risorse per distruggere gli ecosistemi fluviali e, quel che è peggio, per renderli più pericolosi. **Perché? Per rispondere a tale domanda occorre capire come "funzionano" i fiumi nelle condizioni naturali.**

## I fiumi "naturali"

Le **figure 4** (schema in alto) e **7** (esempio reale) sono rappresentazioni di alvei nelle condizioni naturali che solo le seguenti:

- **Ampio perimetro bagnato**; la forma irregolare della sezione di deflusso implica un'ampia superficie a contatto con l'acqua in movimento; ciò comporta elevato attrito e quindi dispersione di energia.
- **Ostacoli**; la presenza di massi e di materiali con granulometrie diverse, di rami e di frammenti di tronchi,... costringono l'acqua a modificare continuamente il suo percorso per aggirare gli ostacoli stessi, con vortici, cascatelle, con alternanza di zone con maggiore velocità di deflusso e bassa profondità (rapide) alternate ad altre più calme e profonde. Il movimento è tutt'altro che regolare e ciò comporta una notevole spesa di energia.
- **Erosione**; l'acqua in movimento, soprattutto se in presenza di carico solido (la torbidità tipica nelle situazioni di piena), può movimentare le porzioni più superficiali del fondale e delle sponde, muovendo anche pietre e massi di discrete dimensioni e mettendo allo scoperto le radici della vegetazione riparia. Ma per muovere i materiali e per mantenerli poi in movimento l'acqua spende energia.
- **Vegetazione**; lungo le fasce riparie ed in parte sulle sponde e talora anche sulle porzioni meno inondate dell'alveo sono spesso presenti alberi ed arbusti, nella maggior parte appartenenti a specie tipiche dei corridoi fluviali. In occasione delle piene l'acqua è costretta a muoversi in modo fortemente caotico nel suo "opporsi" contro tale vegetazione, scuotendola e talora sradicandola. Ciò significa notevole dispendio di energia e nella maggior parte dei casi riducendo in misura significativa la capacità erosiva.
- **Sinuosità**; raramente il percorso dei corsi d'acqua assume aspetto lineare; è invece spesso caratterizzato da elevata sinuosità, cioè con anse (curve) e meandri, soprattutto in pianura. Ciò comporta per l'acqua un "viaggio" più lungo (e quindi più tempo) per giungere a valle. Inoltre anche la sinuosità favorisce la turbolenza ed ulteriore consumo di energia.



**Figura 4** - Il alto è raffigurata la sezione di alveo di un corso d'acqua in condizioni naturali. In basso lo stesso ambiente modificato in seguito ad un classico intervento di sistemazione idraulica.



**Figura 5** - Per proteggere le case, le sponde sono state “sistematiche” con pareti lisce, per diminuire la loro capacità di opporsi, per attrito, al flusso dell’acqua. Ma la corrente, durante le piene, diventa più veloce e più pericolosa, verso valle, per l’incremento della energia erosiva.



**Figura 6** - A sinistra un corso d’acqua ricco e diversificato. A destra lo stesso dopo un intervento di sistemazione idraulica. Un ecosistema fluviale è stato trasformato in un canale privo di vita ed idrogeologicamente più pericoloso: aumenta la velocità di corrente dell’acqua di piena (ed anche l’energia erosiva), meno ostacolata nel suo fluire verso valle.



**Figura 7 - Il fiume NON è un tubo!**

L’alveo fluviale naturale è un magnifico esempio di apparente “caos” naturale.

Il “caos” di un alveo naturale è un insieme “disordinato” di massi, ghiaia, sabbia,... tronchi, rami e radici sporgenti,... anse, spiagge, sponde erose,... fasce fluviali ricche di vegetazione,...

L’acqua è costretta a superare tali ostacoli, aggirandoli, saltandoli, erodendoli,... ad allagare, insinuandosi tra la vegetazione perifluviale che si oppone al suo moto.

In un caotico e disordinato alveo naturale l’acqua è costretta a consumare energia per proseguire verso valle, riducendo così la sua forza distruttrice.



**Gli alvei naturali**, per le condizioni sopra elencate, **consentono** quindi **una forte dissipazione di energia**. In fondo anch'essi (come le condotte ed i canali) sono trasportatori di acqua verso valle, il cui movimento dipende dall'energia potenziale della stessa acqua a monte. L'acqua quindi si muove a spese dell'energia potenziale ma, diversamente da quanto accade nelle condotte, non aumenta l'energia cinetica e neppure si mantiene su livelli elevati come accade nei canali; addirittura diminuisce verso valle con la riduzione della pendenza dell'alveo fluviale, dato che aumenta l'efficace dei fattori di dissipazione sopra descritti.

Gli interventi di sistemazione idraulica (pulizia) dei fiumi tanto auspicati e come sopra descritti producono, quale principale, effetto, la riduzione dei meccanismi di dissipazione dell'energia dell'acqua. La conseguenza è l'incremento sensibile dell'energia cinetica, cioè della velocità di deflusso verso valle; ciò comporta una maggiore efficacia erosiva. Inoltre si riducono i tempi di corrivazione che, detto in termini più semplici, significa più veloce concentrazione non solo delle acque di ruscellamento, ma anche di quelle incanalate (scorrenti negli alvei del reticolo idrografico).

Quanto sopra spiega l'affermazione del precedente paragrafo: con la cosiddetta "pulizia dei fiumi" si spreca delle risorse per distruggere gli ecosistemi fluviali e, quel che è peggio, per renderli più pericolosi. Inoltre si determinano gravi danni alla funzione ecologica dei fiumi. Essi, se in condizioni naturali, esercitano la funzione fondamentale di corridoi per le migrazioni per fini trofici e riproduttivi della fauna le cui popolazioni sono oggi fortemente frazionate da numerose barriere insuperabili (ferrovie, strade, aree fortemente urbanizzate). Infine la conservazione delle condizioni naturali degli alvei e delle fasce riparie permette agli ecosistemi fluviali di esercitare con efficacia i processi di autodepurazione delle acque e a questo proposito risulta evidente l'importanza di tale funzione nel garantire la qualità delle risorse idriche.

**L'intervento migliore per la messa in sicurezza non è sempre quello diretto sull'elemento naturale (fiume o frana) ma l'allontanamento da esso. Oggi grazie al progresso l'uomo non è più costretto a vivere pericolosamente nelle zone a rischio, come invece accadeva in passato.**

**Torino, aprile 2018**

**Gian Carlo PEROSINO**