

## Generalità

**L'**uomo fin dai primordi è costretto a convivere con gli eventi naturali legati all'azione dell'acqua sulla terra ferma: esondazioni, divagazione degli alvei, erosione, frane e colate detritiche. Da sempre ovunque sul pianeta l'uomo interviene sul territorio per porre sotto controllo questo elemento prezioso e pericoloso al tempo stesso: al fine di difendersi, di rendere disponibili nuove terre e per sfruttarlo (uso a fini energetici, agricoli, potabili).

A partire dal XIX secolo, questa convivenza si è modificata significativamente per due ragioni: da un lato la pressione antropica in certe aree del pianeta è cresciuta a dismisura e dall'altro la capacità di intervento, anche in forma diffusa, da parte dell'uomo si è notevolmente potenziata. Le conseguenze di questi cambiamenti possono sintetizzarsi sotto due aspetti fondamentali: l'occupazione di aree pianeggianti sempre più vaste in competizione con i corsi d'acqua che le hanno create ed il conseguente moltiplicarsi di interventi incisivi in grado di alterare fortemente la dinamica dei processi naturali.

Questi fenomeni, sono stati particolarmente accentuati nel nostro Paese a causa dell'orografia accidentata e dell'elevata densità di popolazione.

La competizione tra uomo e fiume, nell'occupazione del territorio, è causa di gravi danni sia per l'uomo che per la natura: negli ultimi 50 anni, in particolare, le perdite in termini di vite umane e di danaro sono state elevatissime. Tutto ciò è dovuto al fatto che spesso l'occupazione del territorio è avvenuta senza la coscienza dei fenomeni che vi si svolgevano ed anche quando si è intervenuti non è stata colta la scala a cui potevano avvenire certi processi. A ciò si aggiunga che spesso interventi realizzati in un punto hanno finito con lo spostare o creare ex novo il problema altrove. I danni non si sono limitati ad interessare l'uomo, ma hanno riguardato anche l'ambiente: gli ecosistemi naturali sono stati profondamente alterati sia dalla crescente presenza umana che dagli interventi strutturali realizzati a protezione di tale presenza. Le conseguenze sono state la modificazione del paesaggio, la scomparsa di habitat e la diminuzione della biodiversità.

Questo atlante raccoglie le tipologie di opere che vengono utilizzate per la sistemazione idraulica in pianura e nei bacini montani, descrivendone la funzione e l'efficienza sia idraulica che ambientale. Questo capitolo introduttivo consentirà di comprendere la necessità di progettare tali interventi, soprattutto quelli di prevenzione, alla scala di bacino idrografico a causa dell'interdipendenza dei numerosi processi che vi si svolgono.

**Figura 1.0.1:** Alluvione del 1951 in provincia di Parma. Il fiume Po, dopo aver sommerso l'ampia golen, allagò le zone abitate a causa della rottura dell'argine maestro.



## Generalità

**I**l termine bacino idrografico, o bacino imbrifero, indica la porzione di superficie terrestre, limitata dalla linea di displuvio o spartiacque, entro la quale si raccolgono e defluiscono le acque derivanti dalle precipitazioni liquide (pioggia), dallo scioglimento delle nevi, da eventuali sorgenti.

Le acque defluiscono in superficie attraverso la rete di drenaggio oppure in sotterraneo (falda freatica o artesiani) fino a giungere alla sezione di chiusura. Il bacino idrografico non solo è considerato come unità geomorfologica, ma viene assunto come territorio di riferimento in numerosi ambiti applicativi. In particolare, il "bacino" è l'unità spaziale più comune per lo studio degli impatti dell'utilizzazione del suolo sulla qualità e quantità dell'acqua. Il termine "bacino" compare inoltre nella denominazione di organizzazioni ed enti governativi di pianificazione e controllo.

La legge 183/89 sulla difesa del suolo definisce (art. 1, comma 3) il bacino idrografico come:

*il territorio dal quale le acque pluviali o di fusione delle nevi e dei ghiacciai, defluendo in superficie, si raccolgono in un determinato corso d'acqua direttamente o a mezzo di affluenti, nonché il territorio che può essere allagato dalle acque del medesimo corso d'acqua, ivi compresi i suoi rami terminali con le foci in mare ed il litorale marittimo prospiciente; qualora un territorio possa essere allagato dalle acque di più corsi d'acqua, esso si intende ricadente nel bacino idrografico il cui bacino imbrifero montano ha la superficie maggiore.*



**Figura 1.1.1:** Il bacino del fiume Arno, come definito per gli effetti della legge 183/89, comprende, oltre al bacino idrografico in senso stretto, anche, nella parte terminale, la zona compresa tra lo Scolmatore, a Sud, ed il Fiume Morto, a Nord, inclusa l'area di bonifica di Coltano-Stagno ed il bacino del torrente Tora, che oggi confluisce nello Scolmatore.

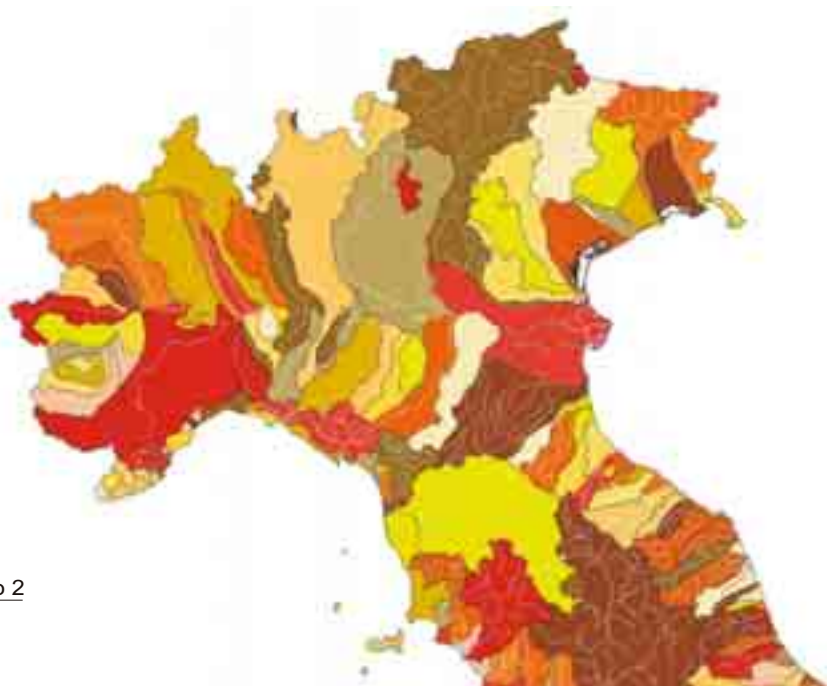
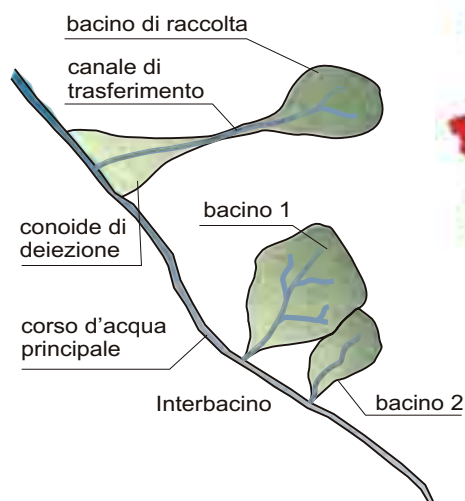
Il territorio del bacino interessa la Regione Toscana (98,4%) e la Regione Umbria (1,6%) con le provincie di Arezzo, Firenze, Pistoia, Pisa e, marginalmente, Siena, Lucca, Livorno e Perugia.

La suddivisione di bacino idrografico in sottobacini mette in evidenza la presenza di aree intermedie definite come interbacini, spesso prive di rete di drenaggio completamente sviluppata.

Un bacino idrografico presenta, dal punto di vista morfologico, tre zone, in genere facilmente distinguibili :

- Il bacino di raccolta come produttore di sedimenti e di deflusso. Si identifica con la parte del sistema situata alle quote più elevate, altrimenti denominata “zona di testata” (upland o headwater).
- Il canale di trasferimento in cui avviene il deflusso dei sedimenti.
- I conoidi alluvionali, oppure le zone deltizie in cui il deflusso viene recapitato al recipiente (mare, lago o altro corso d'acqua). Vi si verifica principalmente deposizione dei materiali trasportati.

**Figura 1.1.2:** Zone caratteristiche di un bacino ed interbacini. Nella figura a destra schema dei principali bacini imbriferi del centro-nord Italia.



Tale schematizzazione si applica in particolare ai corsi d'acqua montani e collinari con superfici fino a qualche chilometro quadrato. Nei bacini idrografici di grandi dimensioni è possibile distinguere diverse unità idrografiche affluenti in un corso d'acqua principale, separate da zone di versante (interbacini) direttamente contribuenti all'asta principale, in genere mediante una rete breve e poco sviluppata oppure del tutto assente.

Gli interventi particolarmente diretti ai bacini “minori”, intesi come parte integrante del bacino di raccolta, ossia del sistema produttore di deflusso e di materiali solidi, sono le sistemazioni idraulico-forestali.

Si definisce infine “piccolo bacino”, il corso d'acqua in cui non si verificano apprezzabili fenomeni di invaso dei deflussi e le modalità del deflusso osservabili alla sezione di chiusura sono direttamente dipendenti dalle caratteristiche degli afflussi sul bacino.

Il deflusso viene convogliato alla sezione di chiusura attraverso la rete di drenaggio costituita dal sistema di canali, ramificati ad albero, di dimensioni variabili secondo fattori climatici e geologici.

## Generalità

**S**e in passato i corsi d'acqua erano considerati una risorsa importante soprattutto in termini di sfruttamento che se ne può fare (acqua potabile, acqua per irrigare, pesca, energia), in tempi più recenti si sta affermando sempre più l'importanza dei fiumi come risorsa di alto valore ecologico e paesaggistico.

I fiumi sono caratterizzati da una elevata quantità di habitat che offrono possibilità di vita a pesci, mammiferi, uccelli, invertebrati e vegetazione. Le variazioni che presso un fiume avvengono in senso longitudinale, laterale, verticale e lungo la linea temporale, danno vita ad un ecosistema estremamente vario e ricco di transizioni (ecotoni). Sono i cambiamenti che avvengono nella velocità e profondità dell'acqua, nelle caratteristiche granulometriche del fondo, nella tipologia di vegetazione delle sponde e delle aree golenali, che creano una successione e sovrapposizione di svariati habitat e nicchie ecologiche da cui dipende la biodiversità. Questa ricchezza non ha solamente un valore di carattere naturalistico ma anche una estrema importanza in relazione alle capacità omeostatiche (capacità di mantenere o recuperare il proprio equilibrio in seguito ad un disturbo) dei corsi d'acqua, quali ad esempio la capacità autodepurativa biologica delle acque e la protezione dall'erosione.

Gli interventi di sistemazione di corsi d'acqua possono avere effetti devastanti su questa varietà di habitat: rettificare, cementificare, semplificare le sezioni trasversali, creare degli ostacoli trasversali che interrompono la continuità longitudinale, ridurre la portata, sono azioni che possono avere effetti estremamente dannosi. Come si può facilmente comprendere i danni derivano dal tipo di materiale utilizzato ma anche e soprattutto dagli sconvolgimenti piano altimetrici apportati al corso d'acqua. Non possiamo considerare sufficiente, ad esempio, garantire semplicemente la crescita di vegetazione in seguito alla sistemazione dell'alveo, se a questa si accompagna la cancellazione di quei tratti morfologici da cui dipende l'alternarsi di habitat e microhabitat che rendono il fiume un complesso organismo vivente.

I corsi d'acqua offrono anche un'altra importante opportunità: la realizzazione e/o il mantenimento di corridoi ecologici. La conservazione dell'ambiente è passata dalla creazione e tutela di isole ecologiche alla realizzazione di reti all'interno delle quali sono consentiti flussi di materia, di energia e di patrimoni genetici. I fiumi e la fascia di territorio a cavallo di essi, se mantengono la loro naturalità, si prestano in maniera ottimale allo scopo descritto sopra.

Le riflessioni sugli effetti di molti anni di azioni indiscriminate sull'ambiente fluviale e l'affermazione di un approccio scientifico sempre più rigoroso alle tematiche ecologiche hanno condotto ad importanti cambiamenti di mentalità e sensibilità nella progettazione delle sistemazioni fluviali quali:

- l'affermarsi di un approccio multidisciplinare che permette di tenere conto della complessità strutturale e funzionale del corso d'acqua;
- studi a livello di bacino per tener conto delle relazioni di interdipendenza tra gli ambienti che lo compongono;
- diminuzione dell'impatto ambientale delle opere per mezzo di nuovi materiali, materiali tradizionali usati secondo nuovi criteri e tecniche di ingegneria naturalistica.

Tutto quanto detto sopra non implica che vengano dimenticate le esigenze legate al rischio idraulico, bensì vengono affrontate tenendo conto anche di quelle dell'ambiente. Questa mentalità, non si è ancora completamente affermata, ma molti passi avanti sono stati fatti, anche grazie al contributo di una legislazione statale e regionale attenta a questi problemi, che in taluni casi arrivano ad imporre l'uso di tecniche quali l'ingegneria naturalistica a meno che non vi siano condizioni che ne impediscano l'applicazione.



## Generalità

**L**e forme di intervento per la mitigazione del rischio idraulico sono molteplici, ma qualsiasi scelta deriva da uno studio in cui la principale caratteristica da determinare è la sezione necessaria per il deflusso delle piene di assegnata **frequenza** e le conseguenti aree inondabili.

Ai fini della definizione del **rischio** (vedi definizione in basso) diventa necessario stabilire l'arco temporale entro cui si decide di accettare il verificarsi di un evento di entità uguale o superiore a quello in oggetto. Tale arco temporale può essere la vita prevista per un'opera o un intervento. Il grado di esposizione di un edificio o di un'area a fenomeni naturali quali gli allagamenti, le frane, le valanghe (e così via fino alle eruzioni vulcaniche ed ai terremoti) dovrebbe essere ben presente alle autorità locali responsabili della pianificazione e condizionare le forme dell'utilizzazione del suolo e la tipologia stessa delle opere.



**Figura 1.3.1:** Evento alluvionale del 4 Novembre 1966. Firenze: L'Arno nel centro cittadino. (Italfoto Gieffe).

Il **rischio** cui è esposto un bene dovrebbe essere calcolabile mediante procedure oggettive (ciò non significa affatto esatte né definitive) e almeno dal punto di vista lessicale sono state proposte alcune definizioni di base che permettono di distinguere:

**pericolosità ( $H$ )** : traduce il termine *hazard* o *natural hazard* ed indica la probabilità che si verifichi entro un assegnato intervallo di tempo ed entro una area assegnata un fenomeno potenzialmente dannoso. Pertanto, il termine *rischio idraulico*, indicante la probabilità che in un periodo di  $n$  anni, si presenti un evento uguale o superiore all'evento stimato con tempo di ritorno  $T$  data dalla relazione (KITE, 1988)

$$R = 1 - (1 - 1/T)^n$$

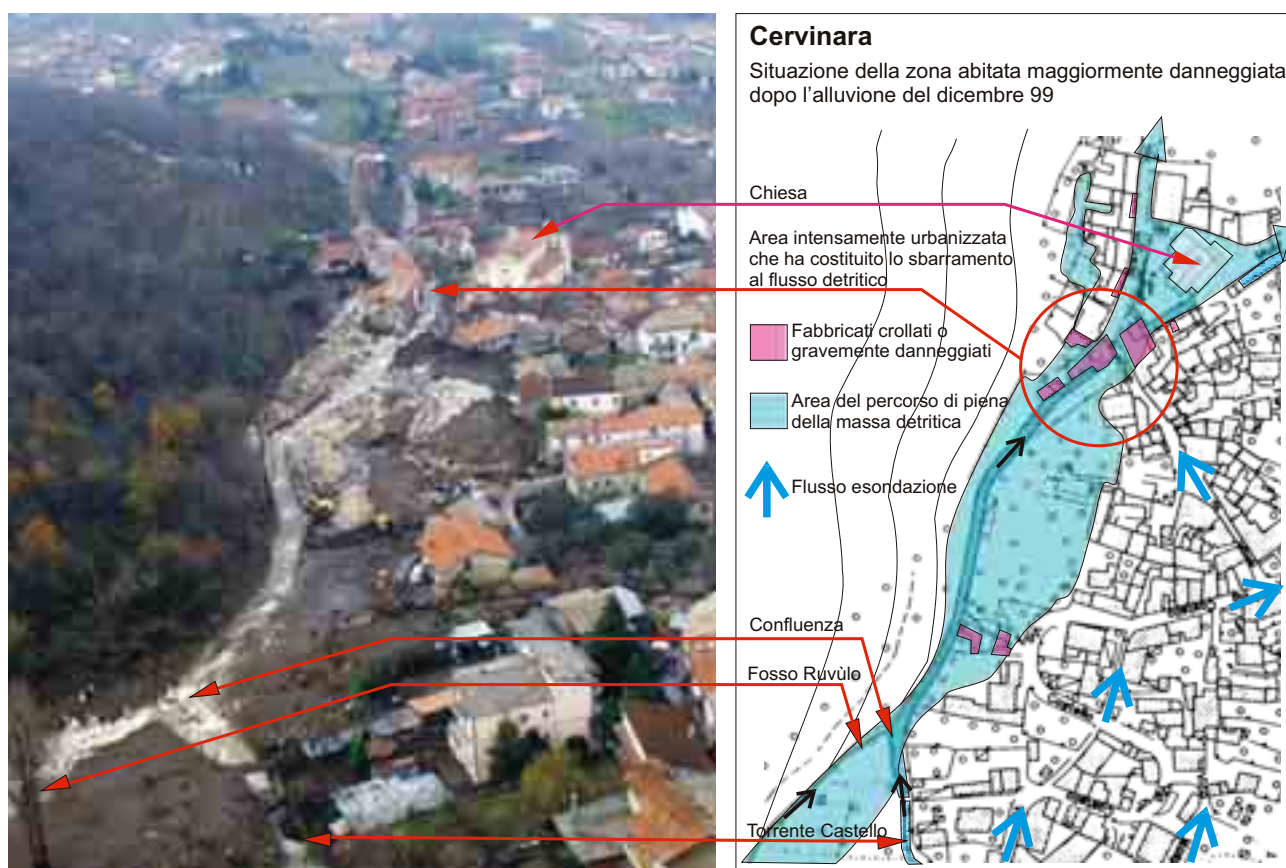
assume un significato simile e più limitato di *pericolosità*. Anche il termine francese *risque* dovrebbe assumere lo stesso significato. È curioso notare come il termine inglese *hazard* provenga dall'italiano, nel cui ambito mantiene tuttora il significato di fatto aleatorio, ma principalmente legato alle azioni umane (*gioco d'azzardo*, *azzardarsi a fare o dire qualcosa*).

**vulnerabilità ( $V$ )** : indica il grado delle perdite arrecate ad un bene o ad una pluralità di beni (esposti a rischio) a seguito del verificarsi di un fenomeno naturale di assegnata entità. Si esprime con riferimento ad una scala di valori compresa fra 0 (nessun danno) e 1 (perdita totale).

**rischio specifico ( $R_s$ )** : indica l'entità del danno atteso a seguito di un particolare fenomeno naturale. Si esprime con il prodotto  **$R_s = H \times V$**

**elemento o bene a rischio ( $E$ )** : indica la popolazione, le proprietà, le attività economiche, inclusi i servizi pubblici che si trovano esposti al pericolo di un evento naturale in una determinata area.

**rischio totale ( $R_t$ )** : indica il numero atteso di morti, feriti, danni alle proprietà o interruzione di attività economiche a seguito di un evento naturale ed è perciò dato dal prodotto  **$R_t = R_s \times E = E \times H \times V$**



**Figura 1.3.2:** Cervinara (AV). Veduta aerea e planimetria delle frazioni di Castello e Ioffredo due giorni dopo l'evento alluvionale del dicembre 1999; con le frecce sono indicati i percorsi idraulici delle onde di piena del T. Castello (a sinistra) e del fosso Ruvùlo (a destra), nell'area di confluenza dei due flussi si sono verificati i danni maggiori. La massa detritico-fangosa derivata dalle coperture detritiche e piroclastiche della zona Vesuviana ha trovato ostacolo nella intensa urbanizzazione della frazione. Questo tipo di urbanizzazione è molto frequente nei comuni pedemontani del nostro paese.



**Figura 1.3.3:** Friuli (alluvione agosto 2003). Veduta della frazione di Pietratagliata in Comune di Pontebba. Disastrose conseguenze dovute alla violenta erosione del fondo e della sponda in sinistra idrografica del fiume Fella.

### Generalità

**A** causa della densa distribuzione dei centri abitati, delle attività economiche e delle infrastrutture, in pianura ma soprattutto in ambiente montano e pedemontano, sono ricorrenti gli interventi di protezione di centri abitati, delle infrastrutture viarie o di isolati centri produttivi a difesa sia dalle piene dei grandi fiumi sia dai processi torrentizi (piene, colate di detrito, erosioni, inghiaamenti, etc.). La tipologia delle strutture si è modificata nel tempo in funzione dell'evoluzione dei materiali da costruzione, dei mezzi e del grado di approfondimento della conoscenza dei processi naturali in atto.

I sistemi di intervento per la riduzione del rischio idraulico sono classificabili entro due categorie:

- interventi strutturali
- interventi non-strutturali

Quando è necessario difendere delle aree a rischio si debbono esaminare le possibili soluzioni appartenenti ad entrambe le categorie valutandone l'efficienza in termini di costi/benefici e di impatto ambientale.

La protezione delle zone antropizzate deve però realizzarsi anche attraverso la rimozione di tutte quelle anomalie che costituiscono fattori aggravanti degli effetti delle piene. Pertanto una efficace prevenzione dovrebbe prendere in considerazione i seguenti aspetti:

- l'inadeguatezza diffusa delle opere di difesa sul reticolo idrografico principale e minore;
- la carenza di manutenzione sulle opere e sugli alvei che ha portato alla riduzione delle sezioni di piena dei corsi d'acqua per la occupazione progressiva delle aree golenali e la creazione di ostacoli al deflusso;
- la riduzione delle aree di espansione per la laminazione delle piene;
- l'aumento della concentrazione dei deflussi in ragione della progressiva canalizzazione delle acque e della impermeabilizzazione delle superfici (riduzione dei tempi di corrivazione);
- la presenza di abitati, insediamenti produttivi e infrastrutture in aree a rischio, senza un adeguamento degli stessi alle condizioni di rischio reali;
- l'insufficiente estensione della rete di monitoraggio idrologico e delle funzioni di preannuncio di piena, soprattutto con riferimento agli affluenti ed alla parte alta dei grandi fiumi;
- l'insufficiente dimensionamento di numerose opere (soprattutto ponti, viadotti e rilevati stradali e ferroviari) di attraversamento dei corsi d'acqua e delle aree esondabili e carenza della manutenzione ordinaria e straordinaria delle opere stesse, in rapporto alle parti esposte alle sollecitazioni dovute alle interazioni con le acque di piena;
- le situazioni locali di erosione e di abbassamento di fondo negli alvei di numerosi corsi d'acqua con conseguente incremento dei fenomeni di scalzamento sulle fondazioni dei ponti e dei viadotti.

L'entità dei danni a carico dello Stato in Italia è stato valutato dell'ordine decine di migliaia di milioni di euro spesi in un quarantennio a partire dal 1951; in conclusione, le attività di prevenzione e di mitigazione del rischio sono destinate ad assumere una importanza crescente con l'incremento delle attività e del valore dei beni presenti sul territorio.

La difesa idraulica ed idrogeologica debbono avvenire alla scala del bacino idrografico, attraverso un'attività di pianificazione che parta dal presupposto che il bacino idrografico è come un ecosistema i cui problemi vanno risolti operando su tutti i processi che interagiscono al suo interno senza limitarsi a contrastarne i singoli effetti.

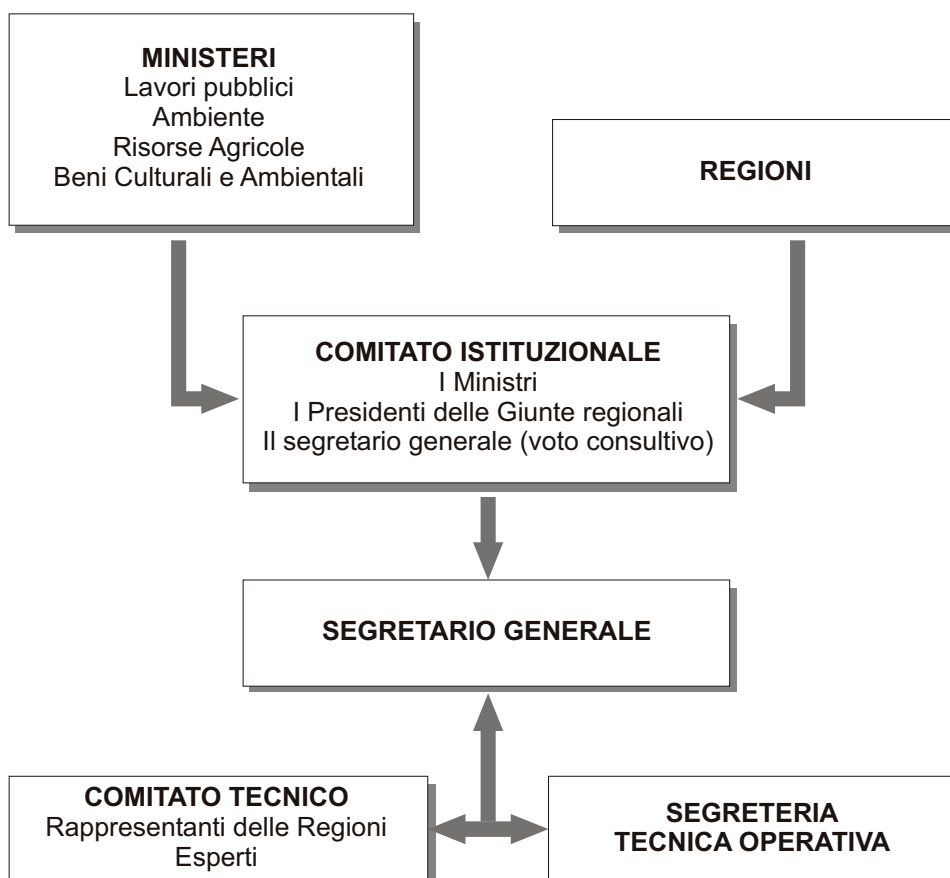
A tal fine la legge (183/89) individua con chiarezza anche i soggetti attuatori: l'intero territorio nazionale è ripartito in Autorità di bacino distinguendo tra bacini di rilievo nazionale (in numero di 11), interregionale (18) e regionale.

L'Autorità di Bacino è stata preposta ai bacini idrografici di rilievo nazionale ed è strutturata nei seguenti organi:

- Il comitato istituzionale;
- Il segretario generale;
- Il comitato tecnico e la segreteria tecnico-operativa.

Per mezzo delle Autorità di bacino si deve arrivare alla definizione dei cosiddetti “**Piani di Bacino**”: gli strumenti che consentiranno di pianificare su vasta scala la conservazione, la difesa, la valorizzazione del suolo ed il corretto utilizzo delle acque, sulla base delle caratteristiche fisiche ed ambientali del territorio esistente.

**Figura 1.4.1:** Diagramma funzionale relativo all'iter attuativo dei piani di bacino.





## Generalità

Come è stato indicato in precedenza gli interventi sui corsi d'acqua possono essere distinti in due grandi categorie (KOCKELMAN 1977): Interventi strutturali e interventi non-strutturali.

### Interventi strutturali

Si tratta di opere e interventi di manutenzione essenzialmente dedicati alla protezione degli insediamenti esistenti, generalmente costosi e complessi.

- **azioni strutturali sulla rete idrografica**
  - invasi di regolazione
  - scolmatori
  - arginature
  - protezioni spondali
  - opere trasversali
  - miglioramento delle condizioni di deflusso degli alvei
- **azioni strutturali sui versanti**
  - opere di stabilizzazione dei pendii
  - difesa attiva contro le valanghe
  - controllo dell'erosione superficiale

**Figura 1.5.1:** Serie di interventi strutturali di sistemazione. Riprofilatura dell'alveo, rivestimento delle sponde con biostuie e rete metallica a doppia torsione, pennelli e presidi al piede in gabbioni. (Fiume Aso, Comuni di Pedaso e Altidona)

Gli interventi di miglioramento delle condizioni di deflusso negli alvei naturali consistono nella manutenzione volta a conservare la stabilità delle sponde, a provvedere al mantenimento della sezione di progetto, alla rimozione degli ostacoli eventualmente creatisi sia per cause naturali (eccessiva crescita della vegetazione), sia antropiche (costruzioni o interventi abusivi).



---

## Interventi non-strutturali

Si tratta essenzialmente di interventi che non interessano direttamente la rete idrografica quali provvedimenti legislativi dedicati alla prevenzione per insediamenti futuri o già esistenti.

### **a) provvedimenti che modificano l'assetto urbanistico esistente**

- trasferimento o conversione degli attuali insediamenti
- acquisizione delle aree da parte dell'ente pubblico
- ristrutturazione urbana
- demolizione delle strutture giudicate non sicure
- dichiarazione di non conformità per edifici o funzioni preesistenti in zone dichiarate pericolose
- conversione delle attività presenti in aree a rischio
- ricostruzione delle infrastrutture pubbliche

### **b) provvedimenti di carattere legislativo miranti a dissuadere dall'edificare nelle aree a rischio**

- dissuasione per nuovi insediamenti
- informazione da parte degli enti pubblici
- segnalazioni di allarme
- segnalazione dei fatti dannosi verificatisi nel passato
- diversificazione della tassazione in modo che eventuali lavori di protezione siano in parte sostenuti dai proprietari protetti
- politica finanziaria orientata a limitare la concessione di mutui fondiari agli edifici da edificarsi in aree considerate inondabili
- obbligatorietà dell'assicurazione al fine di poter ottenere finanziamenti in caso di danno. Nel caso di danno certo (edifici siti in zone inondabili), il premio assicurativo assume il carattere di tassazione.

### **c) attività legislativa preventiva che agisca attraverso la proibizione della costruzione e la regolamentazione delle modalità di costruzione laddove ciò sia ritenuto possibile.**

- pianificazione dell'uso delle zone inondabili (piane alluvionali, con di deiezione):
- ordinanze dell'amministrazione locale per limitare gli usi del suolo in funzione della probabilità dell'allagamento. Tali interventi si basano sui risultati di processi più o meno complessi di zonazione ossia di individuazione delle aree esposte agli effetti dannosi delle esondazioni di determinata gravità e frequenza;
- regolamenti urbanistici speciali nelle zone inondabili per limitare le costruzioni, i riporti di terreno, le tipologie strutturali;
- impedimenti alla lottizzazione delle proprietà fondiarie;
- appositi regolamenti nell'ambito delle disposizioni in materia di discariche;
- appositi regolamenti edilizi che definiscano particolari costruttivi nel posizionamento degli impianti elettrici, dei materiali e delle luci libere per i tombini.

Nell'ambito degli interventi non-strutturali devono essere inclusi i sistemi di allarme e di preannuncio, gestiti da Enti pubblici o da privati, (il complesso sistema di azioni, che va dalla previsione del fenomeno all'allarme, costituisce settore tipico della Protezione Civile).

## Generalità

**G**li interventi sui corsi d'acqua (interventi strutturali) si articolano nei seguenti settori (PUGLISI, 1993, modificato):

- difesa delle pianure e relativi insediamenti dalle inondazioni fluviali;
- difesa di città vallive e costiere da allagamenti e alluvionamenti causati dalle piene dei torrenti tributari;
- consolidamento degli alvei e stabilizzazione dei versanti a difesa di centri abitati, insediamenti produttivi e infrastrutture lineari;
- difesa degli invasi dai materiali solidi trasportati (insidia solida).

Esigenze locali possono richiedere l'intervento per raggiungere obiettivi settoriali quali:

- salvaguardia di terreni in pianura contro l'arretramento delle sponde di alvei a debole pendenza e sezione ad U;
- regimazione della falda;
- rilascio in alveo di portate di magra sufficienti al mantenimento della fauna ittica;
- difesa dalle colate detritiche;
- mitigazione dell'impatto ambientale.

Le attività sopra elencate possono essere realizzate con le seguenti tipologie di interventi:

- regimazione: ossia l'apportare modifiche al regime delle portate che possono defluire lungo il corso d'acqua;
- sistemazione: ovvero la modificazione o consolidamento dell'alveo per raggiungere un assetto piano-altimetrico stabile;
- rinaturalizzazione: la ricostituzione degli habitat propri del corso d'acqua, agendo sul piano morfologico, sulle caratteristiche di alveo e sponde e sulle tipologie vegetazionali presenti;
- costruzione di opere di difesa passiva: sistemi di difesa in grado di arrestare o deviare le colate detritiche secondo varie modalità.

**Figura 1.6.1:** Rappresentazione schematica delle opere di difesa di un centro abitato con particolare riferimento alla protezione dalle colate detritiche secondo la tecnica giapponese (da HBJLS, 1985) riportato da Seminara e Tubino (modificato).



## Generalità

**V**olendo dare una definizione, si può dire che “l'ingegneria naturalistica è una disciplina tecnico-scientifica che studia le modalità di utilizzo, come materiali da costruzione, di piante viventi, di parti di piante o addirittura di biocenosi vegetali, spesso in unione con materiali non viventi, come pietrame, terra, legname, acciaio” (Schiechl).

Si tenta di valorizzare l'effetto stabilizzante che alcune specie vegetali sono in grado di esercitare sul suolo. Così, ad esempio, una specie dotata di apparato radicale ben sviluppato può assolvere funzioni di consolidamento del terreno, contribuendo contemporaneamente ad un miglioramento del drenaggio; una specie a chioma ampia può contribuire alla riduzione dell'effetto della pioggia battente su suoli facilmente erodibili se nudi; cespugli ben radicati e con ramificazione buona possono essere abbinati ad opere di difesa spondale come elementi protettivi e nel contempo con funzione di rallentamento della corrente.

L'adozione di queste tipologie consente un migliore inserimento degli interventi riducendone l'impatto naturalistico ed estetico-paesaggistico. Inoltre il carattere fortemente interdisciplinare della materia consente di fornire risposte ad ampio spettro e con effetto multifunzionale.



**Figura 1.7.1:** Complesso intervento di sistemazione e consolidamento dei versanti di un torrente montano in forte erosione. L'intervento ha previsto il ricorso a varie tecniche d'ingegneria naturalistica: rimodellamento del pendio, realizzazione di viminate, rivestimento del fondo dell'impluvio con tondame e costruzione di briglie in legname e pietrame, rivestimento con teli di biotessili ed inerbimenti.

La stesa dei biotessili avviene dopo avere preventivamente regolarizzato la superficie del pendio dissestato, ed in modo da avere una sovrapposizione fra teli successivi di una decina di centimetri circa.

Terminato il posizionamento dei biotessili si procede al trattamento con idrosemina di specie vegetali idonee.



---

A seconda del modo e del tipo di costruzione, possono assumere importanza primaria gli effetti riportati di seguito (da Schiechl-Stern, modificata):

**Tecnico:** Protezione dell'area della sponda da erosione superficiale, causata dalla corrente, dalle precipitazioni, dal vento e dal gelo. Aumento di stabilità delle sponde per la creazione di un sistema fibrorinforzato terreno-radice e per il l'effetto drenante delle piante.

**Ecologico:** Bilanciamento degli estremi di temperatura e di umidità nello strato aereo vicino al terreno e con ciò creazione di condizioni favorevoli allo sviluppo della vegetazione. Miglioramento del bilancio idrico del terreno (drenaggio o immagazzinamento) tramite l'intercettazione, l'evaporazione, l'evapotraspirazione e la capacità di immagazzinamento. Preparazione del terreno e formazione di humus a seguito della caduta e della decomposizione dei resti vegetali. Con ciò in sintesi, ovvero miglioramento della flora e della fauna del terreno e del contenuto di sostanza trofica. Creazione di macro e micro ambienti naturali divenuti ormai rari, nuovi biotopi per animali e piante, possibilità di affermazione di cenosi autoctone;

**Economico:** Diminuzione delle spese di costruzione e di manutenzione;

**Estetico-Paesaggistico:** Inserimento delle costruzioni e delle opere nel paesaggio. Recupero delle aree paesaggisticamente degradate

I principi e le tecniche dell'ingegneria naturalistica possono essere applicate lungo i corsi d'acqua, nelle zone umide e sui versanti adiacenti ai corsi d'acqua con le seguenti finalità:

- Corsi d'acqua: gli interventi possono riguardare il consolidamento delle sponde, con relativo rinverdimento; azioni per limitare il trasporto solido o per rallentare la corrente; costruzione di briglie e pennelli; creazione di rampe di risalita per agevolare la presenza dell'ittiofauna.
- Zone umide: realizzazione di ambienti idonei alla sosta ed alla riproduzione degli animali.
- Versanti: consolidamento ed inerbimento di pendici, sistemazione di frane.

**Figura 1.7.2:** Opere di sistemazione e regimazione idraulica del bacino del Fosso Solcaccio in Frazione Vinchiana, Comune di Lucca.



## Generalità

**G**li interventi sui corsi d'acqua possono essere classificati secondo un criterio funzionale (funzione svolta dall'opera) riferito a due diversi livelli:

- interventi di regimazione e sistemazione fluviale dedicati ai corsi d'acqua principali;
- interventi di regimazione, di correzione dell'alveo e di stabilizzazione dei versanti (sistemazioni idraulico-forestali) dedicati ai torrenti ed ai bacini montani o collinari.

Lo stesso tipo di opera (ad esempio una briglia o un muro di sponda) può trovare applicazione nelle sistemazioni ai due diversi livelli ed a seconda dei casi potrà svolgere funzioni differenti (briglia di consolidamento e briglia di trattenuta) o la medesima funzione; per svolgere funzioni diverse lo stesso tipo di opere generalmente presentano caratteristiche geometriche e costruttive differenti e costituiscono delle varianti delle tipologie fondamentali.

E' importante riferire di volta in volta il livello di intervento cui è applicabile un certo tipo di opera per evitare che si possa pensare di trasportare la stessa tipologia da un livello all'altro con conseguenze spesso dannose: i regimi idraulici ed idrodinamici diversi che caratterizzano i due livelli sopra definiti, richiedono approcci metodologici, e di conseguenza tipologie di opere differenti.

Gli interventi di mitigazione dell'impatto ambientale o di rinaturalizzazione realizzati con tecniche di ingegneria naturalistica trovano applicazione ad entrambi i suddetti livelli e possono essere utilizzati in abbinamento alle tecniche tradizionali o da soli.

## Generalità sulle opere

**U**n torrente può essere variamente costituito in diverse parti elementari: il bacino tributario e l'asta principale in un caso; ancora il bacino, il canale di scarico e il cono di deiezione in un altro.

Le parti elementari svolgono diverse funzioni: la raccolta delle acque e la produzione, per erosione o dissesti, del materiale lapideo; l'adduzione e il trasporto; e, nel secondo caso, il deposito del materiale stesso.

Il bacino può avere varia forma: partendo all'origine da una sorta di anfiteatro, può svilupparsi lungo la valle con l'asta principale alimentata dai versanti; oppure limitarsi alla prima parte e, con un tratto relativamente breve il canale di scarico, espandersi in un piano a minore pendenza nel cono di deiezione.

Lo sbocco può avvenire in un corso d'acqua di maggiore importanza, che possa assicurare il trasporto del materiale a valle, in un lago o in mare (un significativo esempio: le fiumare nel meridione d'Italia). Le opere di sistemazione di un torrente possono riguardare quindi il bacino tributario, l'asta e il cono di deiezione.

Gli interventi sull'asta si prefiggono la sua stabilizzazione e quella delle sue sponde; gli interventi nel bacino mirano a ridurre i fenomeni erosivi, specie quelli localizzati; le opere di sistemazione del cono di deiezione si propongono infine di far defluire verso valle il materiale che proviene da monte evitando significativi depositi ed erosioni.

Gli interventi nel bacino sono principalmente: seminagione di essenze adeguate, opere di drenaggio, soglie, piccole briglie, muri di sostegno.

La stabilizzazione dell'asta si attua con:

- soglie di fondo che fissano la sezione dell'alveo;
- briglie che, introducendo salti di fondo, diminuiscono per tratti la pendenza e quindi la capacità erosiva della corrente, e stabilizzano allo stesso tempo le sponde con la creazione di un riporto al piede;
- i muri di sponda, le scogliere longitudinali ed eventualmente i pennelli evitano l'erosione delle sponde;
- i cunettoni: canali a forte pendenza con sezione ristretta e rivestita, relativamente profondi sono impiegati per evitare l'erosione del fondo e delle sponde, ma anche per assicurare velocità elevate e quindi, con portate modeste, il trasporto di materiali.

La stabilizzazione del cono di deiezione, assegnando appropriate caratteristiche all'alveo, dà modo di fare defluire il materiale solido verso valle senza depositi significativi.

**Figura 1.8.1:** Stabilizzazione di un'asta torrentizia mediante una serie di piccole briglie e bacini di dissipazione in ambiente alpino (Valtellina, SO).



**Figura 1.8.2:** Consolidamento di un versante sottostante all'abitato di S. Mango sul Calore (Avellino). L'intervento ha comportato la stabilizzazione dell'asta torrentizia al piede della pendice, mediante salti di fondo e rivestimenti in gabbioni, mentre per garantire la stabilità del versante, si è fatto uso di terre rinforzate in 'Terramesh' in alternanza con opere di sola protezione superficiale tramite graticciate.



## Strutture di base

**P**er strutture di base si intendono, qui, quelle strutture che vengono utilizzate in maniera ricorrente in vari tipi di sistemazioni. Queste ultime raramente si realizzano con un unico tipo di opera, ma risultano da una combinazione di strutture alcune delle quali possono, per la frequenza con cui sono impiegate, essere considerate delle strutture di “base”. Queste verranno di seguito descritte sia per quanto riguarda le loro caratteristiche che per quanto concerne i principi di progettazione e nel seguito del testo, quando verranno descritte all'interno di un determinato tipo di sistemazione, si rimanderà a questa sezione per qualsiasi approfondimento riguardo ad esse. Le strutture di base sono:

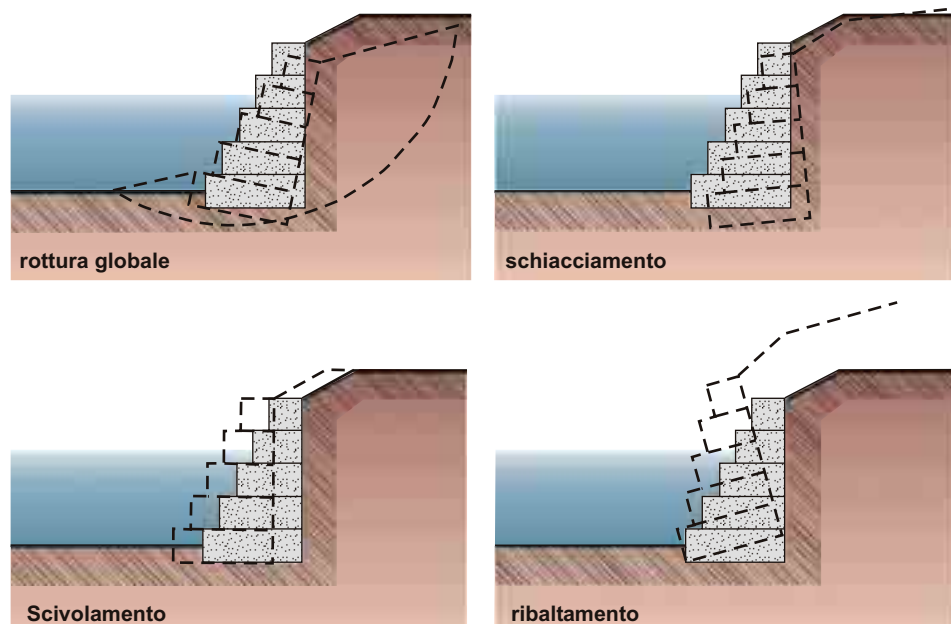
- muri di sponda;
- briglie e opere accessorie;
- rivestimenti.

### Muri di sponda:

**S**i tratta di opere di sostegno a gravità o semigravità che si utilizzano addossandole alla sponda da difendere quando questa è soggetta ad instabilità gravitativa. Possono essere realizzati con vari tipi di materiali ed essere di conseguenza flessibili o rigidi, permeabili o impermeabili all'acqua ed alla vegetazione. L'influenza di queste opere sul regime della corrente è limitata alla modifica della scabrezza dell'alveo, ed assume rilevanza quando il rapporto  $H/B$  ( $H$ = tirante idrico,  $B$ =larghezza dell'alveo) è al di sotto di 15 (Paris, 1994).

Queste strutture debbono sempre essere progettate eseguendo verifiche statiche di moto rigido e valutando gli effetti idrodinamici della corrente in termini di tensioni di trascinamento.

La stabilità di questo tipo di strutture può essere seriamente compromessa a causa dei fenomeni di scalzamento determinati dall'erosione dell'alveo ad opera della corrente. Questi processi possono essere accentuati localmente dalla variazione di scabrezza dovuta all'opera di difesa stessa, pertanto il posizionamento del piano di fondazione deve essere effettuato con molta attenzione e spesso in maniera conservativa data l'incertezza che presenta la valutazione della massima profondità di erosione potenziale della corrente.



**Figura 1.8.3:** Tipologie di instabilità per moto rigido dei muri di sponda



## Briglie:

**S**i tratta di opere a parete grossa, trasversali rispetto all'asse del corso d'acqua che ne modificano l'assetto altimetrico con conseguenze sul regime della corrente. Molto opportunamente BENINI (1990) definisce:

briglia: l'opera trasversale impiegata per la correzione dei torrenti, di altezza inferiore a 15 m

traversa: lo sbarramento di modesta altezza sul fondo utilizzato per la derivazione di acqua ad usi idropotabili, agricoli o industriali;

diga: le opere trasversali di altezza tale da creare un invaso a scopo di accumulazione per usi idroelettrici, agricoli o idropotabili. Esistono dighe aventi scopo multiplo (idropotabile ed idroelettrico; irriguo e riduzione delle piene; etc.). Le dighe sono considerate tali se hanno altezza superiore a 15 m o determinano un invaso superiore a un milione di m<sup>3</sup> e rientrano nell'ambito della materia disciplinata dalla L. 1.11.1959 n. 1363 e successive modificazioni (D.M. 24.3.1982; D.L. 8.8.94, n. 507 convertito nella L. 21.10.1994, n. 584 recepita dalla Regione Piemonte con la L.R. 11.4.1995, n.58).

**Figura 1.8.4:** Traversa di Spilamberto (MO).



**Figura 1.8.5:** Esempio di diga in terra . Val Senales (Trentino-Alto Adige).



Le briglie possono avere un effetto rilevante sulle condizioni sia a monte che a valle del tratto in cui vengono realizzate, pertanto richiedono valutazioni molto attente sia per le conseguenze idrauliche che ambientali che possono determinare.

Questo tipo di opere può venire realizzato con forma e materiali differenti ma tutte le tipologie debbono essere progettate seguendo alcuni criteri comuni. Pertanto si dovranno eseguire:

- verifiche idrauliche ed idrodinamiche: verifica del corretto deflusso delle portate, verifica dell'assenza di erosione e scalzamento a valle, verifica di assenza di sifonamento;
- verifiche statiche: verifiche di moto rigido come opera di sostegno, considerando varie condizioni di carico che consentano di tenere conto anche di eventi quali l'impatto di colate detritiche.

La struttura delle briglie può essere realizzata secondo varie tipologie: per forma, per modo di resistere e per materiali. Si possono così avere: briglie a gravità e ad arco; di conglomerato di cemento semplice o armato e di muratura di pietrame, di gabbioni, in terra.

La struttura delle briglie dipende anche dalla forma e dal tipo dei materiali trasportati (pietrame e massi, ma anche alberi o tronchi). Si distingueranno allora: le classiche briglie chiuse oppure aperte, selettive e filtranti, briglie frangicolata e per la trattenuta del materiale galleggiante.

**Figura 1.8.6:** Sistema di briglie in legno e di briglia a fessura con piazza di deposito retrostante; Le sponde sono state protette con un rivestimento di biostuoie e rete metallica a doppia torsione. Si può osservare la piazza di deposito completamente riempita di materiale alluvionale, (alluvione Friuli del 29 agosto 2003, Ugovizza).



**Figura 1.8.7:** Briglia frangicolata.



---

Una maggiore attenzione è riservata oggi rispetto al passato alla sistemazione dei corsi d'acqua impiegando le cosiddette tecniche di ingegneria naturalistica, le quali trovano nella costruzione delle briglie e nella sistemazione delle sponde interessanti applicazioni. Tali tecniche utilizzano come materiali da costruzione piante viventi (o loro parti), spesso in unione con altri materiali, quali legname, pietrame, acciaio, ecc.

Si tratta, per la verità, per lo più di riedizioni di modi di costruire antichi, in passato adottati in quanto gli unici praticabili ma successivamente abbandonati per far posto alle nuove tecniche e ai nuovi materiali.

**Figura 1.8.8:** Briglie in legno.



**Figura 1.8.9:** Gradinata di briglie in c.a. rivestite in pietra.





## Opere accessorie

Per garantire la funzionalità e la stabilità delle briglie spesso si rende necessaria la costruzione di opere accessorie. BENINI (1990) richiama l'attenzione sul fatto che la maggior parte dei dissesti delle briglie non sono causati da dimensioni troppo esigue, bensì o da aggiramento dell'opera ai fianchi (per ammorsamento troppo esiguo o per scoscendimento delle sponde), oppure per asportazione del terreno sotto la fondazione per un'eccessiva profondità del gorgo provocato dall'acqua tracimante.

Elementi fondamentali tra le opere accessorie sono:

- **muri d'ala**

I muri d'ala possono venire costruiti a monte o a valle della briglia. A monte (muri di accompagnamento) devono avere andamento convergente ed essere collegati con il paramento della briglia in modo da impedire l'erosione della sponda nei pressi della briglia. A valle, hanno lo scopo di evitare lo scalzamento delle sponde. Questi manufatti sono calcolati come muri di sostegno e devono essere muniti di feritoie.

- **platea**

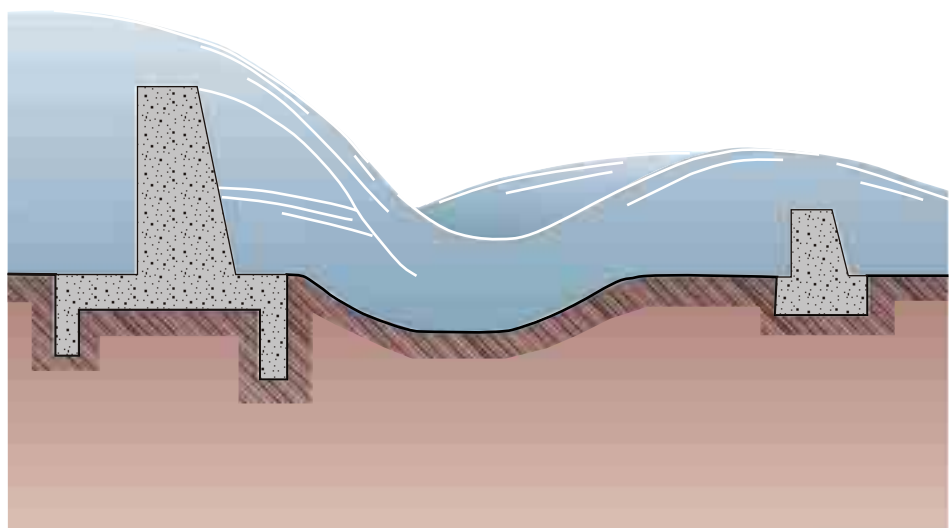
Per evitare la formazione del gorgo al piede della briglia, in molti casi, sono state costruite platee di grandi massi per una lunghezza tale da contenere comunque la lama stramazante. Il manufatto risulta di difficile conservazione pertanto risulta preferibile costruire la controbriglia con relativo bacino di calma.

- **controbriglia e bacino di dissipazione**

La controbriglia è una briglia di modesta altezza sull'alveo costruita poco a valle di una briglia di rilevante altezza allo scopo di creare, al piede di essa, un cuscino d'acqua in grado di attutire l'impatto della lama stramazante al fine di salvaguardare la stabilità della fondazione.

La controbriglia è dotata di una gaveta delle stesse dimensioni della gaveta della briglia. Altezza della controbriglia e distanza dalla briglia sono determinate sulla base di un calcolo fondato sul principio che il dispositivo deve contenere la vena d'acqua stramazante dalla briglia e permetterne la diffusione in modo che la corrente si trasformi da veloce a lenta superando la gaveta della controbriglia.

**Figura 1.8.10:** Il disegno mostra la configurazione ed il funzionamento del sistema briglia-contr briglia bacino di dissipazione. Il posizionamento di una controbriglia a valle della briglia, consente di individuare un bacino che riempiendosi d'acqua crea le condizioni per l'assorbimento dell'energia della vena d'acqua impattante oltre il piede della briglia. Questo accorgimento permette di controllare i fenomeni di escavazione dovuti all'impatto dell'acqua contenendoli entro valori di progetto determinabili per mezzo di relazioni matematiche semiempiriche. Qualora il bacino di dissipazione non dovesse essere sufficiente si dovrà prevedere un rivestimento protettivo del fondo del bacino di dissipazione su cui si possono esercitare importanti sottospinte.





---

## Rivestimenti

**S**ono strutture per la protezione dall'erosione senza alcuna funzione di sostegno. Caratterizzate dall'aver uno spessore trascurabile rispetto alle altre due dimensioni possono essere permeabili o impermeabili, rigide, flessibili o realizzate con materiali sciolti. Queste opere richiedono una progettazione attenta alle condizioni idrodinamiche che possono determinare sollecitazioni eccessive sulla struttura e processi di escavazione in grado di causare scalzamento o aggiramento delle opere. I rivestimenti vengono utilizzati sia sulle sponde che sul fondo degli alvei ed hanno un'influenza sul regime della corrente che è essenzialmente legata alla variazione della scabrezza in funzione del materiale di cui sono costituiti. Dal punto di vista ambientale possono avere un impatto significativo per le modifiche che possono apportare alla permeabilità all'acqua ed alla vegetazione e per le modifiche che apportano agli habitat sia acquatici che terrestri; miglioramenti sotto questo profilo si possono ottenere combinando materiali inerti e materiali vivi secondo le tecniche dell'ingegneria naturalistica.

**Figura 1.8.11:** Posa del rivestimento di un alveo con materassi in rete metallica a doppia torsione riempiti in pietrame.



**Figura 1.8.12:** Fase di posa di geostuoia tridimensionale rinverdibile a difesa di una sponda.

