

BONNE PRATIQUE DE GESTION DU COURS D'EAU

Directives



Référents du Project:

E. COMINO Politecnico di Torino (Capofila)
M. ROSSO Politecnico di Torino
G. DE RENZO Provincia di Torino
G. FILIPPINI Provincia di Torino
I. CHOUQUET Conseil Général des Hautes-Alpes

Coordination et aide à la réalisation:

G. DE RENZO ⁽¹⁾

Révision graphique:

G. DE RENZO ⁽¹⁾

Révision des textes:

G. BETTA ⁽²⁾
E. COMINO ⁽³⁾
G. DE RENZO ⁽¹⁾
M. ROSSO ⁽⁴⁾

Réalisation de la section jaune:

E. CRAVERO ⁽¹⁾
C. ROSSATO ⁽²⁾
R. VATTERONI ⁽¹⁾

Réalisation de la section bleue:

M. APOLLONIO ⁽¹⁾
L.C.G. BENINATI ⁽¹⁾
E. CRAVERO ⁽¹⁾
L. IORIO ⁽²⁾
C. ROSSATO ⁽²⁾
R. VATTERONI ⁽¹⁾

Réalisation de la section rouge:

I. CHOUQUET Conseil Général des Hautes-Alpes

⁽¹⁾ Provincia di Torino - Servizio Difesa del Suolo e Attività Estrattiva

⁽²⁾ Provincia di Torino - Servizio Pianificazione Risorse Idriche

⁽³⁾ Politecnico di Torino - Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente e delle Geotecnologie

⁽⁴⁾ Politecnico di Torino - Dipartimento di Idraulica Trasporti ed Infrastrutture Civili

Remerciements à:

Laura Berardo⁽¹⁾ e **Anna Maria Di Biccari** ⁽¹⁾ pour leur fondamentale soutien administratif
Nuna Tognoni ⁽²⁾ pour son précieux soutien technique
Ségolène Colson pour son aide précieuse à la traduction.

⁽¹⁾ Provincia di Torino- Servizio Amministrazione e Controllo dell'Area Risorse Idriche

⁽²⁾ Provincia di Torino- Servizio Pianificazione Risorse Idriche

Mise en page et impression
AGIT Mariogros Industrie Grafiche, Beinasco (TO)
Novembre 2011.

Impression sur feuilles Symbol Freelifa Satin de 115 g, couverture de 350 g constituée de pure cellulose E.C.F., certifiée FSC.

Introduction

Ce *guide de bonne pratique* est un des résultats obtenus à travers les actions prévues par le programme de travail du Projet Interreg Alcotra PELLIDRAC “*Pellice et Drac se parlent - histoire d'eau*” qui s'est déroulé en Italie et en France entre août 2009 et novembre 2011. Ce programme a engagé comme partenaires l'École Polytechnique de Turin, comme chef de file et référent scientifique, la Province de Turin et le Conseil Général des Hautes Alpes, des Administrations Locales avec des compétences administratives et territoriales.

Le Projet PELLIDRAC naît d'une idée partagée, le lendemain de l'alluvion qui en mai 2008 frappa les Alpes Occidentales avec une perte en vie humaine et en biens matériels dans le bassin de T. Pellice, en Italie, et des souvenirs d'alluvions précédentes qui causèrent autant de dégâts et de victimes en France.

En effet, c'est dans ces moments là que l'on a remarqué que, aussi bien les administrations que les personnes concernées par ces épisodes tragiques éprouvaient deux exigences opposées: d'un côté la nécessité de protection vis à vis du risque hydraulique et de l'autre la nécessité de préserver et d'améliorer la naturalité du cours d'eau, même si l'urgence compréhensible de résoudre le premier pouvait se retourner contre le deuxième.

En Italie, en particulier, mais en France aussi, cette opposition est considérée insurmontable par la plupart des personnes concernées, directement ou indirectement, par les événements et cela se produit, trop souvent sur la base de faux souvenirs et de fausses croyances répandues dans la population et parfois, diffusées de façon trop superficielle par les moyens d'informations.

Le but du Projet PELLIDRAC devint donc la poursuite des objectifs de connaissance des deux torrents, le Pellice et le Drac et de leurs bassins, d'un approfondissement technico-scientifique et de partage des résultats et de formation, d'information et de sensibilisation aux thématiques relatives aux cours d'eau. Ces objectifs visent à mitiger ce conflit qui est erroné, du point de vue théorique, apparent parfois dans la réalité et quelquefois provoqué par l'homme

Ce guide de bonne pratique suit cette orientation et se propose de mieux illustrer quand il serait effectivement nécessaire d'intervenir sur un cours d'eau et quelle pourrait être la meilleure façon de le faire en privilégiant, là où cela est possible, la planification urbaine et la requalification fluviale et en intervenant, plus consciemment, là où cela est indispensable, avec des ouvrages d'ingénierie hydraulique.

Cette prise de conscience apparaît aussi dans la normative européenne qui, avec la Directive des Eaux, introduit un nouveau concept d'état de qualité des corps hydriques qui ne considère plus, comme autrefois, les seules caractéristiques physico-chimiques de l'eau, mais qui évalue aussi l'écosystème du cours d'eau dans son ensemble en tenant compte des éléments biologiques (végétation, macro invertébrés, faune piscicole) et hydro-morphologiques.

Pour ces raisons, dans *ce Guide*, la *section bleue* qui est relative aux différents types d'ouvrages de protection hydraulique comprend aussi les sujets de la requalification fluviale et de la gestion de la végétation riparienne. Elle suit une partie (section jaune) qui développe de façon détaillée le thème

du cours d'eau en partant de quelques idées de base cognitives appropriées pour une approche multidisciplinaire de la gestion des cours d'eau. Dans la section bleue on traite aussi des paramètres qu'il faut adopter pour pouvoir réaliser correctement un plan des interventions et des ouvrages les plus appropriés pour réduire, au moins de façon partielle, les impacts engendrés par les ouvrages hydrauliques sur l'écosystème fluvial.

Le but n'est pas d'offrir une liste complète et approfondie des modalités de gestion des cours d'eau, ni de proposer un guide technique exhaustif sur chaque discipline (pour cela on renvoie au développement détaillé de la bibliographie spécialisée), mais de proposer un instrument de connaissance pour ceux qui, par devoir ou par intérêt, s'occupent de la gestion des cours d'eau tout en offrant des occasions de réflexion pour une approche plus durable et plus consciente, tout en insinuant des doutes là où il existe trop de certitudes ou de fausses croyances.

Ce guide se conclue par la description de quelques interventions réalisées le long du torrent Pellice qui se trouvent dans la section rouge en italien. Ces interventions constituent des exemples concrets d'un projet possible, mais pas toujours réalisé, qui, même en présence d'obstacles qui ne peuvent être évités (structures et infrastructures anthropiques) allie les instruments de l'ingénierie classique avec les exigences d'un aménagement géomorphologique le plus naturel possible.

L'importance et l'urgence d'arriver à une approche de la gestion des cours d'eau qui soit plus durable et consciente a été soulignée par le torrent Pellice qui a débordé le 6 novembre 2011, quelques jours avant que ce guide soit imprimé.

La crue significative a provoqué le débordement du torrent sur plusieurs tronçons et a partiellement démolit un pont, celui d'Alberdenga, qui a déjà subit des dégâts plus de 15 fois entre 1846 et aujourd'hui.



Sommaire

Introduction	3	LE COURS D'EAU de l'axe d'écoulement central vers l'extérieur	45
LE COURS D'EAU	7	Le cours d'eau dans le sens transversal d'un point de vue hydraulique	45
Quelques notions de base	8	Variations morphologiques du cours d'eau dans le sens transversal (depuis le cours d'eau vers l'extérieur)	45
Ce que signifie BONNE PRATIQUE	8	Variations écologiques du cours d'eau dans le sens transversal (depuis le cours d'eau vers l'extérieur)	47
Ce que signifie GERER UN COURS D'EAU	8	Dynamique et diversité de l'écosystème fluvial	50
Ce qu'il est important de FAIRE et de NE PAS FAIRE	10	Les services écosystémiques	51
Le bassin versant en tant qu'échelle de l'espace de référence	14	Evaluation de la qualité des milieux fluviaux	54
La directive cadre sur l'eau	17	Critères à appliquer pour l'évaluation de l'indispensabilité d'intervention	58
La compétence décisionnelle sur les cours d'eau	20	Fausse idées – analyse des interventions plus usuelles le long des cours d'eau	60
Qu'est-ce qu'un cours d'eau?	21	Est-il nécessaire d'enlever les sédiments du lit?	
La composante animale de l'écosystème fluvial	27	SUR-ALLUVION ET EXTRATION DE MATERIAUX DU LIT	60
La composante végétale de l'écosystème fluvial	30	Est- il toujours nécessaire de canaliser le cours d'eau?	
La fonction de la VEGETATION RIPARIENNE	32	DERIVATION/EROSION ET CANALISATION	62
Quelques exemples de fonctions «écologiques»	32	Est-il toujours nécessaire de remodeler/canaliser le cours d'eau?	
Exemples de fonctions "hydraulico-mécaniques"	32	INCISION ET REPROFILLAGE/CANALISATION	64
Le COURS D'EAU de l'amont vers l'aval	35	La végétation le long des fleuves constitue-t-elle un danger ?	
Le cours d'eau de l'amont vers l'aval du point de vue hydraulique	35	VEGETATION ET NETTOYAGE DU LIT	65
Variations morphologiques du cours d'eau de l'amont vers l'aval	36	Bibliographie	67
Variations écologiques du cours d'eau de l'amont vers l'aval	39	Sites internet	67
Le COURS D'EAU de la surface vers le fond du lit	41		
Le cours d'eau depuis la surface libre jusqu'au fond du lit, d'un point de vue hydraulique	41		
Variations morphologiques du cours d'eau dans le sens vertical	41		
Variations écologiques du cours d'eau dans le sens vertical	44		

LES INTERVENTIONS	69		
Une approche pluridisciplinaire à la gestion de la riqualfication fluviale	70		
La gestion de la végétation riparienne	74		
Intervention le long des cours d'eau	78		
Ouvrages longitudinaux de protection	79		
Ce que signifie realiser un auvrage longitudinal de protection	80		
Activités auxquelles on ne peut renoncer lors du project des protections longitudinales	83		
Digues	87		
Moyens et precisions techniques pour la réalisation des digues	88		
Solutions relatives au projet pour mitiger les impacts des berges	91		
Causes de desequilibre de l'endiguement	91		
Defenses de berge	93		
Solutions et precisions techniques pour la réalisation des defenses de la berge	95		
Solutions relatives au projet pour mitiger les impacts des defenses de la berge	98		
Canalisations	98		
Moyens et precisions techniques pour la réalisation des canalisations	99		
Solutions relatives au projet pour reduire les impacts des canalisations	99		
Ouvrages de defense transversales	100		
Principaux impacts sur les composantes environnementales	100		
Activites auxquelles on ne peut renoncer dans la conception des defenses transversales	102		
Gabions	103		
Moyens et precisions techniques pour la réalisation des gabions	104		
Solutions relatives au projet pour reduire les impacts des gabions	106		
(Petits) barrages	106		
Solutions relatives au projet pour la réalisation des (petits) barrages	109		
Seuil	110		
Moyens et precisions techniques pour la réalisation des seuils	110		
		Solutions relatives au projet pour reduire les impacts des (petits) barrages et des seuils	111
		Ouvrages pour traverser un cours d'eau	112
		Verification de la compatibilite' hydraulique d'un ouvrage pour traverser un cours d'eau	112
		Gués	113
		Moyens et precisions techniques pour la réalisation des gues	113
		Ouvrages de passage	114
		Moyens et précisions techniques pour la réalisation des traversees	115
		Ponts	116
		Critères geometriques pour la compatibilité hydraulique des ponts	116
		Moyens et precisions techniques pour la réalisation des ponts	116
		Causes et dynamiques de desequilibre et phénomènes associés	117
		Bibliographie	118
		GUIDE DE BONNES PRATIQUES EXPÉRIENCES CONDUITES SUR LE DRAC	119
		Déstabilisation hydromorphologique du lit du Drac	120
		Introduction	120
		Identification de la problématique et de ses causes	120
		Solutions envisagées	121
		Etat de fonctionnalité des milieux: principes de restauration de la continuité biologique	125
		Introduction	125
		Identification de la problématique et de ses causes	125
		Investigations complémentaires	126
		Les solutions envisagées	128
		Limiter la régression de la biodiversité en luttant contre les espèces invasives	130
		Introduction	130
		Identification de la problématique et de ses causes	130
		Investigations complémentaires	131
		Solutions mises en œuvre	131
		Bibliographie	135

LE COURS D'EAU

LE COURS D'EAU

Quelques notions de base

✓ Ce que signifie **BONNE PRATIQUE**

Selon ce qui a été indiqué par l'**ISPRA** (Institut Supérieur pour la Protection et la Recherche Envi-ronnementale) la bonne pratique est “... une action, qui peut aussi être mise en œuvre dans d'autres contextes et qui permet à une Commune, à une communauté ou à n'importe quelle administration locale d'agir sur la base d'une gestion soutenable au niveau local”.

Une pratique est considérée comme bonne lorsqu'elle correspond à une idée liée à une action sou-tenable vue comme facteur essentiel d'un développement en mesure de répondre “...aux nécessi-tés du présent, sans compromettre la capacité des futures générations de satisfaire les leurs”. (Rapport Brundtland-**UNCED** 1987).

Indépendamment du contexte économique-social du secteur dans lequel on intervient, c'est le modèle de développement compatible avec les exigences de sauvegarde de l'environnement et de sauve-garde des ressources que l'on définit soutenable.

✓ Ce que signifie **GERER UN COURS D'EAU**

La gestion des cours d'eau est donc un argument complexe et transversal qui implique des intérêts différents, parfois en désaccord entre eux : il faut donc arriver à des compromis entre les objectifs en conflit mais, surtout, envisager différentes approches de gestion.

En outre, il faut rappeler que bien gérer un cours d'eau n'implique pas nécessairement de devoir y intervenir. En effet, comme on le mettra en évidence par la suite, un fleuve aux composantes intac-tes est un système auto-suffisant qui, secondé dans ses propres dynamiques évolutives, est aussi en mesure d'offrir à l'homme de multiples bénéfices.

Par contre, il est indispensable d'intervenir lorsque il existe de réelles situations à risque pour l'homme, afin de sécuriser la population, ou bien lorsque des activités anthropiques provoquent la pollution chimique ou physique du cours d'eau, et/ou une réduction du débit dans le lit ou encore d'autres altérations.

Pour évaluer qu'elle peut être la façon la meilleure de gérer un cours d'eau, il faut donc laisser de côté certains clichés, et surtout bien prendre en considération tous les principes fondamentaux de l'hydraulique, de la géomorphologie, de l'écologie, et de la biologie végétale et animale.

CONTENIR LE RISQUE HYDRAULIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE **MAINTENIR L'ÉQUILIBRE GÉOMORPHOLOGIQUE**
AMÉLIORER/PRÉSERVER LA QUALITÉ DES EAUX
GARANTIR LA PRÉSENCE D'EAU DANS LE LIT DE LA RIVIÈRE **UTILISER, DE FAÇON RATIONNELLE, LA RESSOURCE EAU**
CONSERVER/RESPECTER LA BIODIVERSITÉ (FLORE ET FAUNE)
RÉGULER L'UTILISATION DU TERRITOIRE
EMPÊCHER LA BANALISATION DU PAYSAGE
PERMETTRE AUX USAGERS DE L'UTILISER POUR LEURS LOISIRS

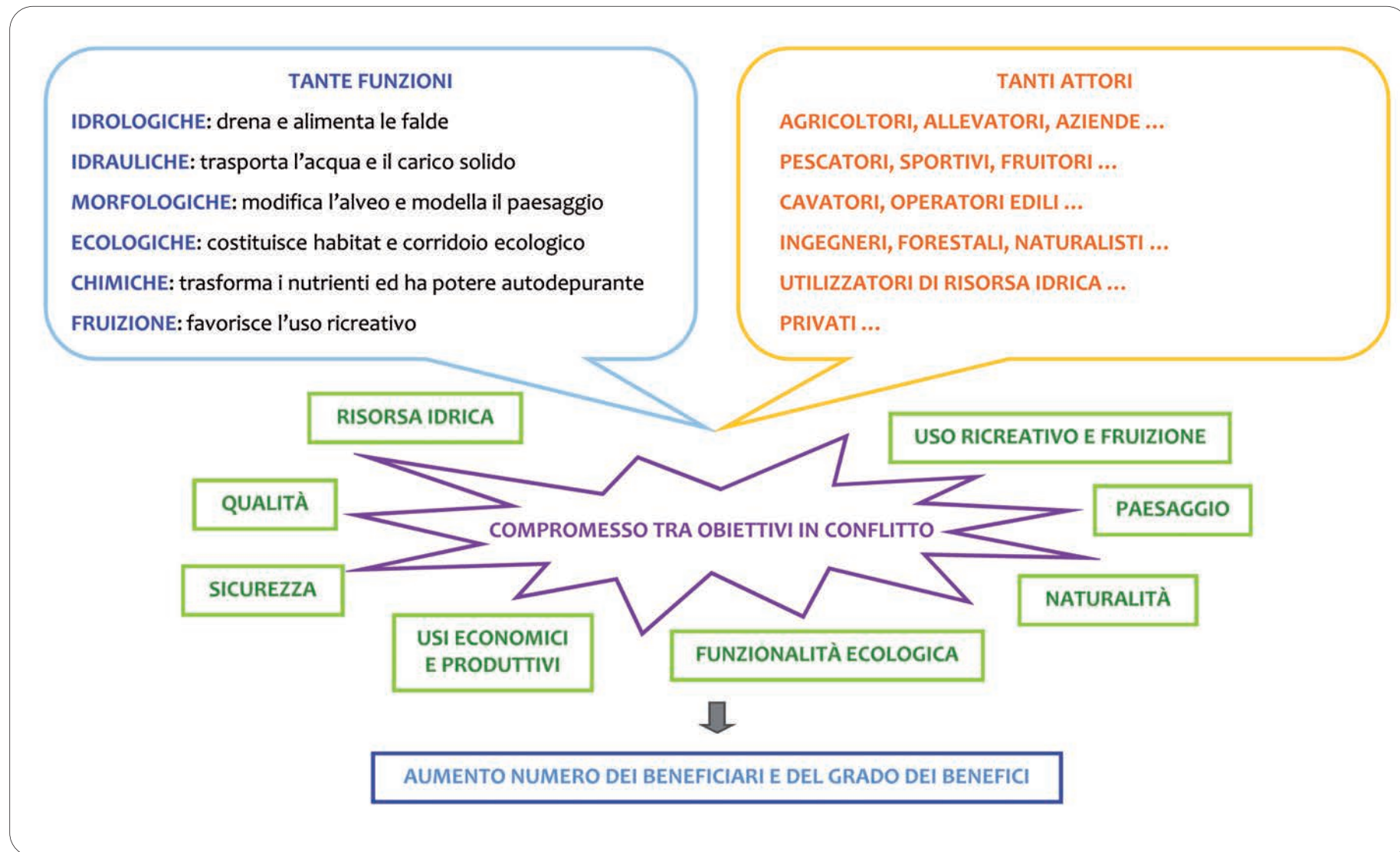


IMAGE I.1 (Image tirée de: La riqualificazione ambientale e la gestione del reticolo idrico superficiale. Parco a Calvatone (CR) 4 ottobre 2007 – "Gestione naturalistica dei corsi d'acqua e dei canali" G. Mezzalana, G. Baldo. Modifiée).

Ce qu'il est important de FAIRE et de NE PAS FAIRE

Un cours d'eau est, par nature, un milieu dynamique. Dans des situations où la « cohabitation homme – cours d'eau » engendre des risques, il est nécessaire de « se protéger » du cours d'eau:

✓ **À travers un aménagement territorial correct**

✓ **Avec la prévention et la prévision des risques**

✓ **À travers la gestion et l'entretien du territoire**

✓ **En réalisant des travaux de régulation et de protection hydraulique**

(solution à adopter quand les actions mentionnées ci-dessus ne peuvent être adoptées)

Face à la perception de danger, la réaction la plus commune est d'y remédier (ou mieux, tenter de réduire le **risque hydraulique** par la réalisation d'actions et d'ouvrages de protection afin de **sécuriser le territoire**).

Mettre en sécurité? RISQUE HYDRAULIQUE

Le risque défini comme “ l'entité du dégât attendu dans une zone déterminée et dans un certain intervalle de temps, suite à un événement particulièrement catastrophique ”, est estimé, pour simplifier, selon la formule:

$$R = P * D$$

Dans laquelle:

P = la “**dangerosité**” est la probabilité qu'un événement catastrophique d'une intensité déterminée et pouvant potentiellement endommager les biens exposés ait lieu, dans une période de temps donnée et dans un certain secteur.

D = le “**dégât**” potentiel, qui exprime l'entité potentielle des pertes dans le cas où l'événement catastrophique se produirait.

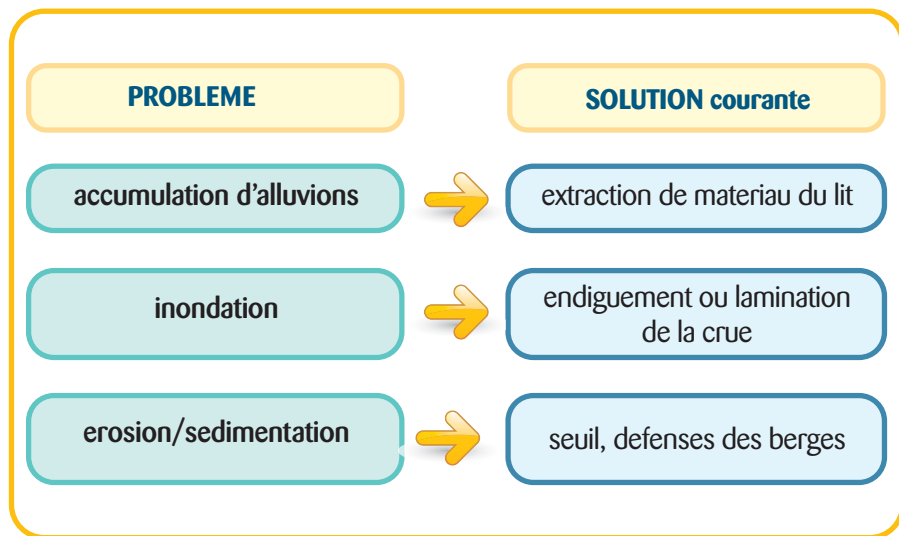
Le “**dégât**” potentiel dépend de la valeur des biens et/ou des personnes exposés et peut, à son tour, être exprimé comme:

$$D = V * E$$

où:

V = la “**vulnérabilité**” ou bien la susceptibilité de l'élément exposé au risque de subir des dégâts à cause de l'événement catastrophique;

E = la “**valeur exposée**” ou bien la valeur de l'élément exposé au risque (vie humaine en tant que bien prioritaire de valeur inestimable, biens, ressources naturelles, activités économiques,...).



De telles interventions, en réalité, réduisent le risque hydraulique à travers la seule diminution de la probabilité qu'un événement calamiteux se vérifie (dangerosité) sans intervenir sur le bien exposé.

Toutefois cette stratégie peut se révéler très dangereuse. Supposons, en effet, une alluvion "A" qui provoque des dégâts à un bâtiment. Après la réalisation de la digue les effets d'une alluvion de ce type sont annulés puisque la crue est contenue dans le lit. En revanche, si dans la zone "sécuri-sée" de nouveaux bâtiments sont réalisés à l'occasion d'une alluvion "B" de plus grande intensité (avec un temps de retour plus long ce sont aussi bien les dégâts potentiels que le risque hydraulique qui augmentent.

Dans ce cas, parler de mise en sécurité du territoire génère une perception illusoire de sécurité!

TEMPS DE RETOUR

Le temps de retour, (T_r) est l'intervalle de temps mesuré en années où une certaine valeur d'une grandeur hydrologique (débit, précipitation) est, en moyenne, égale ou dépassée une seule fois. Le temps de retour est donc, de façon univoque, relié à une valeur préétablie de la grandeur hydrologique. Bien qu'il soit largement utilisé, c'est un mot qui peut créer de la confusion puisque, par exemple, il porte à penser que, après une crue séculaire on peut s'attendre à ce qu'il s'écoule un siècle avant qu'une crue successive d'égale intensité se produise (alors qu'elle pourrait aussi bien se produire le lendemain). L'utilisation de la probabilité annuelle est plus rapidement compréhensible: par exemple, une crue avec probabilité annuelle 1% (au lieu de avec un temps de retour de 100 ans : $TR\ 100$); crue avec probabilité annuelle 4% (au lieu de avec $TR\ 25$ ans). L'utilisation de la probabilité annuelle nous rend conscient qu'une crue ravageuse ne garantit aucune période de repis, étant donné qu'elle a la même probabilité de se reproduire l'année suivante.

C'est une idée très répandue que, pour sécuriser un territoire, il faut toujours et nécessairement intervenir sur le cours d'eau (par exemple des ouvrages de défense) mais très peu de personnes sont conscientes qu'un cours d'eau se modifie naturellement à travers des processus dynamiques (par ex. érosion et sédimentation) qui ne sont pas, en soi, dangereux ou nuisibles, mais qu'ils le deviennent à partir du moment où l'homme construit trop près du fleuve.

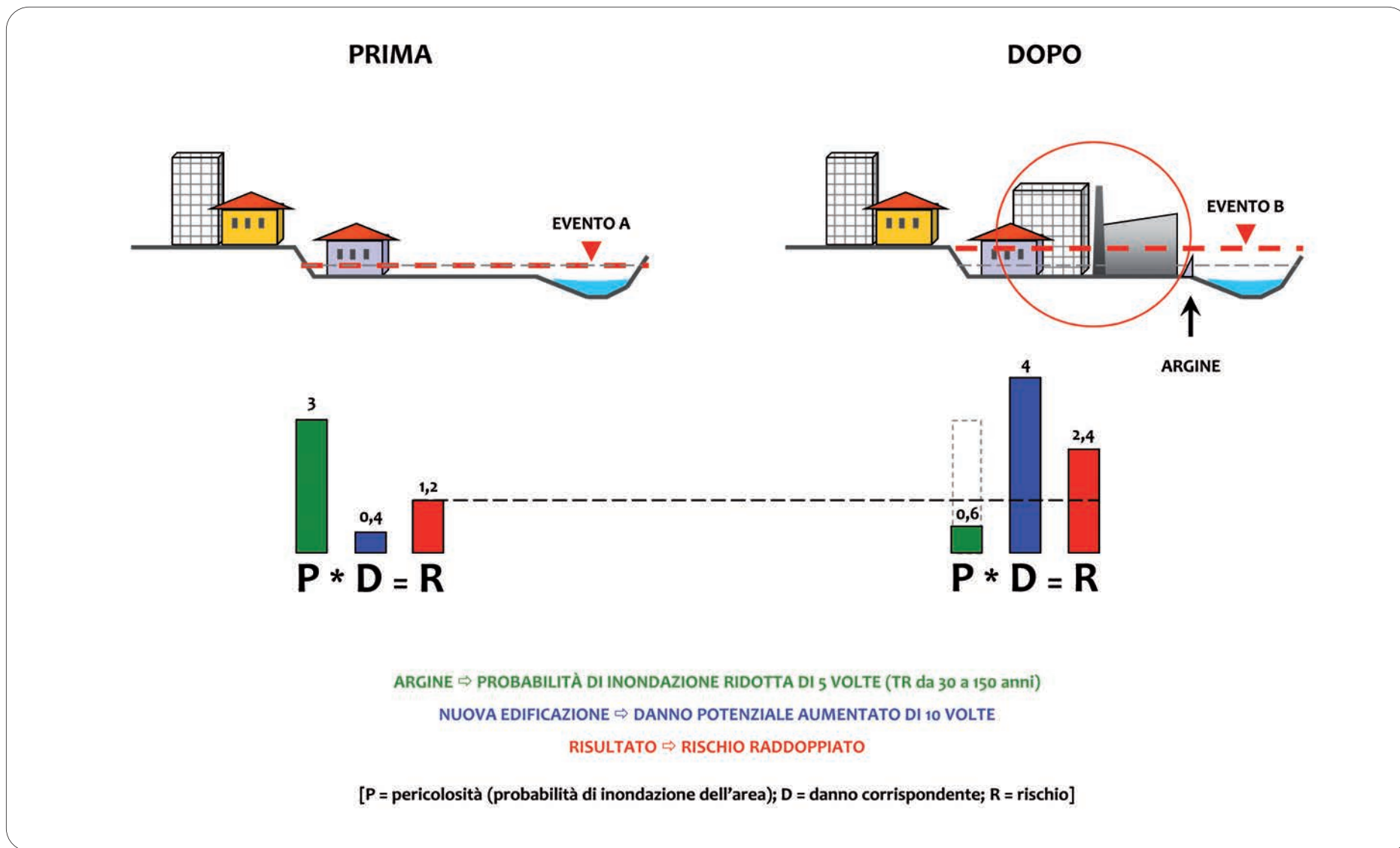


IMAGE I.2 Mise en sécurité du territoire: « approche classique».

[Tirée de : CIRF - Riqualficazione Fluviale n. 3 4.2010 - Provincia dell'Aquila Assessorato all'Ambiente - Modificato].

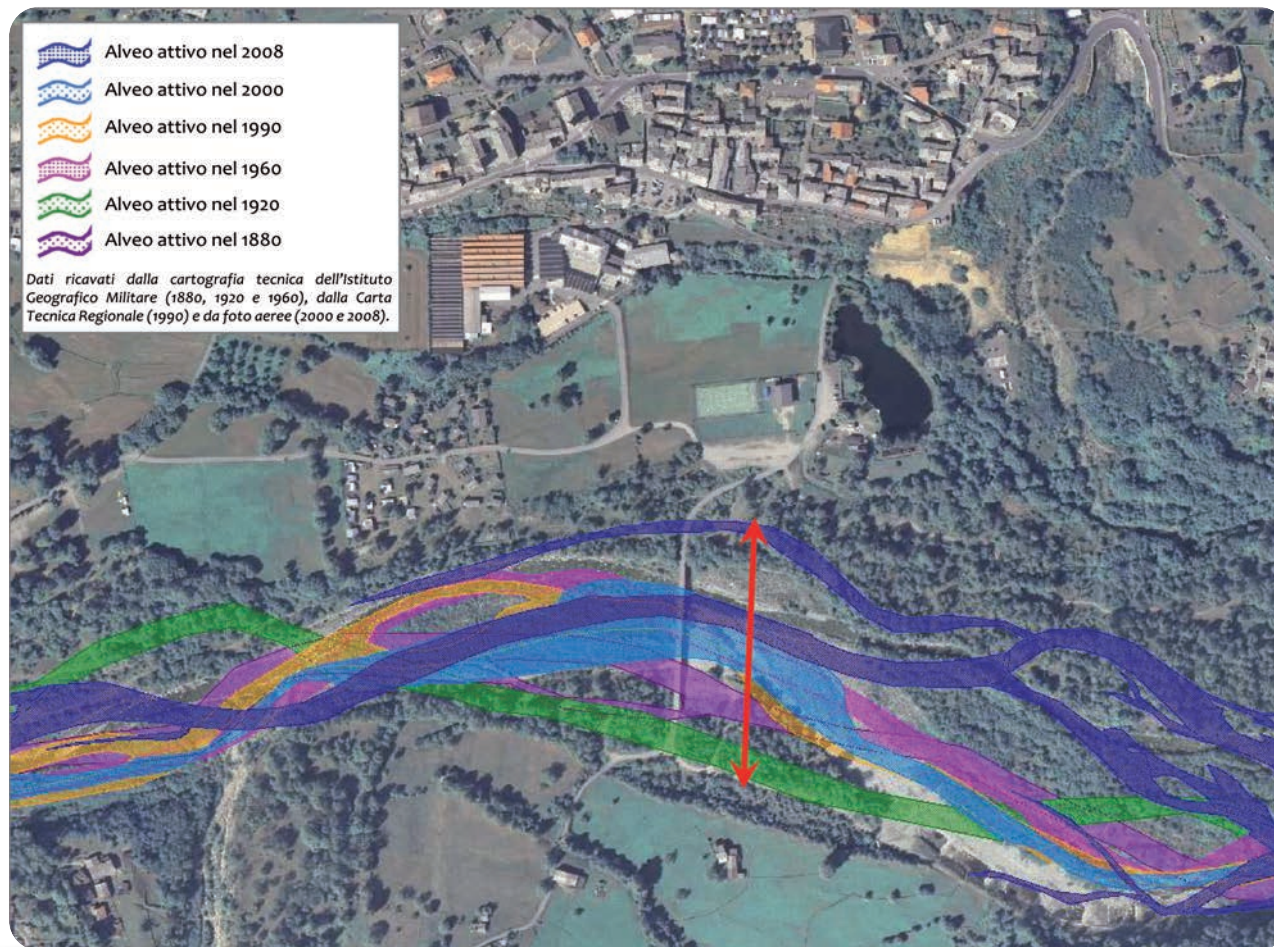


IMAGE I.3 Modifications historiques du lit actif du T. Pellice. (Progetto PELLIDRAC - Pellice e Drac si parlano: storia d'acqua - Servizio Difesa del Suolo e Attività Estrattiva - Provincia di Torino).

La façon la meilleure pour sécuriser, réellement, la population consiste donc à **réduire le dégât potentiel** à travers les actions suivantes:

- ✓ **ne pas réduire l'espace nécessaire au cours d'eau**
- ✓ **seconder ou rétablir les processus évolutifs du cours d'eau**
- ✓ **redonner de la place au cours d'eau**

Les **mesures** pour mettre en œuvre ces actions sont:

- ✓ **la planification territoriale à l'échelle du bassin**
- ✓ **l'étude et la compréhension du fonctionnement éco-systémique, géomorphologique et hydraulique du cours d'eau**
- ✓ **la délocalisation des biens exposés** (bien qu'elle soit souvent économiquement avantageuse par rapport à la réalisation et entretien de nouveaux ouvrages hydrauliques, c'est une intervention rarement réalisée, surtout parce qu'elle est complexe du point de vue administratif et humain étant donné les implications qu'elle présente là où ce sont des zones d'habitations civiles qu'il faut déplacer).

Le bassin versant en tant qu'échelle de l'espace de référence

✓ L'eau qui arrive sur la surface terrestre sous formes de précipitations de neige ou de pluie, se distribue dans différents **bassins versant** qui la composent. Une partie s'évapore, une autre s'infiltrate dans le sous-sol et une autre partie s'écoule sur la surface en se concentrant le long des directrices principales : les cours d'eau. Quand on a à faire à un cours d'eau, l'échelle de l'espace de référence est le bassin versant.

BASSIN VERSANT

Le bassin versant est une portion de territoire dont l'écoulement hydrique superficiel est canalisé vers une section fixée d'un cours d'eau qui est définie comme la section exutoire du bassin (voir le texte). Dans un bassin versant on peut localiser plusieurs sous bassins d'ordre inférieur drainés par plusieurs affluents et sous-affluents du cours d'eau principal. Les nombreux bassins versants sont délimités par des lignes de partage des eaux..

En effet, c'est dans le bassin versant que l'action corrosive des eaux superficielles provoque tous les processus de modelage de la surface elle-même. C'est toujours dans ce bassin que toutes les actions humaines de modification du territoire influent inévitablement sur l'écoulement des eaux et sur leur **temps de ruissellement (BOX 4)** et par conséquent sur le cours d'eau collecteur. Il en est de même pour les impacts et les activités anthropiques, persistant sur le bassin, qui se répercutent sur la qualité du cours d'eau.

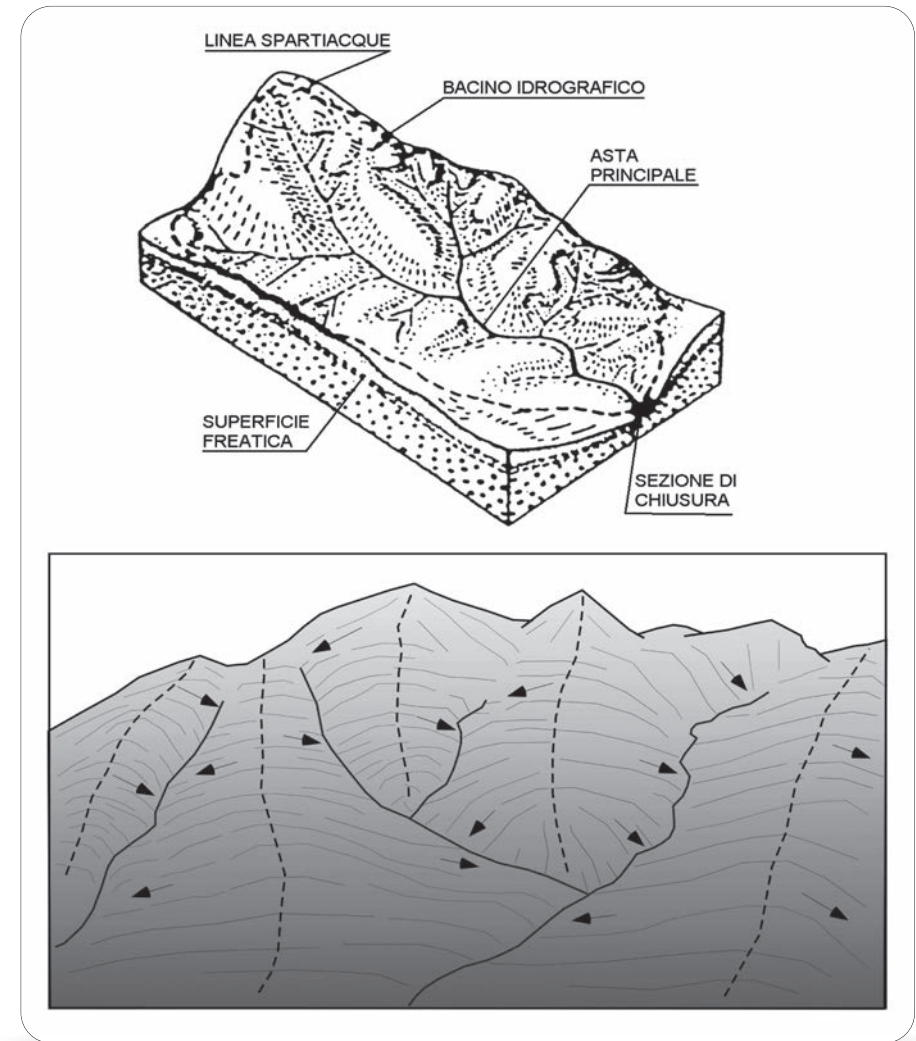


IMAGE I.4 Représentation schématique d'un bassin versant. En haut ; image tirée de : En bas les lignes noires hachurées représentent les lignes de partage des eaux, et les flèches indiquent la direction de l'écoulement superficiel. (Auteur R. Vatteroni.)

TEMPS D'ÉCOULEMENT

Le temps d'écoulement, évalué dans un point déterminé d'un réseau de drainage (naturel ou artificiel), est le temps qu'il faut à une goutte de pluie tombée dans le point considéré pour rejoindre la section de fermeture du bassin en examen. Un point particulier est celui, d'un point de vue hydraulique, le plus loin de la section de fermeture, c'est à dire le point de la ligne de partage des eaux d'où l'axe principal du réseau hydrographique est originaire : le temps de ruissellement calculé par rapport à ce point prend le nom de « temps de concentration du bassin ».

Pour ces raisons, dans le cas où il faudrait résoudre des problèmes de risque hydraulique, il est nécessaire que la solution soit proposée après une évaluation globale de la dynamique du cours d'eau qu'il faut réaliser sur échelle de **bassin versant**.

La planification territoriale à l'échelle du **bassin versant** permet, en effet, d'éviter que des interventions, même si elles produisent un **effet positif local**, deviennent la cause de problèmes dans d'autres tronçons du cours d'eau.

L'instrument principal d'aménagement est le **Plan de bassin versant** qui, pour le bassin du Po, est en cours de réalisation à travers la rédaction de **plans provisoires**, instruments plus facilement adaptables aux exigences spécifiques des différents cadres territoriaux et des différentes thématiques.

Les plans provisoires sont des actions particulières, précises, rapportées à des parties déterminées de tout le bassin, qui permettent une intervention plus efficace et favorable par rapport aux actions menées en urgence pour des situations plus critiques.

Du point de vue hydrogéologique et hydraulique, il n'y a qu'une seule planification de référence pour tout le bassin et elle est constituée, dans

le Bassin hydrographique du fleuve Po, par des documents et par des cartes du **Plan provisoire pour l'Aménagement Hydrogéologique** (dénommé par la suite PAI) à travers lequel sont : *“planifiées et programmées les actions et les normes d'utilisation visant à la conservation, à la défense et à la valorisation du sol et à l'utilisation correcte des eaux sur la base des caractéristiques physiques et environnementales du territoire concerné”*. Le PAI assure aussi des activités d'entretien et de contrôle des cours d'eau par rapport aux trois composantes essentielles du système fluvial : les sédiments du lit, la végétation de protection et les ouvrages de protection; activités sur la base desquelles on peut planifier la gestion des sédiments à travers les **Programmes de gestion des sédiments**.

Du point de vue de la protection et de la gestion de la ressource hydrique, la planification de référence est constituée par un plan de protection des eaux (PTA) régional, qui fournit des indications pour la réalisation des objectifs de qualité des corps hydriques.

Ces instruments (PAI et plan de Protection des Eaux) doivent être cohérents avec les orientations de la Directive –Cadre Européenne sur les Eaux (2000/60/CE) connue comme **Directive Eaux**.

LA PLANIFICATION DU BASSIN

Le **Plan de Protection des Eaux régionales**, pour ce qui concerne la protection et la gestion de la ressource hydrique et le **Plan Provisoire pour l'Aménagement Hydrogéologique**, pour ce qui concerne les aspects de la gestion du risque d'alluvion et de la protection dans le secteur fluvial, représentent le point de départ du processus d'élaboration du **Plan de Gestion du district hydrographique du fleuve Po** adopté le 24.02.2010.

PROGRAMME DE GESTION DES SEDIMENTS

Le modelage d'un lit alluvionnaire est fait à travers des phénomènes naturels d'érosion du lit et des berges et de transport et dépôt de sédiments. Ces phénomènes de modelage sont souvent interprétés comme une source de danger potentiel pour le territoire environnant la région fluviale et par conséquent sont ralentis ou altérés. En outre, à cause de la pression anthropique, causée, en grande partie, par le prélèvement de granulats, par la création de barrages, par des retenues et par la canalisation, les cours d'eau ont subi une altération importante surtout au XX siècle. (voir BOX 32 – L'incision du Po).

La Directive pour la gestion des sédiments a été approuvée en 2006 pour faire face à ces problèmes. Par cette Directive, l'Autorité a fixé les principes généraux et les règles qui doivent coordonner une gestion correcte des sédiments dans les lits fluviaux.

C'est conformément à la nouvelle Directive pour la gestion des sédiments, que le **Programme général pour la gestion des sédiments pour tout le cours fluvial du Po** a été rédigé et approuvé par le Comité Institutionnel.

Le Programme général de gestion des sédiments ajoute à l'objectif d'amélioration des conditions de sécurités hydrauliques, les objectifs innovants suivants:

- préserver les processus naturels là où ils sont encore présents et en activité;
- réduire les effets et les conditionnements sur le système naturel engendrés par les ouvrages dans le lit pour réamorcer le fleuve vers des formes moins contraignantes avec un plus grand équilibre dynamique et écologique.

Pour ce faire, le Programme localise les lignes d'action stratégique suivantes:

- sauvegarde de toutes les formes et processus fluviaux et monitoring de surveillance et opérationnel,
- réhabilitation des processus d'érosion, de transport solide et de dépôt de sédiments à travers l'abandon ou l'adaptation des ouvrages présents dans le lit mais qui ne sont plus en activité.
- réhabilitation des formes à travers la réouverture et la remise en états des bras latéraux.

La directive cadre sur l'eau

✓ Le cadre de référence législatif à niveau européen pour la **protection des eaux** (superficielle, internes, de transition, côtières et souterraines) et donc aussi des cours d'eau, est représenté par la **Directive 2000/60/CE (Directive Cadre sur l'Eau)** accueillie en Italie par le décret D.Lgs 152/2006 et s.m.i.

La directive a les **buts suivants**:

- empêcher une ultérieure détérioration, protéger et améliorer l'état des **écosystèmes** aquatiques et terrestres et des zones humides qui dépendent directement des écosystèmes aquatiques sous le profil de besoin hydrique ;
- faciliter l'utilisation hydrique durable fondée sur la protection à long terme des ressources hydriques disponibles;
- protéger et améliorer le milieu aquatique à travers des mesures spécifiques pour une réduction graduelle des rejets, des émissions et des pertes de substances prioritaires et des substances dangereuses prioritaires;
- réduire les effets des inondations et des sécheresses.

La Directive introduit en particulier une nouvelle approche de la qualité des eaux étant donné que, pour les cours d'eau, elle fixe des objectifs environnementaux axés non seulement sur l'**état chimique** des eaux, mais aussi sur l' "**état de santé**" des éléments biologiques de l'écosystème fluvial (**état écologique**).

L'évaluation de l'état écologique est exprimée à travers la **classification de l'état écologique**.

LES PARAMETRES DE L'ETAT ECOLOGIQUE

Les paramètres biologiques qu'il faut rechercher concernent la composition et l'abondance de la flore aquatique, des macro-invertébrés benthiques et des poissons (dans ce cas c'est la structure à l'âge adulte qui est requise).

Les paramètres hydro-morphologiques pour renforcer les éléments biologiques sont : le régime hydrologique, la masse et la dynamique d'écoulement d'eau, la connexion avec le corps hydrique souterrain, la continuité fluviale, les conditions morphologiques, la variation de la profondeur et de la largeur du fleuve, la structure et le substrat du lit et la structure de la zone protectrice.

Les paramètres chimiques et physico-chimiques pour renforcer les éléments biologiques sont : les conditions thermiques, les conditions d'oxygénation, la salinité, l'état d'acidification, la pollution causée par des substances prioritaires dont le rejet a été relevé dans le corps hydrique, la pollution causée par d'autres substances dont le rejet, en grandes quantités, a été relevé dans le corps hydrique.

Cette classification se fonde sur une évaluation combinée de paramètres biologiques et de paramètres hydro-morphologiques et chimiques ou physico-chimiques sélectionnés pour appuyer les éléments biologiques.

La classe est assignée sur la base des valeurs relevées pendant le monitoring biologique et physico-chimique.

Une définition des **5 classes d'états écologique** est reportée dans le tableau suivant.

<p>État élevé</p>	<p>Aucune altération anthropique, ou des altérations anthropiques peu importantes, des valeurs des éléments de qualité physico-chimique et hydro morphologique du type du corps hydrique superficiel par rapport à ceux, en règle générale, associés à ce type inaltéré. Les valeurs des éléments de qualité biologique du corps hydrique superficiel reflètent celles qui sont, en principe, associées à ce type inaltéré et ne mettent en évidence aucune distorsion, ou des distorsions peu importantes. Il s'agit de conditions et de communautés typiques spécifiques.</p>
<p>État bon</p>	<p>Les valeurs des éléments de qualité biologiques du type du corps hydrique superficiel présentent des niveaux peu élevés de distorsion dus à l'activité humaine, mais elles s'écartent légèrement de celles qui sont, en règle générale, associées au type de corps hydrique superficiel inaltéré.</p>
<p>État suffisant</p>	<p>Les valeurs des éléments de qualité biologique du type du corps hydrique superficiel s'écartent, de façon modérée, de celles qui, en règle générale, sont associées au type de corps hydrique superficiel inaltéré. Les valeurs présentent des signes modérés de distorsions dus à l'activité humaine et des altérations décidément majeures par rapport aux conditions de bon état.</p>
<p>État insuffisant</p>	<p>Les valeurs des éléments de qualité biologique du type de corps hydrique superficiel présentent des altérations considérables et les communautés biologiques intéressées s'écartent, fondamentalement de celles qui, en règle générale, sont associées au type de corps hydrique superficiel inaltéré.</p>
<p>État mauvais</p>	<p>Les valeurs des éléments de qualité biologique du type de corps hydrique superficiel présentent de graves altérations et il manque de grandes portions de communauté biologiques intéressées, qui sont, en principe, associées au type de corps hydrique superficiel inaltéré.</p>

La directive prévoit d'atteindre, d'ici 2015 (avec la possibilité de dérogations justifiées, d'une manière adéquate), l'état environnemental "bon".

La Directive détermine, en particulier dans les **Plans de Gestion des bassins versants**, le principal instrument opérationnel à travers lequel la protection des eaux communautaires peut être réalisée à travers une

approche des différents aspects gestionnaires et écologiques.

Le principal élément d'innovation introduit par la Directive des Eaux est, en effet, le développement **d'une approche intégrée à la protection et à la gestion des eaux** qui poursuit la réalisation d'objectifs environnementaux à travers une plus grande intégration de la politique en matière de protection et de gestion des eaux avec les autres politiques communautaires, telles que celle de l'énergie, des transports, agricole, de

la pêche et la politique régionale du tourisme.

Les Plans de Gestion contiennent donc toutes les mesures nécessaires pour la réalisation des objectifs fixés par la Directive elle-même.

Enfin la directive prévoit, pour chaque district, la réalisation du **registre des zones protégées** afin de protéger les eaux superficielles et souterraines qui y sont contenues ou de conserver leurs habitats et les espèces présentes qui dépendent directement du milieu aquatique. Ce registre inclue :

- les zones désignées pour l'extraction des eaux destinées à la consommation humaine;
- les zones désignées pour la protection d'espèces aquatiques importantes d'un point de vue économique;
- les corps hydriques ayant un but récréatif y compris les zones où il est permis de se baigner;
- les zones sensibles aux nutriments y compris celles vulnérables par les nitrates
- les zones désignées pour la protection d'habitats et d'espèces, pour lesquelles il est important de maintenir ou d'améliorer l'état des eaux pour leur protection (y compris les sites de Réseau Nature 2000 fondés pour la protection d'habitats ou d'espèces d'importance communautaire).

La compétence décisionnelle sur les cours d'eau

Du point de vue des compétences, il y a différents organismes de référence parmi lesquels les principaux sont:

- ✓ **Le Ministère de l'Environnement et de la Protection du Territoire et de la Mer** avec le rôle partiel d'autorisation d'Évaluation d'Impact Environnemental (VIA par la suite) et d'Évaluation Environnementale Stratégique (VAS par la suite).
- ✓ **L'Autorité du Bassin du fleuve Po** (AdBPo par la suite) avec des tâches de planification à l'échelle du bassin..
- ✓ **L'Agence Interrégionale pour le Po** (Aipo par la suite) avec des tâches de programmation et d'intervention le long de tronçons d'eaux pour lesquels le PAI a établi les Bandes Fluviales.

✓ **La Région Piémont** avec des tâches de planification, programmation et d'intervention le long des tronçons auxquels il n'a pas été établi de bande fluviale ; des tâches partielles d'autorisation à l'utilisation de la ressource hydrique ; et des tâches de classification et de contrôle des corps hydriques pour la réalisation des objectifs de qualité de la Directive des eaux de VIA et de VAS.

✓ **La Province de Turin** avec des tâches partielles d'autorisation au déversement d'eaux résiduaires dans le cours d'eau et avec des tâches partielles de concession à l'utilisation de la ressource hydrique, de contrôle de la qualité des eaux, de VIA et de VAS.

✓ **Les Communes** avec des tâches partielles d'autorisations au déversement des eaux résiduaires et avec des tâches partielles de concession à l'utilisation d'eaux souterraines.

BANDES FLUVIALES

Le PAI détermine trois bandes fluviales et il les classe comme:

- **Bande d'écoulement de la crue (Bande A)**. Elle est composée par la portion de lit qui est le lieu prédominant, pour la crue de référence, de l'écoulement du courant, c'est à dire qu'elle est composée par l'ensemble des formes fluviales qui peuvent se réactiver pendant la de crue. On adopte la délimitation la plus ample parmi celles qui suivent:
 - le temps de retour (TR) fixé à 200 ans de la crue de référence et le niveau hydrique correspondant fixé, on prend comme délimitation conventionnelle de la bande la portion où il s'écoule au moins 80% de ce débit;
 - la limite extérieure des formes fluviale potentiellement en action pour le débit avec un TR de 200 ainsi (critère prédominant dans les cours d'eau ramifiés).
- **Bande de débordement (Bande B)**. Elle est extérieure à la précédente et elle est composée par la portion de lit intéressée par des inondations quand un épisode de crue de référence se produit. La limite de la bande gagne le point où les limites naturelles du terrain sont supérieures aux niveaux hydriques correspondant à la crue de référence c'est à dire jusqu'aux ouvrages hydrauliques existant ou programmés pour le contrôle des inondations (digue ou autres ouvrages de retenue) dimensionnés pour le même débit. On prend comme débit de référence la crue avec TR de 200 ans .
- **Zone d'inondation pour crue catastrophique (Bande C)**. Elle est composée par la portion de territoire extérieure à la précédente (Bande B), qui peut être intéressée par une inondation quand des épisodes de crue plus graves par rapport à ceux de référence se produisent. On prend comme débit de référence la crue maximale historiquement enregistrée, si elle correspond à un TR supérieur à 200 ans, ou, le cas échéant, la crue avec un TR de 500 ans.

Qu'est-ce qu'un cours d'eau?

Un cours d'eau n'est pas seulement de l'eau qui coule, mais c'est un milieu dynamique (c'est à dire en continuellement évolution) et vivant, caractérisé par la présence de différentes composantes, parmi lesquelles:

- ✓ **l'eau qui s'écoule, charrie en aval et échange avec l'extérieur de la matière et de l'énergie (sédiment inorganique, nutriment, substance organique,...);**
- ✓ **substrat (sol, roches,...);**
- ✓ **organismes végétaux et animaux du lit et des berges.**

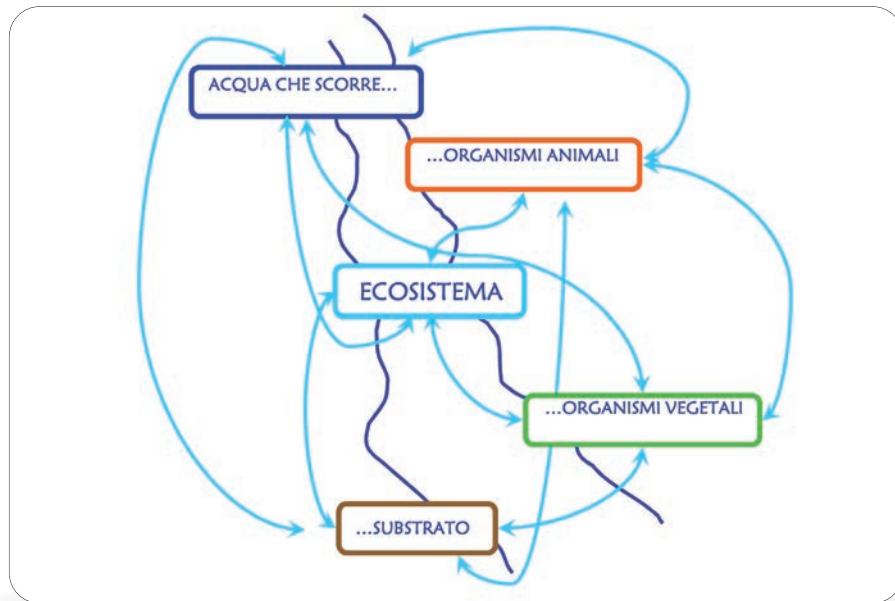


IMAGE I.5 Les relations de l'écosystème fluvial

Ces composants sont gouvernés par des processus dynamiques et sont strictement interdépendants entre eux pour former l'écosystème **fluvial**. Par conséquent, la modification d'un seul élément du cours d'eau peut avoir des répercussions sur tout le système, par exemple les ouvrages de régularisation hydraulique interviennent sur la morphologie mais ils ont des répercussions aussi sur les communautés aquatiques et sur les fonctions du cours d'eau.

Comme cela a déjà été mis en relief, le cours d'eau ressent toutes les modifications qui se produisent à l'intérieur de son bassin versant, et celui-ci est, à son tour, influencé par le régime hydraulique et par la dynamique du cours d'eau.

Chaque cours est alimenté par son bassin et, dans des conditions climatiques et avec des caractéristiques semblables (aménagement géologique-structurel, de végétation et anthropique) cela comporte une certaine proportion entre les dimensions du bassin et le débit du cours d'eau.

La représentation du cours d'eau se produit à travers l'utilisation des **sections géomorphologiques et hydrauliques** et du **profil longitudinal** de l'axe fluvial, qui permettent l'évaluation quantitative des paramètres physiques concernés (par ex. aire, hauteur, débit,...) afin de représenter avec des modèles mathématiques les plus fidèles possible, le comportement du cours d'eau lui-même.

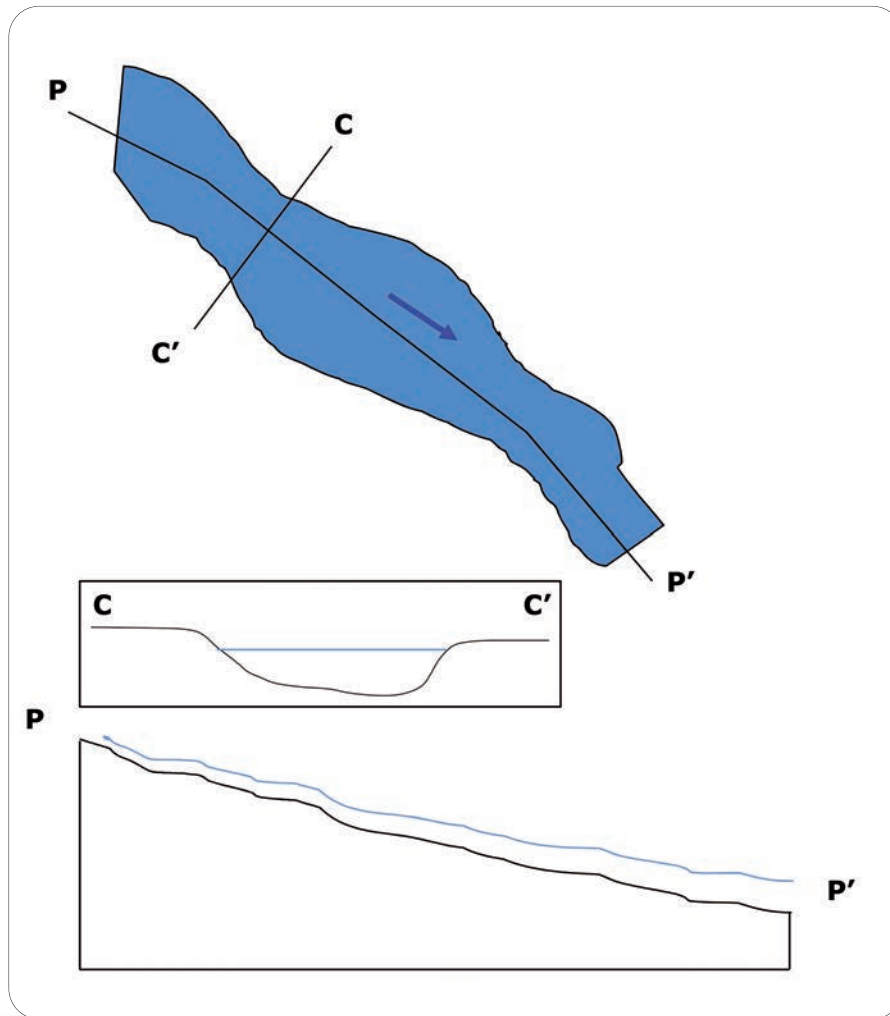


IMAGE I.6 Représentation schématique du profil longitudinal d'un cours d'eau et de la section transversale ainsi que de la trace planimétrique des deux (Auteur : R.Vatteroni).

Le débit est, sans aucun doute, le paramètre le plus utilisé pour étudier les caractéristiques hydrologiques d'un cours d'eau. Il exprime le volume d'eau qui passe dans l'unité de temps à travers une section transversale du fleuve. Dans un même cours d'eau il est possible de distinguer un **débit moyen**, un débit minimal (appelé **débit d'étiage**) et un débit maximal (**débit de crue**).

DEBIT (Q)

Quantité de fluide qui traverse une section A dans l'unité de temps t :

$$Q = A \cdot \frac{s}{t} \text{ [m}^2 \cdot \text{m/s]}$$

Les crues jouent un rôle fondamental surtout dans le modelage du cours d'eau: en effet, il est important de noter que le débit qui influe le plus sur la morphologie du lit (débit formatif) correspond au débit de crue avec un Tr 1-2 ans grâce à l'effet cumulatif du matériau charrié.

DEBIT FORMATIF

Le **débit formatif** ou à **berges pleines** (*fullbank*) est un débit qui occupe toute la section du fleuve sans provoquer le dépassement des berges (Wolman, 1955). Il correspond à la valeur de débit liquide auquel sont associés des phénomènes prédominants de transport solide et de dynamique morphologique. (*Directive pour la définition des interventions de ré-naturalisation selon art. 36 des Normes du PAI. Autorité de bassin du fleuve Po. Directives technico-procédurales pour le projet et l'évaluation des interventions de ré-naturalisation du. n. 8/2006 du 5 avril 2006.*)

Le cours d'eau est le siège **d'érosion, de transport et de dépôt**: le courant emporte (érosion) le matériau constituant le fond et les berges du lit, il le charrie vers aval (transport) et, quand la vitesse du courant diminue, il le dépose (dépôt) plus bas.

Étant donné que le courant varie le long du cours d'eau, il est normal que dans celui-ci il y ait des endroits où des phénomènes d'érosion et de sédimentation se produisent tout comme, dans le même endroit, avec

la variation des **débits**, des phénomènes d'érosion peuvent remplacer des phénomènes de dépôt et vice versa.

Le débit d'un cours d'eau varie le long du cours lui-même et, pour une même section, il varie dans le temps; en général le débit augmente de l'amont vers l'aval et varie avec la variation des afflux.

Donc c'est seulement après une période suffisamment longue d'observation que l'on peut dire si le système fluvial présente, dans son ensemble, une tendance à l'érosion, à la sédimentation ou au transport.

TYPOLOGIES ET FORMES D'ÉROSION

On observe deux principaux **types d'érosion** :

- Érosion dans le sens strict : se produit quand les efforts de cisaillement engendrés par l'eau dépassent la résistance au mouvement de chaque particule de matière; cette résistance est due principalement au poids des granules à leur forme et à leur cohésion.
- Abrasion: c'est une forme d'érosion qui se produit principalement sur les parois du chenal et elle est due au matériau solide charrié par le courant qui heurtant et glissant en abrase le matériau.

L'action de l'érosion provoque des **formes érodées** différentes, typiques et reconnaissables:

- **Vallécule**: formes d'érosion dérivant de l'action des eaux superficielles canalisées; elles se développent dans des secteurs caractérisés par une énergie de relief élevée ou par une action d'érosion particulièrement intense; elles se développent dans des secteurs acclives selon les lignes de pente maximale.
- **Remous**: formes d'érosion engendrées par la rupture des berges et par l'écoulement des eaux enlevées du lit, caractérisée par une énergie élevée et un mouvement turbulent. Ces eaux causent des tourbillons ayant un axe vertical dont l'action corrosive engendre des cavités de forme semi-circulaire qui souvent occupent l'eau de nappe.
- **Gorges**: formes typiques des lits rocheux, définissables comme des vallées étroites et profondes, caractérisées par des versants très raides quand ils ne sont pas directement sub-verticaux. Dans les gorges, la lame d'eau est caractérisée par des valeurs de hauteur et turbulence exceptionnelles, avec une capacité de transport solide proportionnée.
- **Chutes**: formes des lits rocheux caractérisés par la présence d'une rupture de pente sub-verticale le long du profil longitudinal du lit. Les chutes sont des formes qui ont tendance à se déplacer vers l'amont à cause de l'érosion de leur bordure, et en général ce sont des formes "temporaires" indicatrices d'un état de non maturité ou de rajeunissement du profil du cours d'eau.
- **Rapides**: formes de lits rocheux ou de lits se trouvant sur des sédiments grossiers caractérisés par une brusque variation de pente du profil longitudinal du lit qui n'est pas, ce pendant, suffisante pour causer le décollement de l'eau du lit.



IMAGE I.7 La chute de Locana (Province de Turin) (Auteur R. Vatteroni).



IMAGE I.8 La gorge le long du torrent Severo dans le Val D'Ossola (Province de VCO) (Auteur R. Vatteroni).

TYPES de TRANSPORT FLUVIAL

Le matériau charrié par le courant d'un cours d'eau peut être transporté de différentes manières qui dépendent du poids spécifique du sédiment, de la vitesse du courant et de la formes et des dimensions des granulats :

- **Transport par flottement** : il concerne principalement des restes végétaux charriés par le courant et sédimentés par la suite quand leur poids spécifique augmente par effet de l'imbibition.
- **Transport par solution** : efficace quand des lithologies hydrosolubles comme des carbonates, anhydrides, gypse ou sel gemme affleurent dans le bassin versant. Localement, surtout dans le cas de carbonates, on peut avoir une forme de "re-dépôt" le long du lit sous forme de cimentation des sédiments.
- **Transport par suspension** : distribué dans tout le volume de la masse d'eau, il est d'autant plus efficace quand ses dimensions en granules sont moindres et la turbulence est majeure.
- **Transport sur le fond** : il peut se produire par roulement, glissement ou saltation. Le roulement et le glissement se produisent quand les efforts tangentiels exercés par l'eau sont proches des contraintes critiques; le mouvement de la saltation, en revanche, est principalement dû aux impulsions reçues par les collisions des granulats.

La capacité d'érosion d'un cours d'eau, tout comme l'attitude à sédimenter, influent sur l'évolution en plan des axes torrentiels fluviaux qui forment le réseau hydrographique du bassin en créant des "*patterns*" différents.

LES PATTERNS

Par le mot *pattern* on définit le dessin en plan des axes torrentiels fluviaux, c'est à dire la forme du réseau hydrographique du bassin: deux principaux types de *patterns* existent:

– Pattern d'érosion

La disposition des axes fluviaux est convergente: de nombreux affluents de largeur exigüe confluent dans un nombre décroissant de cours d'eau de largeur progressivement majeure.

Ce *pattern*, défini aussi *pattern* arborescent convergent, se développe dans des zones où les actions d'érosion prévalent dans le modelage,

– Pattern de dépôt

La disposition des axes fluviaux est divergente : de nombreux cours, en nombre croissant, et ayant une largeur progressivement moindre, divergent d'un cours d'eau. Ce *pattern*, défini aussi *pattern* arborescent divergent, se développe dans des zones où les actions de dépôt (delta fluviaux) sont en majorité.

Le fleuve est un milieu complexe et dynamique, caractérisé par une extrême hétérogénéité. En effet, on lui associe différents écosystèmes qui se succèdent dans les vallées alpines jusqu'à la mer et, latéralement, du milieu aquatique du lit incisé aux bois ripariens qui recouvrent les berges. Les éléments (biotiques et abiotiques) qui caractérisent l'écosystème fluvial interagissent entre eux en alternant différents états

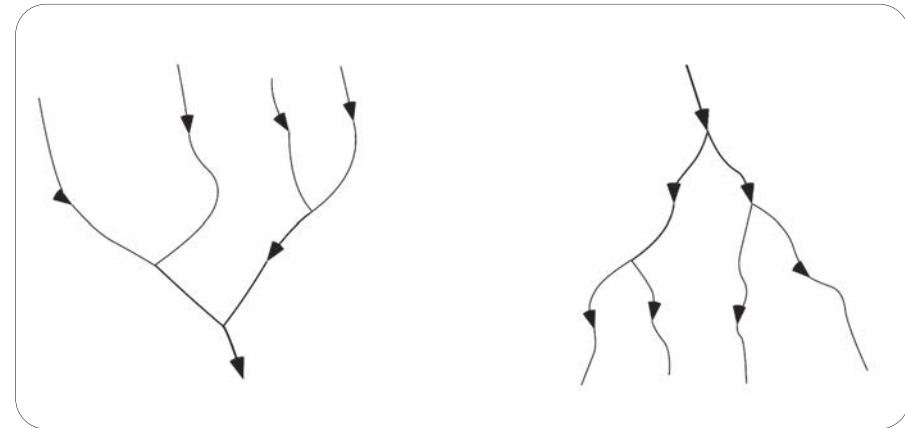


IMAGE I.9 Représentation schématique du *pattern* d'érosion (à droite de l'image) et du *pattern* de dépôt (à gauche de l'image).

d'équilibre qui s'estompent progressivement les uns après les autres, en évoluant continuellement vers un nouvel équilibre. Dans cette dynamique, les changements hydrologiques et hydrauliques se répercutent sur les équilibres écologiques contribuant à créer de la diversité (aussi bien au niveau de l'espèce qu'au niveau de l'écosystème).

Le cours d'eau est donc un milieu constitué par une succession continue d'écosystèmes différents.

Les **variations** des caractéristiques hydrologiques, morphologiques d'un cours d'eau déterminent, donc, la **succession d'écosystèmes** qui s'estompent graduellement les uns après les autres et qui sont interconnectés entre eux et avec les **écosystèmes terrestres environnants**.

Chacun de ces écosystèmes est caractérisé par des communautés animales et végétales particulières influencées par des paramètres physiques et chimiques, morphologiques et hydrodynamiques qui caractérisent l'écosystème lui-même.

L'ECOSYSTEME FLUVIAL

Le terme *écosystème* indique un ensemble d'organismes animaux et végétaux qui interagissent entre eux et avec le milieu qui les entoure. *L'écosystème fluvial* représente, donc, l'ensemble des **facteurs biotiques** (composés par des communautés animales et végétales qui peuplent le milieu fluvial), des facteurs abiotiques (représentés par ex. par la composition du substrat, par la température de l'eau, par la morphologie du bassin,...) et des relations et des processus qui lient ces facteurs.

PRINCIPAUX FACTEURS QUI INFLUENCENT L'ECOSYSTEME FLUVIAL

- **température de l'eau** : elle dépend du climat du bassin versant et varie selon les saisons
- **oxygène dissous et paramètres chimiques de l'eau** (contenu en sels, ph,...); ils dépendent de la nature du bassin et des activités humaines qui se développent sur son écosystème fluvial
- **vitesse du courant**: il dépend du débit et du pendage du lit, il diminue progressivement de l'amont vers l'aval
- **pendage du lit** : il diminue de l'amont vers l'aval
- **évolution et forme du lit**: initialement rectiligne il devient de plus en plus sinueux (il est possible qu'il se crée plusieurs canaux, ou bien des méandres)
- **nature du substrat** : en amont il est généralement caractérisé par la présence de roches émergées, pour passer ensuite à des granulométries plus fines (roches, cailloux, gravier, sable limon argileux) en aval.
- **érosion/sédimentation**: l'action érosive est prédominante dans le tronçon en amont, en revanche, au fur et à mesure que l'on se déplace vers aval, c'est la sédimentation qui est de plus en plus prédominante.
- **milieu environnant** : terrain rocheux, prairies, bois, terrains agricoles, zones anthropisées influencent de façon différente l'écosystème fluvial
- **organismes (végétaux et animaux)** : dans les zones le plus en amont on trouve plus fréquemment des organismes capables de s'opposer activement au courant, de résister à l'action érosive et qui ont besoin d'eau bien oxygénée. A l'inverse, en aval, on trouve des espèces capables de vivre dans des eaux lentes, troubles (où peu de lumière filtre) et peu oxygénées.

La composante animale de l'écosystème fluvial

Les **organismes animaux** liés à l'écosystème fluvial appartiennent à des groupes différents :

- ✓ **mammifères**
- ✓ **oiseaux**
- ✓ **reptiles**
- ✓ **amphibies**
- ✓ **poissons**
- ✓ **invertébrés (mollusques, crustacés, insectes...)**

Il n'y a pas seulement les poissons et les invertébrés aquatiques qui vivent à l'intérieur de l'écosystème fluvial. En effet, les amphibiens peuvent, eux aussi, trouver des zones de reproduction privilégiées dans les canaux marécageux, tout comme certaines espèce d'oiseaux particulièrement dépendants des cours d'eau.

A titre d'exemple, on peut citer le merle aquatique (*Cinclus cinclus*), adepte des cours d'eau, surtout en montagne, et qui se nourrit de macro-invertébrés qu'il pêche en nageant sous l'eau quelques instants. Il y a aussi des espèces telles que l'hirondelle de rivage (*Riparia riparia*), le guêpier d'Europe (*Merops apiaster*) et le martin pêcheur (*Alcedo atthis*) qui y trouvent des endroits adaptés à la nidification, précisément grâce à la dynamique fluviale, étant donné qu'ils creusent leur nid dans les talus érodés du cours d'eau.

Parmi les mammifères, il ne faut pas oublier de citer la loutre (*Lutra lutra*) qui a malheureusement disparu en Piémont et est extrêmement rare en Italie.

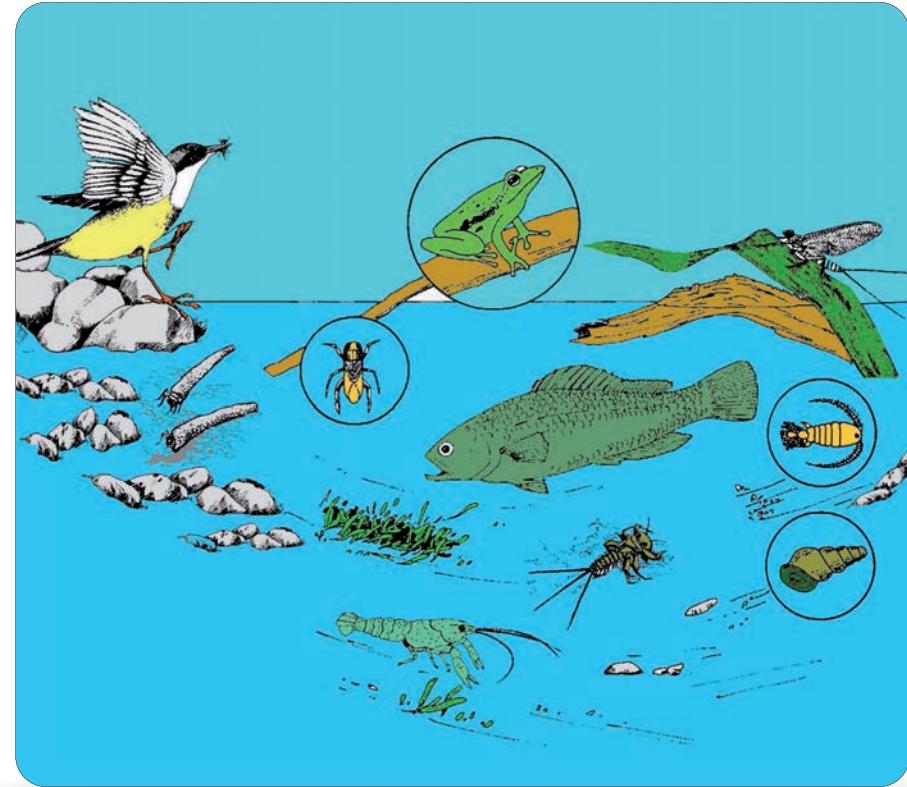


IMAGE I.10 Principaux organismes animaux de l'écosystème fluvial. (Image de G. Sansoni. Tirée de : Seminario sulla gestione degli ambienti perifluviali - Coazze (TO) 12 marzo 2010 - Caratteristiche degli ambienti perifluviali: significato ecologico e valenze ambientali. M.R. Minciardi Centro Ricerche ENEA di Saluggia (VC).

Ces organismes sont liés à l'écosystème fluvial de façon différente : certains vivent dans l'eau pendant tout leur cycle de vie, d'autres sont liés à l'eau pour leur cycle reproductif uniquement. D'autres encore exploitent le milieu fluvial pour y trouver de la nourriture et de l'abri.

A la base de la pyramide alimentaire, c'est la substance organique qui représente la nourriture pour les consommateurs primaires.

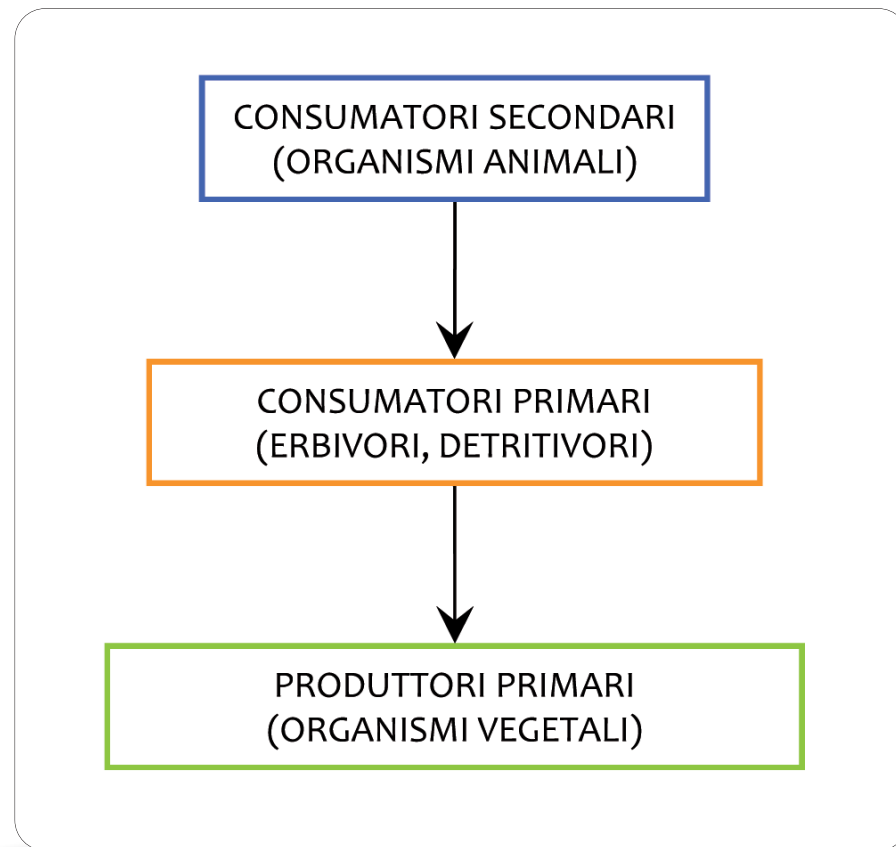


IMAGE I.11 Exemplification des relations trophiques du milieu aquatique.

Les consommateurs primaires sont, à leur tour, la proie des consommateurs secondaires.

A l'intérieur de l'écosystème fluvial, les macro-invertébrés benthoniques, c'est à dire des organismes invertébrés généralement d'un ordre de grandeur supérieur au millimètre, qui passent au moins une partie de leur cycle vital sur des substrats disponibles dans le cours d'eau en utilisant des mécanismes d'adaptation qui les rendent capables de résister au courant, jouent un rôle d'une importance particulière.

De nombreux groupes: insectes, crustacés, mollusques,...appartiennent à cette catégorie.

Ces organismes accomplissent d'importantes fonctions écologiques parmi lesquelles le maintien d'un bon niveau de pouvoir auto-épurateur du cours d'eau (se rapporter au box), d'un grand intérêt pour l'homme, grâce à un ensemble d'activités trophiques qu'ils réalisent. Une communauté macro-benthonique bien diversifiée et bien structurée, en effet, implique la présence, en même temps, d'herbivores, de carnivores et de détritivores qui sont capables d'exploiter au maximum la variété d'apports alimentaires et, surtout, de s'adapter à leurs variations.

RELATIONS TROPHIQUES DE L'ECOSYSTEME FLUVIAL

En fonction du mode d'assimilation de la nourriture et donc du rôle trophique qu'ils jouent à l'intérieur du système, les macro-invertébrés sont divisés en : détritivore, herbivores et carnivores.

ROLE TROPIQUE	GROUPE FONCTIONNEL	RESSOURCES ALIMENTAIRES	EXEMPLES
Détritivores	Hacheurs	feuilles, particules organiques grossières et microbes associés	larves de phryganes, isopodes...
	Fouisseurs	Matériel ligneux	larves de diptères, coléoptères...
	Filtreurs	Particules organiques fines et suspendues et microbes associés	larves de trichoptères, bivalves ...
	Ramasseurs	Particules organiques fines sédimentées et microbes associées	larves d'éphémères, diptères
Herbivores	Hacheurs	macrophytes	arves de diptères aquatiques
	Racleurs	périphyton	larves de éphémère, gastéropodes ...
	Perforateurs	macrophytes	larve de trichoptères
Carnivores	Prédateurs	proie animale	larves de stonefly, diptères, odonates, ...

(Tiré de I.F.F. 2007 Indice de fonctionnalité fluviale - APAT, Ministère de l'Environnement et de la Protection du Territoire et de la Mer, APPA. Modifié).

La composante végétale de l'écosystème fluvial

Les formations végétales de l'écosystème fluvial se développent à l'intérieur et le long du cours d'eau et elles forment des **corridors de végétation** d'ampleur différente, selon les conditions hydro morphologiques locales.

Parmi les **facteurs** qui conditionnent davantage la structure et la composition de la végétation associée aux cours d'eau on peut citer :

- l'action mécanique du courant ;
- la fréquence et la durée des périodes de submersion et d'émersion qui peuvent déterminer de soudains passages de conditions d'asphyxie radicale à des situations d'aridité;
- l'oscillation de la nappe;
- le substrat (présence de substrats incohérents et plus au moins fréquemment remaniés);
- le chimisme des eaux qui peut conditionner la composition des communautés végétales aquatiques ;
- la température;
- les cycles temporels et spatiaux d'érosion et de dépôt du sol.

Ces communautés végétales sont donc constituées par des espèces caractérisées par de particulières **adaptations** qui leur permettent de vivre dans des situations de stress environnemental élevé qui caractérisent les cours d'eau. Ces adaptations peuvent être de type morphologique (ex flexibilité des fûts), reproductif (ex. graines et boutures capables de survivre dans le jard) ou physiologique (ex présence de tissus qui, en augmentant l'efficacité dans le transport des gaz, permettent à l'arbre de survivre dans des conditions de submersion).

La **composante végétale** d'un cours d'eau est composée par :

✓ phytoplancton

présent surtout dans les tronçons fluviaux de plaine, il est typiquement dominé par des algues vertes, diatomées et cyanobactéries.

✓ périphyton

ensemble de microorganismes qui vivent adhérant aux substrats submergés de différente nature (inorganiques et organiques, vivants ou morts) ou qui pénètrent et se déplacent à l'intérieur de la maille constituée par d'autres organismes sessiles (c'est-à-dire fixes). Les algues, (qui en constituent la composante prépondérante en termes de biomasse), les champignons, les bactéries et les protozoaires en font aussi partie.

✓ macrophytes aquatiques

organismes végétaux qui ont en commun les dimensions macroscopiques et le fait qu'ils peuvent se trouver aussi bien en proximité qu'à l'intérieur d'eaux douces superficielles.

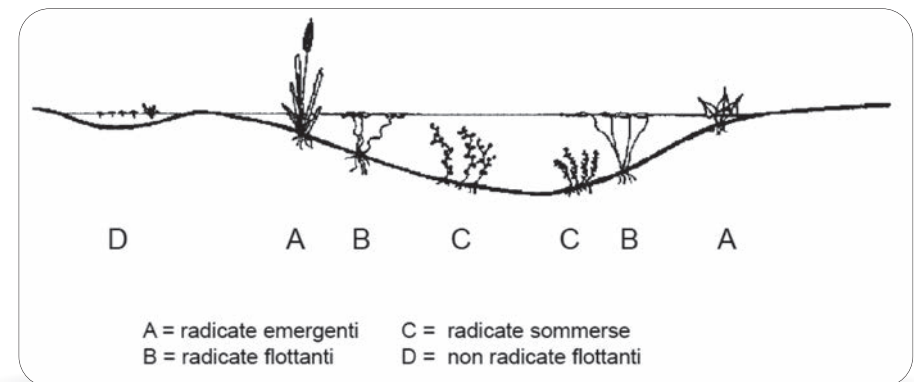


IMAGE I.12 Disposition des typologies des plantes aquatiques le long d'une section transversale (Image tirée de : I.F.F. 2007 Indice de fonctionnalité fluviale- APAT, Ministère de l'Environnement et de la Protection du Territoire et de la Mer, APPA).

✓ **végétation riparienne**

typologie de végétation qui s'interpose entre les communautés végétales aquatiques et les communautés végétales des territoires environnants, influencées par la présence du cours d'eau et par des événements de crue et par la nappe phréatique fluviale.

En simplifiant, en conditions d'absence de perturbations anthropiques, la végétation riparienne est constituée, à partir du lit d'étiage, par des herbacées **pionnières de grève, par des formations d'arbustes ripariens et par des formations arborescentes ripariennes**. Généralement les herbacées de grève s'installent à l'intérieur du lit d'un cours d'eau d'un niveau entre maigre et crue où le remaniement continu du fond et la submersion périodique ne consentent pas l'installation de peuplements arborescents et/ou d'arbustes.

Les **formations d'arbustes** commencent leur colonisation à partir des zones de lit submergé seulement lors de crue (lit en pleine ordinaire). Les **peuplements arborescents**, enfin, se trouvent de nouveau seulement dans les régions fluviales remaniées moins fréquemment par les événements de crue (lit de crue exceptionnelle) et diminuent, de façon plus au moins graduelle, dans les formations végétales des territoires environnants.

Le **dynamisme fluvial**, avec le passage des crues et des modifications morphologiques qui en suivent, est donc déterminant dans le maintien du **complexe mosaïque de la végétation péri fluviale**, composée aussi bien par des espèces ripariennes que par des espèces aquatiques ou marécageuses (ex dans les bras morts ou secondaires d'une rivière). De telles formations végétales constituent, en effet, un système "immature" qui peut exister seulement grâce à l'action destructive des crues, qui avec leur passage, renouvellent et modifient continuellement cette mosaïque d'habitats. Les ouvrages de régularisations hydrauliques, dans leur

opposition à la dynamique fluviale (par exemple en empêchant les exondations et en faisant obstacle aux normaux processus d'érosion et de sédimentation) ont donc un impact considérable à l'égard de la biodiversité végétale (et donc animale qui lui est liée) Dans de telles circonstances les formations ripariennes, aquatiques et palustres auront, en effet, tendance à être remplacées progressivement par la végétation zonale présente dans les territoires environnants qui, en absence de « trouble fluvial », représente le stade vers lequel le dynamisme de la végétation se développera.

LITS

- **Lit mineur** : partie du lit, à l'intérieur du lit ordinaire, qui reste mouillée en conditions d'étiage.
- **Lit de niveau d'un cours d'eau intermédiaire entre maigre et crue** : portion du lit occupée pendant les conditions de cours d'eau intermédiaire haut. Dans cette portion de lit les conditions (fréquence et durée des submersions, abrasion de la végétation exercée par le courant de crue et roulement de cailloux) sont telles que les arbustes n'ont pas la possibilité de se développer. Pendant les périodes de sécheresse le lit mineur est colonisé dans la partie la plus extérieure par les espèces herbacées pionnières de la grève.
- **Lit majeur** : pour les cours d'eau non endigués il est représenté par la portion de lit inondée par les crues ordinaires. Outre le lit gravé, il comprend la pleine inondable et les zones avoisinantes caractérisées par la présence de ces formations arbustives qui, d'altitude, ne sont pas intéressées par la submersion ou la stagnation d'eau.
- **Lit de crue extraordinaire ou exceptionnelle** : portion du lit occupée pendant les épisodes de crue exceptionnelle. Il s'agit d'une portion plus grande du lit majeur, qui peut comprendre aussi la bande périfluviale par des formations arborescentes. (IFF, 2007)

La fonction de la VEGETATION RIPARIENNE

- ✓ La végétation riparienne, à l'intérieur de l'écosystème fluvial, accomplit d'importantes fonctions aussi bien du point de vue écologique que du point de vue hydraulique.

VEGETATION RIPARIENNE

C'est une typologie de végétation qui s'interpose entre les communautés végétales aquatiques et les communautés végétales zonales du territoire environnant, non plus influencées par le cours d'eau. Elle est composée, à partir du lit d'étiage, par des herbacées pionnières de grève, des formations arbustives ripariennes et par des formations arborescentes ripariennes.

Il faut souligner que le terme "riparien" se réfère à la composition des communautés végétales qui sont composées par des espèces ripariennes, c'est-à-dire aptes à s'installer dans le corridor fluvial (espèces à même de supporter le courant, le dépôt de sédiments, l'abrasion et la rupture des fûts; espèces douées de graines et de boutures qui survivent dans le jard ; espèces pionnières capables de s'enraciner sur des sols nus ; espèces capables de coloniser des milieux submergés périodiquement) ; le terme péri fluvial a, par contre, un sens topographique et sans tenir compte de la composition en espèces. La bande caractérisée par la présence de végétation riparienne (« bande riparienne ») représente une zone de transition (en écologie "écotone") entre deux systèmes adjacents. Les zones de transition, ou les écotones, sont des zones dynamiques caractérisées par une biodiversité élevée. (IFF, 2007)

Quelques exemples de fonctions «écologiques» :

- ✓ apport de **matériau organique** au cours d'eau (sous formes de débris végétaux);
- ✓ création d'un **microclimat** particulier en proximité du cours d'eau (la végétation retient l'humidité du sol et induit, principalement par l'ombrage, une diminution de la température de l'air);
- ✓ **régulation thermique** des eaux (l'ombrage empêche à l'eau d'atteindre des températures élevées);

- ✓ fonction de **corridor écologique** pour les espèces animales (surtout dans les contextes territoriaux anthropisés les cours d'eau représentent un des rares éléments naturels encore capables d'offrir de la nourriture et un refuge.);

- ✓ fonction **filtre** à l'égard des polluants délavés par les territoires environnants (cette fonction est particulièrement importante quand le cours d'eau traverse des zones agricoles).

Exemples de fonctions "hydraulico-mécaniques":

- ✓ réduction de l'érosion des berges et consolidation des berges ;
- ✓ fonction d'homéostasie hydraulique (la végétation riparienne en augmentant l'aspérité, accomplit une action de régulation des crues en atténuant les pics);
- ✓ interception des sédiments et du matériau végétal.

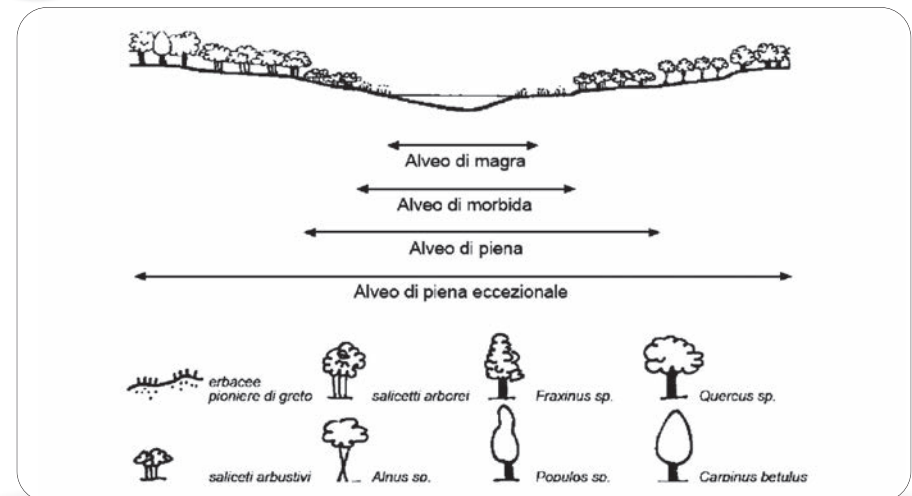


IMAGE I.13 Distribution de la végétation riparienne le long d'une section transversale. (Image tirée de : I.F.F. 2007 Indice di funzionalità fluviale- APAT, Ministère de l'Environnement et la Protection du Territoire et de la Mer, APPA).

FONCTIONS HYDRAULICO-MECANIKES

La végétation riparienne donc, peut représenter un instrument naturel de défense du territoire, en limitant les effets des alluvions.

LE FUNZIONI IDRAULICO-MECCANICHE SVOLTE DALLA VEGETAZIONE RIPARIA

⇒ REGOLAZIONE DEL CORSO D'ACQUA

La presenza della vegetazione riparia garantisce, in caso di piena, il rallentamento della velocità della corrente poiché contribuisce ad aumentare la scabrezza della sezione interessata dal passaggio dell'acqua. La fascia riparia, inoltre, rallenta l'onda di piena fungendo da cassa di espansione: essa, infatti, trattiene grandi quantità di acqua che poi rilascia gradualmente.



⇒ INTERCETTAZIONE DEI SEDIMENTI E DEL MATERIALE VEGETALE

La presenza di alberi e arbusti nella fascia riparia, riducendo la velocità della corrente, favorisce la deposizione dei sedimenti. Inoltre, la vegetazione riparia, intercetta e trattiene il materiale vegetale trasportato dall'acqua (es. tronchi), impedendo che questo vada ad ostruire i ponti.



COESIONE SUOLO

RIDUZIONE DELLA VELOCITA'

⇒ RIDUZIONE DELL'EROSIONE SPONDALE e CONSOLIDAMENTO DELLE SPONDE

Le specie riparie, adatte a questo particolare ambiente, sono dotate di apparati radicali profondi che rendono il suolo coeso, svolgendo un'efficace azione di consolidamento delle sponde. Le specie riparie, inoltre, contribuiscono ad aumentare la scabrezza e, quindi, a rallentare la corrente. L'assenza di vegetazione riparia o la sostituzione con altre specie favorisce i fenomeni erosivi.

(Foto di: Servizio Difesa del Suolo e Attività Estrattiva - Provincia di Torino)

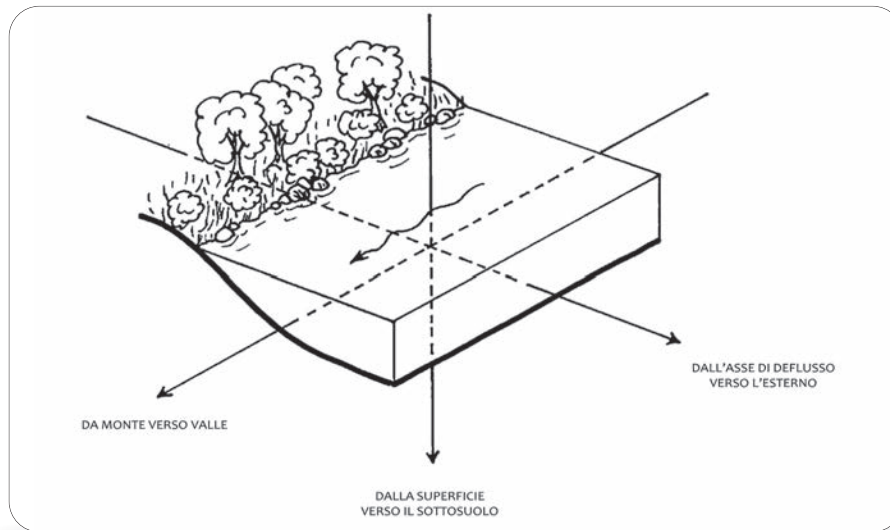


IMAGE I.14 Approche multidimensionnelle de l'environnement fluvial. (Image tirée de : I.F.F. 2007 Indice de fonctionnalité fluviale - APAT, Ministère de l'Environnement et de la Protection du Territoire et de la Mer, APPA). Modifiée.

On introduit ci de suite quelques principes d'écologie fluviale, de façon synthétique, afin de comprendre les caractéristiques principales et les principaux mécanismes du fonctionnement de l'écosystème fluvial. Les principes qui suivent sont exposés selon **la clé de lecture** introduite précédemment, qui analyse le cours d'eau selon ses **trois dimensions** : de l'amont vers l'aval (axe longitudinal), latéral ou bien depuis l'axe du débit principal vers l'extérieur (**axe transversal**) et depuis la surface vers le sous-sol (**axe vertical**). Les trois axes sont examinés selon différentes approches: hydraulique, géomorphologique, biologique et écologique.

Le COURS D'EAU de l'amont vers l'aval

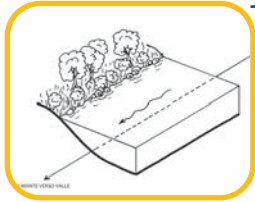


IMAGE I.15 La dimension longitudinale du cours d'eau.

Le cours d'eau de l'amont vers l'aval du point de vue hydraulique

L'hydraulique d'un cours d'eau naturel est une science très complexe qui ne peut être approfondie ici. On se limite à donner un aperçu des courants hydriques qui parcourent les cours d'eau naturels (fleuve et torrent) et qui sont caractérisés par le fait d'avoir la partie supérieure de la surface de contour en contact avec l'atmosphère (**surface libre**) et un **mouvement turbulent**.

Les courants à surface libre sont toujours en mouvement turbulent. En hydraulique ces courants sont souvent considérés en **mouvement uniforme** pour simplifier les calculs.

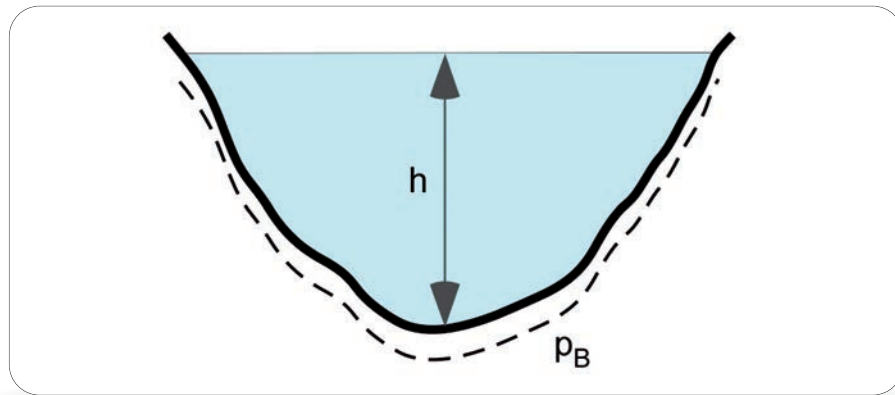


IMAGE I.16 Section transversale du cours d'eau exemplificatrice des facteurs introduits par la formule de Chézy (Auteur: R.Vatteroni)

Le mouvement uniforme est un type de mouvement particulier qui garde les mêmes caractéristiques (profondeur, section mouillée, diagramme de vitesse, densité, viscosité turbulence) dans le temps et dans l'espace.

La formule du mouvement uniforme normalement utilisée est celle de Chézy:

$$Q = A \chi \sqrt{R i_f}$$

où:

Q : débit;

A : surface mouillée;

χ : coefficient d'aspérité;

R : rayon hydraulique (rapport entre surface mouillée et périmètre mouillé);

i_f : pente fond du lit.

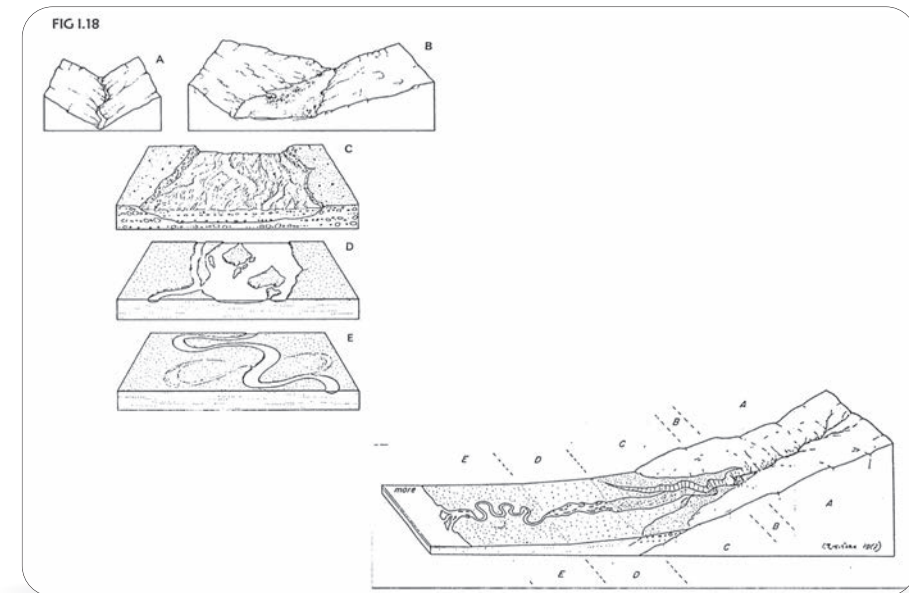


IMAGE I.17 Représentation schématique des différentes formes de lits et leur évolution. Tiré de L.Trevisan 1968 Cahiers de l'Accademie Nazionale de Lincei.

Le débit est, sans aucun doute, le paramètre le plus utilisé dans l'étude des caractéristiques hydrologiques d'un cours d'eau. Il exprime le volume d'eau qui passe dans l'unité de temps à travers une section transversale au fleuve. Dans un même cours d'eau il est possible de distinguer un débit moyen, un débit minimal (appelé d'étiage) et un débit maximal (appelé de crue).

En partant de l'amont vers l'aval, le débit du cours d'eau augmente alors que la vitesse du courant diminue graduellement quand il y a une diminution des pentes.

Le débit d'un cours d'eau varie en fonction de plusieurs facteurs. Tout d'abord en fonction de la quantité et de l'intensité des précipitations de pluie et de neiges. En rappelant le concept du temps de ruissellement (voir BOX 4) les afflux météorologiques se transforment en écoulements mesurables en correspondance des sections fermées du bassin versant considéré (voir box).

Pour conclure, quand on a un débit mesuré dans une section (par exemple en proximité d'une agglomération urbaine) il y a une omniprésence de tous les débits de tous les cours d'eau confluant en amont de la section prise en examen (chaque cours d'eau a son propre temps de ruissellement).

Le cours d'eau écoulant donc de l'amont vers l'aval augmente progressivement son débit en proportion de la contribution de chaque affluent.

Variations morphologiques du cours d'eau de l'amont vers l'aval

Le fleuve en coulant de l'amont vers l'aval ressent des variations de deux paramètres fondamentaux :

✓ variation de la pente

et donc conséquemment de la vitesse de débit et de l'énergie des eaux

✓ variation de la disponibilité et de la dimension des granulométries des sédiments

Lorsque le cours d'eau se trouve en **montagne ou passe dans les collines**, la partie initiale du bassin (à partir de la limite de séparation des eaux) présente de fortes déclivités ; celles-ci se traduisent dans une majeure capacité d'érosion et de transport des eaux, ce qui provoque des lits profondément gravés. En outre, étant donné les granulométries grossières présentes dans le contexte de montagne, le transport de fond dominera sur celui en suspension.

La capacité d'érosion d'un cours d'eau, tout comme l'attitude à sédimenter, influent sur l'évolution du cours d'eau et sur la conformation du lit qui, dans la partie avant, dans un contexte de montagne, se présente plus fréquemment avec un débit unique et rectiligne (indice de sinuosité inférieur à 1.1) avec un fond en escaliers, en lit plan/plat ou à *pool and riffle*, creusé dans la roche ou dans des sédiments très grossiers.

INDICES MORPHOLOGIQUES

L'**indice de sinuosité** est le rapport entre la longueur mesurée le long d'un cours d'eau et la longueur mesurée le long de la vallée.

L'**indice de tressage** est le nombre moyen de chenaux en activité séparés par des barres.

L'**indice d'anastomose** est le nombre moyen de chenaux en activité séparés par des îles fluviales. .

Dans les secteurs en tête, le long des zones à pente élevée (15°-20°) (faiblement végétalisée) avec une grande présence de matériaux détritiques (nappes d'éboulis ou de matériaux d'éboulement) il y a fréquemment la formation de **coulées détritiques torrentielles (débris flow)** qui successivement à leur déclenchement, peuvent glisser de l'intérieur du lit préexistant ou librement sur le versant. Ces coulées sont des phénomènes intermédiaires entre les crues torrentielles et les mouvements gravitationnels; elles se génèrent à l'occasion de précipitations intenses et elles sont composées par des mélanges mobiles de sédiments de différent calibrage caractérisés par une fraction solide qui peut atteindre jusqu'à 90% de l'ensemble du matériau qui se mobilise. Les coulées détritiques se déplacent vers l'aval avec une vitesse qui peut dépasser 6 m/s.

COULEE DETRITIQUE TORRENTIELLE (DEBRIS FLOW)

La densité du fluide qui forme la coulée lui permet de développer une grande force érosive et de transporter en son sein des roches cyclopéennes ; le dépôt de matériau et l'arrêt de la coulée arrivent au moment où la pente du versant diminue et où la fraction de fluide descend au dessous d'une valeur limite. Dans un milieu alpin de tels phénomènes sont très fréquents le long des conoïdes et leur force destructrice est élevée. Par ailleurs, l'imprévisibilité et la vitesse qui caractérisent la coulée détritique provoquent de graves dégâts pour les agglomérations de montagne.



IMAGE I.18 Photo panoramique d'une coulée détritique à Villar Pellice le 31 mai 2008 (Province de Turin).

En se déplaçant vers aval, le cours d'eau arrive aux **endroits aréolaires de raccords entre les reliefs de montagne et les plaines alluvionnaires**; la conséquente diminution de la pente longitudinale du lit comporte la diminution de la capacité de transport et la diminution de l'érosion. En revanche, elle provoque le dépôt des sédiments grossiers charriés plus en amont.

Le long de ces parties, le cours d'eau prend souvent une morphologie de type **de transition**, caractérisée par un lit à chenaux multiples, comportant toujours une largeur bien plus grande par rapport à la profondeur. Ce lit est occupé, en grandes parties par des zones émergées. Une autre typologie qui se répète est celle à chenaux tressés qui, vers aval, ont tendance à devenir anastomosés.

MORPHOLOGIES DU COURS D'EAU

Les cours d'eau sont divisés en :

- cours d'eau de transition, qui, à leur tour, sur la base de la valeur de l'indice de tressage, peuvent être divisés en :

a) **wandering**: ils présentent un indice de tressage compris entre 1 et 5 et on trouve localement des îles fluviales;

b) **sinueux à barres alterne**: ils présentent des caractéristiques semblables aux lits du type wandering, mais, étant donné qu'ils sont caractérisés par un plus grand nombre de chenaux éphémères dans le cas de débits réduits, leur indice de tressage baisse.

- **cours d'eau à chenaux tressés** : chenaux multiples séparés par des barres fluviales, avec un indice de tressage supérieur à 1.5

- **cours d'eau anastomosés** : à chenaux multiples séparés par des îles fluviales et caractérisés par un indice d'anastomose supérieure à 1.5



IMAGE I.19 Photo panoramique d'un tronçon du lit en tresses avec barres et îles (Province de Turin)

FORMES DE DÉPÔT

Barres: surfaces de dépôt formées par des sédiments analogues à ceux qui sont présents sur le fond du lit, mais qui restent émergés en condition de lit d'étiage. Ces formes sont submergées et oblitérées lors des crues.

Îlots : surfaces de dépôt formées par des sédiments analogues à ceux de la pleine alluvionnaire, elles restent émergées même en cas de débit à berges pleines et présentent une végétation arborescente ou arbustive pluriannuelle.

Dans les **zones de plaine**, plus distantes des reliefs montueux, l'énergie de transport est bien plus faible et par conséquent les granulométries sont bien plus fines. On passe alors à la domination de la sédimentation des matériaux fins transportés en suspension.

Le long de ces tronçons, le cours d'eau retrouve la conformation de lit unique sinueux (indice de sinuosité compris approximativement entre 1.1 et 1.5) ou méandrique (indice de sinuosité supérieur à 1.5), c'est-à-dire caractérisée par une succession plus ou moins régulière de méandres.

MEANDRES

Les méandres sont des tronçons curvilignes d'un cours d'eau à fond mobile caractérisés par une migration provoquée par l'érosion de la berge concave et par le dépôt sur la berge convexe.

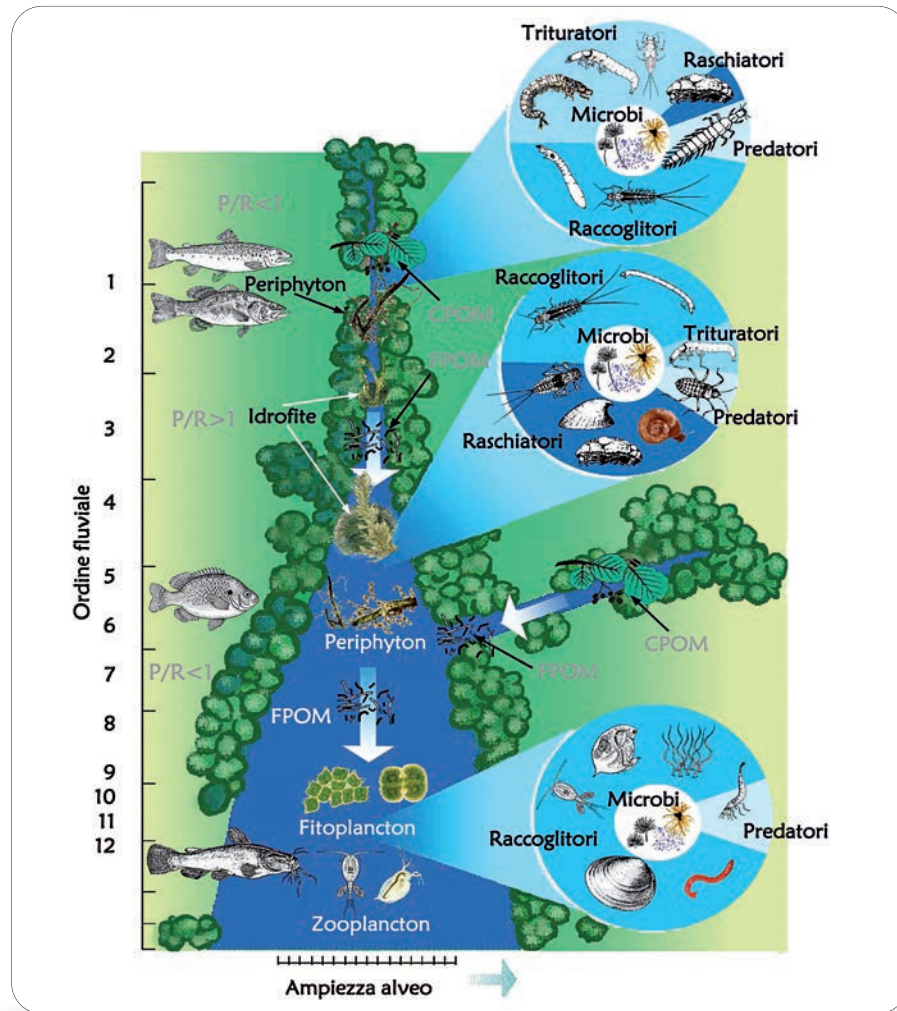


IMAGE I.20 Les relations proposées par River Continuum Concept (CPOM=Coarse Particulate Organic Matter ou matériau organique en particules grossières; FPOM=Fine Particulate Organic Matter ou matériau organique en particules fines) (Image de Illies e Botosaneanu, 1963. Tirée de : Séminaire sur la gestion des milieux péri fluviaux - Coazze (To) 12 mars 2010 – Caractéristiques des milieux péri fluviaux : dans le sens écologique et importances environnementales. M. R. Minciardi Centre de Recherches ENEA de Saluggia (Vc).

Variations écologiques du cours d'eau de l'amont vers l'aval

Dans son écoulement vers l'aval, le fleuve traverse des milieux différents qui influencent les caractéristiques hydrologiques, hydrauliques, morphologiques, physiques et chimiques. A ces variations correspondent des changements dans la composition des communautés d'animaux et de végétation.

Voici deux exemples d'interprétation d'un cours d'eau de l'amont vers l'aval.

✓ Le continuum fluvial (River Continuum Concept)

La structure et les fonctions des communautés biologiques, donc, dépendent des conditions géomorphologiques et hydrauliques moyennes de l'écosystème. Mais les communautés aquatiques et le métabolisme du cours d'eau ne sont pas seulement déterminés par les conditions locales. En effet, les processus qui se produisent en aval sont reliés avec les événements qui se déroulent en amont.

L'image suivante met en évidence la façon selon laquelle la variation des conditions hydrologiques, morphologiques et biologiques détermine une succession d'écosystèmes, caractérisés par des communautés animales et végétales déterminées et gouvernées par des relations spécifiques.

Dans la portion du cours d'eau située en montagne, la communauté des invertébrés est dominée par la présence de hacheurs et ramasseurs, qui se nourrissent des abondants débris organiques grossiers (feuilles et branches) fournis par la végétation riparienne. Étant donné que la végétation riparienne occupe une zone plus ample par rapport à l'étendue



IMAGE I.21 Zonage piscicole simplifié (Tirée de : Région Piémont – Carte piscicole relative au territoire de la région Piémont Turin, 1992)

du lit, cela lui permet non seulement d'être la principale source de nourriture, mais aussi de créer une zone ombragée. Or, l'ombre réduit la formation d'organismes photosynthétiques (ex. algues).

En descendant vers l'aval, le lit augmente de dimension et, par conséquent, la surface ombragée se réduit et la prolifération des organismes photosynthétiques augmente. Parmi les invertébrés, la présence des racleurs augmente, organismes qui se nourrissent d'un ensemble de particules organiques fin, réduit par les hacheurs dans la portion plus en amont. En revanche, dans cette partie, les hacheurs sont moins nombreux.

En arrivant des **les zones de plaine**, le lit augmente encore de dimension jusqu'à embouchure, réduisant presque totalement la zone d'ombre. Malgré cela, la photosynthèse contribue de façon négligeable à la production primaire car elle est limitée par la turbidité de l'eau. A cause d'une importante quantité de matière organique à particules fines provenant de l'amont, les racleurs deviennent l'élément déterminant dans la communauté des invertébrés.

✓ Le zonage piscicole

La composition des communautés piscicoles dépend des facteurs qui caractérisent le cours d'eau. Ainsi, elle varie le long du cours d'eau en fonction, par exemple, du type de substrat, du régime thermique et hydrologique, de la présence de certaines communautés végétales... A travers le dit "*zonage piscicole*", il est possible de diviser un cours d'eau en tronçons écologiquement uniformes (et donc avec des conditions morpho-dynamiques semblables) en fonction de la population piscicole qu'elle abrite.

Pour les cours d'eau piémontais, on distingue:

- le **zonage à salmonidés** : il est défini de cette façon par la présence, par exemple, de la truite fario et de la truite arc-en-ciel. Par ailleurs, il est caractérisé par des eaux limpides et bien oxygénées, un courant très rapide, un fond de lit composé de roches ou de cailloux, des températures inférieures à 16-17°C et une faible présence de macrophytes ;
- le **zonage à cyprinidés rhéophiles** (c'est à dire la zone des cyprinidés d'eaux courantes) : elle est caractérisée par la présence d'espèces comme le barbeau et le barbeau canin, les eaux sont rarement troubles et peu oxygénées, les courants sont rapides, le fond du lit est constitué de gravier et de sable. En outre, les températures sont inférieures à 18-20°C et la présence de macrophytes est modérée;
- le **zonage à cyprinidés limnophilus** (c'est à dire la zone des cyprinidés d'eaux stagnantes): on y trouve des chevennes, des rotangles, des vairons... Les eaux y sont troubles et modérément oxygénées, le courant est peu rapide, le fond est boueux et riche en macrophytes.

Il existe aussi un quatrième zonage défini comme **zonage à mugilidés**, caractérisé par le milieu de l'embouchure, qu'on se limite à citer par exhaustivité, mais dont on ne parlera pas parce qu'il n'existe pas à l'intérieur du contexte des cours d'eau alpins.

Le COURS D'EAU de la surface vers le fond du lit

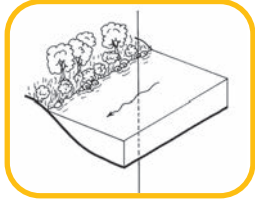


IMAGE I.22 La dimension verticale du cours d'eau.

Le cours d'eau depuis la surface libre jusqu'au fond du lit, d'un point de vue hydraulique

Comme on l'a déjà dit, le mouvement des courants de l'eau dans le lit est souvent considéré en hydraulique de façon simplifiée, c'est à dire ayant un mouvement uniforme. La représentation graphique de la vitesse du courant le long du d'un cours d'eau se produit à travers des vecteurs de vitesse représentant graphiquement la vitesse du courant en chaque point. Comme cela a été mis en relief dans la formule de Chézy, la vitesse du courant est influencée par l'aspérité du lit qui fait en sorte que la distribution de la vitesse du courant dans le mouvement uniforme soit décroissante selon le schéma de l'image I.23.

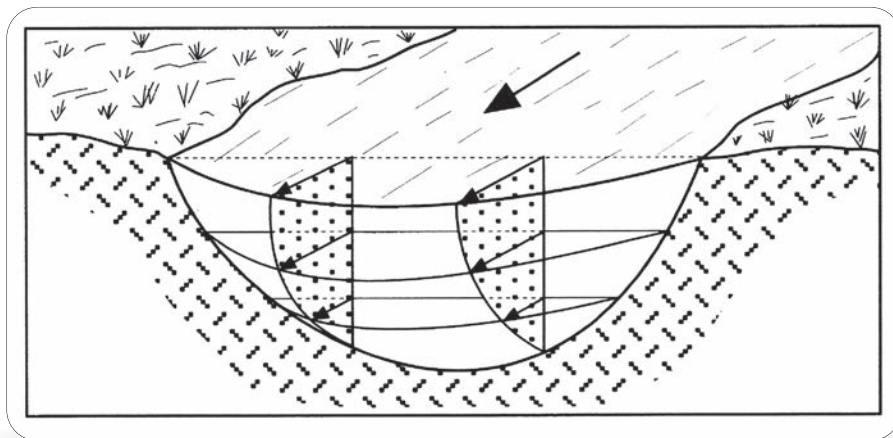


IMAGE I.23 Distribution longitudinale de la vitesse du courant (Auteur: R.Vatteroni).

Variations morphologiques du cours d'eau dans le sens vertical

D'un point de vue géomorphologique et hydrogéologique, les cours d'eau peuvent présenter des aménagements différents:

✓ cours d'eau avec lit imperméable ou semi-imperméable

Ils se trouvent généralement dans la roche et, fondamentalement, ont tendance à éroder leur lit. Il faut attribuer leur genèse au ruissellement superficiel qui recueille et érode la roche le long des directrices préférentielles en pente, ce qui forme finalement un véritable lit. Les eaux de ces cours ne sont pas fondamentalement isolées des eaux souterraines environnantes.

✓ cours d'eau avec lit perméable et alimentant la nappe

Ils sont caractérisés par l'alternance de processus érosifs et sédimentaires, et s'écoulent au dessus de leurs propres dépôts. Cette distribution hydrologique se trouve, plus fréquemment, dans les zones de raccord entre les reliefs rocheux et les plaines alluvionnaires (conoïdes) et dans les secteurs distant du point de départ. Dans ces zones, le cours d'eau cède une partie de ses eaux à la nappe qui se trouve dans l'aquifère.

✓ cours d'eau avec lit perméable et drainant la nappe

Ils sont caractérisés par l'alternance de processus érosifs et sédimentaires, et ils s'écoulent généralement au dessus de leurs propres dépôts. Cette distribution hydrologique se trouve, plus fréquemment, dans les zones de plaines alluvionnaires et surtout intra-marécageuses. Dans ces zones, le cours d'eau reçoit une partie de son alimentation de la nappe,

même si l'apport de l'eau qui s'écoule en surface de manière diffuse et canalisée reste déterminant.

Les variations morphologiques du cours d'eau dans le sens vertical sont aussi étroitement liées à la pente longitudinale du cours d'eau torrentiel qui influe sur la conimagation du profil du lit.

VARIATIONS MORPHOLOGIQUES DES LITS DES COURS D'EAU

- **en escaliers (pente supérieure de 3%)** : lits caractérisés par des morphologies à *step* and *pool* ou par des morphologies plus chaotiques. Ils présentent des « marches » ayant une hauteur supérieure au niveau de crue ordinaire. Les « marches » sont formées par des tas de rochers et, localement aussi, par des troncs posés transversalement au lit. Ces « marches » sont séparées par des zones d'eau calme. Les « marches » indiquent une grande capacité de transport de charge solide et elles sont caractérisées par une granulométrie fortement hétérogène.
- **à lit plan (pente comprise entre 1% et 3%)** : lits avec un profil longitudinal dépourvu de variations altimétriques brusques, ils sont caractérisés par une granulométrie moins hétérogène par rapport aux lits en escaliers et par une capacité de transport inférieure.
- **à riffle-pool (pente inférieure à 1-2%)** : lits graveleux caractérisés par l'alternance de secteurs avec une hauteur d'eau supérieure et par un courant de vitesse inférieure, dénommé *pool* et par des secteurs avec les hauteurs d'eau inférieure et un courant de vitesse supérieure dénommés *riffle*.
- **à dunes (pente inférieure à 0,5%)** : lits sableux caractérisés par des alternances de dunes et de rides. Leur présence est liée à des conditions morphologiques particulières qui ont généré de vastes territoires plats dans un milieu de montagne (colmatage de lacs d'éboulement, cuvette d'origine glaciaire, etc.).

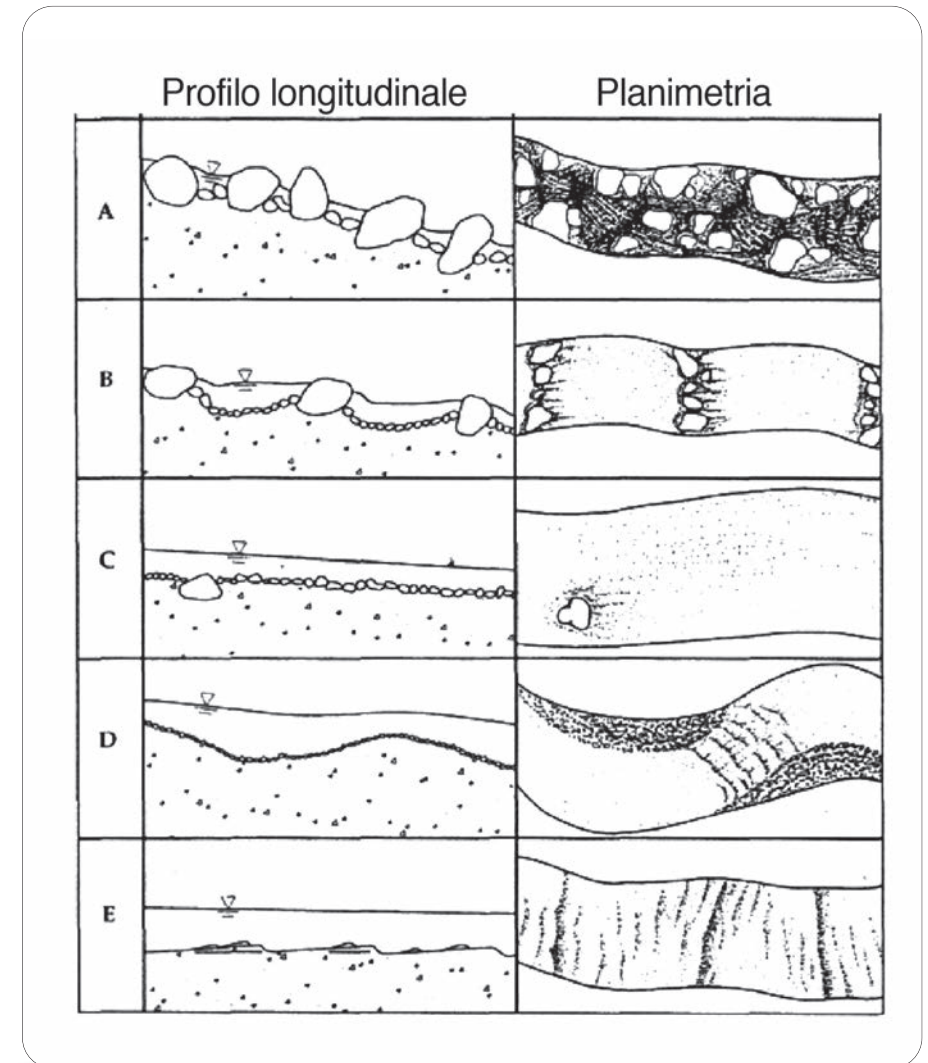


IMAGE I.24 Représentation schématique des différentes morphologies des cours d'eau de montagne. Image tirée de: Montgomery D.R. & Buffington J.M. (1997) – Channel morphology in mountain drainage basins. Geol. Soc. of America Bull..

Variations des cours d'eau dans le sens vertical

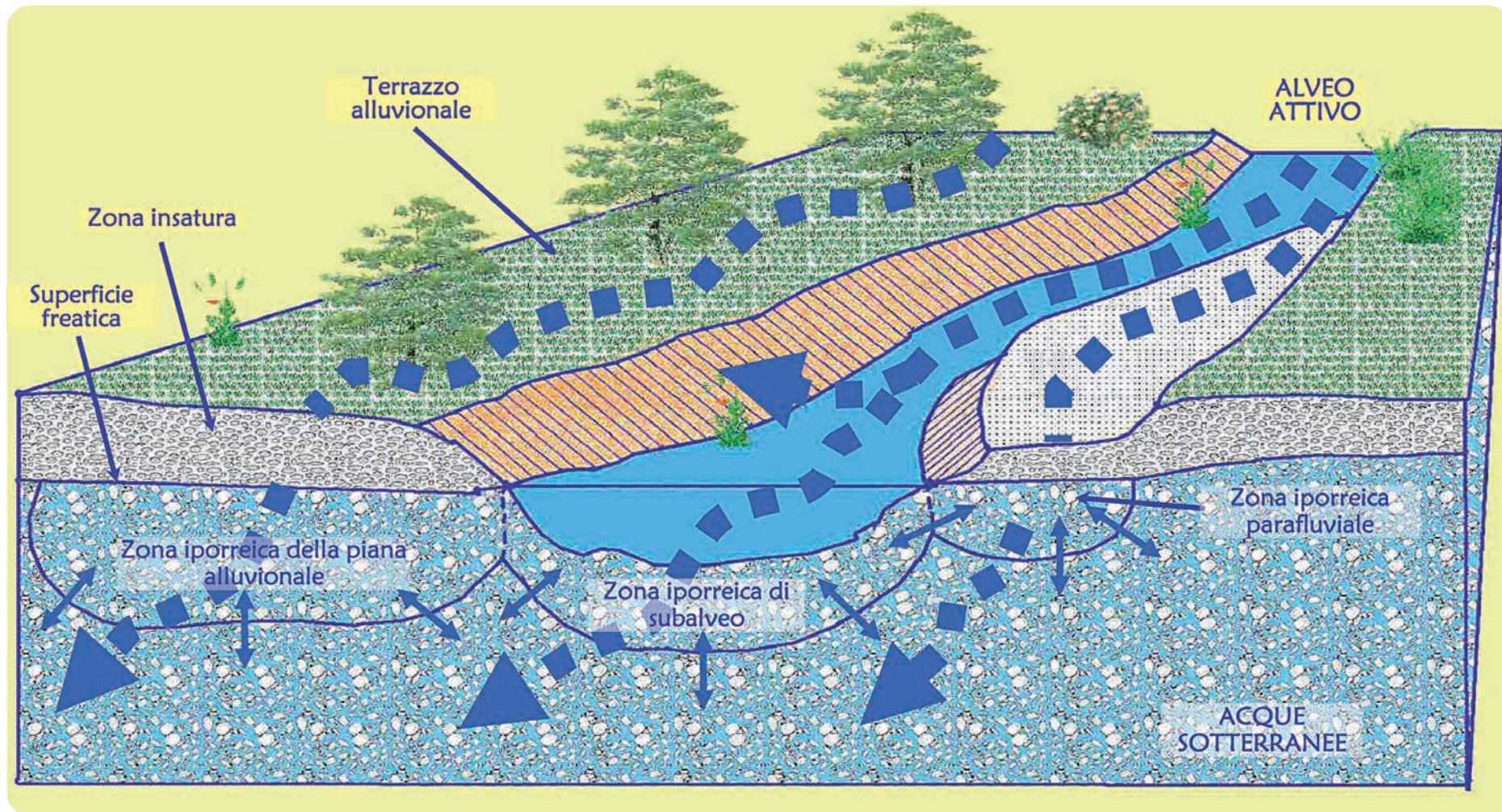


IMAGE I.25 Relation des eaux superficielles et des eaux souterraines (Image de R.T. Edwards, 1998. Tirée de : Séminaire sur la gestion des milieux peri-fluviaux - - Coazze (Turin) 12 mars 2010 – Caractéristiques des milieux peri-fluviaux : dignification écologique et valeurs environnementales M. R. Minciardi Centre des recherches ENEA di Saluggia (Vercelli).

Variations écologiques des cours d'eau dans le sens vertical

La zone hyporhéique: zone de transition entre les eaux superficielles et les eaux souterraines.

C'est un milieu extrêmement dynamique qui présente plusieurs aspects intéressants:

- c'est **une zone active de connexion** entre le lit et la végétation riparienne;

c'est un écotone avec d'**intenses gradients physiques et chimiques**, de grand intérêt pour la biodiversité ;

- les processus qui se déroulent en son sein (par ex l'auto dépuración) peuvent être déterminants pour la qualité des eaux fluviales;

- c'est une **zone d'abri** pour la faune aquatique dans des événements de stress environnementaux (crues, sécheresse);

- son rejet **de nutriments** influence la production primaire des communautés superficielles et accélère la récupération après des bouleversements environnementaux (ex. crues).

C'est donc une surface active, dont les processus biologiques sont à même d'influencer fortement la qualité des eaux fluviales et les communautés qui y vivent.

LE COURS D'EAU de l'axe d'écoulement central vers l'extérieur

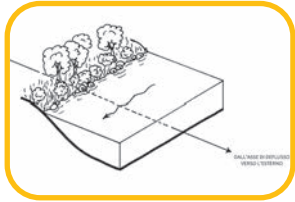


IMAGE 1.26 La dimension transversale du cours d'eau.

Le cours d'eau dans le sens transversal d'un point de vue hydraulique

La vitesse change aussi le long de la section transversale et prend des valeurs maximales au centre du lit et des valeurs minimales dans les franc bords. Même dans ce cas l'aspérité des berges joue un rôle très important. La représentation de la distribution de la vitesse du courant d'un cours d'eau est donnée par les **lignes de courant**, c'est à dire les courbes données par l'union des points à une vitesse égale.

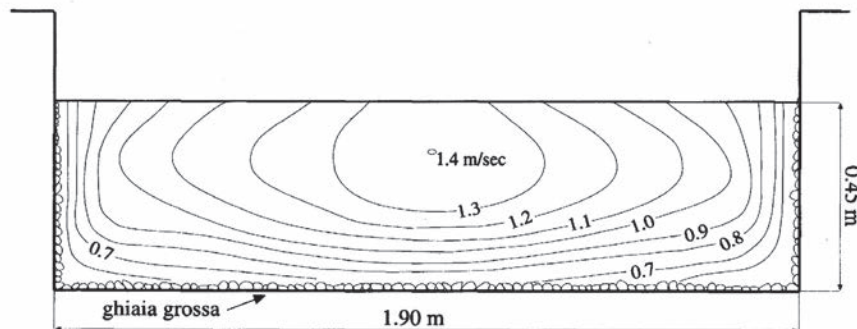


IMAGE 1.27 Distribution des isotaques. Représentation simplifiée référée à des calettes Expérimentales rectangulaires. Image Tirée de: Géomorphologie fluviale de Mauro Marchetti (2000 Maison d'édition "Pitagora Editrice" Bologna).

Variations morphologiques du cours d'eau dans le sens transversal (depuis le cours d'eau vers l'extérieur)

Dans une plaine inondée, on a généralement une variation de l'aménagement du cours d'eau dérivant de la variation progressive des lignes de drainage; cette variation peut être induite par des phénomènes d'érosion latérale ou par des phénomènes de dépôt suffisamment consistants qui se produisent à l'occasion de crue. Ce phénomène engendre une véritable migration du lit du cours d'eau qui, dans le temps, se déplace cycliquement dans une zone du territoire bien plus ample de la largeur moyenne de son lit. Cette bande représente l'enveloppe de toutes les bandes de territoire occupées par la migration du cours d'eau dans le temps (au moins de celles dont il en est resté la trace) et elle constitue l'espace



IMAGE 1.28 Panoramique d'un des paléo lits du T. Pellice (Politecnico de Turin).

vital du fleuve. Il est opportun de laisser cet espace vital au fleuve au moins dans les tronçons où celui-ci n'a pas encore été, partiellement ou complètement, anthropomorphisé.

Les contraintes naturelles qui s'opposent à de telles variations sont représentées, en allant de l'intérieur du lit vers l'extérieur, par :

✓ **berges naturelles**

Ce sont des formes de dépôts convexes et rubanées placées parallèlement à un cours d'eau. En section elles se présentent comme un coin de sédiments ayant un côté plus raide tourné vers le cours d'eau et une granulométrie moyenne décroissante vers l'extérieur.

BERGE NATURELLE

Cette forme se produit lors de débordements diffus des eaux d'un chenal: les eaux qui se répandent sur la plaine diminuent en effet brusquement leur vitesse et par conséquent leur capacité de transport solide. Ainsi, elles déposent les sédiments charriés sur les rives, les plus grossiers dans un secteur plus proche du cours d'eau et les plus fins dans un plus secteur plus éloigné.

✓ **marges des terrasses fluviales**

Une terrasse fluviale est une morphosculpture composite liée à l'alternance, dans le temps, de phénomènes de migration latérale, de dépôt et de approfondissement. Sa présence est liée à l'action d'un cours d'eau ayant une tendance à long terme à l'érosion et à l'approfondissement. Sa genèse peut être due à l'érosion ou au « terrassement » aussi bien d'une plaine alluvionnaire que d'un fond de la vallée alluvionnaire ou d'un conoïde.

TERRASSE FLUVIALE

Du point de vue morphologique, une terrasse est composée par:

- 1) une surface plane et à faible pente indiquée comme surface de la sommité ou surface étagée qui constitue le sommet du cours alluvionnaire
- 2) une rupture de pente qui délimite, vers le lit, la surface sommitale et qui est indiquée par le nom de talus ou de marge de terrasse fluviale. Elle est constituée d'un talus érodé qui s'est générée suite à l'approfondissement érosif successif au dépôt de sédiments alluvionnaires qui constitue le corps de la terrasse.



IMAGE I.29 Panoramique d'une terrasse en érosion du T.Pellice (Province de Turin)

✓ conoïdes

Les conoïdes fluviaux sont des formes complexes ayant une surface en forme de segment de cône avec le sommet tourné vers amont à la hauteur du cours d'eau (conoïdes actifs) dérivant de la succession d'épisodes d'érosion et de sédimentation. Ces formes se génèrent suite à une brusque variation de la capacité de transport dans des secteurs au sein desquels le cours d'eau change rapidement sa pente. Ils sont donc très fréquents au niveau des embouchures marécageuses des vallées secondaires, là où les affluents rejoignent le cours d'eau principal.

Les conoïdes torrentiels et fluviaux forment généralement des surfaces de raccord entre les versants abrupts de montagne et la plaine de fond de la vallée. Vu leur pente et la position relevée par rapport au niveau des crues les plus significatives du cours d'eau principal, ils ont été choisis, au cours des siècles, comme lieu préférentiel pour l'emplacement de nouvelles implantations. Cela a provoqué des problématiques de contrôle de la tendance évolutive du conoïde et une nécessité de régularisation.

✓ marges marécageux

Dans le sens plus ample du terme ce sont les reliefs rocheux bordant une plaine alluvionnaire.

LE CONOÏDE

A cause de la variation de la capacité de transport lors des crues, le cours d'eau peut déposer soudainement les sédiments grossiers qu'il était en train de transporter, ce qui modifie la topographie et en crée une zone relevée.

A la crue suivante, le cours d'eau change la position de son lit en se plaçant dans une zone plus basse limitrophe à celle où il avait déposé les sédiments lors de la crue précédente; cette succession de dépôts et de variations du cours d'eau génère provoque un déplacement du lit dans le temps, défini comme un déplacement à "essuie-glace" qui génère la forme à segment de cône d'un conoïde;



IMAGE I.30 Panoramique d'un conoïde le long du versant droit de la Val Imagene (France) (R. Vatteroni)

Variations écologiques du cours d'eau dans le sens transversal (du cours d'eau vers l'extérieur)

✓ Le cours d'eau ne correspond pas seulement au chenal principal!

Le long de la dimension transversale d'un cours d'eau il est possible de localiser, en fonction des caractéristiques hydro-morphologiques, une distribution différente des communautés animales et végétales. Par exemple, la composition des communautés macro-benthoniques est différente le long de la section transversale du lit en relation à la typologie

du substrat (cailloux, sable,...) et de la vitesse du courant (qui peut former des rapides – *riffles*- et des baissières – *pools*-). Même la zone de contact entre le cours d'eau et l'environnement (*la dite "bande riparienne"*) est caractérisée par des espèces végétales particulières, chacune capable de coloniser une zone précise en fonction du rapport qu'elle a entretient avec les régimes de crue.

La dimension transversale à la direction du courant est donc formée par une **succession de micro-habitats** qui ont une forte influence sur la fonctionnalité du cours d'eau, vue comme capacité de l'écosystème fluvial à accomplir et à maintenir les relations trophiques-fonctionnelles d'un cours d'eau.

Dans ce contexte, **la zone humide riparienne** prend une importance particulière. Il s'agit d'écosystèmes particuliers caractérisés par une vitesse du courant très basse, qui constituent une partie intégrante du milieu

fluvial. Ils comprennent, par exemple, des lits secondaires, des coudes tortueux et profonds, des méandres abandonnés et des bras morts créés par l'action modeluse du cours d'eau.

La zone humide riparienne accomplit de nombreuses fonctions en tant qu'élément de connexion entre le cours d'eau et le milieu terrestre environnant:

✓ **actions "tampons"**

à l'égard du cours d'eau, en interceptant les eaux météorologiques, qui, en délavant le terrain, se chargent de nutriments et de polluants qui sont ensuite capturés et traités.

✓ **apport constant de matériau organique**

au cours d'eau en compensant l'appauvrissement qu'il subit suite aux crues.

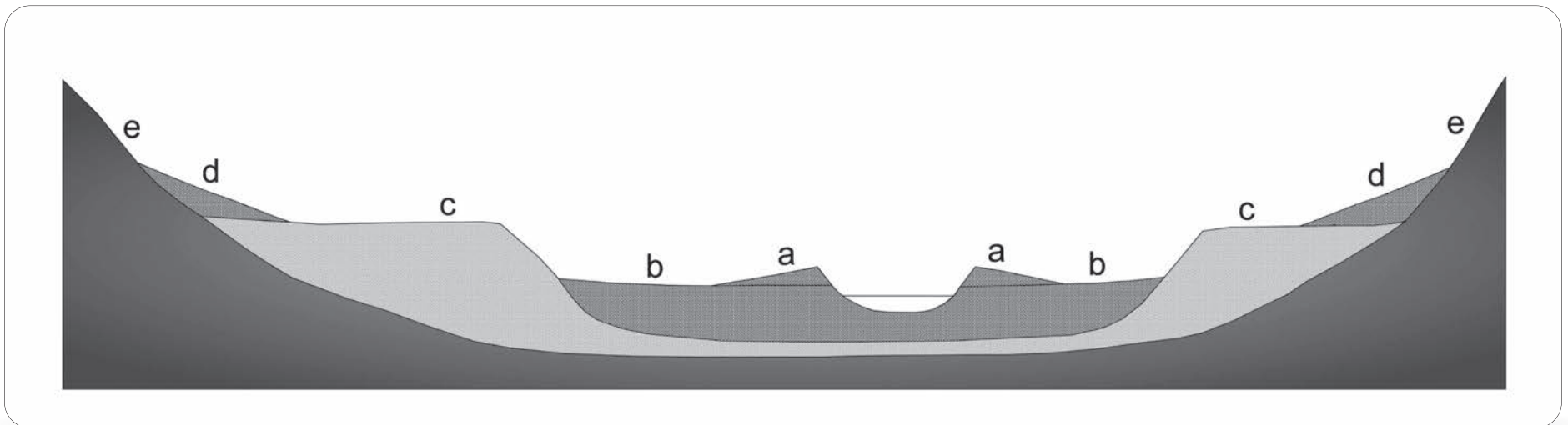


IMAGE I.31 Schéma représentatif des variations morphologiques du cours d'eau dans le sens transversal a)berges naturelles; b) plaine alluvionnaire récente, actuelle, c) terrasses; d) conoïdes; e) marges marécageux (R. Vatteroni)

✓ **contribution à la biodiversité**

étant donné que les zones humides représentent un habitat pour de nombreuses espèces (par ex. de la zone riparienne de reproduction, le sevrage pour la faune piscicole, des refuges pour la faune sauvage, des habitats vitaux pour les amphibiens, les reptiles et certains mammifères,...) et une liaison entre les différents écosystèmes (par ex. route de passage pour les oiseaux migrateurs et d'autres animaux).

Dans cette succession de micro-habitats, la végétation riparienne joue un rôle d'importance fondamentale.

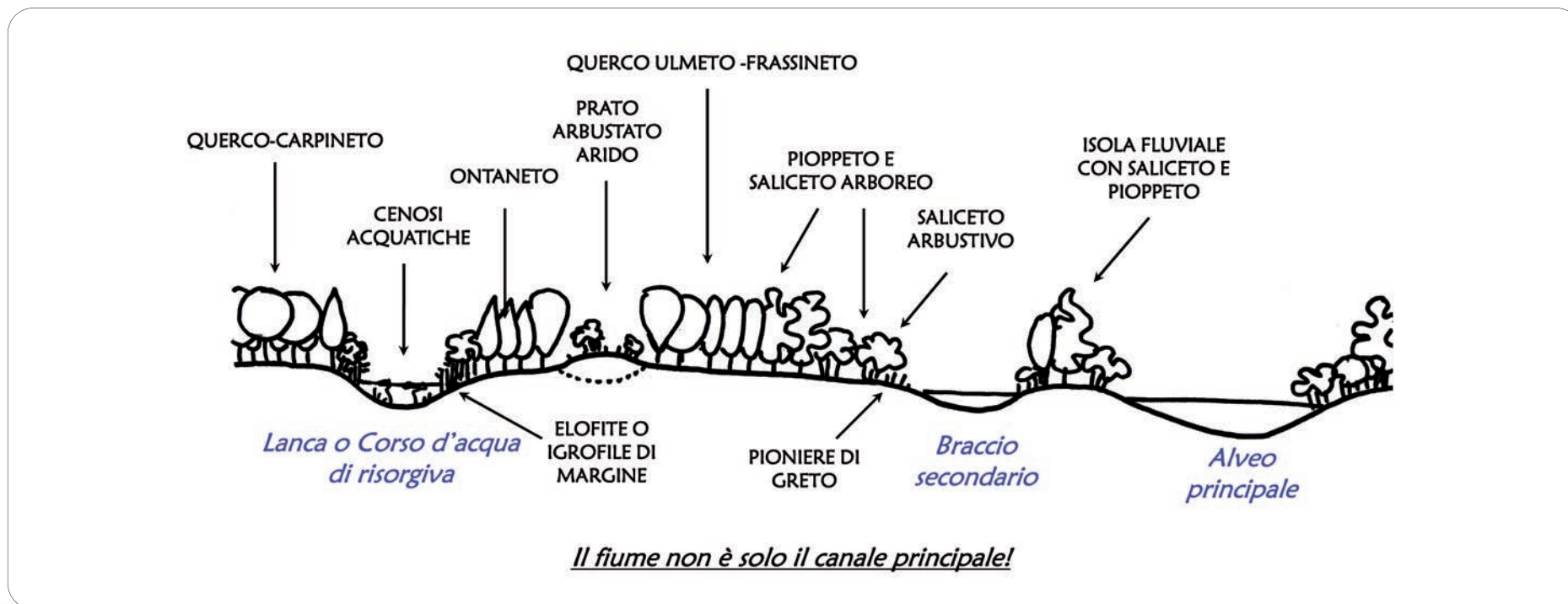


IMAGE I.32 Zonage transversale d'une portion du plan planiziale Du cours d'eau (Image tirée de: Séminaire sur la gestion des milieux pluri fluviaux - Coazze (TURIN) 12 mars 2010 – Caractéristiques des milieux périfluviaux : signification écologique et importances environnementales M. R. Minciardi Centre de Recherches ENEA de Saluggia (VERCELLI).

Dynamique et diversité de l'écosystème fluvial

La diversité du milieu fluvial est la conséquence de dynamiques fluviales et elle peut être préservée grâce à l'action de modelage réalisé par des processus d'érosion, de transport et de sédimentation. Pour préserver cette diversité, on peut aussi compter sur un renouvellement engendré par la période hydrauliquement problématique des crues.

Par exemple, le cours pulsateur des crues (ou Flood Pulse Concept, concept formulé au milieu des années '80 qui identifie la répétition des débordements comme l'élément responsable des dynamiques qui se créent entre le cours d'eau et sa zone inondable) favorise la régénération des habitats de transition. Par ailleurs, ce Flood Pulse Concept (écotone faire référence au BOX 27) est caractérisée par la présence d'une faune et d'une flore écotones de grande valeur biologique capable de tolérer de telles conditions de vie.

PLAINE INONDABLE

“Plaine immédiatement extérieure au lit ayant un niveau du cours d'eau intermédiaire entre maigre et crue, inondée par les crues ordinaires, construite par le fleuve grâce aux migrations latérales du lit dans les actuelles conditions de régime hydrologiques [...] elle est colonisée par la végétation arbustive et arborescente. Sa surface n'est pas nécessairement plate, mais elle présente souvent des dépressions, des reliefs et des zones humides. Elle a une grande importance écologique étant donné les nombreux échanges avec les eaux fluviales et les milieux qu'elle héberge”. (IFF, 2007)

L'activité de l'homme provoque de profondes altérations dans la morphologie des milieux fluviaux:

- ✓ **indirectement** : à travers des modifications de l'utilisation du sol ;
- ✓ **directement**: à travers des ouvrages hydrauliques.

Ces altérations compromettent négativement la fonctionnalité fluviale puisqu'elles modifient les conditions morphologiques et hydrodynamiques du cours d'eau et, par conséquent, les milieux écologiques qu'elle contient.

Les services écosystémiques

✓ Il est très important de préserver l'intégrité et la santé d'un écosystème, non seulement pour la survie de l'écosystème lui-même, mais surtout pour l'homme. En effet, l'homme dépend des écosystèmes qui soutiennent la vie et l'activité humaine, en favorisent et en améliorent la qualité en offrant de réels services appelés "services écosystémiques".

Les services éco-systémiques représentent donc "les multiples bénéfices fournis par les écosystèmes au genre humain" (Selon la définition donnée par *Millenium Ecosystem Assessment*, 2005).

Ils comprennent l'approvisionnement hydrique et la purification de l'air, le recyclage naturel des déchets, la formation du sol, la pollinisation et les mécanismes régulateurs que la nature, abandonnée à elle-même, utilise pour contrôler les conditions climatiques et les populations de plantes et d'animaux.

TYPES DE SERVICES ECOSYSTEMIQUES

Les experts ont identifié quatre différentes typologies de services, elles sont toutes d'importance vitale pour le bien-être et la santé de l'homme:

- services d'approvisionnement, qui fournissent les biens réels, tels que la nourriture (viande, poisson, légumes, ...), l'eau, les combustibles et les matériaux (par ex le bois);
- service de régulation, qui règle le climat, les précipitations, les marées, la dépuraton de l'eau, la diffusion des maladies et la pollinisation;
- services culturels, relatifs à la beauté, à l'inspiration, aux loisirs, qui contribuent à notre bien être spirituel;
- services de support, qui comprennent la formation du sol, la photosynthèse et le cycle des nutriments qui représentent la base de la production alimentaire.

En particulier la **conservation de la biodiversité** est d'une importance fondamentale pour la survie des écosystèmes eux-mêmes et elle joue donc un rôle clé en garantissant l'offre des services éco-systémiques.

Bien consciente du fait que la biodiversité est menacée (beaucoup d'espèces ont déjà disparues ou sont en train de disparaître), l'Union Européenne a réalisé une action pour stopper la perte de la biodiversité.

BIODIVERSITE

La biodiversité exprime la diversité des formes vivantes qui se produit au niveau de l'écosystème (comme interaction entre les éléments vivants), des espèces et du patrimoine génétique.

Parmi les principales menaces pour la biodiversité, on peut citer:

- le changement de l'utilisation du sol (urbanisation et agriculture intensive);
- l'exploitation incontrôlée des ressources (par ex. le stockage piscicole);
- la pollution;
- les changements climatiques;
- l'introduction d'espèces exotiques (allochtones) qui sont en compétition avec la flore et la faune indigène (autochtones).

Une des initiatives prises par la Commission Européenne et par l'Allemagne, en collaboration avec de nombreux autres partenaires internationaux, consiste en l'étude de "*Economie des écosystèmes et de la biodiversité*" (The Economics of Ecosystem and Biodiversity, TEEB) qui a comme objectif de fournir une évaluation économique des services écosystémiques. Cette quantification permettra d'introduire, à tous les effets, les services éco-systémiques dans les mécanismes du marché (par exemple à travers leur paiement) et d'évaluer, à l'intérieur des processus décisionnels de tous les niveaux, les effets d'un choix déterminé en termes de coûts pour la perte de ces services ou de gains pour leur maintien ou leur renforcement.

La relation intermédiaire TEEB de mai 2008 a déjà estimé que, au niveau mondial, la perte annuelle des services éco-systémiques coûte à

l'humanité 50 milliards d'euro environ.

Un tel début met en évidence l'importance que les cours d'eau intacts dans toutes leurs composantes représentent en termes d'offre de services éco-systémiques.

Parmi les principales fonctions accomplies par un écosystème fluvial "sain", on peut en rappeler les certaines qui présentent aussi des avantages évidents pour l'homme:

- ✓ **l'approvisionnement en eau** direct et indirect, à travers la recharge des nappes pour les utilisations humaines (potable, d'irrigation et industriel);
- ✓ **la dépuraton des eaux** des polluants à travers le maintien d'habitat pur les communautés qui déparent (auto dépuraton);
- ✓ **l'homéostase hydraulique** qui s'explique aussi bien par l'atténuation:
 - des crues: la végétation pluri-fluviale ralentit le courant et le zone humides latérales (ex. les bras morts) contribuent à garder une partie de l'eau de crue;
 - sia attraverso l'attenuazione delle magre tramite il passaggio di acqua dalle zone di accumulo naturali dell'ecosistema fluviale (falde e aree umide laterali) al corso d'acqua stesso;
- ✓ **l'atténuation** risques des **gaz à effet de serre** (à travers l'absorption de bioxyde de carbone de la part des espèces végétales ripariennes et aquatiques);

- ✓ **la conservation du paysage;**
- ✓ **le maintien de la biodiversité**, les cours d'eau représentent les couloirs préférentiels pour la diffusion et donc pour la conservation d'espèces animales et végétales (les espèces soutenues par les cours d'eau peuvent représenter jusqu'à 50% des espèces présentes à l'échelle du bassin);
- ✓ l'offre des **services récréatifs et sportifs** (itinéraires à pied, canoë, pêche,...).

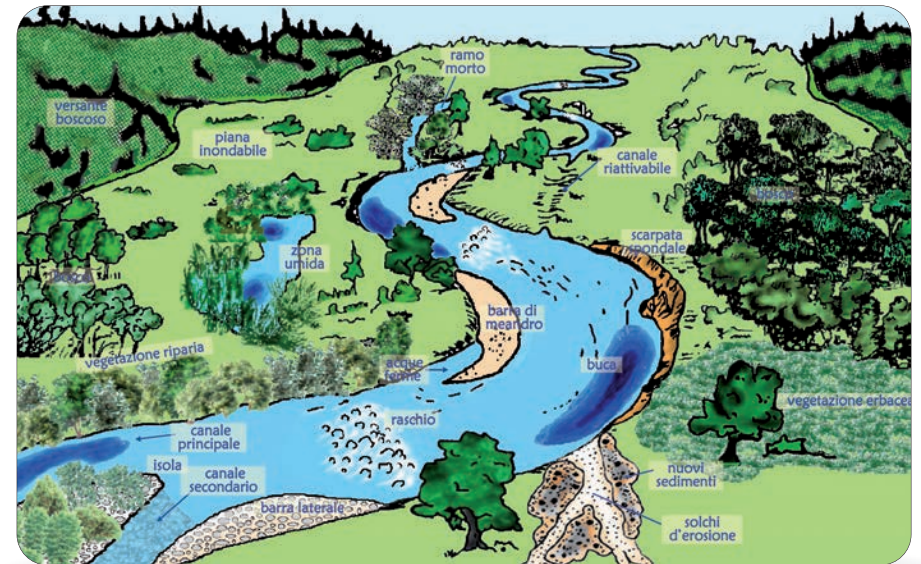


Fig. I.33 La diversité du milieu fluvial e. (Image de. Sansoni, 2006. Tirée de : Séminaire sur la gestion des milieux péri-fluviaux - Coazze (TURIN) 12 mars 2010 – Caractéristiques des milieux péri-fluviaux : signification écologique et importances environnementales M. R. Minciardi Centre de Recherches ENEA de Saluggia (VERCELLI).

LE POUVOIR AUTO DEPURANT DE L'ECOSYSTEME FLUVIAL

La matière organique qui arrive du cours d'eau, telle que les feuilles et les fragments végétaux, mais aussi les rejets anthropiques, est démolie par les micro-organismes et par la communauté macro-benthonique.

Un passage clé de ce processus est représenté par les macro-invertébrés hacheurs qui émettent les débris organiques en les rendant plus facilement biodégradables par les bactéries dont l'action, dans un système qui s'auto-alimente, rend à son tour la matière organique disponible à d'autres groupes de macro-invertébrés qui se nourrissent de particules de dimensions inférieures. Ces processus portent à la minéralisation de la substance organique dont les produits peuvent être absorbés et donc recyclés par la composante végétale.

L'efficacité du système auto-épurateur est, à son tour conditionné par l'intégrité du milieu terrestre environnant, en particulier par la bande de végétation riparienne qui a une double fonction dépurative en agissant aussi bien comme filtre mécanique que comme filtre biologique. "La végétation riparienne, en effet, intercepte les eaux de lessivage des versants et en ralentit la vitesse, ce qui provoque la sédimentation de la charge solide et des polluants qui se trouve en son sein. A cette action de clarification des eaux, qui contribue à la limpidité des fleuves et à empêcher le colmatage des interstices entre les cailloux (micro-milieux d'importance primaire pour les autres systèmes de dépuración) s'accompagne un rôle protecteur vis à vis de l'eutrophisation fluviale pour l'élimination du phosphore (lié aux particules argileuses sédimentaires) et de l'azote (absorbé par les plantes et dénitrifié par des bactéries associés et non pas par la couche radicale). ...

Un dernier système dépuratif est représenté par la zone hyporhéique qui, dans des aquifères poreux étendus, peut avoir une importance égale aux processus qui se produisent dans les eaux superficielles. Cette fonction, accomplie par des micro-organismes qui adhèrent aux particules solides (qui dans l'ensemble, fonctionnent comme un immense lit percolateur) est rendue plus puissante par les basses vitesses d'écoulement (qui facilitent l'accomplissement des processus) et par l'énorme extension de la surface de contact entre l'eau et les particules solides" (IFF, 2007).

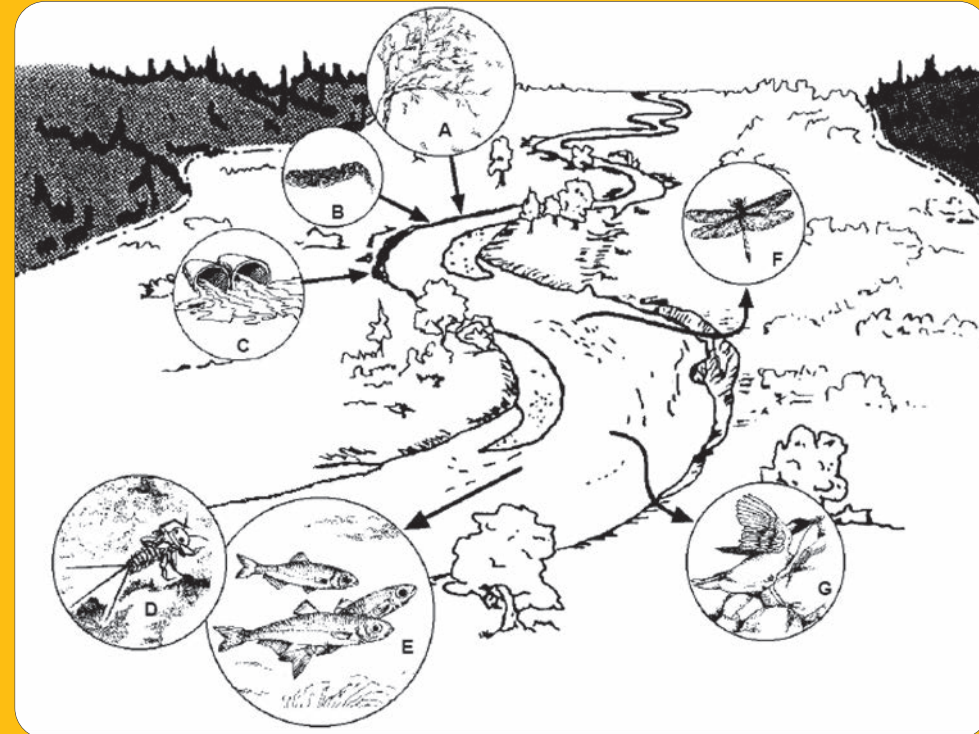


IMAGE I.34 L'essence du processus auto dépuratif. Une fois qu'ils ont atteint le fleuve, les déchets organiques provenant du territoire (A: feuilles et fragments végétaux, B: excréments et dépouilles d'animaux, C: déchets anthropiques) sont absorbés par les organismes aquatiques (D: macro invertébrés, E: poissons etc.) et transformés en biomasse vivante qui, en partie, est rendue au territoire sous formes d'insectes (F), oiseaux (G) et d'autres organismes. (Image de G. Sansoni, 1997. Tirée de Gestion des cours d'eau entre fonctionnalité écologique et sécurité hydraulique. L'expérience du Consortium d' Assainissement Dese Sile. Année académique 2007 - 2008. Thèse de fin d'études universitaires de P. Migliorini. Université de Padoue) Faculté d'Agronomie)

Evaluation de la qualité des milieux fluviaux

L'évaluation de la qualité des cours d'eau est fondamentale pour leur **correcte gestion** étant donné que le fait d'en connaître l'état de santé représente le point de départ pour n'importe quelle intervention qui concerne l'écosystème fluvial. L'analyse des données relatives à la qualité des cours d'eau permet en effet, par exemple, d'évaluer si des interventions pour améliorer la qualité d'un écosystème fluvial compromis sont nécessaires (aussi dans le but de la réalisation des objectifs requis par la normative communautaire), ou pour déterminer les impacts d'une action sur un cours d'eau afin de prédisposer les mesures adéquates de mitigation ou de proposer une solution alternative de moindre impact environnemental.

Les méthodes applicables pour de telles évaluations sont nombreuses. Traditionnellement on distingue les méthodes de type analytique, concernant principalement les **analyses chimio-physiques** des eaux et les **indices** qui se basent sur l'utilisation d'**indicateurs environnementaux** qui évaluent la qualité de l'écosystème fluvial à travers l'analyse d'une ou de nombreuses composantes de l'écosystème lui-même. De telles méthodes ne s'excluent pas les unes les autres mais elles doivent être utilisées **de façon intégrée**, étant donné qu'elles fournissent des éléments de connaissance différents mais également utiles, pour une interprétation correcte de l'intégrité du cours d'eau. L'évaluation de la qualité environnementale exigerait la mise en œuvre de recherches approfondies de toutes les composantes de l'écosystème fluvial, avec des coûts élevés et des temps très longs. L'indexation environnementale naît donc, d'un côté de l'exigence de réduire de telles recherches en obtenant quand même des résultats significatifs et de l'autre de transposer ces résultats de façon synthétique (ex. une valeur numérique à laquelle associer une classe de qualité). A ce but, on a repéré les **indicateurs écologiques**, qui sont des paramètres (physiques, chimiques ou biologiques) en étroite relation avec un phénomène ou une caractéristique environnementale dont ils sont à même de résumer les aspects les plus importants. La représentation fonctionnelle ou intégrée

par un ou plusieurs indicateurs est définie **indice écologique**. Les indices, en effet, dérivent de l'élaboration des réponses fournies par les indicateurs. L'**indicateur écologique** est un paramètre (physique, chimique ou biologique) en étroite relation avec un phénomène ou une caractéristique environnementale dont il est capable de résumer les aspects les plus importants. La représentation fonctionnelle ou intégrée d'un ou plus indicateurs est appelée **indice écologique**. Les indices, en effet, dérivent de l'élaboration des réponses fournies par les indicateurs. En particulier, le relevé des altérations environnementales à travers des paramètres biologiques, **indicateurs biologiques**, se base sur l'étude et sur l'interprétation des effets causés par les changements environnementaux sur les organismes vivants (animaux et végétaux) et surtout sur leurs communautés.

En effet, l'altération des niveaux optimaux des facteurs biotiques et abiotiques (taux d'oxygène, salinité, température,...) d'un écosystème se répercute sur les différentes espèces d'une communauté en provoquant des changements sur sa structure. En particulier on assiste à la progressive réduction (jusqu'à la disparition) des espèces les plus sensibles et à l'augmentation contemporaine des espèces plus tolérantes qui deviennent la composante dominante de la communauté.

Pour pouvoir être un bon indicateur écologique, un organisme doit être très sensible aux variations des facteurs qui caractérisent l'environnement où il vit ; c'est à dire qu'il doit avoir un petit taux de tolérance par rapport aux valeurs considérées optimales pour l'espèce.

Les organismes qui ont une plus grande tolérance aux variations environnementales ne prêtent pas, en effet, à être utilisés comme indicateurs.

Par exemple les **macrophytes aquatiques** sont considérées d'excellents indicateurs grâce à leur sensibilité prononcée à l'égard de la pollution de nature organique et par un excès de nutriments (eutrophisation) tout comme leur relative facilité d'identification et à leur faible mobilité.

Pour évaluer la qualité des cours d'eau, on utilise aussi beaucoup les com-

munautés de macro-invertébrés benthoniques, c'est à dire l'ensemble de populations d'invertébrés visibles à œil nu qui vivent au moins une partie de leur vie sur des substrats submergés, en utilisant des mécanismes d'adaptation qui les rendent capable de résister au courant (par. ex. Insectes, Crustacés, Mollusques, Hirudinée, Tri clades, Oligochète ...). Ces organismes sont particulièrement aptes à indiquer les altérations ressenties dans un cours d'eau puisqu'il s'agit d'organismes qui peuvent facilement être pris comme échantillon et doués d'un grand éventail d'espèces sensibles, de façon différente, aux agents polluants et, plus en général, aux altérations de l'écosystème.

Une des méthodes de bio indication, basé sur la composante macro benthonique, c'est l'**Indice Biotique Étendu** ou **IBE**.

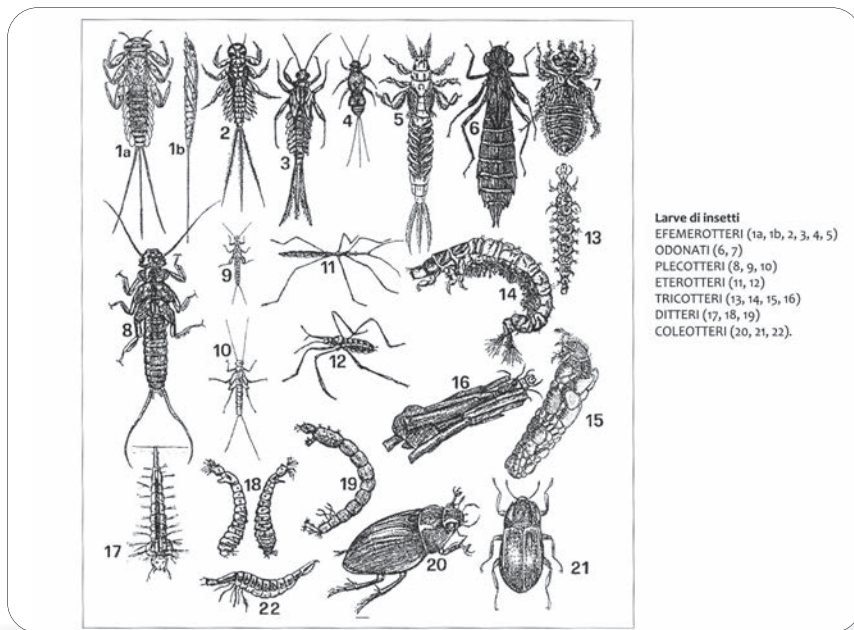


IMAGE I.35 Quelques exemples d'invertébrés. Larves d'insectes (Image tirée de : Province de Turin. Fomeris G., Perosino G. C., *Eléments de hydrobiologie. La gestion des ressources hydriques, un exemple d'application: l'écosystème fluvial de l'Orco. EDA*)

INDICE BIOTIQUE ETENDUE (I.B.E.)

C'est une méthode qui sert à évaluer la qualité biologique d'un tronçon d'eau à travers un échantillonnage des macro invertébrés benthoniques et la comparaison entre la composition d'une communauté attendue dans un tronçon défini avec la communauté réellement "présente" dans le même tronçon. Elle se base sur le principe qu'une altération environnementale (pollution, altérations physiques,...) provoque des modifications dans la communauté des macro- invertébrés avec la disparition de groupes plus sensibles à la pollution et à la prolifération des groupes plus tolérants.

La valeur de l'indice est calculée à travers un tableau à double entrée : en ordonnée les groupes de la faune en ordre de sensibilité croissante et en abscisse les intervalles numériques relatifs au nombre total des unités systématiques retrouvées dans le lieu d'échantillonnage (prise en échantillon). L'intersection des deux entrées reporte la liste des taxons dans une valeur numérique et, donc, dans un jugement de qualité.

Classes de Qualité	Valeur IBE	Jugement de Qualité	Couleur de Référence
CLASSE I	10-11-12-...	Milieu non pollué ou de toute façon non altéré de façon évidente	
CLASSE II	8-9	Milieu avec de faibles symptômes de pollution ou d'altération	
CLASSE III	6-7	Milieu très pollué et de toute façon très altéré	
CLASSE IV	4-5	Milieu très pollué et de toute façon très altéré	
CLASSE V	0-1-2-3	Milieu fortement pollué ou fortement altéré	

Tableau de conversion des valeurs IBE en classe de qualité avec jugement relatif pour la représentations cartographique.

Un exemple ultérieur de l'indice appliqué en écologie fluviale est représenté par l'**Indice de Fonctionnalité Fluviale ou IFF**, une méthode de recherche de type holistique, qui a comme objectif de fournir une lecture

critique et intégrée des principales composantes qui caractérisent l'écosystème fluvial, afin de parvenir à une évaluation de la fonctionnalité fluviale.

INDICE de FONZIONNALITE' FLUVIALE (I.F.F.)

Qu'est-ce que la fonctionnalité fluviale. C'est la "capacité de l'écosystème fluvial à accomplir et maintenir les processus et les relations trophique-fonctionnelles d'un cours d'eau".

SCHEDA INDICE di FUNZIONALITÀ FLUVIALE

Bacino:..... Corso d'acqua.....
 Località.....
 Codice.....
 tratto (m)..... larghezza alveo di morbida (m)..... quota (m) s.l.m.
 data scheda N°..... foto N°.....

	spende	dx	sx
1) Stato del territorio circostante			
a) assenza di antropizzazione	25		25
b) presenza di aree naturali e usi antropici del territorio	20		20
c) colture stagionali e/o permanenti; urbanizzazione rada	5		5
d) aree urbanizzate	1		1
2) Vegetazione presente nella fascia perifluviale primaria			
a) presenza di formazioni riparie complementari funzionali	40		40
b) presenza di una sola o di una serie semplificata di formazioni riparie	25		25
c) assenza di formazioni riparie ma presenza di formazioni comunque funzionali	10		10
d) assenza di formazioni a funzionalità significativa	1		1
2bis) Vegetazione presente nella fascia perifluviale secondaria			
a) presenza di formazioni riparie complementari funzionali	20		20
b) presenza di una sola o di una serie semplificata di formazioni riparie	10		10
c) assenza di formazioni riparie ma presenza di formazioni comunque funzionali	5		5
d) assenza di formazioni a funzionalità significativa	1		1
3) Ampiezza delle formazioni funzionali presenti in fascia perifluviale			
a) ampiezza cumulativa delle formazioni funzionali maggiore di 30 m	15		15
b) ampiezza cumulativa delle formazioni funzionali compresa tra 30 e 10 m	10		10
c) ampiezza cumulativa delle formazioni funzionali compresa tra 10 e 2 m	5		5
d) assenza di formazioni funzionali	1		1
4) Continuità delle formazioni funzionali presenti in fascia perifluviale			
a) sviluppo delle formazioni funzionali senza interruzioni	15		15
b) sviluppo delle formazioni funzionali con interruzioni	10		10
c) sviluppo delle formazioni funzionali con interruzioni frequenti o solo erbacea continua e consolidata o solo arbusteti a dominanza di esotiche e infestanti	5		5
d) suolo nudo, popolamenti vegetali radi	1		1

IMAGE I.36 Extrait de la fiche de relevé de l'IFF (Image tirée de : I.F.F. 2007 Indice de fonctionnalité fluviale-Ministère de l'Environnement et de la Protection du Territoire et de la Mer.

L'évaluation de la fonctionnalité fluviale est importante étant donné qu' une fonctionnalité élevée est un indice d'un cours d'eau "robuste", c'est-à-dire capable de mieux répondre aux altérations de type environnemental, (ex. pollution), alors qu' une fonctionnalité basse exprime une fragilité intrinsèque du système qui sera donc particulièrement vulnérable à l'égard d'éventuels impacts .

8 Il faut rappeler que la naturalité et la fonctionnalité ne sont pas des synonymes. Bien que, souvent à des valeurs élevées corresponde aussi une naturalité élevée il y a des cas où cela ne se produit pas. C'est le cas, par exemple, des cours d'eau de haute altitude, où même en conditions de naturalité élevée, généralement la fonctionnalité est basse (par exemple pour le manque de végétation arborescente mais pas seulement). Dans ces circonstances l'IFF permet de mettre en évidence la faible capacité de ces écosystèmes fluviaux d'absorber les pressions dérivantes du contexte territorial, c'est la raison pour laquelle des modestes altérations peuvent induire de profonds changements dans les communautés biologiques et dans la fonctionnalité de ces systèmes qui se répercutent dans une baisse de la qualité du cours lui-même.

Ainsi, l'IFF utilise les informations recueillies pour exprimer un jugement concernant les conditions de fonctionnalité d'un cours d'eau.

Il faut préciser que, dans certains cas, les niveaux de fonctionnalité ne correspondent pas à la naturalité. Par exemple, dans les tronçons fluviaux au dessus de la limite de la végétation arborescente, l'absence de végétation riparienne comporte de basses valeurs de fonctionnalité même en condition de naturalité élevée. Ainsi, l'évaluation de la fonctionnalité ne correspond pas à l'évaluation de la naturalité.

Livello	Valore	Giudizio	Colore
I	261 - 300	elevato	
I - II	251 - 260	elevato-buono	
II	201 - 250	buono	
II - III	181 - 200	buono-mediocre	
III	121 - 180	mediocre	
III - IV	101 - 120	mediocre-scadente	
IV	61 - 100	scadente	
IV - V	51 - 60	scadente-pessimo	
V	14 - 50	pessimo	

IMAGE I.37 Niveaux de fonctionnalité et jugements relatifs et couleurs de référence (Image tirée d'I.F.F. 2007 Indice de fonctionnalité fluviale-Ministère de l'Environnement et de la Protection du Territoire et de la Mer.



IMAGE I.38 Exemples de restitution cartographique de l'IFF (Projet PELLIDRAC - Polytechnique de Turin).

Critere à appliquer pour l'évaluation de indispensabilité d'intervention

✓ En amont de la phase projet, les hypothèses d'interventions ou d'ouvrages doivent être évaluées en considérant les critères suivants :

✓ **Nécessité:**

l'intervention et/ou les ouvrages sont-ils nécessaires? Représentent-ils la meilleure solution possible à la problématique à résoudre?

Pour répondre à ces questions, il est indispensable de :

- effectuer une **évaluation technico-scientifique** pour établir quelles sont les problématiques hydrauliques et/ou de **bouleversements hydrogéologiques** qui ont besoin d'être résolues (si les risques ne sont pas fondés, avant même de passer aux phases successives prises en examen, l'intervention ou l'ouvrage peut être immédiatement évalué comme non nécessaire);
- étudier et comprendre le **fonctionnement hydraulique, géomorphologique et éco-systémique** du cours d'eau à l'échelle du bassin hydrographique;
- rechercher, sur la base des connaissances acquises dans les points précédents, quelles sont les **alternatives** d'intervention en prenant aussi en considération, parmi les alternatives relatives au projet, la requalification fluviale.

En particulier, le coût élevé des ouvrages hydrauliques, l'impact sur le paysage et sur l'environnement que provoque leur construction nous obligent à procéder à l'analyse des alternatives ainsi qu'à une fine analyse du rapport entre les **coûts prévus** et les **bénéfices attendus**. Cette évaluation, pour être complète, doit au moins prendre en considération les paramètres suivants:

- **ressources économiques nécessaires pour la réalisation et l'entretien de l'ouvrage/intervention;**
- **valeur économique des biens exposés** protégés après la réalisation de l'ouvrage/intervention;
- **impact environnemental** exercé par l'ouvrage/intervention sur les composantes écologiques telles que la flore, la faune, l'écosystèmes et le paysage;
- **valeur des composantes environnementales impliquées**

Comme on l'a déjà mis en évidence auparavant, même simplement pour raisons économiques, il peut être plus avantageux de diminuer le risque en réduisant la valeur du dégât exposé plutôt que diminuer la probabilité qu'un événement calamiteux se produise, à travers la réalisation d'un ouvrage hydraulique.

C'est par exemple le cas des défenses des berges qui protègent de l'érosion des zones agricoles : il est sûrement plus économiquement avantageux pour la collectivité d'acquiescer comme zones publiques (ou indemniser ou prévoir de toute façon des formes de compensation pour les propriétaires) les terrains à risque d'érosion pour les laisser à la disposition du cours d'eau, plutôt que de construire de coûteux ouvrages hydrauliques qui , par la suite, ont besoin de frais supplémentaires pour l'entretien. En outre, cette solution est à impact zéro sur les composantes environnementales.

✓ **Prolifération:**

Le nouveau ouvrage rend-il nécessaire la réalisation d'autres ouvrages en aval ou en amont du cours d'eau?

Les modifications de la dynamique du cours d'eau déclenchées par la réalisation d'un ouvrage se répercutent, directement ou indirectement,

sur tout le cours d'eau en favorisant la nécessité de réaliser d'autres ouvrages de compensation (prolifération) dont le coût, même s'il ne doit pas être pris en charge par le même sujet, doit être considéré comme "cout relatif à la réalisation de l'ouvrage". .

Démantèlement:

Y-a-t-il des ouvrages hydrauliques qui peuvent être démantelés?

L'anthropisation du territoire et la gestion en parcelles de l'axe torrentiel ont causé, en général, une artificialisation excessive des lits et des zones ripariennes, en générant l'aménagement actuel des cours d'eau qui souvent résulte incompatible avec une gestion correcte ayant pour but l'amélioration de l'état environnemental général de cours d'eau et ses proximités. Chaque nouvelle réalisation doit donc être précédée par une évaluation de la possibilité de **démantèlement**, le long du même cours d'eau, **d'autres ouvrages** d'efficacité réduite ou nulle.

Zone vaste :

Quelle est la zone vraiment concernée?

N'importe quelle intervention le long d'un cours d'eau provoque, inévitablement, l'anthropisation d'une zone plus vaste que la zone impliquée directement par l'intervention elle-même non seulement à l'égard du cours d'eau mais aussi, et surtout, en direction du territoire environnant. Cette anthropisation est représentée, par exemple, par la nécessité de garantir l'accès à l'ouvrage ou par l'augmentation de la possibilité d'utilisation du sol que l'ouvrage peut engendrer. Par exemple, suite à la mise en sécurité, une zone qui était auparavant inondable, donc où l'on ne pouvait pas bâtir, pourrait devenir une occasion pour étendre le plan de construction de bâtiments. Ces aspects doivent être analysés précédemment, pendant la phase de conception parce

qu'ils engendrent, dans le temps, la diminution de la naturalité des lieux d'une zone bien plus vaste que celle impliquée directement par l'intervention.

Fausse idées – analyse des interventions les plus usuelles le long des cours d'eau

En analysant quelle peut être la meilleure solution, il faut “démonter” certains clichés. Par la suite, certains arguments récurrents sont traités de façon synthétique ; pour des approfondissements, on renvoie aux sources bibliographiques qui abordent le sujet.

Est-il nécessaire d'enlever les sédiments du lit?

SUR-ALLUVION ET EXTRACTION DE MATERIAUX DU LIT

Le terme **sur-alluvion** est utilisé dans le langage commun pour indiquer une accumulation anormale de sédiments qui, comme le voudrait le sens commun, doit être enlevée. Techniquement, il est correct de parler de **sédimentation** si le phénomène concerne un tronçon très étendu et dure dans le temps, et de **cumul local** dans le cas opposé.

L'extraction du matériel se trouvant dans le lit, aussi appelée « *disalveo* » est souvent proposée comme solution au problème de sur-alluvion étant donné qu'elle comporte l'augmentation de la section du lit et il améliore « l'efficacité hydraulique ».

Pour savoir si le cours d'eau est effectivement en sur-alluvion (c'est à dire si l'accumulation de sédiments est un phénomène étrange ou s'il fait partie de la dynamique naturelle du fleuve), il est nécessaire:

- D'effectuer des études géomorphologiques à l'échelle du bassin, et de ne pas se laisser influencer par ce que l'on voit (ou par ce qui ne se voit pas) : le dépôt de sédiments pourrait sembler étrange pour la simple raison que le fleuve est sans eau ou bien l'accumulation de matériau concerne un cours d'eau qui s'approfondit, il doit donc être interprété comme un phénomène positif de retour à l'équilibre. Rappelons, en effet, comme le problème d'affaissement du fond est très fréquent dans les cours d'eau italiens (ex. Le fleuve Po – se rapporter au *L'incision du Po*). Ainsi, pour pouvoir affirmer donc que le dépôt est anormal, il faut

avoir des sections morphologiques antérieures à l'événement de sédimentation qui le démontrent par rapport aux mêmes sections mesurées après l'événement;

- savoir qu'une intervention d'extraction de matériau du lit peut causer, dans le tronçon où elle est réalisée et dans l'immédiat, un effet positif (augmentation de la section du lit donc du débit canalisé et réduit sa rugosité) mais il peut aussi créer de nombreux problèmes qui sont souvent sous-estimés parce qu'ils se manifestent ailleurs et à long terme.

EFFETS NEGATIFS DE L'EXTRACTION DE MATERIAUX DU LIT

- elle altère le profil longitudinal en déclenchant des phénomènes d'érosion du fond du lit en amont (régressive) et en aval qui peuvent interférer avec les ouvrages et les infrastructures présentes (ex découverte des piliers des ponts).
- elle réduit la fréquence des inondations dans le tronçon dans lequel l'extraction de matériaux a eu lieu (par effet de l'augmentation de la section du lit), mais elle peut déclencher aussi le problème en aval pour l'arrivée de débits de crues majeures ayant des vitesses supérieures (par effet de la réduction de la rugosité)
- elle induit l'affaissement du fond du lit qui est accompagné par des phénomènes d'érosion des berges causée par l'instabilité du lit lui-même et elle génère l'instabilité des berges.
- elle induit un affaissement de la surface libre de l'eau du fleuve et des berges qui y sont liées puis une disparition des zones humides associées au cours d'eau (ex bras morts d'une rivière ou d'autres zones aptes à la reproduction de la faune piscicole) et des altérations de la végétation riparienne (sol plus sec).
- elle produit des effets qui se répercutent sur les aspects écologiques et environnementaux, comme par exemple la perte d'habitats aquatiques et ripariens : un lit nivelé où on a retiré les barres et la végétation riparienne est inhospitalière pour les macro invertébrés qui, en cas de crue, dépourvus d'abri et exposés à la violence du courant, peuvent mourir en peu de jours à cause de l'effort exercé pour s'opposer au courant qui détermine une excessive accumulation de acide lactique dans les muscles.

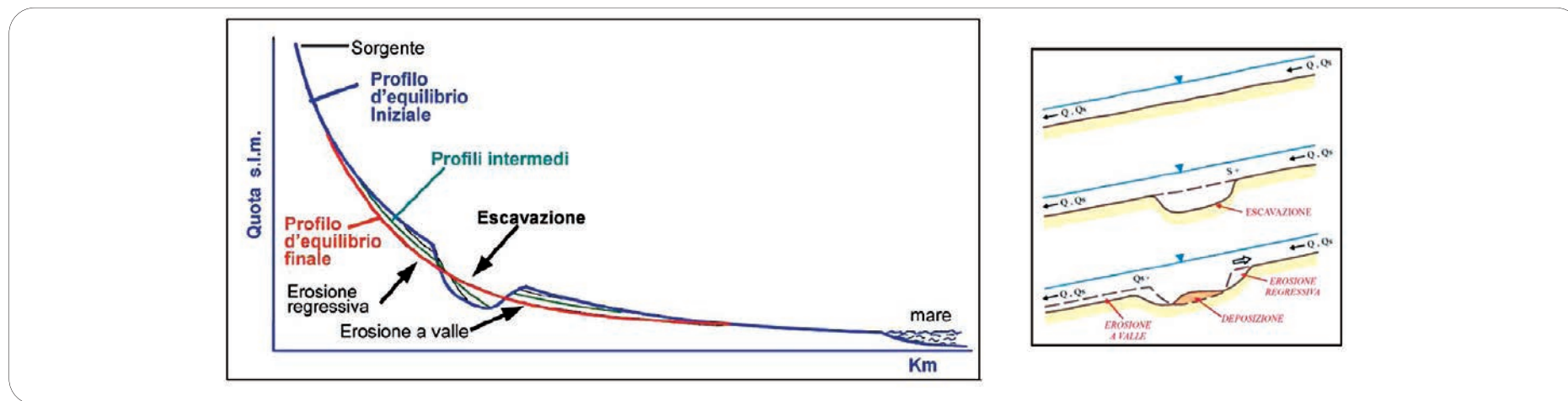


IMAGE I.39 Effets morphologiques de l'extraction de matériaux des lits fluviaux. Situation locale (à droite): en marge de l'aval du trou, pour une pente majeure, une érosion régressive se déclenche. Étant donné que le trou piège les sédiments qui arrivent en interrompant le transport solide, l'érosion se propage aussi en aval du trou. Situation à l'échelle du bassin (à gauche) : le profil longitudinal montre comment, au fil des années, le déficit solide causé par l'excavation locale se redistribue tout le long du cours d'eau, en produisant une érosion généralisée de la source à l'embouchure. (Image à gauche de Kondolf, 1994, retouchée par M. Rinaldi. Image à droite de G. Sansoni. Tirée de CIRF – Requalification Fluviale n. 3 3.2010 - Province de l'Aquila Département à l'Environnement.)

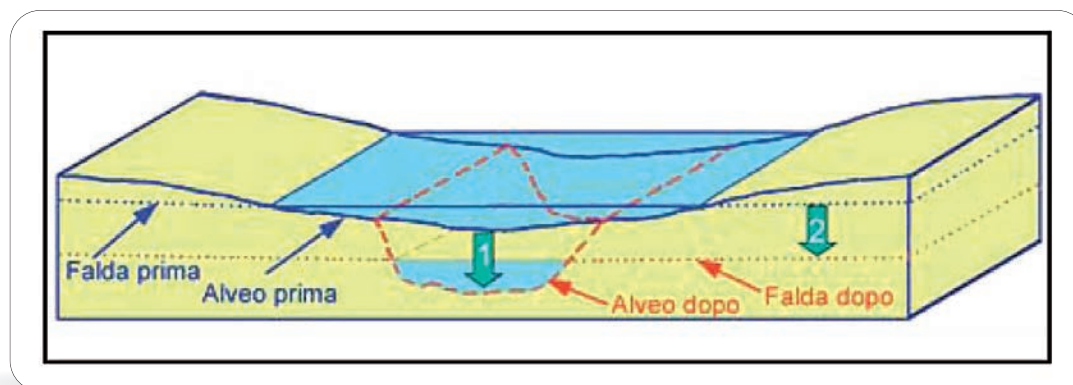


IMAGE I.40 Affaissement de la nappe phréatique suite à l'excavation du lit : l'affaissement du fond (flèche 1) provoque un “effet canalisation” du lit (berges plus raides) et l'affaissement de la surface libre de l'eau (en continuité avec le niveau de la nappe): il en résulte un drainage de la nappe dont le niveau s'affaisse (flèche 2) sur toute l'extension de l'aquifère de la plaine en provoquant des problèmes collatéraux (image de G. Sansoni. Tirée de CIRF - Requalification Fluviale n. 3 3.2010 - Province de l'Aquila Département à l'Environnement).

L'INCISION DU PO

Au cours du XXème siècle, l'axe fluvial du Po a subi de remarquables transformations (variations altimétriques du fond du lit, variations de la largeur des sections transversales, variations morphologiques) suite, principalement, à la forte pression anthropique (extraction de matériaux, construction de digues et d'ouvrages de canalisation, urbanisation de beaucoup de zones de pertinence fluviales,...). Le processus qui s'est vérifié le plus fréquemment a été un approfondissement du niveau de fond moyen des lits. A ce processus s'associent des phénomènes de rétrécissement du lit et de transformation en des formes planimétriques à lit unique plus simplifiées avec désactivation, pour les débits mineurs, de nombreuses branches latérales

Suite à ces modifications, le Po présente un fort caractère d'instabilité morphologique qui engendre de graves répercussions sur le système anthropique :

- Mise à nue des fondations des ponts et des ouvrages de défense hydraulique (défense des berges, des épis, et des digues en « froldo »);
- l'impossibilité de dériver de la part de nombreux ouvrages de prises d'irrigation suite à la baisse des niveaux hydriques d'étiage (à parité de débit) ;
- la nécessité de refaire des cluses de navigation suite à des processus d'approfondissement des fonds ;
- baisse du niveau de la nappe et perte de zones humides avec un appauvrissement conséquent des habitats marécageux de la plaine de submersion ;
- la simplification et la banalisation de l'aménagement morphologique et de ses processus évolutifs, ainsi que de la diversité environnementale du lit et des zones ripariennes;
- le manque d'apport solide au littoral côtier (Mer Adriatique).

Les premières solutions adoptées pour éviter ce phénomène se basaient principalement sur l'interdiction d'extraire des matériaux lithoïdes des cours d'eau, exception faite pour les interventions ayant des finalités d'aménagement hydraulique. Au final, il s'est démontré que majeure partie de ces solutions sont inefficaces. Récemment une Directive pour la gestion des sédiments (BOX6) a été promulguée.

Avant de réaliser les interventions d'extraction de matériaux du lit, il est donc opportun de déterminer les causes du phénomène plutôt que les effets.

✓ **A l'échelle du bassin**

Augmentation de l'apport solide de l'amont (ex. relâche de sédiments d'éboulements et de déforestation des versants en déforestation.)

✓ **A l'échelle locale**

Rétrécissement de la section et confinement du lit en aval du tronçon sur alluvionné (ex. ponts avec des sections hydrauliques inadaptées ou endiguement trop proches du lit)
diminution de la pente du lit (ex présence de brides ou de seuils).

En ce qui concerne les objectifs et les mesures à adopter pour faire face au problème de sur alluvion, on renvoie à la section bleue successive.

Est- il toujours nécessaire de canaliser le cours d'eau? DERIVATION/EROSION E CANALISATION

L'érosion des berges et la divagation sont des manifestations du dynamisme qui caractérisent le cours d'eau. Le cours d'eau, en effet, est un système déterminé par un équilibre géomorphologique dynamique et modifie donc continuellement son propre cours en maintenant ses dimensions moyennes inchangées.

La dérivation tout comme **l'ouverture naturelle suite à des crues de nouveaux chenaux de débit**, est une évolution naturelle du fleuve faisant partie de sa dynamique.

L'érosion des berges et la modification du cours d'eau deviennent un

problème quand elles se vérifient le long de tronçons fortement anthropomorphisés.

Avant de proposer des solutions, il est opportun de déterminer **les causes de l'érosion des berges** pour intervenir de façon prioritaire sur les causes du phénomène plutôt que sur les effets.

✓ **A l'échelle du bassin versant**

- Déficit de transport solide dû à la présence d'ouvrages transversaux en amont du tronçon en érosion qui retiennent les sédiments.
- Déficit de transport solide en raison d'une insuffisance ou de la déconnexion du cours d'eau, avec les sources de sédiments présents dans le bassin versant (ex. les sédiments présents le long des berges, des versants ou les terrasses fluviales ont été enlevés ou ne sont pas connectés au cours d'eau à cause de la présence d'ouvrages hydrauliques ou d'infrastructures qui empêchent le lit de se réalimenter)
- Extraction de granulats se trouvant dans le lit (avec, par conséquent, une érosion progressive en aval et régressive en amont)
- Rectification, raccourcissement du parcours et perte des zones de laminage

Altération du régime des débits (ex. hydropeaking, libération de débits excessivement réduits, relâche de débits exceptionnels...).

✓ **A l'échelle locale**

- Présence d'éléments dans le lit qui dévient le courant sur une berge.
- Manque de couverture végétale pour protéger les berges.
- Incision localisée (elle peut être la cause de l'affaissement de la berge)

- Artificialisation du lit (ex. rectification du cours d'eau)
- Érosion par des processus de dynamique fluviale naturelle.

En ce qui concerne les objectifs et les mesures à adopter pour faire face au problème de l'érosion des berges, on renvoie à la section bleue suivante.

HYDROPEAKING

Ce sont de violentes oscillations journalières de débit à cause des barrages à but hydroélectrique

L'hydropeaking comporte de lourdes altérations des débits qui, en particulier, se manifestent à travers :

- l'altération du régime de débit
- l'altération de l'évolution hydrologique
- l'altération de la water force (c'est à dire de l'ensemble des actions et des effets physiques causés dans le temps par l'eau sur des corps immergés)

Ces altérations produisent des impacts sur :

- la température et la qualité de l'eau : les eaux tourbillonnées sont caractérisées par des températures inférieures par rapport aux températures de l'eau à la section de relâchement puisque elles proviennent de niveaux plus élevés. Cette altération compromet la capacité auto-dépurative de l'écosystème fluvial.
- la morphologie fluviale et riparienne: la dynamique d'érosion et de sédimentation est altérée. En aval de la restitution, pendant les périodes de pic, l'action mécanique du cours d'eau est amplifiée.
- les habitats fluviaux : les communautés animales et végétales aquatiques (macro invertébrés, communautés diatomique, faune piscicole et macrophytes aquatiques) sont soumises à un stress mécanique considérable. Une brusque augmentation du débit comporte une variation du niveau de submersion. Les débits variables causés par l'hydropeaking comportent des réductions de la diversité à l'échelle des communautés (en effet seulement les espèces en mesure de tolérer des variations de vitesse et de débit importantes et brusques survivent), mais aussi au niveau de l'habitat.

Est-il toujours nécessaire de remodeler/canaliser le cours d'eau?

INCISION ET REPROFILLAGE/CANALISATION

L'**incision du lit** consiste en un affaissement exceptionnel du lit par rapport à une situation précédente mesurée le long d'un tronçon d'eau homogène et significativement long.

Pour établir si les cours d'eau sont vraiment en train d'inciser le lit de façon exceptionnellement accélérée il est **nécessaire** :

- d'effectuer des relevés géologiques sur place pour la localisation des

surfaces d'érosion récentes

- d'effectuer des mesures le long des sections morphologiques tracées transversalement et longitudinalement. Ces sections doivent être déjà connues précédemment pour pouvoir effectuer des comparaisons significatives.
- **prendre en compte le fait que le phénomène d'incision accélérée est souvent sous-estimé puisqu'il est considéré prudent à l'égard du risque alluvionnaire. En réalité l'incision accélérée provoque de graves dégâts aussi bien aux infrastructures qu'à l'écosystème.**

EFFETS ET CONSEQUENCES NEGATIVES DE L'INCISION ACCELEREE DU LIT

IMPACTS SUR L'ECOSYSTEME FLUVIAL

"Effet canalisation" : le lit se rétrécit, les berges deviennent plus raides et le cours d'eau perd sa diversité morphologique avec une banalisation, conséquence, des habitats fluviaux.

Affaissement de la nappe avec des conséquences sur la plaine inondable (dessèchement) et sur les espèces végétales : les espèces ripariennes ont tendance à disparaître étant donné que les racines n'atteignent plus la nappe.

Déconnexion de la plaine inondable du cours d'eau. Le manque d'inondation périodique de la plaine détermine la perte d'importants habitats fluviaux dont l'existence est liée à la possibilité d'être inondés.

...

CONSEQUENCES ANTHROPIQUES

Dégâts à ouvrages et infrastructures causés par l'incision du lit (ex. dégrèvement des piliers des ponts) avec un éboulement conséquent des berges.

Problèmes d'approvisionnement hydrique (utilisation pour l'irrigation, eau potable,...) à cause de l'affaissement de la nappe.

...

...

Avant de réaliser des interventions pour empêcher l'**incision accéléré** du lit, il est opportun de déterminer **les causes** de ce phénomène.

✓ **A l'échelle du bassin**

- Déficit de transport solide pour la présence d'ouvrages transversaux en amont du tronçon en érosion qui retiennent le sédiment.
- Déficit de transport solide à cause du manque de connexion ou de la déconnexion du cours d'eau avec les sources de sédiments présents dans le bassin (ex. sédiments le long des berges, les versants ou les terrasses fluviale ont été enlevées et ne sont plus reliées à cause de la présence d'ouvrages ou d'infrastructures qui empêchent la renaissance du lit)
- Extraction de matériaux du lit (avec une érosion conséquente et progressive en aval et régressive en amont)
- Rectification, raccourcissement du parcours et perte des zones de laminage.
- Altération du régime des débits (ex. hydropeaking, relâche de débits excessivement réduits, relâche de débits exceptionnels...)

✓ **A l'échelle locale**

- Présence d'un ouvrage transversal en amont du tronçon incisé.
- Rectification et raccourcissement du cours d'eau (avec une augmentation de la pente et, donc, de la vitesse du courant).

En ce qui concerne les objectifs et les mesures à adopter pour faire face au problème de l'incision on se référera à la section bleu suivante.

La végétation le long des fleuves constitue-t-elle un danger ?

VEGETATION ET NETTOYAGE DU LIT

Le "nettoyage du lit " est une des interventions "classiques" mise en œuvre très fréquemment et de façon aléatoire pour réduire le risque hydraulique. En effet, la végétation présente dans le lit et sur les berges (végétation péri-fluviale) est considérée parmi les causes des inondations et doit donc être éliminée pour "nettoyer" le cours d'eau.

EFFETS ET CONSEQUENCES DU "NETTOYAGE DU LIT"

EFFETS POSITIFS DE LA VEGETATION

La végétation dans le lit et riparienne augmente la **rugosité** et ralentit la vitesse de l'eau avec un effet naturel de laminage. La végétation **retient le matériau végétal** emporté par les crues et par les éboulements en empêchant que ceux-ci obstruent les ponts.
La végétation riparienne **renforce les berges** grâce à l'action de cohésion du sol exercée par les racines.

EFFETS NEGATIFS DE LA VEGETATION

La végétation dans le lit et riparienne augmente la rugosité et fait monter le niveau hydrique, en faisant augmenter, localement, le risque de débordement.
Les arbres emportés par les crues peuvent obstruer les ponts en causant des débordements.

En réalité les arbres emportés par les crues, qui s'encastrent dans les arches des ponts en les obstruant et en provoquant le débordement du cours d'eau, sont **une conséquence, en grande partie, des éboulements des versants débusqués** qui se déclenchent à l'occasion des alluvions **les plus importantes ! Dans une situation de ce type la coupe de la végétation riparienne est insignifiante**, elle est même nuisible : à l'occasion de crue d'importance réduite, en effet la végétation riparienne n'est pas emportée, alors que quand des crues de majeure entité se produisent les bandes ripariennes contribuent à localiser et à retenir les troncs emportés par les éboulements. **C'est seulement à la hauteur des zones fortement urbanisées que l'augmentation de la rugosité et la montée du niveau hydrique**, induits par la présence de végétation, peuvent produire des impacts négatifs : dans des situations où le lit est confiné, en effet, la montée hydrique peut déterminer des problèmes de sécurité. En revanche, **dans les zones moins anthropisées, l'effet provoqué par la présence de végétation a des effets positifs, dont les centres d'habitations en aval peuvent bénéficier**. En effet, l'augmentation de la rugosité ralentit le courant, en diminue le pouvoir érosif et atténue les pics de crue. Ainsi, la coupe aléatoire de la végétation, en diminuant la rugosité, peut accentuer les problèmes de sécurité hydraulique.

Là où l'étranglement hydraulique critique (ex centres d'habitations ou des ponts avec une lumière réduite) ne peut pas être enlevé facilement, il peut être opportun de prévoir des interventions d'entretien en amont ou au niveau de l'étranglement. Dans la section bleue suivante, on indique les modalités pour un entretien adéquat de la végétation dans le lit et sur les berges du cours d'eau.

BIBLIOGRAPHIE

- Legambiente. *Opération fleuve. Protection Civile Nationale – Les bonnes pratiques de gestion pour gérer le territoire et réduire le risque hydrogéologique* - par S. Andreotti e G. Zampetti.
- CIRF, 2006. *La requalification fluviale en Italie. Directives, mesures et expériences pour gérer les cours d'eau et le territoire*. A. Nardini, G. Sansoni et collaborateurs, Maison d'Édition Mazzanti Editori, Venise.
- CIRF – *Requalification Fluviale n. 3 1.2010, 2.2010, 3.2010, 4.2010 – Provence de l'Aquila département à l'Environnement*.
- Autorité du Bassin du fleuve Po, *actions intégratives pour l'Aménagements Hydrogéologiques (PAI) Atlas des risques hydrauliques et hydrogéologiques inventaire des centres d'habitation exposés au danger Du. C.I. n. 1 du 11.05.1999*
- Province de Turin. Forneris G., Perosino G. C., *Elements de hydrobiologie La gestion des ressources hydriques, en exemple d'application : l'écosystème fluvial de l'Orco*. EDA
- I.F.F. 2007 *Indice de fonctionnalité fluviale* - APAT, Ministère de l'Environnement et de la Protection du territoire et de la Mer, APPA.
- Région Piémont – *orientations pour la gestion des bois ripariens de montagne et de colline – cahier de protection du territoire n. 2 - IPLA*
- Séminaire sur la gestion des milieux péri fluviaux - Coazze (TO) 12 mars 2010 - *Caractéristiques des milieux péri fluviaux : dans le sens écologiques importance environnementales* M. R. Minciardi Centre de recherches ENEA de Saluggia (VC).
- APAT. IRSA-CNR. *Méthodes analytiques pour les eaux*. APAT *Manuels et Directives 29/2003*

Autorité de Bassin du Fleuve Po – *la récupération morphologique et environnementale du fleuve Po. La contribution du Programme général de gestion des sédiments du fleuve Po.*

EDIZIONI DIABASIS.

European Commission Environment. *Biens et services éco-systémiques*. Septembre 2009.

Ministère de l'Environnement et de la Protection du Territoire et de la Mer. *Définition de la méthode pour la classification et la quantification des services éco-systémiques en Italie. Vers la Stratégie Nationale pour la Biodiversité*

M. R. Minciardi, G. L. Rossi. 2010. *Modalités éco-systémiques d'évaluation de l'impact dérivant de la présence de dérivations dans un cours d'eau*. ENEA - Unité Technique Saluggia. Centre de Recherches, Vercelli.

SITES INTERNET

www.sinanet.isprambiente.it

www.rischioidrogeologico.it

www.protezionecivile.gov.it

www.adbpo.it

www.teebweb.org

www.ec.europa.eu

www.millenniumassessment.org

www.eea.europa.eu

www.easac.eu

Là où ce n'est pas spécifié autrement, les images et les dessins de cette section appartiennent à la Province de Turin ou au groupe de travail du project Pellidrac.