

Archivio Servizio Azienda Speciale di Sistemazione Montana (Provincia Autonoma di Trento): 3.4; 3.18; 3.22; 3.24; 3.26; 3.28; 3.30; 3.37; 3.38; 3.39; 3.42; 3.46; 3.48; 3.50; 3.52; 3.54; 3.56; 3.58; 3.59; 3.68.

Archivio Servizi Forestali di Belluno (Regione del Veneto): 3.7; 3.8.

Lenzi Mario A., D'Agostino Vincenzo, Sonda Diego: 2.3; 2.4; 2.5; 2.6; 2.7; 2.8; 2.9; 2.10; 2.11; 2.12; 2.13; 2.14; 2.15; 2.16; 2.17; 2.18; 2.19; 2.20; 2.21; 2.22; 2.23; 2.24; 2.25; 2.26; 2.27; 2.29; 2.30; 2.31; 3.5; 3.16; 3.19; 3.20; 3.31; 3.32; 3.33; 3.63; 3.64; 3.65; 3.69; 4.1; 4.2; 4.4.

Rolando Menardi (per gentile concessione del Parco Naturale delle Dolomiti d'Ampezzo): 2.28.

Sonda Diego: 3.6; 3.17; 3.21; 3.23; 3.25; 3.27; 3.29; 3.40; 3.41; 3.47; 3.49; 3.51; 3.53; 3.55; 3.57; 3.66; 3.67; 3.70.

Alcuni criteri di classificazione dei sistemi fluviali

1.1 Introduzione

Attraverso la semplice osservazione del territorio è facile rendersi conto come fiumi diversi abbiano forme d'alveo differenti o come queste possano susseguirsi od alternarsi lungo il tracciato di uno stesso corso d'acqua. Dall'analisi dei sedimenti fluviali fossili, invece, è talvolta possibile constatare che il corso d'acqua, che li ha deposti, ha assunto nel tempo morfologie diverse, in quanto si sono avvicendate condizioni ambientali differenti. Ciò è generalmente avvenuto su tempi molto lunghi (scala dei tempi geologici) e tali trasformazioni sono state segnate da eventi imponenti (azioni tettoniche, mutazioni climatiche, glaciazioni, ecc.) che hanno interessato regioni molto ampie. L'avvento dell'uomo ha generalmente comportato l'innescio di processi, spesso di pari intensità rispetto a quelli naturali, che hanno indotto nuove tendenze evolutive o l'accelerazione di quelle in atto, sovrapponendo quindi i propri effetti a quelli preesistenti (Billi, 1994).

La configurazione o le configurazioni assunte da un corso d'acqua sono perciò il risultato finale e la combinazione di numerosi fattori geologici, climatici, idrologici, idraulici, morfologici, sedimentologici, vegetazionali e biologici, che esplicano le loro azioni sia a livello di bacino sia di collettore. Le continue modificazioni dei parametri idrologici-idraulici, che condizionano l'assetto del sistema fluviale, si trasformano in variazioni della geometria e della pendenza dell'alveo attraverso processi interattivi con il territorio adiacente. Si tratta generalmente di un processo evolutivo continuo, che è l'espressione di un equilibrio instabile tra i fattori che danno luogo al "sistema" fiume (Fig. 1.1).

Esiste in natura una certa varietà di forme fluviali cui corrispondono diverse condizioni di stabilità plano-altimetrica degli alvei, intesa quest'ultima come suscettività al modellamento degli stessi, in relazione alle caratteristiche geometriche della valle e come risposta a determinati stati idrometrici e condizioni di flusso, alle dimensioni granulometriche del materiale in alveo e di quello trasportato ed alla composizione dei terreni costituenti le sponde. Entro un bacino idrografico, i processi naturali e gli effetti indotti dall'attività antropica sono tipologicamente abbastanza differenziati in funzione della loro localizzazione nel settore montano, pedemontano, collinare o di pianura. Nelle parti superiori dei bacini montani, dove i torrenti sono incisi in roccia od incassati entro depo-

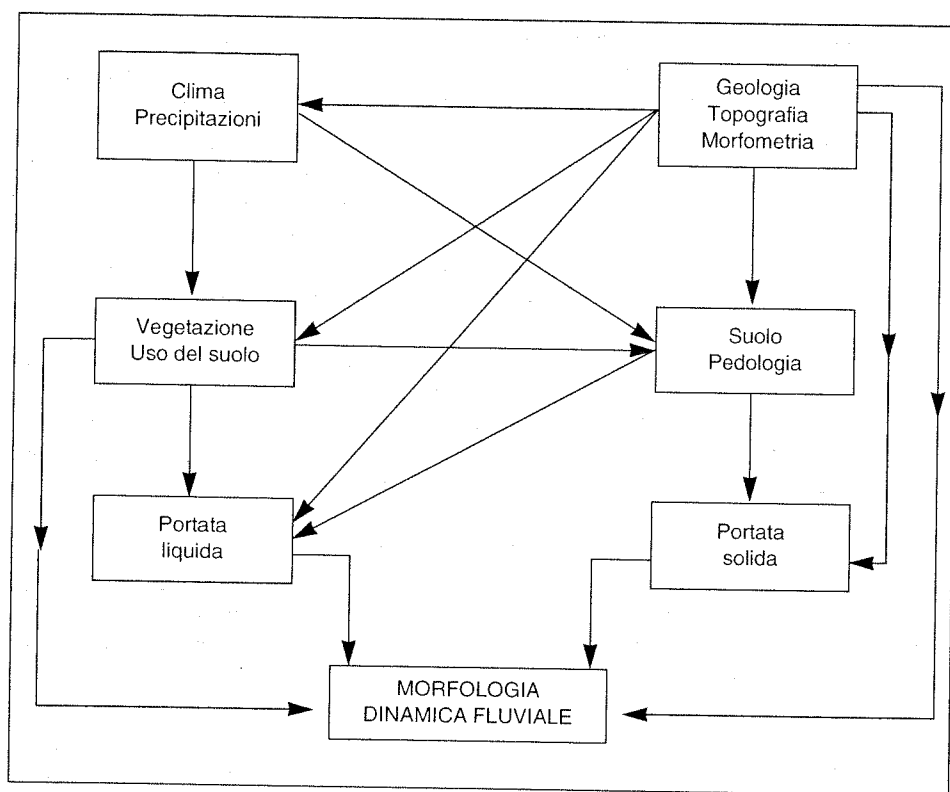


Fig. 1.1 – Rapporti tra i fattori che determinano la morfologia di un corso d'acqua (modificato da Dutto, 1995)

siti di varia genesi, più difficilmente è individuabile esternamente all'alveo una vera fascia di pertinenza dell'idrosistema ("fascia di pertinenza fluviale" o zona territoriale influenzata direttamente dal corso d'acqua). Nelle parti medie ed inferiori dei bacini montani (piane intravallive) il corso d'acqua è in grado di conquistarsi una fascia di divagazione tra i depositi accumulati sul fondovalle. In queste condizioni morfologiche lo spazio occupabile dall'idrosistema, e quindi anche dalle forme d'alveo possibili, non sempre dipende solo dalle potenzialità dinamiche intrinseche del corso d'acqua, ma è più o meno fortemente condizionato da fattori esterni, che interrompono la continuità morfologica del fondovalle (Govi e Turitto, 1994). Tali sono i restringimenti della valle, le locali emergenze del substrato roccioso, gli accumuli di frane e di colate detritiche con sbarramento temporaneo o permanente dei deflussi in alveo e soprattutto i frequenti conoidi alluvionali, edificati alla confluenza dei torrenti tributari. I conoidi di deiezione rappresentano il più significativo e ricorrente elemento morfologico attivo con cui il collettore principale deve competere e da cui è maggiormente influenzato nei suoi gradi di libertà, soprattutto nell'andamento planimetrico, a tratti fortemente imposto (Govi e Turitto, 1994). All'uscir-

ta nell'alta pianura i corsi d'acqua subiscono altri motivi di condizionamento nella loro naturale tendenza evolutiva, in quanto sono incassati entro depositi morenici e fluvio-glaciali o in antiche alluvioni. L'alveo è quasi sempre confinato in uno spazio relativamente ristretto, delimitato da alte scarpate; le configurazioni assunte, prevalentemente unicursali (un solo canale di flusso), sono in questo caso per lo più ereditate da più antichi andamenti planimetrici. Le estese pianure, al contrario, livellate o terrazzate che siano, rappresentano la situazione morfo-topografica più favorevole alla libera divagazione fluviale entro una fascia spesso molto ampia. In queste condizioni le forme assunte dal corso d'acqua dipendono tipologicamente solo dall'interazione tra le variabili idrologico-idrauliche ed i parametri granulometrici, sedimentologici e geometrici della piana in cui scorre (Govi e Turitto, 1994).

La descrizione e classificazione della morfologia, nonché la delimitazione della zona territoriale influenzata direttamente da un corso d'acqua, sono state oggetto, negli ultimi anni, di un processo di revisione critica che ha coinvolto la comunità scientifica internazionale e favorito un aggiornamento normativo della realtà italiana (D'Agostino, 1996). È, infatti, mutato in modo sostanziale l'approccio culturale e scientifico per la definizione e caratterizzazione, nel senso più esteso, dei termini *alveo fluviale* e *fiume*. Tale evoluzione è stata possibile anche in seguito ai moderni sviluppi teorici ed applicativi promossi nell'ambito dell'ingegneria ambientale, della morfologia fluviale, dell'ecologia del paesaggio, della pianificazione ecologica del territorio e della biologia applicata. Si è evidenziato, da una parte, come i fiumi costituiscono uno dei più essenziali e ricorrenti elementi del paesaggio e, dall'altra, che l'importanza del fiume non può essere circoscritta al mondo fisico ed alla sua imponente azione geografica, poiché si estende anche al regno vegetale ed animale e costituisce un ecosistema in cui si integrano fattori biotici e abiotici. Il degrado sia fisico sia biologico-chimico, che affligge la maggior parte dei nostri fiumi, ha accelerato questo processo di revisione critica. In particolare, i dissesti che sempre più frequentemente avvengono lungo le reti idrografiche, durante eventi di piena anche non straordinari, evidenziano come i danni sono amplificati, nella maggioranza dei casi, dalla presenza di insediamenti e di attività antropiche in quegli spazi destinati a subire, per loro natura, l'interazione con i corsi d'acqua. Questi ultimi sono, inoltre, l'unità fisiografica meno elevata rispetto al territorio circostante e dispongono di una certa capacità (limitata) di autodepurazione. Essi sono così diventati, in più di qualche situazione, un luogo di discarica e di veicolazione a valle di sostanze indesiderate. Fino ad alcuni decenni orsono l'idro-ecosistema fiume riusciva a smaltire, senza evidenti danni, tali sostanze, mentre ora non è più in grado di sostenere l'impatto delle attuali concentrazioni, con il risultato che in molti corsi d'acqua l'habitat originario è stato completamente distrutto. Tutto questo è oramai diffusamente noto anche a livello di opinione pubblica ed ha portato alla progressiva maturazione di una coscienza ambientale sulla necessità di recupero dei corsi d'acqua ed alla conseguente promozione di specifiche istanze nelle idonee sedi istituzionali. Le novità legislative si sono ripercosse sia nell'adozione di nuovi strumenti di pianificazione

in grado di rispondere alle recenti esigenze di tutela e di salvaguardia dell'ambiente fluviale (Lenzi e Paterno, 1997), sia nell'azione governativa con l'introduzione di concetti di "rinaturazione" da eseguire per la salvaguardia dell'habitat fluviale. Ne sono prova l'entrata in vigore: a) della Legge 18 maggio 1989, n. 183 – concernente le norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo – che costituisce il punto di riferimento per la pianificazione degli interventi di sistemazione idraulico-forestale, inquadrati nell'ambito del bacino idrografico e coordinati con gli strumenti generali di pianificazione territoriale; b) del DPCM n. 377 del 10 agosto 1988 e del DPCM del 27 dicembre 1988, che regola la normativa sulla Valutazione d'Impatto Ambientale a livello nazionale, nonché del DPR 12 aprile 1996, che coordina l'attuazione dell'Art. 40 della Legge 22 febbraio 1996, n. 146 concernente il recepimento delle disposizioni della Comunità Europea in materia di valutazione ambientale; c) delle leggi 36 e 37 del 5 gennaio 1994, che prevedono, oltre ad un utilizzo delle risorse idriche dei fiumi tale da non pregiudicare "la vivibilità dell'ambiente, l'agricoltura, la fauna e la flora acquatica, i processi geomorfologici e gli equilibri idrologici", un ruolo scientifico-culturale nella gestione delle golene fluviali a fini naturalistici; d) della Direttiva n. 16 del 18 luglio 1994 in materia di attività estrattiva emanata dall'Autorità di Bacino del Po, che indica come gli "interventi di rinaturazione degli ambiti fluviali" debbano essere "prioritariamente finalizzati alla riqualificazione e valorizzazione ambientale del corso d'acqua, con particolare attenzione al mantenimento ed ampliamento delle aree d'esondazioni" e "la riattivazione e la ricostruzione di ambienti umidi, il ripristino e l'ampliamento delle aree a vegetazione spontanea".

L'attuale orientamento della comunità scientifica per una sistemazione integrata degli ambiti fluviali che sia il più possibile in armonia con l'ecosistema considerato prevede, oltre ai classici metodi di tipo strutturale, l'utilizzo combinato di tecniche d'ingegneria biologica-naturalistica e di metodi di "ricostruzione" morfologica del corso d'acqua compatibili con la naturale tendenza dello stesso a raggiungere, nel medio-lungo periodo, una configurazione stabile (Kondolf, 1996). Gli interventi d'ingegneria naturalistica, a livello di collettore, mirano essenzialmente ad una riaffermazione della vegetazione riparia che, una volta insediata, può assolvere efficacemente ad una molteplicità di funzioni. Si ricordano fra le più importanti: la creazione di un anello d'unione tra l'ambiente terrestre e quello acquatico, la protezione delle scarpate dall'erosione, la formazione di una zona di filtro fra ambiente terrestre e collettore ("buffer strip"), il miglioramento del microclima, l'arricchimento dei microambienti acquatici e della varietà della fauna fluviale, l'aumento della capacità autodepurativa del corso d'acqua, l'incremento del valore paesaggistico-ricreazionale (Schweitzer, 1995).

Le metodiche di ripristino ambientale legate ad una "ricostruzione" morfologica del corso d'acqua sono, sia a livello di valutazione sia attuativo, molto meno diffuse delle metodologie classiche dell'ingegneria biologica-naturalistica. Tuttavia, nell'ambito della comunità scientifica, la ricerca di una classificazione morfologica dei corsi d'acqua finalizzata alle problematiche del recupero

ambientale ha subito, negli ultimi anni, un notevole impulso. Alcune metodologie (Rosgen, 1994), oltre a proporre una classificazione più accurata dei corsi d'acqua, collegano ciascun tipo morfologico a diverse intensità dei fattori fisico-ambientali coinvolti nella sistemazione di un fiume. Fra questi fattori compaiono il "recupero potenziale" (*recovery potential*) e l'influenza esercitata dalla vegetazione sulla stabilità dell'alveo. Alla base di quest'indirizzo vi è la necessità di consolidare un approccio pluridisciplinare volto a promuovere le principali indagini conoscitive che devono precedere ed affiancare piani, programmi e progetti che riguardano un corso d'acqua. Si evidenzia, così, il ruolo dell'analisi integrata degli ambiti fluviali e la rilevante importanza che essi rivestono a livello ecosistemico, consolidando nello stesso tempo il concetto di compatibilità e coesistenza delle esigenze di salvaguardia e di tutela ambientale e di sicurezza idraulica del territorio (Lenzi e Paterno, 1997).

1.2 Morfologia fluviale

Con il termine *morfologia fluviale* s'intende l'associazione dalle varie forme assunte dai principali elementi fisiografici, che compongono un fiume. Le dimensioni di queste forme, pur variando per unità di paesaggio diverse, mantengono rapporti relativamente costanti nel tempo e contribuiscono a realizzare una configurazione d'alveo con caratteristiche proprie e univoche (Billi, 1995). Non esistono limiti netti tra le varie tipologie morfologiche, ma piuttosto un passaggio continuo da una forma all'altra. Per questo motivo, e per il fatto che a definire la morfologia di un corso d'acqua contribuiscono diversi elementi, è spesso difficile identificare le varie configurazioni d'alveo attraverso un solo parametro. Una prima classificazione si può ottenere suddividendo i fiumi in due categorie principali: *alvei a fondo fisso* ed *alvei a fondo mobile*.

I primi scorrono sulla roccia e sono pressoché privi di sedimenti, perciò la loro morfologia dipende in gran parte dalle caratteristiche geologiche del terreno su cui sono incisi, mentre le caratteristiche idrauliche della corrente hanno un'importanza relativa. Si sviluppano prevalentemente in zone montane o in corrispondenza di soglie geolitologiche e sono caratterizzati da pendenze elevate (Billi, 1994).

I fiumi con alveo a fondo mobile scorrono, invece, sui propri sedimenti, realizzando adattamenti morfologici (dimensioni, forma, tracciato, pendenza) al variare delle condizioni generali d'assetto del bacino e delle condizioni di flusso. Tutto ciò avviene attraverso l'erosione del letto e delle sponde e il trasporto e la deposizione dei sedimenti, contribuendo così non solo alla modellazione dell'alveo, ma anche alla formazione di una pianura alluvionale. Per questo motivo vengono anche chiamati *corsi d'acqua alluvionali* (Billi, 1994).

Tra una forma d'alveo ed un'altra non esistono, come si è detto, confini precisi, ma piuttosto un passaggio continuo da un tipo all'altro, tanto da richiedere più parametri per distinguere le varie configurazioni. I parametri più indicativi, utilizzati da diversi Autori nelle loro classificazioni e descrizioni, sono di seguito riportati.

1. *Sinuosità*: è un parametro proposto da Leopold et al. (1964) ed è definito come il rapporto tra la lunghezza del corso d'acqua e la lunghezza dell'asse della valle. Tale parametro esprime correttamente la continuità di variazione planimetrica, ma da solo non è sufficiente a distinguere configurazioni d'alveo con la stessa sinuosità, che possono presentarsi assai diverse per quanto riguarda la dinamica del canale ed i caratteri morfologico-sedimentari.
2. *Granulometria*: la valutazione della composizione granulometrica del materiale d'alveo dei corsi d'acqua è di notevole importanza nelle indagini aventi per oggetto il trasporto solido, la resistenza al moto o all'erosione, l'ambiente acquatico e la valutazione di eventuali modifiche della forma e del profilo dei fiumi.
3. *Trasporto solido totale*: si considerano fondamentalmente le due componenti del trasporto solido al fondo e di quello in sospensione.
4. *Intrecciamento*: esprime il numero di barre o isole presenti in un dato tratto; questo parametro permette di distinguere gli alvei fluviali con un singolo canale (unicursali) da quelli con più canali (pluricursali). È generalmente espresso dal rapporto tra la larghezza del collettore in condizione di piena, quando le forme di fondo sono completamente sommerse, e la larghezza dello stesso in condizioni di flusso normali (nel caso di alveo pluricursale quest'ultima viene calcolata sommando le larghezze dei vari canali).
5. *Incassamento*: determina se il fiume scorre profondamente inciso nel piano della valle o nei propri sedimenti; questo parametro è anche definito come "confinamento" verticale del fiume e grado d'incisione nel piano della valle, ossia come rapporto tra la larghezza dell'area d'esondazione e la larghezza del pelo libero corrispondente al valore della portata a piene rive (Kellerhals, 1972; Rosgen, 1994, 1996).
6. *Rapporto larghezza / profondità*: descrive le dimensioni e il fattore di forma come rapporto tra la larghezza del canale da ripa a ripa e la relativa profondità media (Rosgen, 1994).
7. *Pendenza*: è uno degli elementi di maggiore importanza nella determinazione delle caratteristiche idrauliche, morfologiche e biologiche di un corso d'acqua.
8. *Profilo longitudinale*: è usato come supporto per la suddivisione dei fiumi in categorie collegate alla pendenza, le quali riflettono la tipologia morfologica.
9. *Sezione trasversale*: la forma della sezione trasversale dà indicazioni sul modo in cui un canale è inciso in una valle; si possono anche trarre informazioni concernenti pianure alluvionali, come pure si può prendere visione dell'aspetto dimensionale dell'alveo.
10. *Planimetria*: illustra in che modo un corso d'acqua defluisce all'interno del proprio bacino idrografico, evidenziandone l'andamento unicursale o pluricursale, la relativa sinuosità, la presenza di meandri, di isole e di barre laterali o mediane.

Un altro criterio di classificazione è quello che distingue gli alvei fluviali con

un singolo canale da quelli multicanale. A tale proposito Rust (1978) ha proposto un particolare parametro d'intrecciamento che, combinato con la sinuosità, definisce le principali forme fluviali.

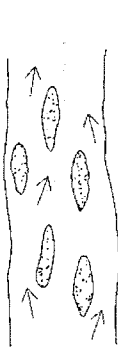


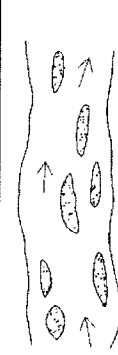


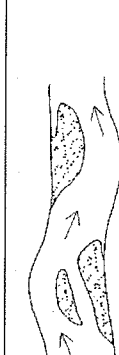

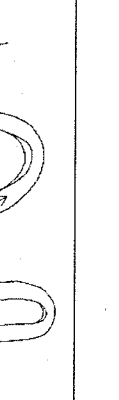
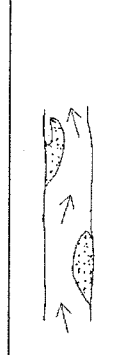

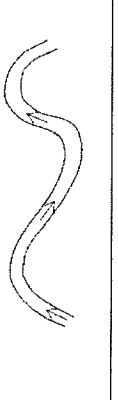
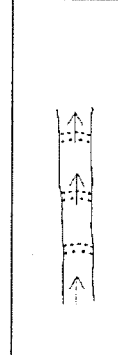
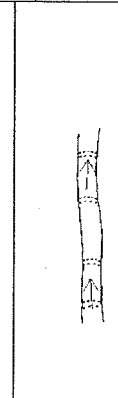
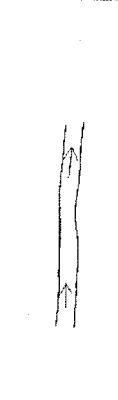
Nel campo della geomorfologia esiste, dunque, un'abbondante produzione scientifica riguardante la classificazione delle forme fluviali. Ricordiamo brevemente quella proposta da Mollard (1973) che, su base fotointerpretativa, distingue un continuum di forme planimetriche (Fig. 1.2) in stretta relazione con il trasporto solido totale, il rapporto tra trasporto solido al fondo e trasporto solido totale, le caratteristiche granulometriche dei sedimenti in cui l'alveo è inciso. Anche pendenza e sinuosità dell'alveo, pur nei limiti approssimati di un quadro descrittivo globale, mutano regolarmente all'interno delle forme planimetriche descritte da Mollard (1973).

Schumm (1977, 1981) ha proposto una classificazione su base sperimentale, nella quale le forme planimetriche dei corsi d'acqua sono messe in relazione con il meccanismo dominante con cui avviene il trasporto solido (Fig. 1.3). È stata introdotta l'utile divisione tra corsi d'acqua ad uno o più canali principali di deflusso e, tra gli alvei ad un solo canale, una distinzione in base al grado di sinuosità. Si ricordano anche brevemente i lavori di Kellerhals, Church e Bray (1976) che, rilevando e analizzando numerosi corsi d'acqua del Canada e partendo dai processi che inducono trasformazioni planimetriche, suddividono i corsi d'acqua in differenti tipologie e considerano le differenze tra andamenti planimetrici, isole e barre fluviali e li differenziano secondo il tipo d'attività laterale che si sviluppa lungo gli alvei (Fig. 1.4).

Brice (1984), anch'egli sulla base di studi fotointerpretativi, considera le forme planimetriche dei corsi d'acqua secondo la loro sinuosità, i tipi di forme laterali d'accrescimento o di barre laterali (point bar), il grado d'intrecciamento (braiding) e il grado di ramificazione (anastomosing) (Fig. 1.5). In seguito a questi parametri, propone, inoltre, una serie di quattro alveo-tipi più ricorrenti in natura.

Le diverse tipologie morfologiche dei corsi d'acqua possono essere raggruppate, secondo Billi (1994), in cinque configurazioni d'alveo principali: idrosistemi a canali rettilinei, a canali intrecciati, pseudomeandriiformi, meandriiformi ed anastomizzati (Fig. 1.6). Bisogna a questo proposito ricordare che purtroppo esistono ancora incertezze per quanto riguarda i rapporti tra la morfologia e alcuni suoi parametri caratteristici. Talora, pur riconoscendo certi meccanismi che caratterizzano la dinamica di un alveo, non si riesce a distinguere chiaramente quale sia vera causa che origina alcuni assetti morfologici. Di seguito vengono descritte le caratteristiche salienti delle diverse tipologie illustrate da Billi (1994), cercando di evidenziare anche gli aspetti dinamici dell'alveo oltre che quelli morfologici in senso stretto.

A) *Idrosistema a canali rettilinei*: i canali rettilinei sono piuttosto rari in natura, generalmente non si riscontrano tratti rettilinei di lunghezza superiore a dieci volte la larghezza dell'alveo e, anche quando sono presenti, il filone principale della corrente segue un percorso sinuoso spostandosi da una sponda all'altra. I canali rettilinei si formano soprattutto nelle zone montane dove le pendenze

1			
2			
3			
4			
5			
A: Canali a trasporto solido al fondo		B: Canali a trasporto solido misto	C: Canali a prevalente trasporto solido in sospensione

3- 1.3 - Proposta di classificazione degli alveo-tipi (modificato da Schumm, 1981)

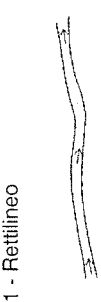



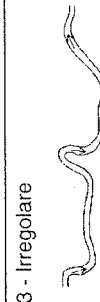
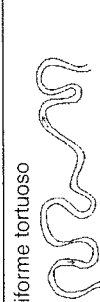
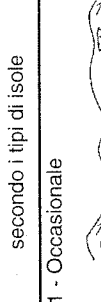
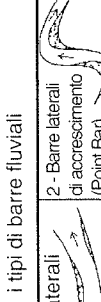


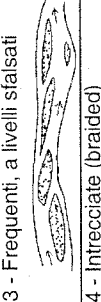
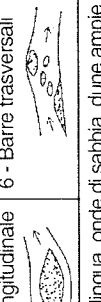
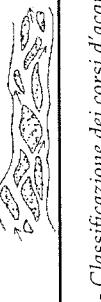
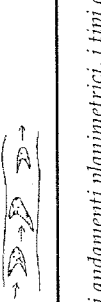
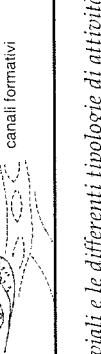






A - Classificazione dei corsi d'acqua secondo gli andamenti planimetrici		D - Classificazione dei corsi d'acqua secondo le differenti tipologie di attività laterale	
1 - Rettilineo		4 - Meandriforme irregolare	
2 - Sinuoso		5 - Meandriforme regolare	
3 - Irregolare		6 - Meandriforme tortuoso	
B - Classificazione secondo i tipi di isole		C - Classificazione secondo i tipi di barre fluviali	
1 - Occasionale		1 - Barre laterali	
2 - Frequenti		3 - Barre di confluenza	
3 - Frequenti, a livelli sfalsati		5 - Barra longitudinale	
4 - Intrecciate (braided)		6 - Barre trasversali	
		5 - Barre a lingua, onde di sabbia, dune ampie	
		2 - Barre laterali di accrescimento (Point Bar)	
		4 - Barre mediane	
		6 - Barre trasversali	
		5 - Attività laterale irregolare	
		6 - Avulsione	
			

Fig. 1.4 - Classificazione dei corsi d'acqua secondo gli andamenti planimetrici, i tipi di isole, di barre fluviali e le differenti tipologie di attività laterale (modificato da Kellerhals et al., 1976)

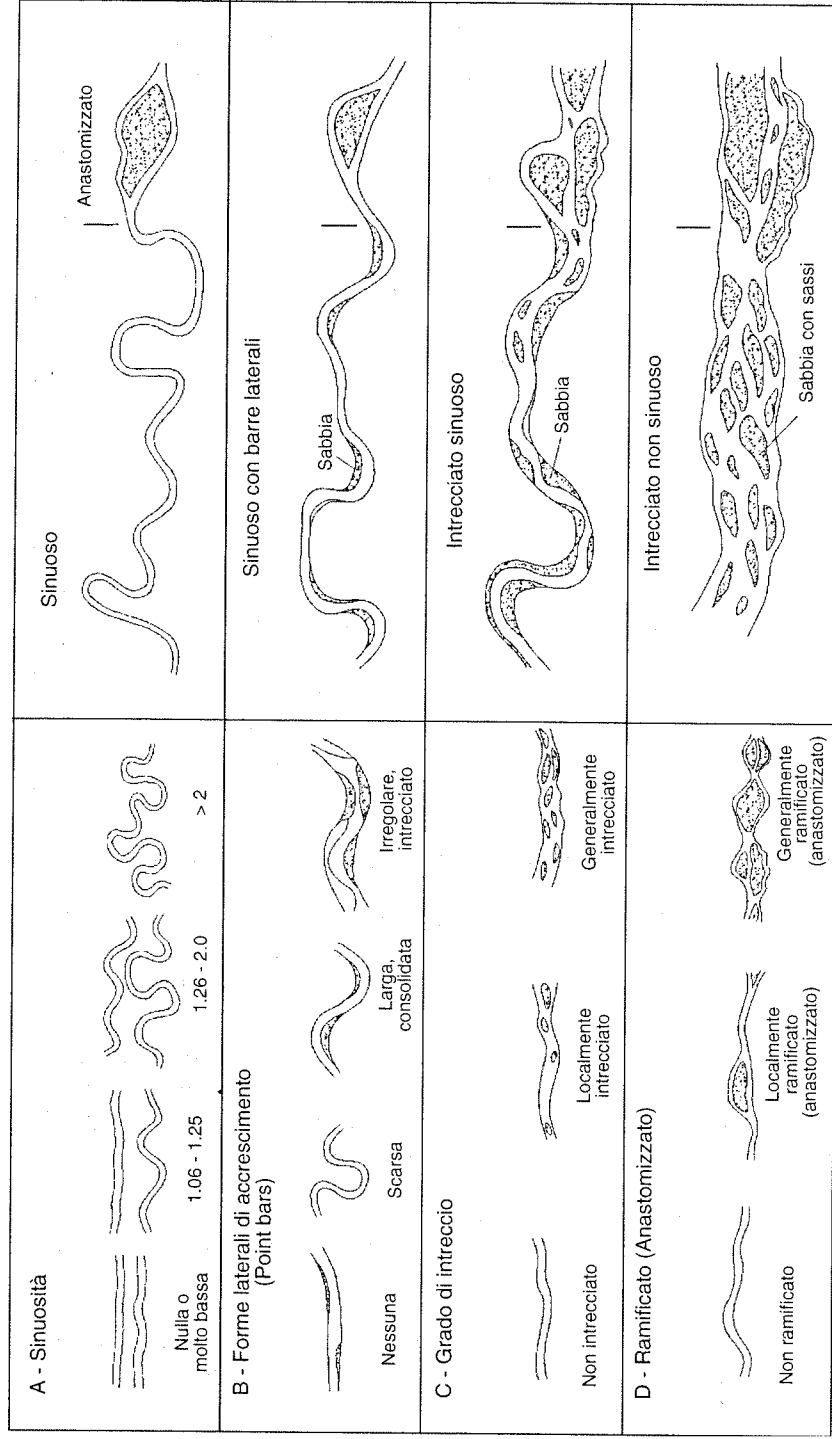


Fig. 1.5 - Classificazione dei fiumi basata sulle caratteristiche planimetriche: sinuosità, tipi di barra fluviale, grado di intrecciamento e di ramificazione. Vengono riportate le tipologie più ricorrenti (modificato da Brice, 1984)

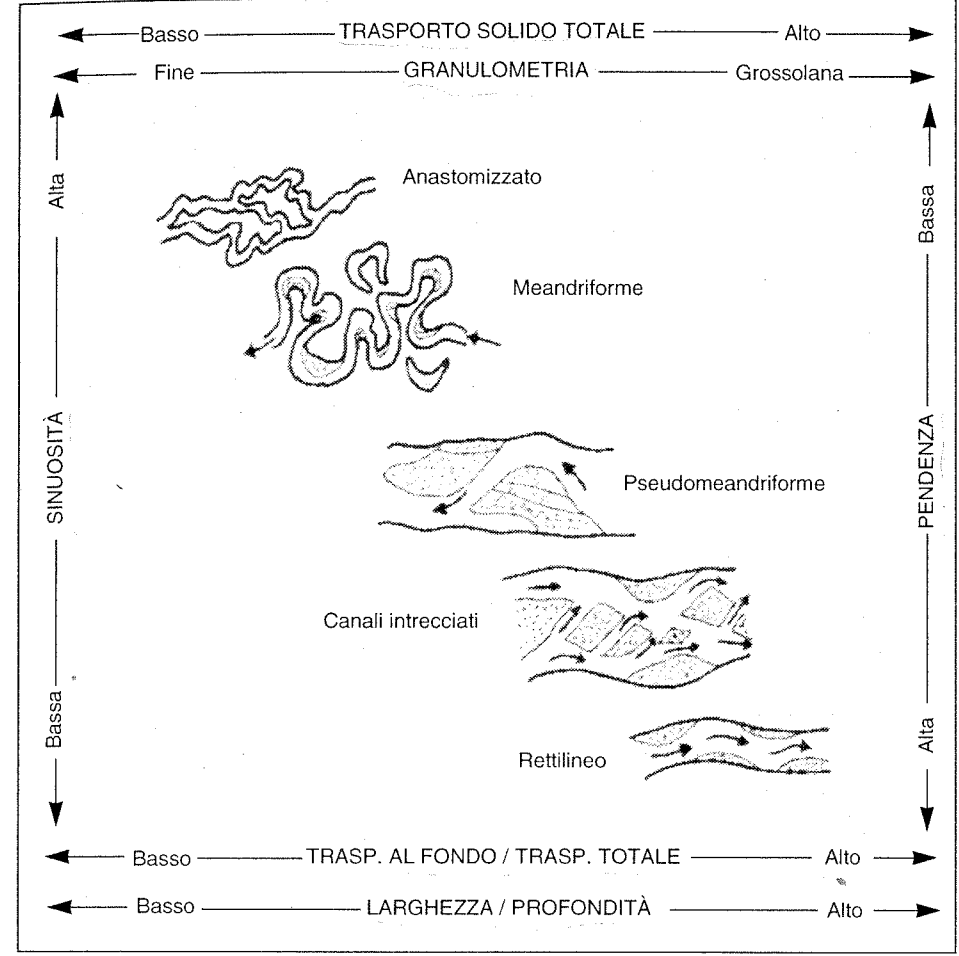


Fig. 1.6 - Schema delle cinque principali configurazioni d'alveo (modificato da Billi, 1994)

B) Idrosistema pluricursale a canali multipli intrecciati (*braided*): la formazione di questa tipologia è favorita da condizioni di alta energia con forte pendenza del fondovalle, da portate molto variabili, da abbondante alimentazione e disponibilità di sedimenti, da elevate quantità di materiale trasportato al fondo e da sponde non coesive. In genere hanno un rapporto fra larghezza e profondità superiore a 40 ed una pendenza inferiore al 4%.

In questi fiumi (*braided*) durante i periodi di magra si possono identificare due o più canali, che si intrecciano ripetutamente, separati da barre longitudinali o da isole a forma di losanga. L'intreccio dei canali si estende su un'ampia porzione di territorio, occupando la piana alluvionale delimitata, in genere, da terrazzi ben incisi e da depositi più antichi. L'alveo si snoda così con bassi indici di sinuosità ed è tipicamente caratterizzato da canali poco incavati (Billi, 1994).

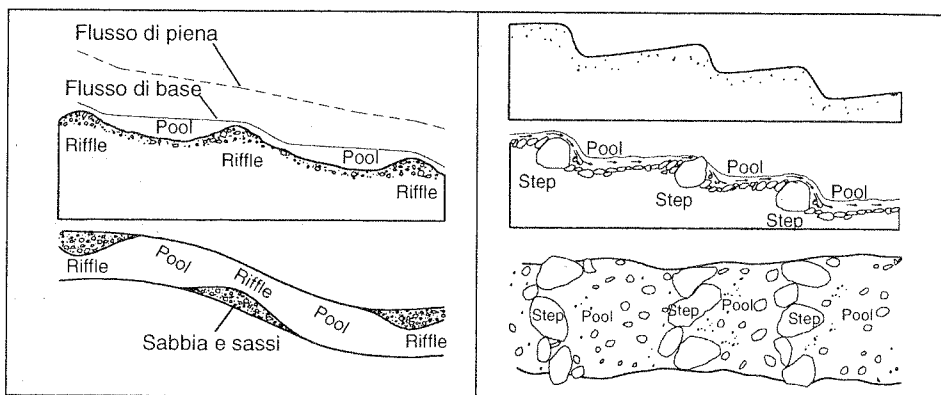


Fig. 1.7 - Profilo longitudinale e planimetria delle sequenze a riffle pool e a step pool

Negli idrosistemi *braided* si osservano due tipi di barre differenziate altimetricamente. Quelle più basse e continuamente soggette a fenomeni di sommersione, erosione e/o accrezione e quelle più alte e stabili raggiunte dall'acqua soltanto in concomitanza di eventi di piena con tempo di ritorno apprezzabile. Le caratteristiche che più differenziano le barre sono la pezzatura del materiale e la presenza di vegetazione: materiale più grossolano con vegetazione scarsa o assente in quelle basse ed instabili e, viceversa, materiale di diametro più contenuto con vegetazione diffusa in quelle più alte (isole). La presenza di vegetazione sulle barre più elevate determina, in particolare, un aumento della scabrezza e, conseguentemente, un rallentamento della corrente ed un incremento del tirante; queste condizioni favoriscono la sedimentazione di materiale fine ed un'ulteriore stabilizzazione della barra.

Una caratteristica peculiare dei fiumi a canali intrecciati è la notevole differenza tra l'alveo di magra e quello di piena ordinaria. In concomitanza delle portate di magra si mantiene una configurazione a canali intrecciati mentre, con portate più elevate, il deflusso va ad interessare l'intero alveo (Fig. 1.8).

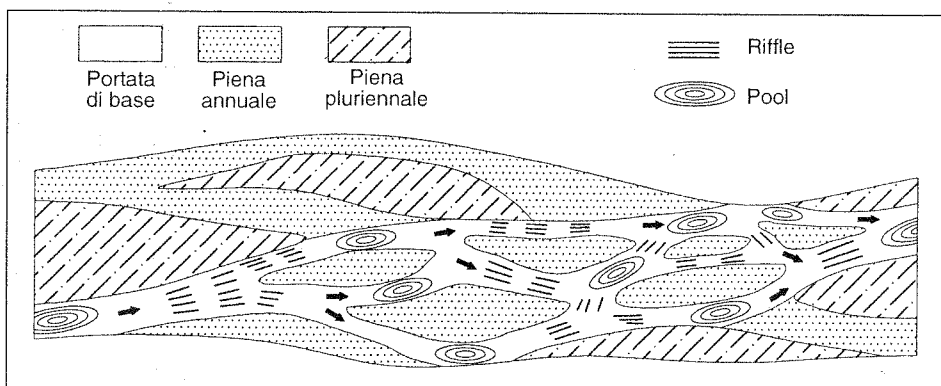


Fig. 1.8 - Rappresentazione schematica di un'idrosistema a canali multipli intrecciati (modificato da Billi, 1994)

Legati all'evoluzione dell'alveo nel corso degli eventi di piena sono anche degli ampi e frequenti spostamenti tanto delle barre quanto dei canali, i quali, a loro volta, possono essere abbandonati per periodi più o meno lunghi per poi essere rimpinguati nuovamente grazie ad un aumento della portata. Lo spostamento delle barre avviene sia per distruzione e rigenerazione sia per migrazione (erosione a monte ed accrescimento sottocorrente). La loro mobilità è, in alcuni casi, ridotta dalla presenza della vegetazione ed è comunque subordinata alla posizione occupata in alveo.

c) *Idrosistema unicursale pseudomeandriforme (wandering rivers)*: sono sistemi fluviali a bassa o media sinuosità (intorno ad 1.3-1.5) caratterizzati da una configurazione intermedia fra i sistemi a canali intrecciati e i fiumi meandriformi. Tra tutti i tipi di fiumi considerati, quelli pseudomeandriformi sono sicuramente i meno studiati e quindi meno noti. Solo di recente, infatti, sono state condotte ricerche sulle loro caratteristiche idraulico-morfologiche. Questi sistemi fluviali sono tipicamente costituiti da barre laterali alternate, che sovente presentano una forma a mezza luna o a losanga più o meno allungata, e da un unico canale attivo (Fig. 1.9). Può spesso essere presente un secondo canale, generalmente aderente ad una delle due sponde, di larghezza variabile e comunque non superiore a quella del canale principale (Billi, 1994).

Una peculiarità tipica di questi corsi d'acqua consiste nella trasformazione in fiumi rettilinei anche con piene non eccezionali, purché l'altezza dell'acqua sia tale da ricoprire buona parte delle barre. Tutto ciò in considerazione del fatto che i sistemi pseudomeandriformi possiedono sponde con andamento pressappoco parallelo e rettilineo. È invece durante le fasi di morbida che il sistema fluviale acquista il suo andamento sinuoso, scorrendo tra le barre laterali alternate. La sinuosità dei sistemi pseudomeandriformi può quindi variare, a seconda della portata, da valori superiori a 1.5, tipici dei sistemi meandriformi, a valori molto prossimi ad 1, tipici dei sistemi fluviali rettilinei o a canali multipli intrecciati. È questo l'aspetto peculiare che li caratterizza e che ha indotto a considerarli come una configurazione morfologica a sé stante (Billi, 1994).

Alcuni Autori considerano i "wandering rivers" come una configurazione non definitiva che tende ad evolvere in quella meandriforme o in quella a canali intrecciati. Essi sarebbero quindi idraulicamente e geomorfologicamente instabili e basterebbe dunque una piccola variazione dei parametri in gioco per modificare spontaneamente il tipo di tracciato. Queste considerazioni inducono a pensare che i fiumi pseudomeandriformi siano piuttosto rari, anche se, nelle zone appenniniche e nella pianura padano-veneta, sono relativamente comuni. Ciò implica che i fattori di disequilibrio, tipici di questi fiumi, si mantengono quasi permanentemente e di conseguenza possono essere considerati, piuttosto, come fattori di equilibrio dinamico (Billi, 1994).

D) *Idrosistema unicursale meandriforme*: sono corsi d'acqua il cui tracciato planimetrico mostra anse curvilinee, dette anche meandri, che si susseguono in modo più o meno ripetitivo ed uniforme. Questi sistemi fluviali hanno un valo-

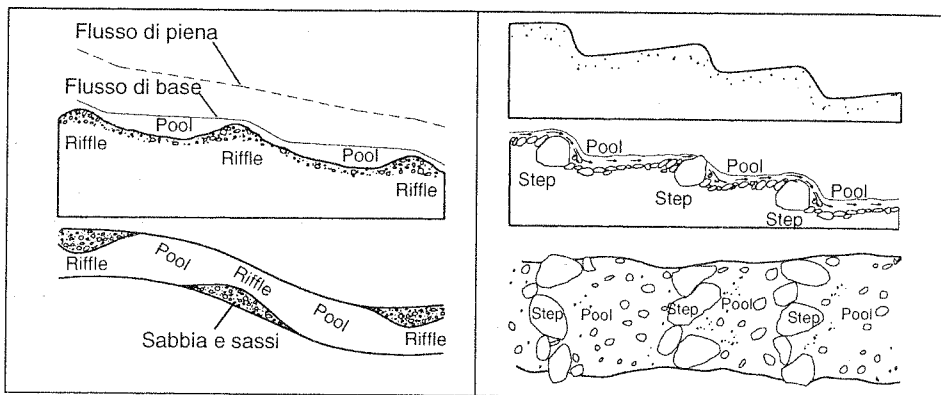


Fig. 1.7 - Profilo longitudinale e planimetria delle sequenze a riffle pool e a step pool

Negli idrosistemi *braided* si osservano due tipi di barre differenziate altimetricamente. Quelle più basse e continuamente soggette a fenomeni di sommersione, erosione e/o accrezione e quelle più alte e stabili raggiunte dall'acqua soltanto in concomitanza di eventi di piena con tempo di ritorno apprezzabile. Le caratteristiche che più differenziano le barre sono la pezzatura del materiale e la presenza di vegetazione: materiale più grossolano con vegetazione scarsa o assente in quelle basse ed instabili e, viceversa, materiale di diametro più contenuto con vegetazione diffusa in quelle più alte (isole). La presenza di vegetazione sulle barre più elevate determina, in particolare, un aumento della scabrezza e, conseguentemente, un rallentamento della corrente ed un incremento del tirante; queste condizioni favoriscono la sedimentazione di materiale fine ed un'ulteriore stabilizzazione della barra.

Una caratteristica peculiare dei fiumi a canali intrecciati è la notevole differenza tra l'alveo di magra e quello di piena ordinaria. In concomitanza delle portate di magra si mantiene una configurazione a canali intrecciati mentre, con portate più elevate, il deflusso va ad interessare l'intero alveo (Fig. 1.8).

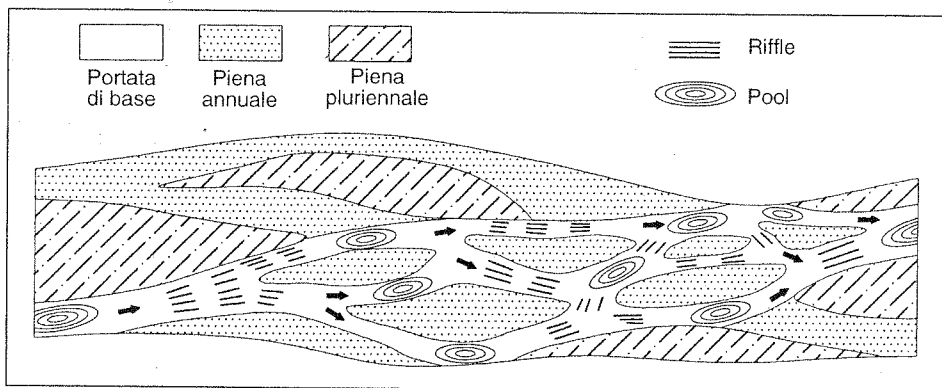


Fig. 1.8 - Rappresentazione schematica di un'idrosistema a canali multipli intrecciati (modificata da Billi, 1994)

Legati all'evoluzione dell'alveo nel corso degli eventi di piena sono anche degli ampi e frequenti spostamenti tanto delle barre quanto dei canali, i quali, a loro volta, possono essere abbandonati per periodi più o meno lunghi per poi essere rimpinguati nuovamente grazie ad un aumento della portata. Lo spostamento delle barre avviene sia per distruzione e rigenerazione sia per migrazione (erosione a monte ed accrescimento sottocorrente). La loro mobilità è, in alcuni casi, ridotta dalla presenza della vegetazione ed è comunque subordinata alla posizione occupata in alveo.

c) *Idrosistema unicursale pseudomeandriforme (wandering rivers)*: sono sistemi fluviali a bassa o media sinuosità (intorno ad 1.3-1.5) caratterizzati da una configurazione intermedia fra i sistemi a canali intrecciati e i fiumi meandriformi. Tra tutti i tipi di fiumi considerati, quelli pseudomeandriformi sono sicuramente i meno studiati e quindi meno noti. Solo di recente, infatti, sono state condotte ricerche sulle loro caratteristiche idraulico-morfologiche. Questi sistemi fluviali sono tipicamente costituiti da barre laterali alternate, che sovente presentano una forma a mezza luna o a losanga più o meno allungata, e da un unico canale attivo (Fig. 1.9). Può spesso essere presente un secondo canale, generalmente aderente ad una delle due sponde, di larghezza variabile e comunque non superiore a quella del canale principale (Billi, 1994).

Una peculiarità tipica di questi corsi d'acqua consiste nella trasformazione in fiumi rettilinei anche con piene non eccezionali, purché l'altezza dell'acqua sia tale da ricoprire buona parte delle barre. Tutto ciò in considerazione del fatto che i sistemi pseudomeandriformi possiedono sponde con andamento pressappoco parallelo e rettilineo. È invece durante le fasi di morbida che il sistema fluviale acquista il suo andamento sinuoso, scorrendo tra le barre laterali alternate. La sinuosità dei sistemi pseudomeandriformi può quindi variare, a seconda della portata, da valori superiori a 1.5, tipici dei sistemi meandriformi, a valori molto prossimi ad 1, tipici dei sistemi fluviali rettilinei o a canali multipli intrecciati. È questo l'aspetto peculiare che li caratterizza e che ha indotto a considerarli come una configurazione morfologica a sé stante (Billi, 1994).

Alcuni Autori considerano i "wandering rivers" come una configurazione non definitiva che tende ad evolvere in quella meandriforme o in quella a canali intrecciati. Essi sarebbero quindi idraulicamente e geomorfologicamente instabili e basterebbe dunque una piccola variazione dei parametri in gioco per modificare spontaneamente il tipo di tracciato. Queste considerazioni inducono a pensare che i fiumi pseudomeandriformi siano piuttosto rari, anche se, nelle zone appenniniche e nella pianura padano-veneta, sono relativamente comuni. Ciò implica che i fattori di disequilibrio, tipici di questi fiumi, si mantengono quasi permanentemente e di conseguenza possono essere considerati, piuttosto, come fattori di equilibrio dinamico (Billi, 1994).

D) *Idrosistema unicursale meandriforme*: sono corsi d'acqua il cui tracciato planimetrico mostra anse curvilinee, dette anche meandri, che si susseguono in modo più o meno ripetitivo ed uniforme. Questi sistemi fluviali hanno un valo-

no i vari rami non sono barre mobili, ma porzioni della pianura alluvionale le cui dimensioni sono in genere pari a svariate volte la larghezza del canale (Billi, 1994).

I fiumi anastomizzati sono piuttosto rari: ciò dipende probabilmente dalla difficoltà con cui si verifica in natura un'ampia concomitanza di situazioni e di fattori geomorfologici, tettonici e climatici. Sembra che si formino in aree dove esistono condizioni di rapida subsidenza o di innalzamento del livello di base. Conseguentemente, il sistema fluviale cerca di raggiungere e mantenere un certo equilibrio dinamico con la situazione in lenta, ma costante, evoluzione accelerando i processi deposizionali. Il risultato è un tracciato multialveo caratterizzato da pendenze bassissime. La configurazione morfologica anastomizzata evidenzia, inoltre, bassa variabilità delle portate, scarso trasporto solido in sospensione e quasi totale assenza di trasporto solido al fondo (Billi, 1994).

Con particolare riferimento al bacino padano ed alla pianura padano-veneta altri Autori (Govi e Turitto, 1993; Dutto e Maraga, 1994; Dutto, 1995) hanno individuato quattro principali tipologie di sistemi fluviali ricorrenti, con tutti i termini intermedi di passaggio. Esse sono: a) idrosistema a canali multipli intrecciati; b) idrosistema ad alveo pluricursale; c) idrosistema unicursale del tipo "wandering river", d) idrosistema unicursale. Le principali caratteristiche dell'alveo pluricursale fanno rientrare in questa categoria sia gli idrosistemi a canali multipli intrecciati, sia alcuni canali pseudomeandriformi.

L'idrosistema pluricursale (Govi e Turitto, 1993; Dutto, 1995) si distingue per la presenza, durante le portate di magra, di due o più canali principali, solitamente ben individuabili e relativamente più stabili di quelli del sistema a canali multipli intrecciati. Esempi di riferimento possono essere il Fiume Ticino a Bofalora, il Fiume Piave a Ponte di Piave.

Dutto (1995) sottolinea, inoltre, come il sistema fluviale pseudomeandriforme sia una tipologia derivata da forme pluricursali a seguito della progressiva perdita dei canali alternativi soprattutto a causa di interventi antropici legati all'occupazione del suolo e del territorio e allo sfruttamento delle portate liquide e del materiale solido dell'alveo. Considerando una sezione trasversale dell'alveo, si nota un progressivo approfondimento dell'alveo e l'abbandono dei canali secondari del sistema pluricursale originario. Questa trasformazione, per i corsi d'acqua della pianura padano-veneta, è molto recente e risale a non più di 3-4 decenni (si ricordano ad esempio il torrente Orco a Pratoggio, il fiume Taro a Viarolo, il fiume Brenta a Fontaniva).

Govi e Turitto (1993) e Dutto (1995) descrivono l'idrosistema unicursale composto da un canale unico, il quale può essere più o meno sinuoso; ove l'indice di sinuosità supera 1.5 lo definiscono meandriforme.

Ai tratti meandriformi si associano, soprattutto nella bassa pianura non più terrazzata, tratti d'alveo rettilinei, in molti casi resi tali da interventi di sistemazione e di regolazione idraulica da lungo tempo realizzati. Allo stato attuale i maggiori corsi d'acqua unicursali della pianura padano-veneta sono per lunghi tratti arginati, la fascia di pertinenza fluviale appare in questo caso identificabile con lo spazio racchiuso dagli argini maestri (area oolenale)

La dinamica fluviale, durante le piene straordinarie, ha come effetto più immediato l'esonazione delle acque direttamente sul territorio antropizzato, non essendoci più tra questo e l'alveo inciso alcuno spazio naturale destinato all'espansione delle piene (esempi di riferimento sono i fiumi: Tanaro a Felizzano, Adda a Cavenago, Piave vicino alla foce).

Un altro criterio di classificazione dei corsi d'acqua è quello proposto da Trevisan (1967) che distingue (Fig. 1.12):

1. il bacino montano di formazione, in cui il corso d'acqua assume un carattere tipicamente torrentizio (grande variabilità delle portate, impetuosità e brevi tempi di formazione delle piene) con morfologia strettamente dipendente dalla natura geologica e litologica del bacino e della valle attraversata. Possono in tale zona individuarsi successioni di tratti a forte pendenza, incisi nella valle, con tendenza allo scavo e all'erosione di sponda, tratti a minore pendenza con larghezza d'alveo relativamente ampia e con tendenza al deposito di sedimento (tratti in alluvionamento), tratti in sostanziale equilibrio, ad esempio alvei o gole rocciose a fondo fisso. I sedimenti costituenti l'alveo sono di tipo incoerente con dimensioni molto irregolari che possono raggiungere anche il metro e più;
2. dopo lo sbocco in pianura, il corso d'acqua si allarga generalmente in alvei con asse sostanzialmente rettilineo e con morfologia intrecciata o ramificata (*braided*), caratterizzata da molteplici rivoli ed isolotti che irregolarmente si sviluppano, si modificano e si estinguono all'interno di un letto di larghezza molto più ampia di quella che occorrerebbe per il contenimento della portata di piena. I sedimenti sono di tipo incoerente e granulometria molto eterogenea con dimensioni massime dell'ordine delle decine di centimetri (ciottoli);
3. se il corso d'acqua non incontra un ricettore a valle del tratto intrecciato, il fiume assume una morfologia meandriforme con alveo ben definito. I sedimenti costituenti il letto sono di tipo coesivo e appartenenti alla classe granulometrica sabbio-limoso.

Con riferimento alle condizioni d'equilibrio di questi corsi d'acqua, la teoria dell'equilibrio limite interpreta bene la geometria della sezione trasversale solo negli alvei in alluvioni coesive (ad esempio nella zona a meandri in corrispondenza dei brevi tratti rettilinei interposti tra i meandri), dove i sedimenti, sia del fondo, sia delle sponde, si trovano sostanzialmente nelle medesime condizioni di stabilità. La teoria cade in difetto negli alvei in alluvioni incoerenti, come nel caso degli alvei intrecciati, dove i sedimenti delle sponde sono in condizioni meno stabili di quelli giacenti sul fondo (Paoletti, 1991).

Le grandezze fondamentali per interpretare la tipologia a canali intrecciati e a meandri sono: la pendenza media, la dimensione granulometrica media dei sedimenti e la portata cosiddetta formativa. Quest'ultima può essere definita come la portata che, nell'ampio intervallo di variabilità delle portate fluviali, è responsabile della formazione della geometria della sezione trasversale.

La portata di magra, la cui durata è piuttosto prolungata ma la cui entità è modesta, è responsabile della geometria del letto di magra negli alvei a sezione definita, tipo quelli a meandri, o dei molteplici temporanei letti di magra degli alvei intrecciati.

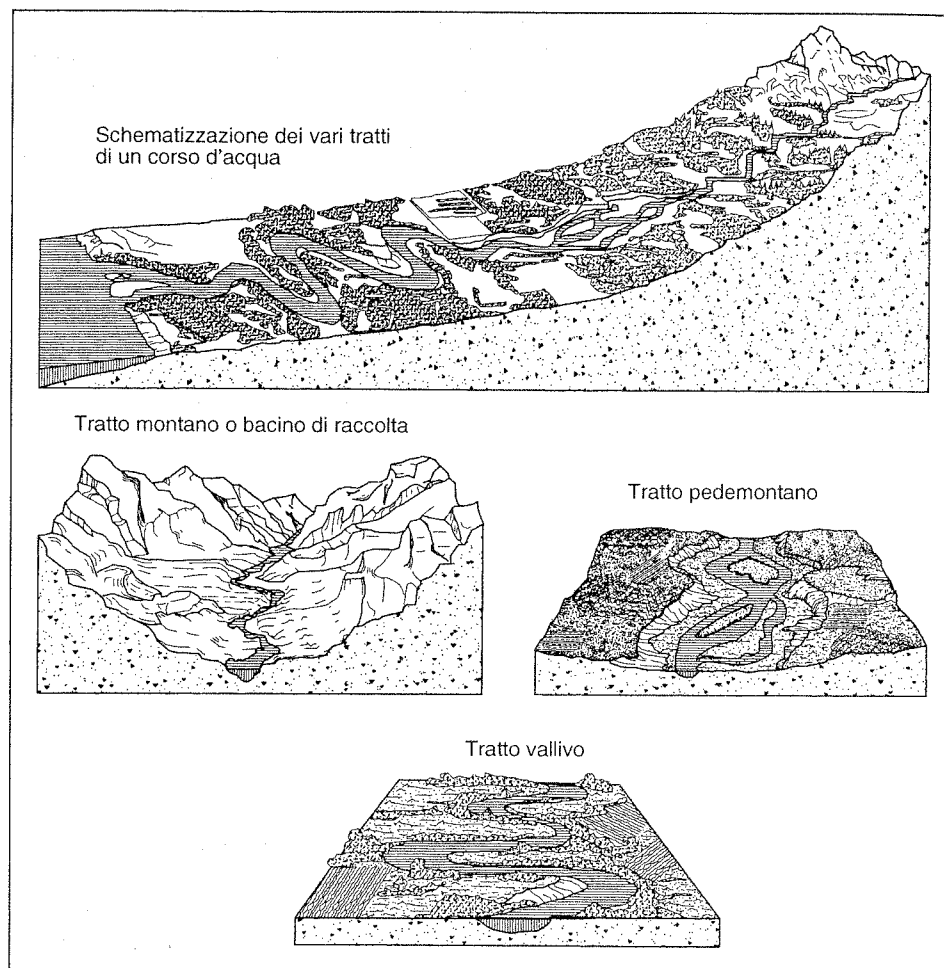


Fig. 1.12 - Schematizzazione dei vari tratti di un corso d'acqua (modificato da Paoletti, 1991)

La portata formativa della sezione fluviale globale deve essere una portata relativamente elevata, con un'ampia incertezza nella sua definizione, dal momento che essa dovrebbe essere abbastanza sostenuta da rappresentare l'effettivo livello raggiunto dalla forza di trascinamento lungo il contorno, ma di durata sufficiente (e quindi di basso tempo di ritorno) ad esplicare pienamente la sua azione formativa (Paoletti, 1991).

L'analisi del rapporto fra i regimi delle portate e la morfologia fluviale in depositi alluvionali è spesso affrontata introducendo il concetto di "portata dominante". Con ciò s'intende una portata rappresentativa di tutto l'insieme dei deflussi nei confronti di un particolare effetto di dinamica fluviale (Caroni e Maraga, 1983). Si definiscono così portate rappresentative sia per quanto riguarda gli effetti del trasporto solido, sia per quanto concerne la forma

dell'alveo. Questo artificio è utile allo scopo d'istituire paragoni fra situazioni differenti di uno stesso o di diversi corsi d'acqua. Tuttavia, va sempre tenuto presente che tale portata è solo rappresentativa di tutto l'insieme dei deflussi che costituiscono la "storia" del corso d'acqua.

Le relazioni quantitative intercorrenti fra le portate di un corso d'acqua ed alcuni suoi parametri caratteristici, quali la geometria della sezione, la velocità della corrente e il trasporto solido in sospensione, sono state analizzate nel lavoro di Leopold e Maddock (1953). In particolare, per quanto riguarda le caratteristiche geometriche, è stato formulato l'assunto che il paragone fra diverse sezioni di uno o più corsi d'acqua ha significato quando istituito in relazione a portate liquide della medesima frequenza.

Successivamente altri autori (Leopold e Wolman, 1957; Brush, 1961; Brice, 1964; Richards, 1982) indicano nella portata di piene rive ("bankfull discharge") la variabile più adatta a spiegare la geometria dei canali di deflusso, per quanto riguarda il loro sviluppo trasversale e longitudinale (Caroni e Maraga, 1983).

In funzione delle due sole grandezze, pendenza di fondo e portata a piene rive, Leopold e Wolman (1957) stabilirono un criterio di classificazione che distingue i corsi d'acqua a canali rettilinei, a canali intrecciati e meandriformi (Fig. 1.13).

Più recenti ricerche teoriche e di laboratorio (Parker, 1976; Blondeaux e Seminara, 1983) hanno individuato un criterio di classificazione basato sui seguenti parametri adimensionali (Fig. 1.14):

- i / F_r (pendenza / numero di Froude)
- Y / B (tirante idrico / larghezza dell'alveo)
- F_s (numero di Froude sedimentologico).

1.3 Recenti criteri di classificazione dei sistemi fluviali

Il termine "rinaturazione" è associato ai concetti di *ripristino* delle funzioni ecologiche e delle condizioni biologiche, nonché di *recupero* o *ricostruzione* della stabilità fisiografica del sistema fluviale. Un'appropriata "rinaturazione" (recupero ambientale), quindi, non può prescindere, sia a livello d'indagine conoscitiva sia di progettazione, da un'analisi delle *potenzialità morfologiche* tesa a valutare la compatibilità della rinaturalizzazione stessa con la naturale tendenza del sistema a raggiungere, nel medio-lungo periodo, un assetto stabile (Lenzi, 1998).

Il successo degli interventi di "rinaturazione" dipende in larga misura dall'approccio fluviomorfologico utilizzato e trae origine dai seguenti criteri:

1. Identificazione delle *cause* dell'instabilità o del disequilibrio
 - Condizioni del corso d'acqua e del bacino idrografico, vulnerabilità del sistema;
 - Cambiamenti, modifiche e trasformazioni naturali ed antropiche.
2. Valutazione delle *potenzialità* e *caratteristiche* delle forme stabili
 - Classificazione del sistema fluviale;
 - Suddivisione ed individuazione dei tratti caratteristici: dimensioni stabili dell'alveo (larghezza, profondità media e massima, rapporto larghezza/profondità, larghezza dell'area d'esondazione, larghezza

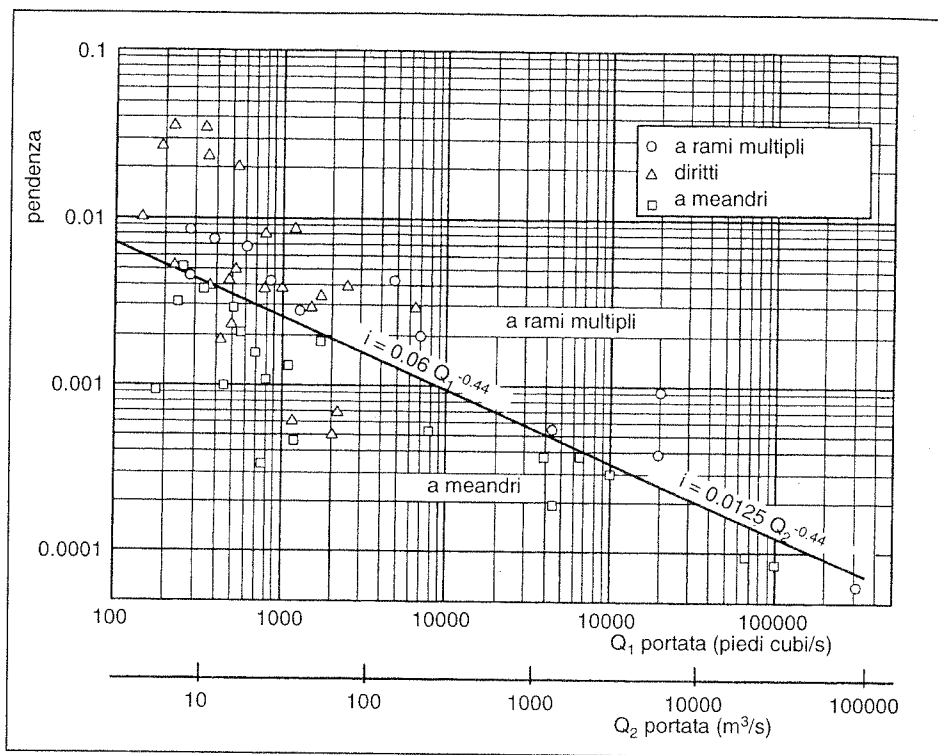


Fig. 1.13 - Classificazione dei corsi d'acqua in funzione della pendenza e della portata a piene rive (modificato da Leopold e Wolman, 1957)

della fascia di pertinenza fluviale, confinamento e grado d'incisione); *parametri morfometrici* (sinuosità, intrecciamento, lunghezza d'onda dei meandri, raggio di curvatura); *profili longitudinali e sezioni trasversali* (pendenze del fondo e del pelo libero, lunghezza delle pool e delle gradinate, pendenze di riffle, pool e step).

3. *Analisi delle tendenze evolutive: processi fluviali e dinamica fluviale.*

Una migliore e più accurata comprensione della dinamica dei sistemi fluviali può essere sicuramente fornita dalla conoscenza ed interpretazione *quantitativa* scaturita da osservazioni dirette sul campo effettuate in maniera pluridisciplinare, piuttosto che da valutazioni teoriche pervenute dalle singole discipline coinvolte. I singoli ricercatori, studiosi ed esperti settoriali dovrebbero, da una parte, comprendere e rispettare la notevole complessità dei sistemi fluviali e, dall'altra, essere consapevoli che il recupero ambientale dei corsi d'acqua non è un obiettivo facilmente raggiungibile fino a quando le molteplici variabili coinvolte nel mantenimento di un assetto stabile del sistema fluviale non sono accuratamente analizzate e valutate (Lenzi e Paterno, 1997).

In natura l'esigenza di classificare è dettata dalla necessità di proporre e utiliz-

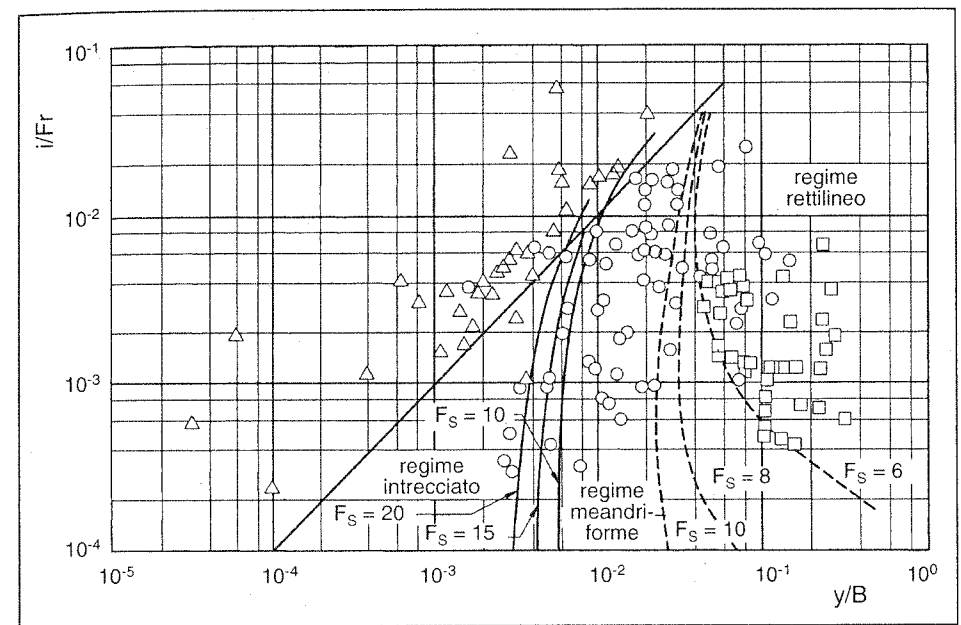


Fig. 1.14 - Criteri di separazione fra i diversi regimi morfologici (modificato da Blondeaux e Seminara, 1983)

zare linguaggi universali per la descrizione degli oggetti. Quindi, nei limiti della complessità degli oggetti descritti, le classificazioni sono chiavi di lettura fondamentali, senza le quali il trasferimento di informazioni sarebbe più complesso.

Il livello della classificazione dovrebbe essere commisurato anche agli obiettivi generali e particolari del corrispondente livello iniziale di pianificazione territoriale considerato. La variabilità degli obiettivi implica la convenienza a prendere in esame una pur schematica gerarchia di classificazione dei sistemi fluviali. Tale suddivisione gerarchica permette l'organizzazione dei numerosi dati relativi ai corsi d'acqua entro range di risoluzione e di dettaglio che vanno da una generale classificazione morfologica qualitativa (caratterizzazione morfologica di "massima") ad una più discreta, quantitativa e dettagliata descrizione di tratti specifici del corso d'acqua. Ogni livello di classificazione dovrebbe includere appropriate interpretazioni in grado di illustrare ed accompagnare le specificità dell'indagine. I livelli di maggiore dettaglio dovrebbero fornire indicazioni sulle potenzialità e stabilità del corso d'acqua, al variare delle condizioni al contorno e dello stato idrometrico.

La valutazione delle tipologie dei sistemi fluviali ad un livello di maggiore dettaglio richiede la conoscenza di altri parametri relativi all'influenza della vegetazione su diversi stati idrometrici, alla stabilità ed erodibilità del canale principale e delle sponde, alla fauna fluviale, ai diversi regimi di deflusso, alle modalità di trasporto solido, alla vegetazione riparia (tabella 1.1).

Per motivi di spazio e di chiarezza nella trattazione di questo importante

argomento, nei successivi paragrafi saranno sviluppati, in particolare, i due primi livelli: la caratterizzazione morfologica generale (livello I) e la descrizione ed interpretazione morfologica quantitativa di tratti di sistemi fluviali (livello II).

1.3.1 Caratterizzazione morfologica generale (livello I)

Una caratterizzazione morfologica generale (livello I) dei sistemi fluviali può essere preliminarmente delineata attraverso una descrizione generale della planimetria, del profilo longitudinale e della sezione trasversale tipo dell'alveo e della valle (Fig. 1.15 e Tab. 1.2).

- **Planimetria:** nelle varie categorie i sistemi fluviali sono stati classificati come relativamente lineari (tipi A), a bassa sinuosità (tipi B), meandriiformi (tipi C), tortuosamente meandriiformi (tipo E), a canali intrecciati (tipo D) e anastomizzati (tipo DA) (Rosgen, 1994).
- **Profilo longitudinale:** i tipi di corsi d'acqua indicati con la sigla Aa+ (Fig. 1.15) presentano pendenze superiori al 10% ed una configurazione d'alveo con frequenti "cadute verticali", salti o cascate e profonde pozze di erosione (pool); sono torrenti caratterizzati da un elevato trasporto detritico. I corsi d'acqua del tipo A sono ripidi, con pendenze variabili tra il 4 ed il 10%, ed hanno frequentemente una morfologia a step pool. Quelli del tipo B sono dominati da riffle, restringimenti e di rado da tratti a "scour-pool" (profondi scavi dovuti all'erosione). Con la lettera G sono identificati i sistemi fluviali

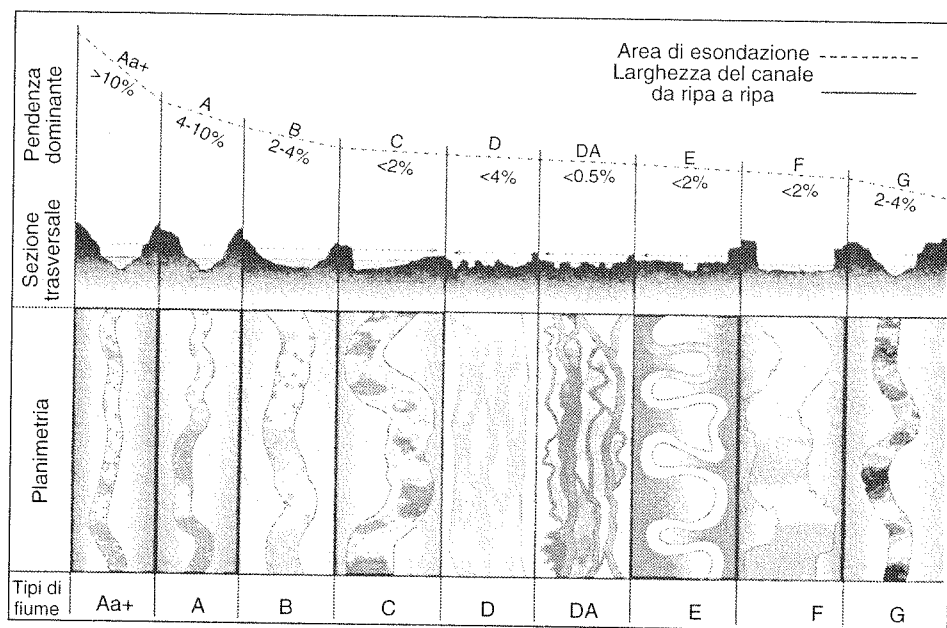


Fig. 1.15 - Profilo longitudinale, sezione e planimetria dei principali tipi fluviali (modificato da Rosgen, 1994)

Livello di dettaglio	Descrizione	Informazione richiesta	Obiettivi
I	Caratterizzazione morfologica generale ("di massima")	Litologia, suolo, clima, sedimentologia, rilievo e morfometria del bacino, forme di paesaggio, morfologia della valle, profilo morfologico del corso d'acqua, parametri morfometrici generali del collettore principale.	Descrivere le caratteristiche morfologiche generali facendo ricorso a tecniche di foto interpretazione e di "remote sensing", modelli digitali del terreno e GIS, banche dati ed inventari già esistenti sulla geologia, sull'evoluzione geomorfologica dei versanti e delle vallate, sulla sedimentologia e sui processi deposizionali. Fornire informazioni su rilievi, pendenze e parametri morfometrici dei relativi corsi d'acqua, da utilizzare sia nella determinazione delle diverse tipologie dei sistemi fluviali sia nella loro interpretazione generale.
II	Caratterizzazione ed interpretazione morfologica quantitativa di tratti di sistemi fluviali	Caratteristiche morfometriche e geometriche del corso d'acqua, parametri d'intrecciamento, rapporto larghezza/profondità del canale principale, sinuosità, granulometria del materiale d'alveo, pendenza e sezione tipo.	Delineare tipologie omogenee di sistemi fluviali attraverso la valutazione delle pendenze, delle sezioni trasversali, della granulometria del materiale costituente il letto e le sponde, delle dimensioni e dei parametri morfometrici ricavati da misure effettuate su tratti tipo. Fornire un livello più dettagliato e quantitativo d'interpretazione e d'estrapolazione.
III	Stato e condizione attuale del sistema fluviale	Vegetazione riparia, sedimentologia e caratteristiche deposizionali, parametri geometrici dei meandri, caratteristiche di confinamento, indici di fauna fluviale,	Definire lo stato d'equilibrio del sistema fluviale, evidenziando le condizioni favorevoli ai cambiamenti di forma; fornire informazioni specifiche alle metodologie di previsione della dinamica fluviale: dettagliate descrizioni associate alle inter-

Continua

Tab. 1.1 - Gerarchia dei livelli di classificazione dei sistemi fluviali (modificato da Rosgen, 1994)

Livello di dettaglio	Descrizione	Informazione richiesta	Obiettivi
		regime fluviale, trasporto solido, colate detritiche e movimenti di massa, indici di stabilità dell'alveo, erodibilità delle sponde.	pretazioni e previsioni dei cambiamenti.
IV	Verifica e valutazione	Misure ed osservazioni dirette di campo sul trasporto del materiale solido, sulla dinamica temporale dell'erosione di sponda, sui processi di degradazione, accrescimento e sedimentazione, sulle caratteristiche idrodinamiche della corrente e sulle condizioni del flusso. Dati ed indici biologici, dati sulla qualità della biocenosi in alveo e sulle sponde, habitat acquatico, ecc.	Fornire informazione su tratti specifici del collettore per la valutazione dei processi fluviali; utilizzare metodologie di valutazione e previsione che danno indicazione precise e molto accurate sull'idraulica, sedimentologia, biologia e vegetazione riparia di tratti specifici d'alveo. Valutare l'efficacia di misure di attenuazione degli impatti generati dalla sistemazione di tratti tipo.

Tab. 1.1 - Continuazione

che scorrono entro gole talvolta profonde scavate dall'erosione fluviale, mentre i corsi d'acqua del tipo D presentano una configurazione d'alveo a canali intrecciati. La relazione che lega la configurazione d'alveo alla pendenza è stata anche descritta da Grant et al. (1990) (Fig. 1.16).

- *Sezione trasversale*: i tipi fluviali A sono stretti, profondi, con elevato grado di confinamento verticale e profondamente incisi. La larghezza dell'alveo e della valle sono simili. Questa tipologia contrasta con la C, caratterizzata da un canale con larghezza elevata e una profondità scarsa, da una pianura alluvionale ben sviluppata e da una vallata molto ampia.

Un'interpretazione delle modalità di cambiamento (laterale, verticale od entrambe) nonché delle trasformazioni da una configurazione morfologica ad un'altra possono essere dedotte da questa prima classificazione generale. Ciò è particolarmente evidente se si considera l'influenza della vegetazione in alveo

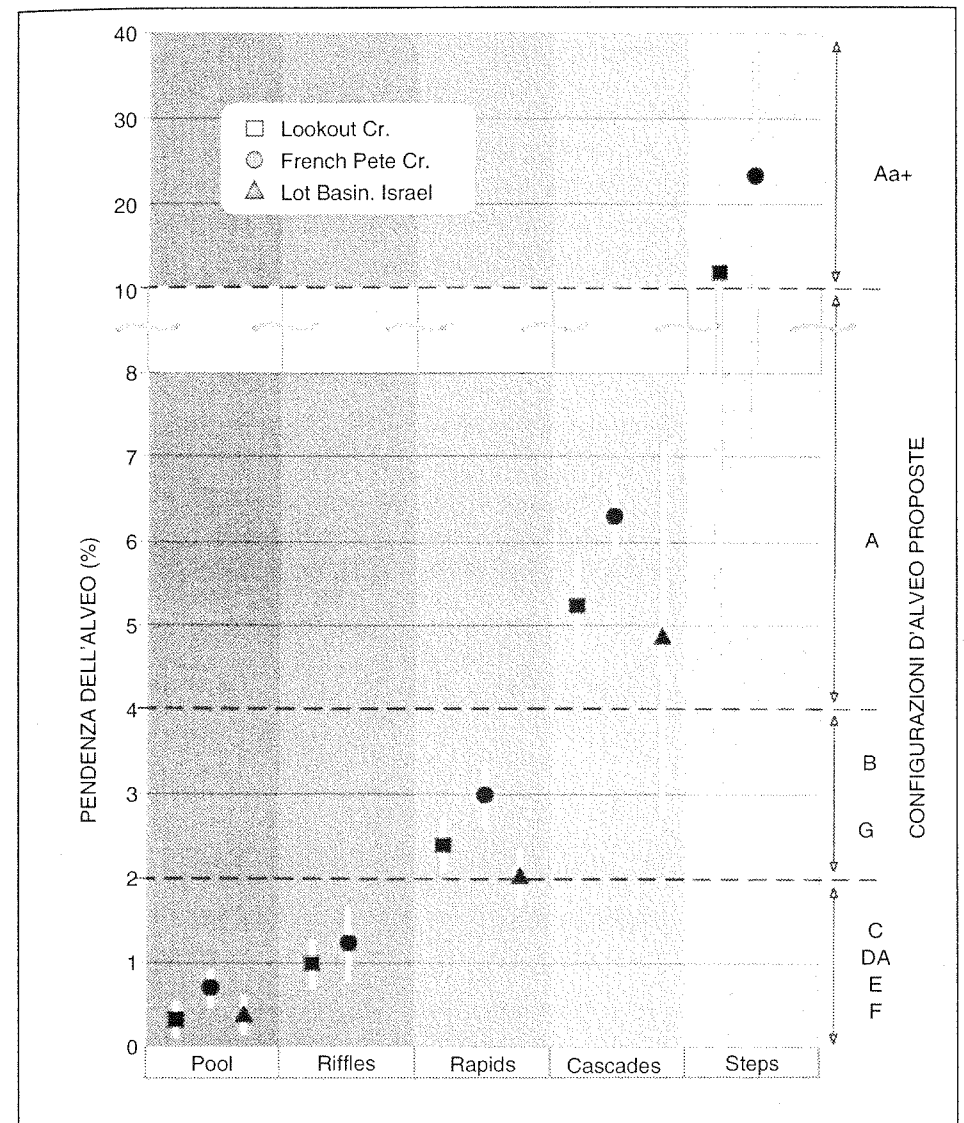


Fig. 1.16 - Relazione fra la pendenza e la forma d'alveo per vari tipi fluviali (modificato da Grant et al., 1990)

(ceppaie, tipi di radici fittonanti, ecc.) sulla tipologia E. Un decremento del rapporto B/H dovuto all'accrescimento della vegetazione può quindi generare la trasformazione da un sistema fluviale E ad un sistema tipo C.

Ulteriori informazioni di dettaglio sulle caratteristiche della vegetazione sono consigliate nell'analisi dello stato e delle condizioni specifiche del sistema fluviale (livello III, tabella 1.1).

1.3.2 Descrizione e interpretazione morfologica quantitativa di tratti di sistemi fluviali (livello II)

Partendo dallo schema di classificazione generale delineato nella figura 1.15 e nella tabella 1.2, che prevede otto categorie di corsi d'acqua contraddistinte con le lettere dalla A alla G, le tipologie fluviali sono ulteriormente suddivise da Rosgen (1994) attraverso la discretizzazione in intervalli predefiniti di pendenza dell'alveo e di classe diametrica rappresentativa della granulometria del materiale del letto. Alle tipologie fluviali sono associate, in prima istanza, numeri (da 1 a 5) in relazione al diametro medio della suddetta granulometria. Viene, pertanto, proposta la seguente distinzione: 1. letto in roccia (bedrock); 2. letto con prevalenza di massi (boulder); 3. letto in ciottoli (cobble); 4. letto ghiaioso (gravel); 5. letto sabbioso (sand) e 6. letto limo/argilloso (silt/clay). Questa procedura genera, come illustrato nella figura 1.17, 41 tipi di tratti fluviali. Tenendo conto, infine, della pendenza Rosgen divide le otto classi principali in ulteriori sottoclassi prevedendo per ciascuna delle tipologie B, C e D tre sottoclassi e per le tipologie A, G, F, E due sottoclassi (la classe DA non viene invece suddivisa). I valori dei parametri, che definiscono il confine di ogni intervallo di classe, sono riportati nella chiave riassuntiva di classificazione (Fig. 1.18). Questa è stata definita da Rosgen (1994) in base a dati ed osservazioni di campo effettuate su numerosi corsi d'acqua degli Stati Uniti, del Canada e della Nuova Zelanda.

Le variabili morfologiche prima delineate possono variare lungo il collettore principale come conseguenza della variabilità spaziale delle caratteristiche geologiche, dei restringimenti della valle, degli accumuli di frane o di colate detritiche, dell'immissione laterale di altri corsi d'acqua oppure della presenza di conoidi alluvionali, particolarmente frequenti nella parte media ed inferiore dei bacini montani. Tuttavia, la descrizione ed interpretazione morfologica quantitativa prevedono l'effettuazione di misure di campagna in ogni tratto caratteristico, in maniera tale da poter cogliere le condizioni rappresentative e le specificità del singolo segmento fluviale. La classificazione dei singoli tratti non può quindi essere mediata a livello di bacino idrografico. Una singola categoria può, orientativamente, essere applicata ad un segmento di lunghezza variabile da una decina di metri fino, al massimo, ad un paio di chilometri.

Questo livello di classificazione necessita di misure di campagna specifiche per ogni tipo di tratto fluviale nonché di una validazione dei criteri prima delineati. A tale riguardo sono di seguito descritti alcuni concetti ed elementi da prendere in considerazione, al fine di agevolare una corretta applicazione dell'approccio metodologico.

La classificazione proposta da Rosgen (1994) distingue un continuum di forme planimetriche in stretta relazione con il rapporto larghezza/profondità media (B/H), le caratteristiche granulometriche dei sedimenti in cui l'alveo è inciso, la sinuosità, la pendenza di fondo dell'alveo, ed il parametro di "incassamento" ("entrenchment ratio"; figura 1.19), inteso come confinamento verticale del fiume e grado d'incisione nel piano della valle. La valutazione di tale parametro, così come quello relativo al rapporto B/H, richiede la conoscenza

Tipologia di sistema fluviale	Descrizione generale	Confinamento	B/H	Sinuosità	Pendenza	Rilievo morfologia / suoli-granulometria / morfologia dell'alveo
Aa +	Torrenti ad elevata pendenza, confinamento verticale e grado di incisione nella valle elevato, tracce di colate detritiche e di movimenti di massa.	< 1.4	< 12	1.0 - 1.1	> 0.10	Versanti molto accidentati, rilievi acclivi. Alvei scavati in roccia; torrenti di scavo e di trasporto; elevata potenzialità di colate detritiche. Accumuli di massi e blocchi, e roccia affiorante formano step-pool, boulder-step.
A	Torrenti ad elevata pendenza, confinati ed incisi nella valle. Elevata energia e capacità di trasporto solido. Alvei stabili (in roccia) o accumuli di grossi massi.	< 1.4	< 12	1.0 - 1.2	0.04 - 0.10	Versanti acclivi. Forme di erosione e di deposito ed alvei che scorrono su roccia. Alvei molto confinati ed incisi. Tratti a gradinata (step-pool), i salti sono separati da pozze meno profonde che nella tipologia precedente.
B	Confinamento verticale e gradiente moderato, prevalenza di sequenze a riffle-pool. Stabilità planialtimetrica elevata, sponde scarsamente erodibili.	1.4 - 2.2	> 12	> 1.2	0.02 - 0.039	Morfologia e rilievi moderati, depositi colluviali o suoli residuali. Moderato rapporto larghezza/profondità. Valli strette con pendenze non elevate. Prevalenza di rapide e di riffle con associati pool.
C	Pendenza dell'alveo ridotta, riffle-pool, meandri e barre laterali alternate. Corso d'acqua alluvionale con una larga e ben definita zona di espansione laterale durante le piene.	> 2.2	> 12	> 1.4	< 0.02	Valle molto larga e terrazzata, in associazione con suoli alluvionali e pianure alluvionali. Confinamento scarso con un canale meandriforme ben definito. Morfologia dell'alveo a riffle-pool.
D	Canali multipli intrecciati con barre longitudinali e trasversali. Alveo molto largo con sponde altamente erodibili.	-	> 40	-	< 0.04	Valle molto allargata con depositi alluvionali o colluviali. Modifiche e cambiamenti laterali evidenti (allargamenti ed erosione di sponda). Rifornimento di sedimento abbondante.
DA	Tracciato multialveo con canali relativamente stabili, assimilabili a canali meandriformi a bassissima pendenza. I canali singoli presentano una sinuosità variabile. Pianura alluvionale molto larga. Buona coesione delle sponde.	> 2.2	molto variabile	molto variabile	< 0.05	Pianura alluvionale o lacustre molto larga e di bassissima pendenza. Si formano in aree dove esistono condizioni di subsidenza o di innalzamento del livello di base, prevalgono i processi deposizionali, scarso trasporto solido in sospensione.
E	Fiumi a bassa pendenza, meandriformi con riffle-pool, basso valore del rapporto B/H e scarsa deposizione. Molto stabili.	> 2.2	< 12	> 1.5	< 0.02	Vallate molto ampie con una pianura alluvionale molto estesa. Sinuosità elevata e sponde stabili con abbondante vegetazione. Morfologia a riffle-pool.
F	Fiumi meandriformi molto larghi, gradiente basso ed elevato valore del rapporto B/H.	< 1.4	> 12	> 1.4	< 0.02	Fiumi meandriformi lateralmente molto instabili con elevata erodibilità delle sponde. Morfologia a riffle-pool.
G	Burroni, erosione del canale (solitamente di tipo regressivo), pendenze moderate, basso valore del rapporto B/H.	< 1.4	< 12	> 1.2	0.02 - 0.039	Valle stretta, profondamente incisa nel materiale alluvionale o colluviale. Tratti instabili, con elevati problemi di controllo del profilo e alta erodibilità delle sponde.

Tab. 1.2 - Riassunto dei criteri delineati per una classificazione morfologica generale dei sistemi fluviali (modificato da Rosgen, 1994)

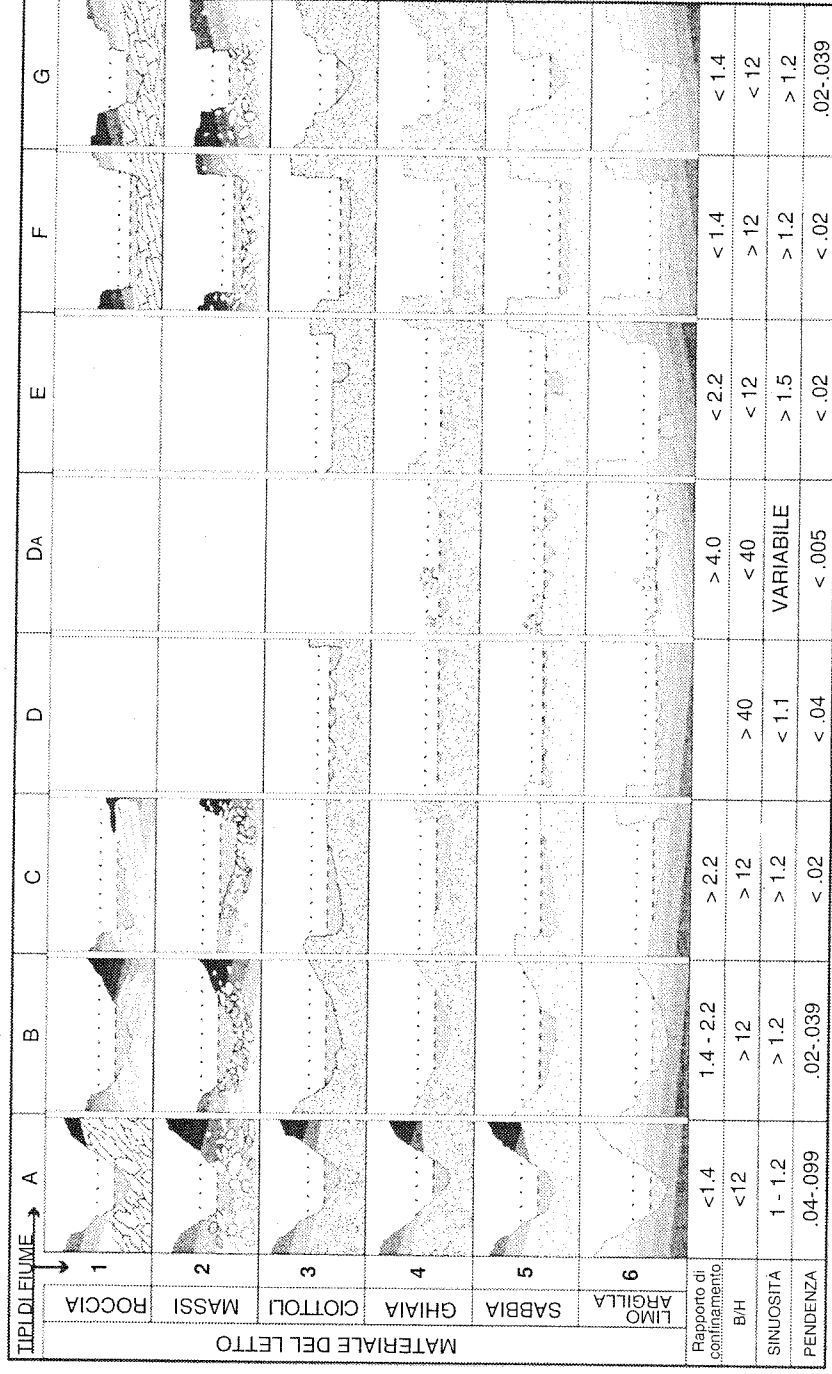


Fig. 1.17 - Sezioni trasversali, intervalli di pendenza, materiale d'alveo dominante e parametri geometrici caratteristici delle tipologie di sistemi fluviali (modificato da Rosgen, 1994)

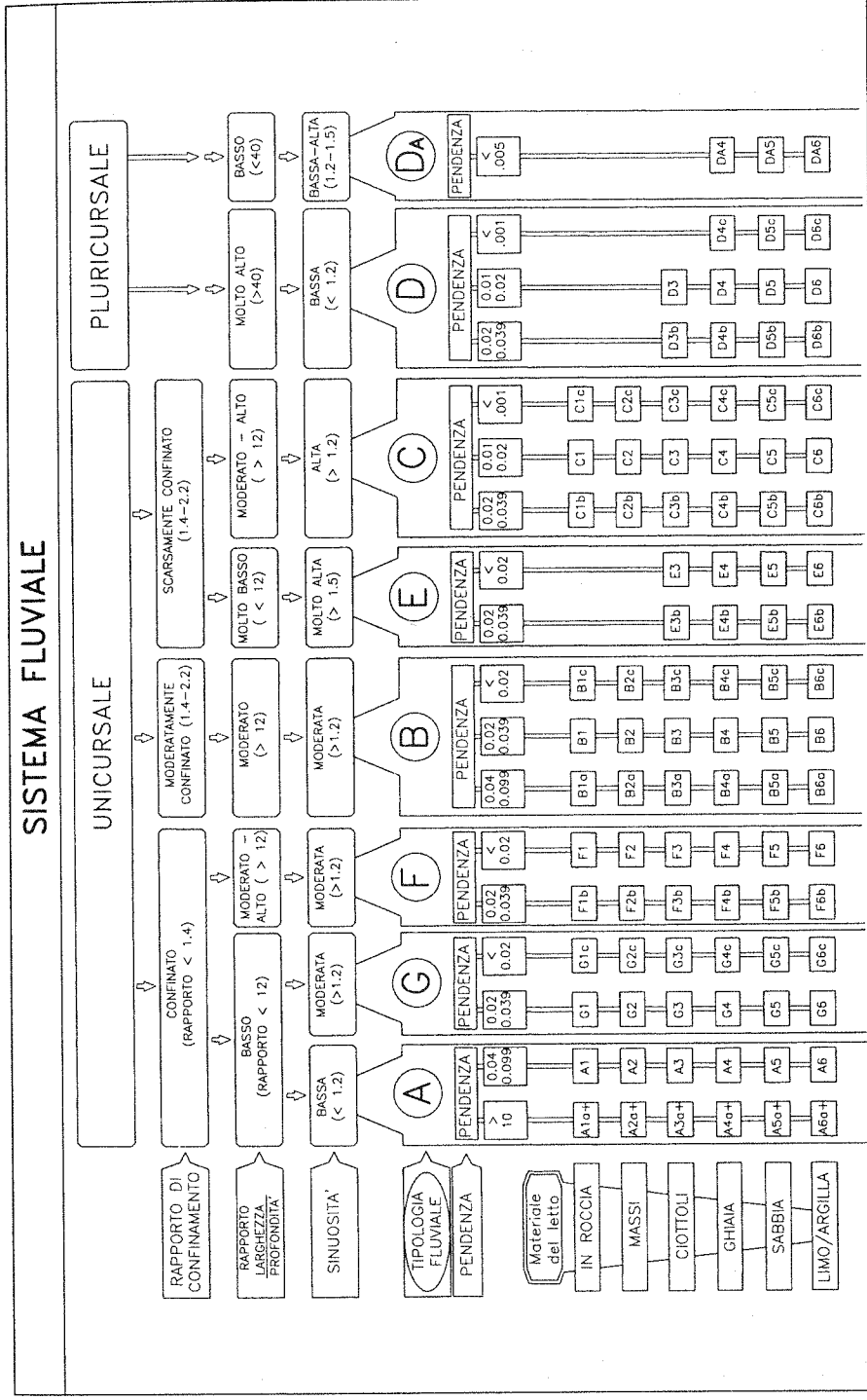


Fig. 1.18 - Chiave di classificazione e di interpretazione delle diverse tipologie fluviali (modificato da Rosgen, 1994, 1996)

della portata a piene rive del sistema fluviale ("bankfull discharge"), al quale i due parametri sono vincolati. La portata a piene rive è stata definita da Rosgen (1994) come il valore di portata liquida, massimo e momentaneo, che avviene mediamente per non più di una volta l'anno e che può essere associato ad un tempo di ritorno pari a 1.5 anni. Considerazioni più specifiche sulla definizione, il significato, la valutazione e l'applicazione del concetto di portata a piene rive ("bankfull discharge") sono state proposte da diversi Autori sia in ambito internazionale (Leopold et al., 1964; Brice, 1984; Dunne e Leopold, 1978; Williams, 1978; Andrews, 1980; Charlton, 1980; Richards, 1982; Bray, 1982; Chang, 1988; Hogan e Church, 1989; Gordon et al., 1992; Leopold, 1994; Johnson e Heil, 1996) sia nazionale (Benini, 1978; Caroni e Maraga, 1983; Paris, 1983).

Il rapporto larghezza/profondità descrive le dimensioni e la forma della sezione trasversale determinate dalla relazione tra la larghezza del canale in condizione di portata a piene rive ed il corrispondente valore di profondità media della corrente per tale portata. Bassi, oppure medio-alti, valori del rapporto B/H sono quelli, rispettivamente, inferiori o superiori a 12.

Il rapporto di "incassamento" o "confinamento" ("entrenchment ratio"), rappresenta, secondo Rosgen (1994), la relazione intercorrente tra la larghezza dell'area d'esondazione ("flood-prone area") e la larghezza del pelo libero corrispondente al valore della portata a piene rive ("bankfull discharge"). La larghezza dell'area d'esondazione è stata definita, sempre dallo stesso autore,

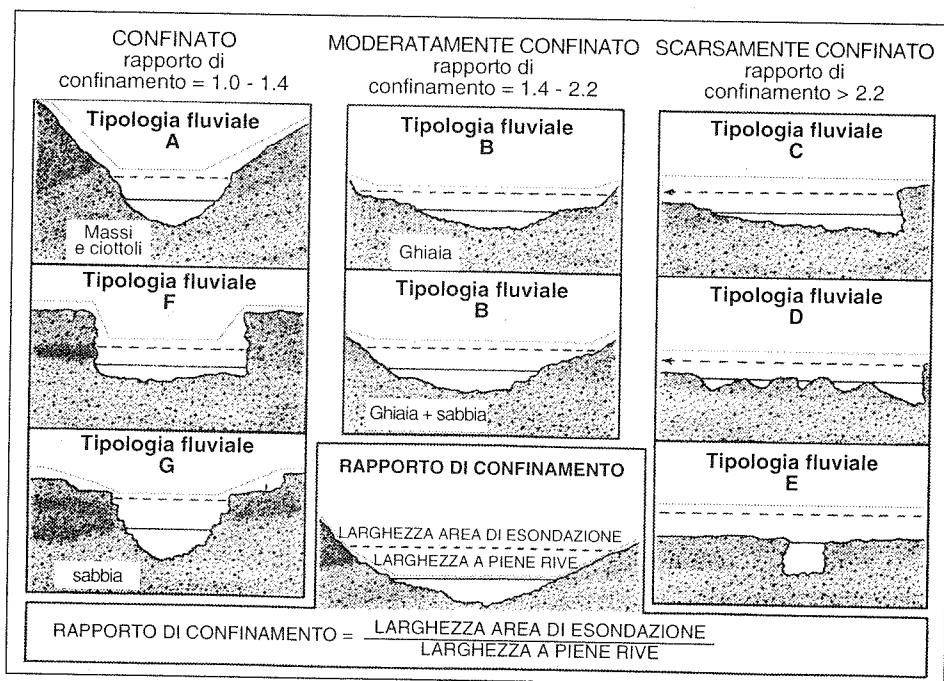


Fig. 1.19 - Esempi e categorie di rapporto di confinamento ("entrenchment ratio") (modificato da Rosgen, 1994)

come la larghezza del pelo libero misurata in corrispondenza di un'altezza idrometrica pari al doppio della profondità della corrente determinata dal valore di portata a piene rive. Osservazioni di campagna condotte negli Stati Uniti su un centinaio di corsi d'acqua (Rosgen, 1994) hanno permesso, da una parte, di evidenziare che tale altezza idrometrica corrisponde frequentemente ad una portata di piena con tempo di ritorno uguale o inferiore a 50 anni e, dall'altra, che il rapporto di confinamento porta ad identificare tre categorie di sistemi fluviali (Fig. 1.19). Esse sono: a) da 1 ad 1.4, corso d'acqua confinato, b) da 1.4 a 2.2, corso d'acqua moderatamente confinato, c) maggiore di 2.2, corsi d'acqua poco confinato (pianura di esondazione ben sviluppata).

La determinazione in campagna della composizione granulometrica del materiale dell'alveo può essere effettuata utilizzando metodi di campionamento ed analisi dei sedimenti di tipo numerale a reticolo per le componenti grossolane (Wolman, 1954; Kellerhals e Bray, 1971; Lenzi e Marchi, 1988; Lenzi, 1992), oppure, nel caso di sedimento prevalentemente medio-fine (ghiaia, sabbia, limo ed argilla), facendo ricorso al metodo ponderale, con vaglio meccanico del campione per mezzo di setacci. L'obiettivo è quello di identificare l'andamento della curva granulometrica, il diametro rappresentativo del campione (D_{50}) nonché la presenza di una distribuzione granulometrica molto eterogenea piuttosto che poco assortita. Tali dati ed informazioni sono spesso impiegati nella valutazione delle condizioni biologiche dell'alveo, dell'habitat acquatico, della resistenza delle forme di fondo all'inizio del moto e all'erosione, del trasporto solido e della produzione di sedimento.

1.4 Tendenze evolutive, dinamica fluviale ed antropizzazione

Il termine *dinamica fluviale* ha un significato più ampio di quello di *morfologia fluviale*, in quanto si riferisce a tutte le modificazioni a cui un corso d'acqua va soggetto, siano esse naturali o antropiche. Essa implica variazioni nella geometria e nel tracciato altimetrico e planimetrico di un alveo, comprendendo quindi la morfologia fluviale, ma soprattutto il passaggio da una configurazione ad un'altra come adeguamento a mute condizioni al contorno (Billi, 1995). Il mantenimento di una configurazione morfologica, l'alterazione di equilibri preesistenti o la tendenza verso un diverso assetto morfologico si realizzano attraverso l'azione di svariati e diversi processi fluviali (erosione, trasporto, deposizione, ecc.) che costituiscono il meccanismo essenziale per il funzionamento dell'idrosistema. Tali processi sono presenti, sebbene con intensità ed efficienza diverse, in tutti i tipi d'alveo e non sono quindi specifici di alcuna configurazione morfologica. Lo stesso vale per taluni parametri (idraulici, idrologici, sedimentari, topografici, morfometrici) che possono innescare, controllare oppure annullare parzialmente i vari fenomeni fluviali (Billi, 1994; Lenzi, 1998). L'idrosistema è essenzialmente costituito, oltre che da una rete di drenaggio, dal suo collettore principale e da un bacino idrografico. Ogni collettore non rappresenta però soltanto la zona di raccolta e di convogliamento verso valle delle acque meteoriche di ruscellamento superficiale o del deflusso sotterraneo; in esso si accumulano anche i detriti pro-

dotti dai fenomeni di alterazione delle rocce ed erosione dei versanti. In altre parole, in un corso d'acqua non si ha solo il transito di una certa portata liquida, ma anche di un cospicuo quantitativo di materiale solido con una mobilità prevalentemente circoscritta ai periodi di morbida e soprattutto a quelli di piena del fiume. È proprio durante gli eventi di piena che il sistema fluviale delinea i propri caratteri, consolidando la sua configurazione morfologica o mostrando un tendenziale allontanamento da essa.

Nello specifico campo della dinamica fluviale è necessario sottolineare l'importanza dell'ambito temporale d'analisi. Alcune proposte metodologiche avanzate negli ultimi decenni (Lewin, 1980; Werritty e Ferguson, 1980; Hickin, 1983) riconducono tipicamente le analisi a tre principali intervalli temporali: a) un ambito a lungo termine, su scala plurisecolare, dove può essere apprezzato l'aspetto ciclico rispetto ai fattori esterni del sistema, come tettonica e clima che possono svolgere il ruolo di variabili indipendenti; b) un ambito a medio termine su scala pluridecennale, dove le variazioni del sistema sono lette alla luce della variabilità dei parametri idrologici-idraulici fondamentali (portata liquida e solida) e in cui i parametri morfometrici del corso d'acqua di solito già risentono di sensibili, e talvolta radicali, trasformazioni; c) un ultimo ambito a breve termine che riguarda il campo delle attività sperimentali, come i bacini pilota (Lenzi et al., 1996), i modelli fisici studiati nei laboratori di idraulica o lo studio diretto su campo degli effetti prodotti da eventi di piena con tempo di ritorno noto (Lenzi et al., 1990; Lenzi et al., 1997).

Lo studio del comportamento su scala temporale ampia ha portato all'identificazione di meccanismi che agiscono secondo tipi di equilibrio dinamico e dinamico metastabile (Richards, 1982; Schumm, 1977; Ferguson, 1977; Chorley e Kennedy, 1971), mettendo in luce come gli attuali alveotipi sono delle forme sovrainpresse a relitti di modelli fluviali molto diversi (Dutto, 1995). Quest'approfondimento permette di spiegare alcuni comportamenti dei tratti fluviali, ad esempio in merito all'intensità dei processi erosivi in relazione alle piene (Dutto e Nardin, 1989) o alla tendenza evolutiva in risposta ad eventi estremi (Dutto e Maraga, 1994; Lenzi, 1999_b), e fornisce anche un quadro pregresso per proporre futuri scenari evolutivi del corso d'acqua.

Ampliando la prospettiva temporale di analisi diviene imprescindibile una valutazione del condizionamento antropico. I sistemi fluviali sono ambienti interessati, sin dai primi insediamenti umani, da forti condizionamenti, che, per interventi successivi, hanno portato a radicali trasformazioni dei naturali processi evolutivi dell'idrosistema. Nella pianura padana-veneta si sono riscontrate una serie di modificazioni generalizzate alla maggior parte dei sistemi fluviali, e più precisamente (Govi e Turitto, 1993; Dutto e Maraga, 1994; Dutto, 1995):

- diffusa tendenza dei tratti d'alveo pluricursali a diventare unicursali;
- aumento, sulle sezioni trasversali, della profondità media e massima e relativo abbassamento delle quote idrometriche delle portate di magra;
- riduzione della larghezza degli alveotipi, conseguente aumento del raggio idraulico; diffusa tendenza alla riduzione dell'indice di sinuosità;
- diminuzione della portata solida.

Le modificazioni e i cambiamenti temporali, cui un corso d'acqua è soggetto, possono essere rappresentate in termini di passaggio da una tipologia ad un'altra, come adeguamento alle mute condizioni al contorno. Ad esempio, l'elevata instabilità delle sponde e l'incremento della quantità di materiale eroso associato a questo processo potrebbero provocare l'innesco di una serie di fenomeni concatenati come: aumento del rapporto B/H, diminuzione della sinuosità, incremento del gradiente, evoluzione della distribuzione granulometrica del materiale del letto verso una forma bimodale, incremento della sedimentazione nelle barre ed accelerazione dell'erosione di sponda. Tali cambiamenti possono essere descritti, in modo molto semplice, come una serie progressiva di passaggi delle tipologie fluviali, dalla E4 verso la C4, e dalla C4 verso la D4 (Fig. 1.20).

Ogni alveo, dunque, possiede una propria dinamica che si realizza attraverso adattamenti ai propri limiti di deflusso e al regime degli apporti di sedimento, costituendo così la morfologia che lo caratterizza. Spesso si trascura la naturale propensione al cambiamento dei corsi d'acqua e si è restii a comprendere ed osservare nel tempo le eventuali tendenze evolutive in atto, siano queste dipendenti da fattori naturali o antropici. Si cerca allora di contrastare o ripristinare i sistemi fluviali disturbati con opere ingegneristiche, che talvolta finiscono per amplificare lo squilibrio iniziale.

Un esempio può essere quello riportato da Rosgen (1985), nel quale s'illustrano i cambiamenti avvenuti nel Trail creek, un corso d'acqua del sud-est del Colorado (tipo C4), in seguito alla realizzazione di un'opera di sbarramento con lo scopo di ottenere un piccolo invaso atto al miglioramento dell'habitat

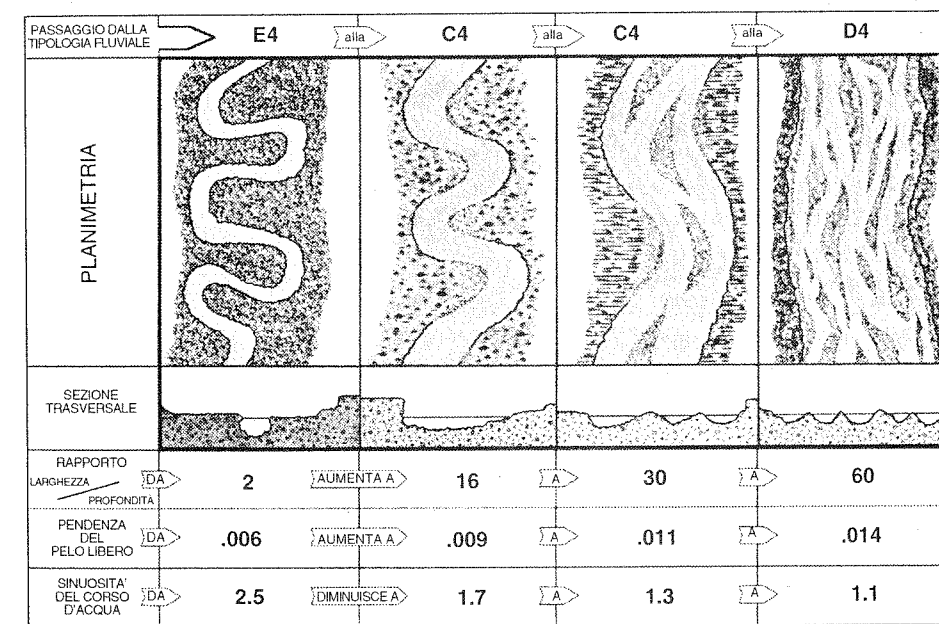


Fig. 1.20 - Esempio di passaggio progressivo da una configurazione fino ad un'altra, consideran-

ittico. Le conseguenze furono: riduzione del gradiente di monte; incremento del rapporto larghezza/profondità; diminuzione del diametro medio del materiale d'alveo e decremento della capacità di trasporto dei sedimenti. Cambiò inoltre il profilo longitudinale del corso d'acqua, creando un sovralluvionamento dell'alveo nel tratto immediatamente a monte della struttura. La diminuzione della pendenza comportò un corrispondente aumento della sinuosità, ciò dette inizio ad una migrazione laterale del canale con incremento dell'erosione di sponda. In seguito il fiume abbandonò l'alveo originale creando un "headcut gulley" con un gradiente pari a due volte la pendenza della valle. Nell'arco di due anni si verificò il passaggio dalla tipologia C4 alla G4. Il nuovo tipo di corso d'acqua lasciò, infine, la propria pianura alluvionale, creando un eccesso di alimentazione di sedimento proveniente dalla degradazione del corso d'acqua stesso e dall'erosione di sponda. Questo squilibrio avvenne in tempi brevi, circa due anni, ed è l'esempio di un danno causato da un intervento strutturale nato con fini di miglioramento dell'habitat acquatico e che ha dato invece risultati opposti a quelli sperati.

1.5 Risvolti applicativi della classificazione dei sistemi fluviali

1.5.1 Recupero ambientale e ricostruzione morfologica

Il recupero ambientale dei corsi d'acqua degradati impone la conoscenza sia delle diverse tipologie morfologiche e dei processi fluviali associati, sia della naturale tendenza del corso d'acqua a raggiungere, nel medio-lungo periodo, una configurazione stabile.

Nel caso in cui gli interventi di recupero ambientale dei corsi d'acqua, intesi come combinazione di metodi strutturali, tecniche di ingegneria biologico-naturalistica e di ricostruzione morfologica, non mirino ad assecondare ed accompagnare la naturale tendenza evolutiva dei sistemi fluviali, essi possono talora provocare risultati opposti a quelli inizialmente previsti.

L'interpretazione della capacità di reazione e di adattamento del corso d'acqua al recupero ambientale può essere agevolata dalla consultazione della tabella 1.3 (Rosgen, 1994), dove ciascun tipo morfologico è collegato a diverse intensità dei fattori fisico-ambientali coinvolti nella sistemazione. Fra questi fattori compaiono la sensibilità del sistema fluviale considerato agli elementi di disturbo (incrementi di portata e di trasporto solido, ecc.), l'influenza esercitata dalla vegetazione sulla stabilità dell'alveo e sul rapporto larghezza/profondità media, nonché il recupero potenziale di ogni tipo di corso d'acqua quando una causa di disturbo viene corretta.

Le informazioni ed interpretazioni dedotte dall'applicazione di recenti criteri di classificazione delle tipologie fluviali possono essere utilizzate nella definizione sia degli indirizzi di attuazione degli interventi di recupero ambientale che delle modalità di manutenzione e di gestione dei corsi d'acqua.

La classificazione e la suddivisione dei sistemi fluviali in tratti caratteristici, rappresentano, inoltre, un utile strumento di supporto conoscitivo nel campo

Sistema fluviale	Sensibilità agli elementi di disturbo (°)	Recupero potenziale (°)	Produzione di sedimento (°)	Erosione di sponda potenziale	Influenza della vegetazione sulla stabilità dell'alveo (°)
A1	Molto bassa	Eccellente	Molto bassa	Molto bassa	Trascurabile
A2	Molto bassa	Eccellente	Molto bassa	Molto bassa	Trascurabile
A3	Molto alta	Molto povero	Molto alta	Alta	Trascurabile
A4	Estrema	Molto povero	Molto alta	Molto alta	Trascurabile
A5	Estrema	Molto povero	Molto alta	Molto alta	Trascurabile
A6	Alta	Povero	Alta	Alta	Trascurabile
B1	Molto bassa	Eccellente	Molto bassa	Molto bassa	Trascurabile
B2	Molto bassa	Eccellente	Molto bassa	Molto bassa	Trascurabile
B3	Bassa	Eccellente	Bassa	Bassa	Moderata
B4	Moderata	Eccellente	Moderata	Bassa	Moderata
B5	Moderata	Eccellente	Moderata	Moderata	Moderata
B6	Moderata	Eccellente	Moderata	Bassa	Moderata
C1	Bassa	Molto povero	Molto bassa	Bassa	Moderata
C2	Bassa	Molto povero	Bassa	Bassa	Moderata
C3	Moderata	Buono	Moderata	Moderata	Molto alta
C4	Molto alta	Buono	Alta	Molto alta	Molto alta
C5	Molto alta	Ottimo	Molto alta	Molto alta	Molto alta
C6	Molto alta	Buono	Alta	Alta	Molto alta
D3	Molto alta	Povero	Molto alta	Molto alta	Moderata
D4	Molto alta	Povero	Molto alta	Molto alta	Moderata
D5	Molto alta	Povero	Molto alta	Molto alta	Moderata
D6	Alta	Povero	Alta	Alta	Moderata
DA4	Moderata	Buono	Molto bassa	Bassa	Molto alta
DA5	Moderata	Buono	Bassa	Bassa	Molto alta
DA6	Moderata	Buono	Molto bassa	Molto bassa	Molto alta
E3	Alta	Buono	Bassa	Moderata	Molto alta
E4	Molto alta	Buono	Moderata	Alta	Molto alta
E5	Molto alta	Buono	Moderata	Alta	Molto alta
E6	Molto alta	Buono	Bassa	Moderata	Molto alta
F1	Bassa	Ottimo	Bassa	Moderata	Bassa
F2	Bassa	Ottimo	Moderata	Moderata	Bassa
F3	Moderata	Povero	Molto alta	Molto alta	Moderata
F4	Estrema	Povero	Molto alta	Molto alta	Moderata
F5	Molto alta	Povero	Molto alta	Molto alta	Moderata
F6	Molto alta	Ottimo	Alta	Molto alta	Moderata
G1	Bassa	Buono	Bassa	Bassa	Bassa
G2	Moderata	Ottimo	Moderata	Moderata	Bassa
G3	Molto alta	Povero	Molto alta	Molto alta	Alta
G4	Estrema	Molto povero	Molto alta	Molto alta	Alta
G5	Estrema	Molto povero	Molto alta	Molto alta	Alta
G6	Molto alta	Povero	Alta	Alta	Alta

°) include incrementi dei valori di portata al colmo e del tempo al colmo e/o aumenti della produzione di sedimento; °) si assume il recupero potenziale da quando una delle cause è sistemata; °) include trasporto solido di fondo ed in sospensione generato dalla erosione dell'alveo o delle sponde; °) vegetazione che influenza la stabilità del rapporto B/H.

Tab. 1.3 – Intensità dei fattori fisico-ambientali coinvolti nel recupero ambientale dei corsi d'acqua in funzione delle diverse tipologie di sistema fluviale (modificato da Rosgen, 1994)

delle indagini finalizzate sia alla definizione delle fasce di pertinenza fluviale, sia delle aree a rischio di inondazioni.

Altre applicazioni concrete trovano inoltre collocazione nel settore dello studio delle relazioni che legano le portate liquide e solide con la geometria delle sezioni di diversi alveotipi (D'Agostino e Lenzi, 1996), nonché nella valutazione della resistenza al moto e dell'influenza della vegetazione sulla scabrezza del corso d'acqua.

A titolo di esempio, nella figura 1.21 sono riportati i valori del coefficiente di scabrezza di Manning (n), stimati per diversi tratti tipo in corrispondenza dello stato idrometrico determinato dalla portata a piene rive ("bankfull discharge"). Il grafico sintetizza i dati di campagna e le elaborazioni effettuate da diversi Autori (Barnes, 1967; Hicks e Mason, 1991; Williams e Rosgen, 1989) relativi a 140 corsi d'acqua degli Stati Uniti e della Nuova Zelanda. L'influenza esercitata dalla vegetazione sul coefficiente di scabrezza di Manning varia in funzione del tipo di corso d'acqua ma, tendenzialmente, diminuisce all'aumentare della pendenza e della granulometria del materiale dell'alveo.

1.5.2 Prospettive inerenti la classificazione dei sistemi fluviali

Nell'ambito della classificazione delle forme fluviali i diagrammi proposti da Kellerhals et al. (1976), da Brice (1984) e da Billi (1994) coprono un ampio spettro di forme planimetriche e potrebbero essere consigliati in alcuni studi applicati alla sistemazione dei corsi d'acqua. È evidente, tuttavia, che la plani-

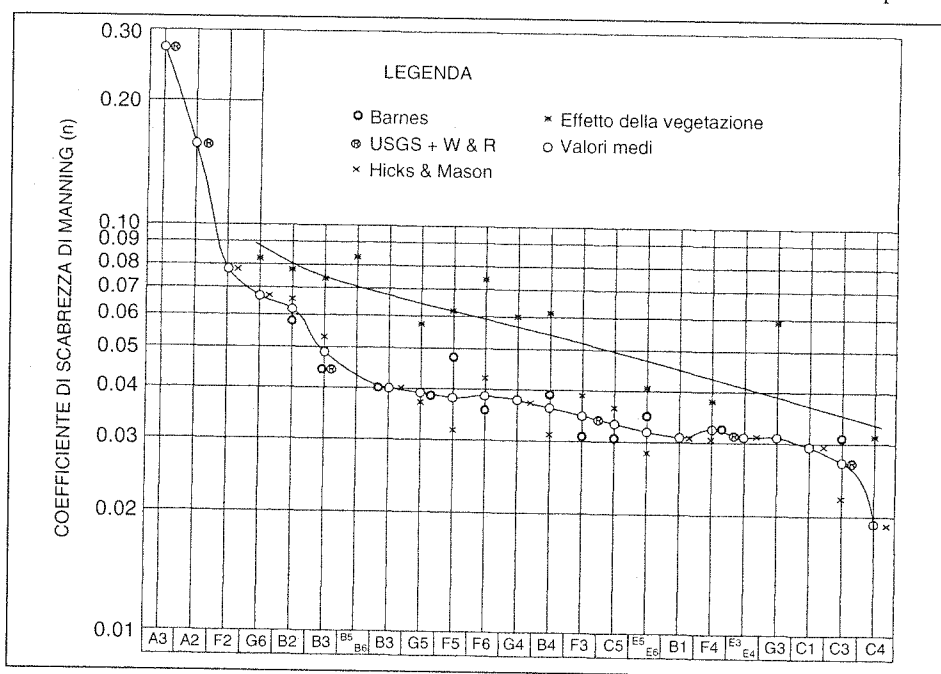


Fig. 1.21 - Variazione del coefficiente di scabrezza di Manning (relativo alla portata a piene rive) in funzione dei diversi tipi di sistemi fluviali (modificato da Rosgen, 1994)

metria costituisce solo un aspetto delle forme fluviali e che, a completamento della classificazione, dovrebbero essere prese in considerazione anche le caratteristiche del profilo longitudinale e delle sezioni trasversali.

Secondo Thorne et al. (1997) l'approccio di Rosgen (1994) rappresenta probabilmente il sistema di classificazione delle forme fluviali più integrato finora proposto. Esso considera la suddivisione in tipologie sulla base della valutazione del grado di confinamento ("entrenchment ratio"), della sinuosità, della pendenza, del rapporto larghezza/profondità e delle caratteristiche granulometriche dominanti del materiale del letto e delle sponde. Gli stessi Autori (Thorne et al., 1997) ritengono, tuttavia, prematuro un giudizio definitivo sull'utilità e sull'affidabilità del metodo di Rosgen (1994), in particolare se applicato da chi possiede limitate conoscenze nel campo della geomorfologia e dell'idraulica fluviale.

Le principali difficoltà, che si riscontrano nelle classificazioni fondate sulla caratterizzazione delle forme fluviali attualmente esistenti, possono essere imputate al fatto che esse non prendono in considerazione i cambiamenti e la dinamica evolutiva dei sistemi fluviali. La crescente constatazione che raramente i fiumi si trovano in una situazione d'equilibrio dinamico ha indotto molti ricercatori all'analisi ed alla modellazione dei possibili cambiamenti delle forme fluviali nel breve e medio termine.

La relativamente semplice classificazione di probabili cambiamenti od aggiustamenti dell'alveo proposta da Brice (1984) identifica i fiumi come "degrading" (in abbassamento), "widening" (in allargamento) e "shifting" (soggetti a cambio di percorso).

Brookes (1988) accentua, invece, i possibili cambiamenti e le modifiche interne all'alveo fluviale che provocano la degradazione del letto, il corazzamento ("armouring"), oppure la sinuosità del talweg, lo sviluppo di barre ed isole e l'erosione spondale. Downs (1995) ha sviluppato un sistema integrato che, partendo dalle classificazioni proposte da Brice e da Brookes, crea un anello di collegamento tra tipologia/forma, tendenza alla modifica ed i processi sedimentologici e fluviali che condizionano le principali trasformazioni (Fig. 1.22).

Downs e Thorne (1996) così come Thorne et al. (1997) hanno sottolineato, da una parte, che se l'analisi dell'informazione storica della tipologia e delle tendenze evolutive può rappresentare un valido strumento rivolto alla conoscenza ed alla caratterizzazione dello stato attuale delle forme fluviali, dall'altra, la complessità della risposta dei sistemi fluviali mette in evidenza che i cambiamenti avvenuti nel passato difficilmente possono essere considerati rappresentativi della presente o futura evoluzione.

1.6 Conclusioni

La descrizione e classificazione della morfologia dei corsi d'acqua sono state oggetto, negli ultimi anni, di un processo di revisione critica che ha coinvolto la comunità scientifica internazionale e nazionale. È, infatti, mutato in modo sostanziale l'approccio culturale e scientifico per la definizione e caratterizzazione, nel senso più esteso, dei termini *alveo fluviale* e *fiume*. Tale evoluzione è

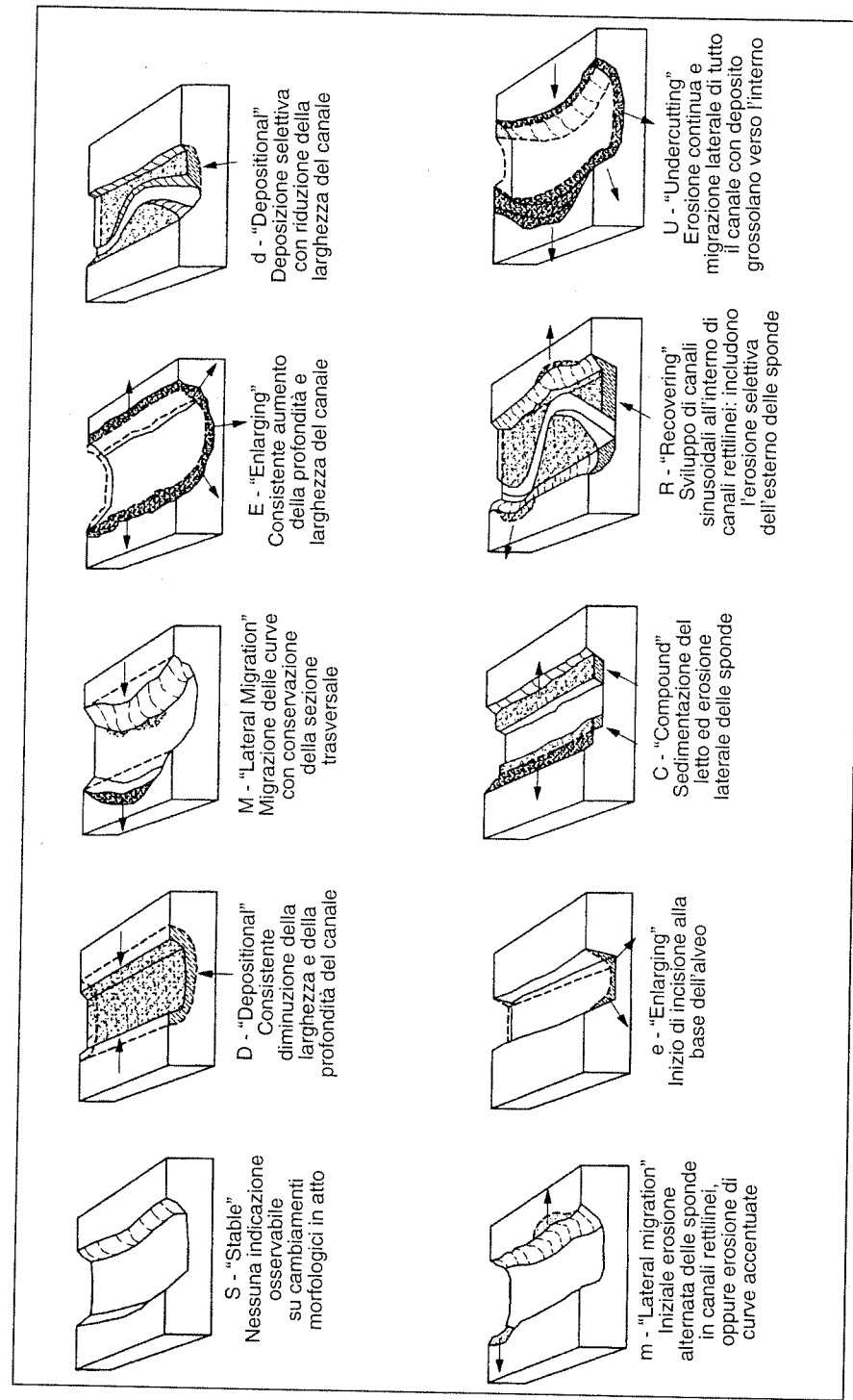


Fig. 1.22 - Classificazione proposta da Downs sulla base dell'andamento e della tipologia dei cambiamenti morfologici (modificato da Downs, 1995)

stata possibile anche in seguito ai recenti sviluppi teorici ed applicativi di studiosi, che s'identificano nell'ingegneria ambientale, nell'ecologia del paesaggio, nella pianificazione ecologica del territorio e nella biologia applicata. Essi hanno evidenziato, da una parte, come i fiumi costituiscano uno dei più essenziali e ricorrenti elementi di paesaggio e, dall'altra, che l'importanza del fiume non può essere circoscritta al mondo fisico ed alla sua imponente azione geografica, poiché si estende anche al regno vegetale ed animale in quanto costituisce un ecosistema in cui si integrano fattori biotici e abiotici. In questo contesto molti Autori hanno sottolineato la necessità di inquadrare e di sviluppare le attività connesse con il recupero ambientale dei corsi d'acqua degradati. Tali attività impongono la conoscenza sia delle diverse tipologie morfologiche e dei processi fluviali associati, sia della potenziale tendenza del corso d'acqua a raggiungere una configurazione stabile. Se gli interventi di recupero ambientale, intesi come combinazione di metodi strutturali, tecniche d'ingegneria biologico-naturalistica e di ricostruzione morfologica, non mirano ad assecondare ed accompagnare la naturale tendenza evolutiva dei sistemi fluviali, essi possono anche condurre a risultati in antitesi rispetto a quelli cercati.

Una migliore e più accurata comprensione della meccanica e dinamica dei sistemi fluviali può essere sicuramente fornita da una conoscenza *qualitativa* e *quantitativa* scaturita da osservazioni pluridisciplinari sul campo, piuttosto che dalle valutazioni teoriche pervenute dalle singole discipline coinvolte.

La metodologia recentemente proposta da Rosgen (1994) costituisce un chiaro tentativo di sviluppare un sistema di classificazione integrato, semi-quantitativo, morfologicamente olistico, che tiene conto sia delle caratteristiche tridimensionali delle forme fluviali sia della diversa natura del materiale del letto e delle sponde. Tale metodo, considerando sia aspetti relativi ad una descrizione qualitativa, sia parametri morfometrici quantitativi, rappresenta senza dubbio un passo avanti, ma non può ancora essere considerato come il punto di arrivo in termini di classificazione dei sistemi fluviali.

Alla base dell'attuale indirizzo di ricerca vi è la necessità di consolidare un approccio pluridisciplinare anche in relazione alle principali indagini conoscitive che devono precedere ed affiancare i contenuti tecnico-scientifici di tutti i piani, programmi e progetti che riguardano un corso d'acqua. L'analisi integrata degli ambiti fluviali, giustificata dalla rilevante importanza che questi ambienti rivestono a livello ecosistemico, deve quindi essere sempre più orientata a consolidare la coesistenza delle esigenze di salvaguardia e di tutela ambientale con la sicurezza idraulica del territorio.

1.7 Bibliografia

1. ANDREWS E. D., 1980 - *Effective and bankfull discharges of streams in the Yampa River Basin, Colorado and Wyoming*. Journal of Hydrology, 46, pp. 311-330.
2. BENINI G., 1978 - *Dinamica dei corsi d'acqua, foci ed estuari, opere di difesa e protezione ambientale*. Atti del XVI Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche; 25-27 Settembre 1978, Torino, B1-B36.

3. BARNES H. H., 1967 - *Roughness characteristics of natural channels*. U. S. Geological Survey, Water Supply Paper 1849, 213 pp.
4. BILLI P., 1994 - *Morfologia dei corsi d'acqua*. Verde Ambiente, n. 5, pp. 61-70.
5. BILLI P., 1995 - *Dinamica fluviale e antropizzazione*. ACER, 1, pp. 71-75.
6. BILLI P., D'AGOSTINO V., LENZI M. A., MARCHI L., 1998 - *Bedload, slope and channel processes in a high-altitude alpine torrent*. In: Klingeman, P.C., Bechsta R.L., Komar P.D., Bradley J.B (Eds.), "Gravel-Bed Rivers in the Environment" Water Resources Publication, LLC, pp. 15-38.
7. BLONDEAUX P., SEMINARA G., 1983 - *Formazione dei meandri in alvei incoerenti, Parte Prima: Il ruolo della curvatura*. In: Giornata di studio "Corsi d'acqua con letti di materiale grossolano ed incoerente", Napoli 11 novembre 1983, pp. 141-167.
8. BLONDEAUX P., SEMINARA G., 1983 - *Formazione dei meandri in alvei incoerenti, Parte Seconda: meandri e barre alternate*. In: Giornata di studio "Corsi d'acqua con letti di materiale grossolano ed incoerente", Napoli 11 novembre 1983, pp. 169-180.
9. BLUCK B. J., 1971 - *Sedimentation in the meandering, R. Endrick*. Scottish Jour. of Geology, 7, pp. 93-138.
10. BRAY D. I., 1982 - *Regime Equations for Gravel-Bed Rivers*. In: Hey R.D., Bathurst J.C., Thorne C. R. (Eds.), "Gravel Bed Rivers", Wiley and Sons, pp. 517-552.
11. BRICE J. C., 1964 - *Channel patterns and terraces of the Loop Rivers in Nebraska*. U. S. Geol. Survey Prof. Paper 422-D, 41 pp.
12. BRICE J. C., 1984 - *Planform properties of meandering rivers*. In: Elliot M. (Ed.), River meandering. Proc. Conf. "Rivers 83", New Orleans, Louisiana, USA, 24-26 oct. 1983. Am. Soc. Civ. Eng., New York, pp. 1-15.
13. BROOKES A., 1988 - *Channelized Rivers*. John Wiley, Chichester, UK, 336 pp.
14. BRUSH L. M., 1961 - *Drainage basins, channels and characteristics of selected streams in Central Pennsylvania*. U. S. Geol. Survey Prof. Paper 282-F, 181 pp.
15. CALLANDER R. A., 1978 - *River meandering*. Ann. Rev. Fluid Mech., 10, pp. 129-158.
16. CARONI E., MARAGA F., 1983 - *Relazioni tra portate e caratteristiche geometriche dell'alveo in corsi d'acqua a fondo ghiaioso*. In: Giornata di studio "Corsi d'acqua con letti di materiale grossolano ed incoerente", Napoli 11 novembre 1983, pp. 181-198.
17. CARSON M. A., GRIFFITHS G. A., 1987 - *Bedload transport in gravel channels*. Jour. of Hydrology (N.Z.), 26, n.1, pp. 1-151.
18. CHANG H. H., 1988 - *Fluvial Processes in River Engineering*. Krieger Publication Co., Melbourne, Florida.
19. CHARLTON F., 1980 - *Erosion on the river Nile, Egypt*. Report N. EX913, Hydraulic Research Station, Wallingford, United Kingdom.
20. CHORLEY R. J., KENNEDY B. A., 1971 - *Physical geography. A systems approach*. Prentice-Hall International Inc., London.
21. D'AGOSTINO V., 1996 - *La rinaturalizzazione dei torrenti montani*. Quaderni del Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-forestali, Università di Padova, 33, 7 pp.
22. D'AGOSTINO V., LENZI M. A., 1996 - *La valutazione del trasporto solido di fondo nel bacino attrezzato del Rio Cordon*. L'Acqua, 4, pp. 23-40.
23. D'AGOSTINO V., LENZI M. A., 1997 - *Origine e dinamica delle morfologie a gradinate (step pool) nei torrenti alpini ad elevata pendenza*. Dendronatura 2, pp. 7-38.
27. DAVIES T. R. H., TINKER C. C., 1984 - *Fundamental characteristics of river meanders*. Bulletin Geological Society of America 95, pp. 505-512.
25. DOWNS P.W., 1995 - *Estimating the probability of river channel adjustment*. Earth Surface Processes and Landforms, 20, pp. 687-705.
26. DOWNS P. W., THORNE C. R., 1996 - *A geomorphological justification of river channel reconnaissance surveys*. Transactions of the Institute of British Geographers, New Series, 21, pp. 455-468.
27. DUNNE T., LEOPOLD L. B., 1978 - *Water in Environmental Planning*. Freeman, San Francisco, CA, 818 pp.
28. DURY G. H., 1976 - *Discharge Prediction, Present and Future, from Channel Dimensions*. Journal of Hydrology 30, pp. 219-245.
29. DUTTO F., NARDIN E., 1989 - *Intensità dei processi erosivi lungo le sponde del Fiume Po in territorio pavese*. Atti del Congresso di Geoingegneria "Suolosottosuolo", Torino 27-30 settembre 1989, Associazione Mineraria Subalpina, vol. 1, pp. 77-84.
30. DUTTO F., MARAGA F., 1994 - *Variazioni idrografiche e condizionamento antropico. Esami in Pianura Padana*. Il Quaternario, 7 (1), pp. 381-390.
31. DUTTO F., 1995 - *Tendenza evolutiva dei corsi d'acqua e definizione delle fasce di pertinenza fluviale*. In: Moderni criteri di sistemazione degli alvei fluviali (a cura di U. Maione e A. Brath), Ed. Bios, Cosenza, pp. 199-222.
32. FERGUSON R. I., 1977 - *Meander migration, equilibrium and change*. In: Gregory F.J. "River channel changes", John Wiley and Sons, Toronto, pp. 235-248.
33. GORDON N. D., MCMAHON T. A., FINLAYSON B. L., 1992 - *Stream Hydrology, an Introduction for Ecologists*. Wiley and Sons, New York, 526 pp.
34. GOVI M., TURITTO O., 1993 - *Processi di dinamica fluviale lungo l'asta del Po*. Acqua Aria, 6, pp. 575-588.
35. GOVI M., TURITTO O., 1994 - *Problemi di riconoscimento delle fasce di pertinenza fluviale*. In: IV Convegno Internazionale di Geoingegneria Difesa e valorizzazione del suolo degli acquiferi, Torino, 10-11 marzo 1994, Ass. Mineraria Subalpina, pp. 161-172.
36. GRANT G. E., SWANSON F. J., WOLMAN M. G., 1990 - *Pattern and origin of stepped-bed morphology in high-gradient streams, Western Cascades, Oregon*. Geol. Soc. Am. Bull., 102, pp. 340-352.
37. HICKIN E. J., 1983 - *River channel changes: retrospect and prospect*. In: "Modern and ancient fluvial system", Spec. Publ. Int. Ass. Sediment, Blackwell Scientific Publications, Oxford, pp. 61-83.
38. HICKS D. M., MASON P. D., 1991 - *Roughness characteristics of New Zealand rivers*. New Zealand Dept. Of Scientific and Industrial Research, Marine and Freshwater, Natural Resources Survey, Wellington, 329 pp.
39. HOGAN D. L. and CHURCH M., 1989 - *Hydraulic Geometry in Small Coastal Streams: Progress Toward Quantification of Salmonoid Habitat*. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science, 46, pp. 844-852.
40. JOHNSON P. A., HEIL T. M., 1996 - *Uncertainty in estimating bankfull conditions*. Water Resources Bulletin, vol 32, N. 6, pp. 1283-1291.
41. KELLERHALS R., BRAY D. I., 1971 - *Sampling procedures for coarse fluvial sediments*. Journal of the Hydraulics Division, American Society of Civil Engineers, 97, pp. 1165-1180.
42. KELLERHALS R., NEILL C. R., BRAY D. I., 1972 - *Hydraulic and geomorphic characteristics of rivers in Alberta*. In: River Engineering and Surface Hydrology Report, Research Council of Alberta 72-1, 52 pp.
43. KELLERHALS R., CHURCH M., BRAY D. I., 1976 - *Classification and analysis of rivers processes*. Journal of Hydraulic Division, ASCE, 102 (7), HY7, pp. 813-829.
44. KONDOLF M., 1996 - *A cross section of stream channel restoration*. Journal of Soil and Water conservation, Vol. 51, n. 2, pp. 119-125.
45. LANGBEIN W. B., LEOPOLD L. B., 1966 - *River meanders: theory of minimum variance*. Professiona Paper 422H, United States Geological Survey.

46. LENZI M. A., MARCHI L., 1988 - *Assessment of bed material composition in a small alpine stream*. In: Riunione annuale dell'Unità del Progetto Nazionale di Ricerca M.P.I. 40%, Fenomeni di Trasporto Solido. Unità di Trento. Università di Trento, pp. 113-122.
47. LENZI M. A., MARCHI L., SCUSSEL G. R., 1990 - *Measurement of coarse sediment transport in a small alpine stream*. In Lang H. e Musy A. (eds.), *Hydrology in Mountainous Regions*, Hydrological Measurements, the Water Cycle, IAHS Publ., 193, pp. 283-290.
48. LENZI M. A., 1992 - *Campionamento ed analisi di materiale d'alveo con componenti grossolane*. In: Il bacino attrezzato del Rio Cordon. Quaderni di Ricerca, Regione Veneto, Marchi L. (Ed.), 13, pp. 159-178.
49. LENZI M. A., MARCHI L., TECCA P. R., 1996 - *Field studies on sediment transport and debris flows in small basins of the Italian Alps*. In: Krecek J, Rajwar G.S. and Haigh M.J. (eds.), *Hydrological Problems and Environmental Management in Highlands and Headwaters*, New Delhi, pp. 71-79.
50. LENZI M. A., PATERNO P., 1997 - *La progettazione e la valutazione di impatto ambientale degli interventi di sistemazioni idraulico-forestali*. Edizioni Progetto, Padova, 158 pp.
51. LENZI M. A., BILLI P., D'AGOSTINO V., 1997 - *Effects of an extremely large flood on the bed of a steep mountain stream*. In: Wang S. S. Y., Langendoen E J., Shields F D., Jr, *Management of landscapes disturbed by channel incision, Stabilization, rehabilitation, restoration*, May 19-23 1997, Oxford, Mississippi, The University of Mississippi, pp. 1061-1066.
52. LENZI M. A., 1998 - *Criteri di classificazione dei sistemi fluviali*. Università di Padova, Quaderni del Dipartimento Territorio e Sistemi Agroforestali N° 50, 33 pp.
53. LENZI M.A., 1999_a - *Morfología y estabilidad de las secuencias en escalones (step pool) en los torrentes alpinos de elevada pendiente*. Ingeniería del Agua, Vol. 6, n. 2, pp. 151-152.
54. LENZI M.A., 1999_b - *Morfología dei corsi d'acqua e loro tendenza evolutiva in risposta ad eventi estremi*. Atti del Convegno "La gestione dell'erosione, scienza, tecnica e strumenti a confronto per il controllo dei fenomeni torrentizi", 28 Maggio 1999, Ed. Bios, Cosenza (in stampa).
55. LEOPOLD L. B., MADDOCK T., 1953 - *The hydraulic geometry of stream channels and some physiographic implications*. U. S. Geol. Survey Prof. Paper 252, 57 pp.
56. LEOPOLD L. B., WOLMAN M. G., 1957 - *River channel patterns: braided, meandering and straight*. U. S. Geological Survey Prof. Paper, 282-B.
57. LEOPOLD L. B., WOLMAN M. G., 1960 - *River meanders*. Geol. Soc. Am. Bull., 71, 769-794.
58. LEOPOLD L. B., WOLMAN M. G., MILLER J. P., 1964 - *Fluvial process in geomorphology*. Freeman, San Francisco, CA., 552 pp.
59. LEOPOLD L. B., 1994 - *A View of the River*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.
60. LEWIN J., 1980 - *Available and appropriate time in geomorphology*. In Cullingford E.A., Davidson D. A. Lewin J. (Eds.) "Timescales in geomorphology", John Wiley and Sons, Toronto, pp. 3-10.
61. MOLLARD J. D., 1973 - *Airphoto interpretation of fluvial features*. In: Fluvial process and sedimentation, Proc. 9 Conf. Hydr. Symp., Edmonton, pp. 341-380.
62. PARIS E., 1983 - *Equilibri morfologici fluviali: indicazioni per interventi sistematori in alvei ghiaiosi*. In: Giornata di studio "Corsi d'acqua con letti di materiale grossolano ed incoerente", Napoli 11 novembre 1983, pp. 199-212.
63. PAOLETTI A., 1991 - *Lezioni di Idraulica Fluviale*. Politecnico di Milano, DIAR, 299 pp.
64. PARKER G., 1976 - *J. Fluid Mech.*, 76, 457 pp.
65. PARKER G., DIPLAS P., AKIYAMA J., 1983 - *Meander bends of high amplitude*. *Journal of Hydraulic Engineering* 109, pp. 1323-1337.
66. PARKER G., DIPLAS P., AKIYAMA J., 1984 - *Closure*. *Journal of Hydraulic Engineering* 110, pp. 1881-1887.
67. RICHARDS K., 1982 - *Rivers, form and processes in alluvial channels*. Methuen, London, 358 pp.
68. ROSGEN D. L., 1985 - *A stream classification system*. In: *Riparian Ecosystems and their Management*. First North American Riparian Conference. Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, RM-120, pp. 91-95.
69. ROSGEN D. L., 1994 - *A classification of natural rivers*. *Catena*, n. 22, pp. 169-199.
70. ROSGEN D. L., 1996 - *Applied river morphology*. Wildland Hydrology, Pagosa Springs, Colorado, Usa.
71. RUST B. R., 1978 - *A classification of alluvial channel system*. In Miall A. D. (ed.), *Fluvial Sedimentology*, Can. Soc. Petroleum Geol. Memoir 5, pp. 187-198.
72. SCHUMM S. A., 1977 - *The fluvial system*. Wiley, New York, 330 pp.
73. SCHUMM S. A., 1981 - *Evolution and response of the fluvial system, sedimentologic implications*. In: Ethridge F. G., Flores R. M. (Eds.), *Recent and ancient non-marine depositional environments: models for exploration*. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Pub. N. 31, pp. 19-29.
74. SCHWEITZER R., 1995 - *Metodi di ingegneria naturalistica lungo i corsi d'acqua*. In: *Moderni criteri di sistemazione degli alvei fluviali (a cura di U. Maione e A. Brath)*, Ed. Bios, Cosenza, pp. 319-326.
75. SHEN H.W., KOMURA S., 1968 - *Meandering tendencies in straight alluvial channels*. *Proc. Am. Soc. Civil Engrs.*, vol. 94, n. HY4.
76. THORNE C. R., HEY R. D., NEWSON M. D., 1997 - *Applied Fluvial Geomorphology for River Engineering and Management*. John Wiley, Chichester, UK, 376 pp.
77. WERRITTY A., FERGUSON R. I., 1980 - *Pattern changes in a Scotch braided river over 1, 30, 200 years*. In: In Cullingford E.A., Davidson D. A. Lewin J. (Eds.) "Timescales in geomorphology", John Wiley and Sons, Toronto, pp. 53-68.
78. WHITTAKER J. G., JAEGGI M. N. R., 1982 - *Origin of step-pool system in mountain stream*, *Proc. Am. Soc. Civ. Engrs.*, J. Hydraulic Division, n. 108, HY106, pp. 758-773.
79. WILLIAMS G. P., 1978 - *Bankfull Discharge of Rivers*. *Water Resources Research* 23(8), pp. 1471-1480.
80. WILLIAMS G. P., ROSGEN D. L., 1989 - *Measured total sediment load for 93 United States streams*. Open File Report 89-67. U.S. Geol. Survey, Denver, CO, 128 pp.
81. WOLMAN M. G., 1954 - *A method of sampling coarse river-bed material*. *Trans. Am. Geophys. Union*, 35, pp. 951-956.
82. ZELLER J., 1967 - *Meandering Channels in Switzerland*. *Int. Assoc. Sci. Hydr., Symp. on River Morphology*, Bern.