

5 - L'AZIONE MORFOLOGICA DELL'ACQUA

Grandi gocce d'acqua precipitano urtando con violenza il suolo coperto da una coltre di detriti (foglie, rami, steli d'erba,... **fig. 5.1**). A qualche centimetro di profondità non è più possibile riconoscere l'origine dei residui organici; essi sono via via più minuti fino a formare un insieme di composti (l'humus) soffice e scuro che viene gradualmente mineralizzato procedendo verso il basso, fino ad arrivare alla sottostante "roccia madre" (sottosuolo), talora dura e consistente come il granito, talora incoerente come la sabbia o l'argilla. La roccia madre è priva di vita, tutt'al più "perforata" dalle radici che si spingono più in basso. Il terreno che la ricopre (suolo) costituisce un insieme soffice, spugnoso e ricco di vita (essenzialmente macroinvertebrati quali vermi, larve di insetti, insetti adulti,... e numerosi microrganismi), in grado di attutire efficacemente l'urto della goccia; anzi quest'ultima potrebbe essersi già frantumata sulle fronde del bosco costituente il soprassuolo. Se il terreno è nudo (per la limitata o assente copertura vegetale) e privo di detriti organici, l'impatto della pioggia produce effetti devastanti (**fig. 5.1**). Essa sposta i granelli di sabbia ed argilla, trascinati poi dall'acqua che, in occasione di piogge intense, ruscella sulla superficie del terreno. Si formano rivoli fangosi che scendono rapidamente sui fianchi delle colline e delle montagne, sfruttando le linee di massima pendenza. Nel loro movimento i granelli "graffiano" il terreno mettendone in movimento altri. Questa azione viene detta "**erosione**", efficace soprattutto sui terreni senza adeguata copertura vegetale, ma anche sulle pendici fittamente boscate, pur se in misura molto più limitata.

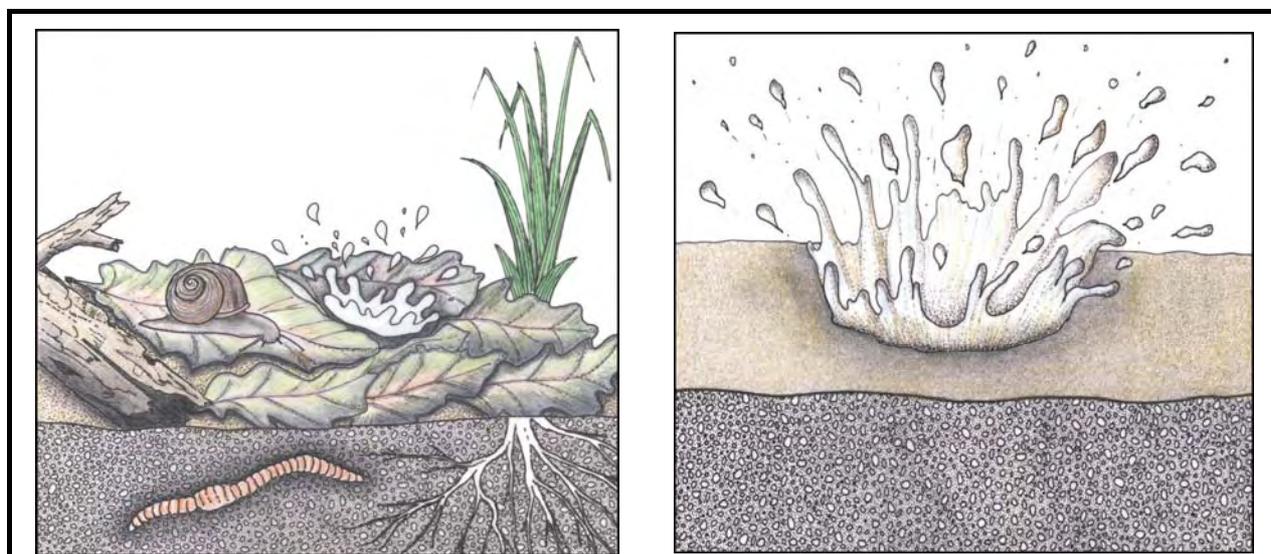


Fig. 5.1 - Un terreno ben protetto dalla vegetazione e da detriti organici (**a sinistra**) non subisce effetti rilevanti per l'urto delle gocce di pioggia. Nei confronti del terreno "nudo", costituito unicamente da detriti minerali, quali sabbia e argilla (**a destra**), l'urto delle gocce può comportare effetti devastanti. In basso sono riportati alcuni esempi di valori relativi alle entità di asportazione di terreni in funzione del loro uso.

	maggese lavorato a 20 cm di profondità	grano ripetuto	rotazione grano - granoturco	prato stabile
massa asportata (tonnellate/ettaro/anno)	37	9 ÷ 18	2	0,2
spessore asportato (cm/anno)	0,7	0,2 ÷ 0,4	0,05	0,006
numero anni per asportare 20 cm di spessore	30	30	400	3.400

Nei nostri climi, i terreni ben protetti dalla vegetazione (prato stabile, boschi) perdono, a causa dell'azione erosiva dell'acqua (**dilavamento**), quasi due quintali di terra per ettaro in un anno (occorrono quasi 3.500 anni per asportare 20 cm di spessore). Per confronto i terreni trattati a maggese perdono quasi quaranta tonnellate di terra per ettaro in un anno; cioè sono sufficienti 30 anni per asportare 20 cm di spessore (**fig. 5.1**). Il dilavamento prodotto dall'acqua di pioggia è un fenomeno molto discontinuo perché dipende dalla frequenza ed intensità delle precipitazioni e si arresta poco dopo il cessare della pioggia. Parte dell'acqua piovana si infila nel terreno; un'altra porzione costituisce lo **scorrimento superficiale** (**ruscellamento**)

che provoca l'asportazione ed il trasporto di particelle solide, ossia i *processi di dilavamento*. Dopo un breve percorso il materiale solido così trasportato viene depositato con formazione dei cosiddetti **depositi colluviali**. Tuttavia gran parte di tale materiale viene trasportato nei corsi d'acqua andando ad alimentare il *trasporto fluviale*. È difficile porre un preciso limite tra l'azione dei processi di dilavamento e quella dei *processi fluviali* (acque incanalate). In linea generale l'energia dei primi viene prevalentemente trasferita ai detriti per metterli in movimento, mentre l'energia dei secondi viene trasferita ai detriti per mantenerli in movimento. Tra i processi elementari connessi al dilavamento si possono citare:

- **erosione della pioggia battente** (*splash erosion*); azione meccanica della pioggia sul terreno, molto efficace con gocce grosse, precipitazioni intense e grandine;
- **erosione areale** (*sheet erosion*); ruscellamento diffuso su superfici più o meno grandi;
- **erosione a rivoli** (*rill erosion*); concentrazione dell'acqua in rivi al riunirsi di filetti idrici secondo linee di scorrimento preferenziali; ruscellamento embrionale entro rivoli quasi paralleli e discontinui;
- **erosione a solchi** (*gully erosion*); concentrazione del flusso superficiale (*ruscellamento concentrato*) in rivi con elevate portate e velocità di corrente; l'acqua è responsabile dell'*erosione lineare*, con formazione di *fossi, solchi di erosione e calanchi*; fenomeni che potrebbero essere collocati fra gli insiemi dei processi di dilavamento e fluviali;
- **inondazione a coltre o a lamina** (*sheet flood*); manifestazione intensa dell'erosione areale su superfici a debole pendenza sulle quali l'acqua, per l'intensità della pioggia, mantiene elevati spessore ed energia.

5.1 - Il reticolo idrografico

L'erosione, indipendentemente dall'intensità (che dipende dalla copertura vegetale e da altri fattori come il clima e la natura del sottosuolo), diventa più efficace dove l'acqua si raccoglie in solchi e quindi in ruscelli; questi disegnano sul terreno una trama più o meno fitta di piccoli canali ad andamento spesso tortuoso; essi, scendendo a valle, confluiscono, raccolgono altra acqua e si ingrandiscono. Si tratta di linee di scorrimento preferenziali dell'acqua lungo le quali l'erosione esercita maggiormente l'azione di erosione (**fig. 5.2**).

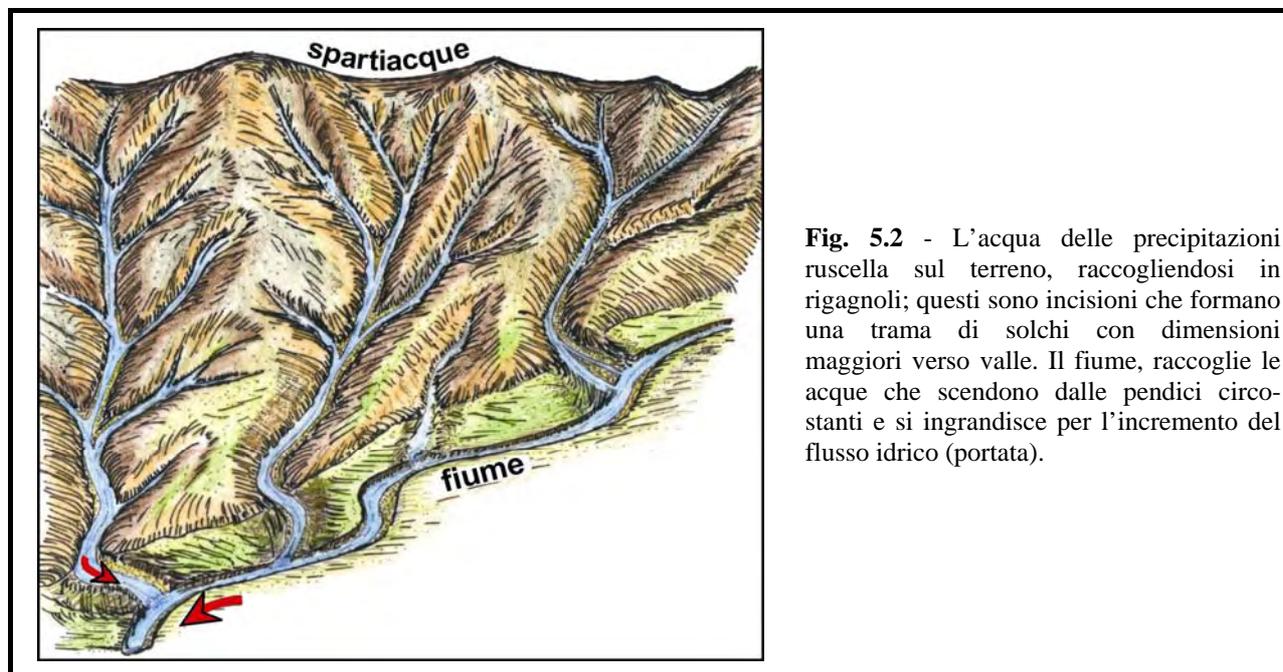
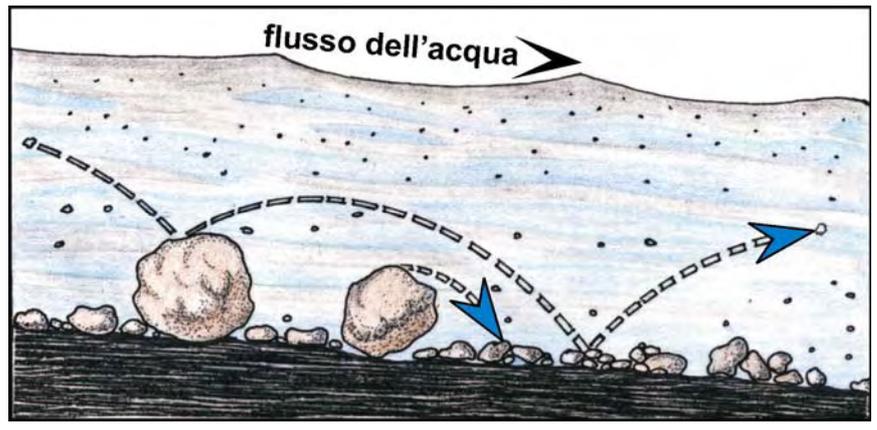


Fig. 5.2 - L'acqua delle precipitazioni ruscella sul terreno, raccogliendosi in rigagnoli; questi sono incisioni che formano una trama di solchi con dimensioni maggiori verso valle. Il fiume, raccoglie le acque che scendono dalle pendici circostanti e si ingrandisce per l'incremento del flusso idrico (portata).

L'acqua, da sola, ha scarso potere erosivo. Durante i periodi di scarse precipitazioni i corsi d'acqua sono limpidi e l'erosione è molto limitata; i piccoli ruscelli possono rimanere addirittura asciutti. Diversa è la situazione in occasione di precipitazioni intense e prolungate; le acque fangose trascinano nei letti dei fiumi grandi quantità di detriti strappati dai terreni circostanti (da qui il colore "terra" dei torrenti in piena). L'insieme di quei detriti (i cui grani possono avere anche la dimensione di ghiaia e addirittura di grosse pietre) costituisce il cosiddetto "**carico solido**" che è il vero responsabile dell'azione erosiva (**fig. 5.3**). Questa è funzione del trasporto solido che dipende a sua volta dalla velocità e dalla quantità d'acqua.

Fig. 5.3 - L'acqua muove grani di argilla, sabbia e grosse pietre tanto più efficacemente quanto maggiori sono massa e velocità. I grani "graffiano" i fianchi e il fondo del solco nel quale scorrono trascinati dall'acqua. Le pietre "rotolano" contribuendo a "muovere" altri detriti, il cui insieme costituisce il "**trasporto solido**", responsabile dell'erosione. Le pietre, in seguito agli urti che subiscono, presentano spigoli arrotondati (**ciottoli fluviali**).



L'erosione delle acque correnti superficiali viene anche detta "**erosione normale**", perché agisce perpendicolarmente alla superficie del terreno. In tempi della durata di millenni o di milioni di anni, essa produce le cosiddette **valli fluviali**, dalla tipica sezione trasversale a "V" (**fig. 5.4**). La complessa rete di canali naturali che confluiscono fra loro, fino ad alimentare un unico corso, viene detta **reticolo idrografico**. È un insieme di "incisioni" destinate, con il tempo, per erosione, ad approfondirsi, con conseguente asportazione di grandi quantità di materiali detritici. Tutta l'area drenata dal reticolo idrografico si trasforma in una sorta di depressione (**fig. 5.5**) che ricorda la forma di un catino, detta **bacino imbrifero**.

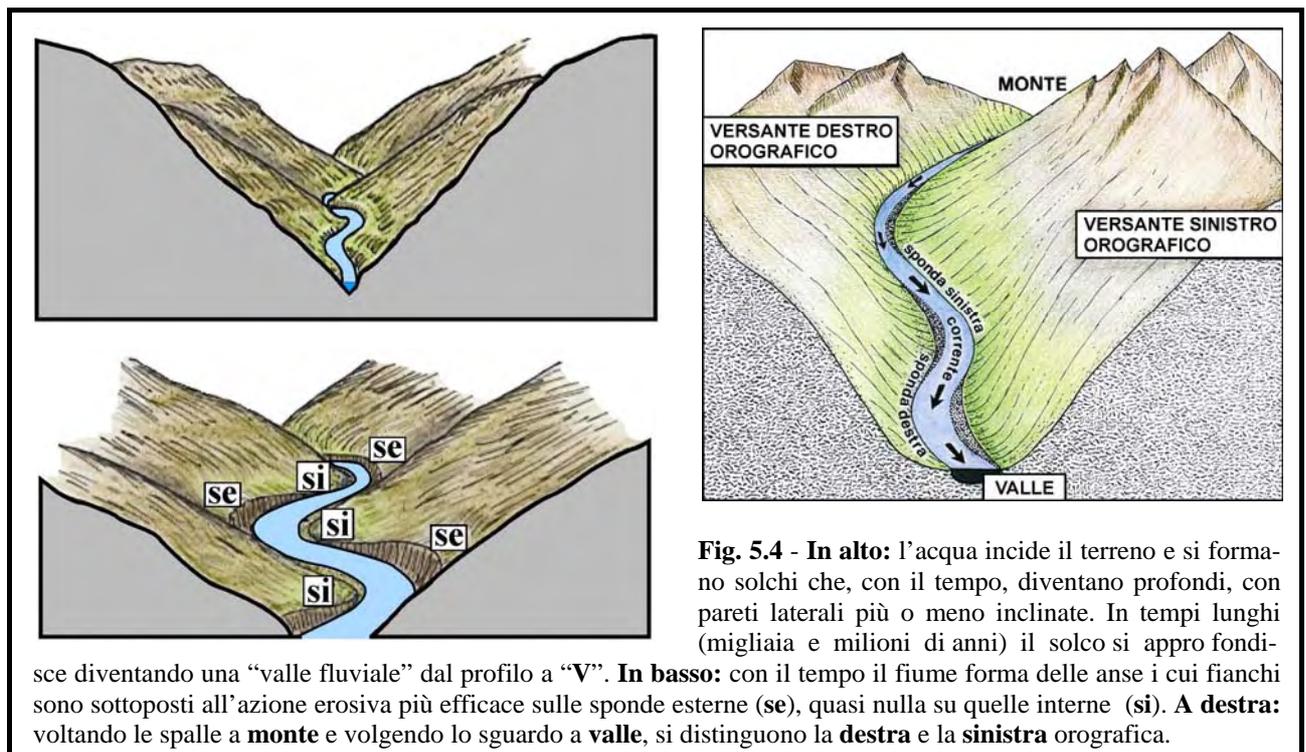


Fig. 5.4 - **In alto:** l'acqua incide il terreno e si formano solchi che, con il tempo, diventano profondi, con pareti laterali più o meno inclinate. In tempi lunghi (migliaia e milioni di anni) il solco si approfondisce diventando una "valle fluviale" dal profilo a "V". **In basso:** con il tempo il fiume forma delle anse i cui fianchi sono sottoposti all'azione erosiva più efficace sulle sponde esterne (se), quasi nulla su quelle interne (si). **A destra:** voltando le spalle a **monte** e volgendo lo sguardo a **valle**, si distinguono la **destra** e la **sinistra** orografica.

L'erosione determina la natura dei fondali dei fiumi in funzione delle pendenze e della velocità dell'acqua, soprattutto durante le piene. Troveremo roccia viva, massi e grosse pietre negli alvei degli impetuosi torrenti montani; tutto ciò che è di dimensioni inferiori viene trascinato a valle. Sabbia e limo caratterizzano i fiumi di pianura, dove la corrente è spesso così debole da non smuovere le particelle più leggere se non durante le piene (**fig. 5.6**). La corrente è il fattore principale di questi ambienti, anche dal punto di vista biologico.

L'erosione un fenomeno naturale con il quale l'uomo si è sempre misurato. Uno degli aspetti più evidenti è rappresentato dai "movimenti di terra" in prossimità dei corsi d'acqua che causano, soprattutto durante le piene, franamenti di sponde e inondazioni, spesso con gravi conseguenze per le attività umane. Gli ingegneri idraulici considerano il reticolo idrografico come un insieme di canali atti a far defluire l'acqua senza considerare la complessità dei fenomeni biologici ad essi associati. I corsi d'acqua sono stati in gran parte rettificati, gli alvei "normalizzati", le sponde rese parallele, i fondali cementificati, i percorsi resi lineari, i

fiumi trasformati in canali artificiali. Si è banalizzata la varietà di microambienti (rapide, lame, salti, lanche, spiagge,...) in grado di ospitare numerose specie di organismi. Le opere di cementificazione richiedono enormi impegni finanziari e, salvo qualche caso, sono inutili e addirittura dannose perché, eliminando le irregolarità naturali del fiume, favoriscono l'incremento della velocità dell'acqua e l'aumento dell'erosione.

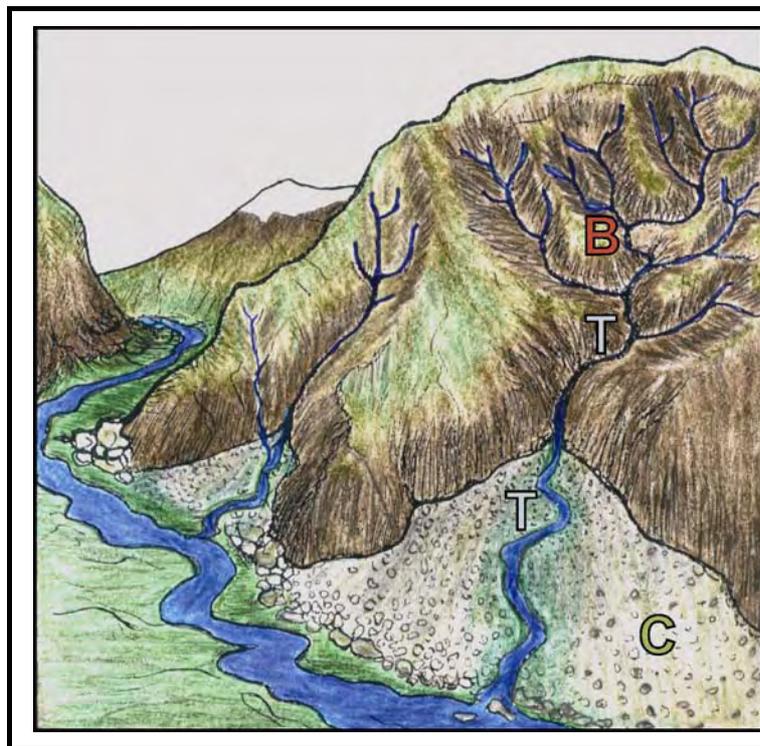


Fig. 5.5 - L'erosione è causa dell'asportazione di materiali e formazione di una depressione (**B**) detta **bacino imbrifero**. Su esso il **reticolo idrografico** raccoglie le acque che ruscellano sul terreno per convogliarle nel corso principale (**T**) e nel fiume di fondovalle. I torrenti delle porzioni più alte del bacino hanno elevata pendenza; la velocità delle acque è notevole; vengono trascinati a valle detriti grossolani, quali grosse pietre e, in occasione di intense precipitazioni, anche massi. Presso il fondovalle la pendenza diminuisce ed anche la velocità dell'acqua che così non ha più la forza di trasportare i detriti più grossi; questi vengono "abbandonati" a formare depositi a forma di ventaglio detti "**coni detritici alluvionali**" (**C**).

Il reticolo idrografico, rappresentato su una carta topografica di dettaglio, appare come una trama di linee più o meno sinuose, fitte ed intrecciate, che origina un "disegno" il cui aspetto dipende da numerosi fattori in relazione alle caratteristiche dei materiali sui quali scorrono le acque superficiali, al clima, alla copertura forestale, ecc... Per esempio la *densità di drenaggio* (numero di incisioni fluviali per unità di superficie) è meno accentuata su terreni duri rispetto a quelli teneri (in alto della **fig. 5.7**). A seconda delle situazioni l'aspetto del reticolo idrografico può essere molto diverso (in basso della **fig. 5.7**). Vale tuttavia l'avvertenza che il riconoscimento sul terreno di una forma rispetto ad un'altra non è sempre agevole, come accade tutte le volte che si pretende di catalogare la complessità della Natura in semplici schemi di classificazione.

5.2 - Il bacino imbrifero

Quando si discute della qualità delle acque di un corpo idrico superficiale, che si tratti di un impetuoso torrente montano o di un placido fiume di pianura, di un lago o di una palude, si fa riferimento essenzialmente allo specchio d'acqua, senza considerare i rapporti di questo con l'ambiente terrestre circostante. Uno stagno viene considerato un ambiente chiuso, ben delimitato dal suo perimetro, una barriera che lo separa dalla terra emersa, un confine definito tra due ambienti diversi ed apparentemente isolati. In realtà un fiume o un lago influenzano l'ambiente circostante e ne vengono influenzati. La loro acqua può servire per l'irrigazione, essere inquinata da scarichi industriali o eutrofizzata da scarichi cloacali. Lo scadimento della qualità delle acque di un lago viene normalmente attribuito alle attività delle comunità costiere e quindi agli scarichi diretti; in questa visione viene considerato nocivo alla qualità delle acque ciò che vi viene scaricato direttamente.

Si tratta di una semplificazione; se fosse così, per ripristinare il fiume Po sarebbe sufficiente eliminare le immissioni inquinanti (scarichi industriali e fognari) e le fonti di alterazioni dirette (le escavazioni in alveo). Purtroppo il problema è molto più complesso. In realtà le caratteristiche dell'acqua in un fiume o in un lago sono il risultato di un complesso di fenomeni che, nel loro insieme, caratterizzano il territorio del bacino imbrifero. Questo è un "sistema naturale" con acqua in entrata (pioggia, grandine, neve) e acqua in uscita (evaporazione dal terreno, traspirazione delle piante, deflussi del fiume principale).

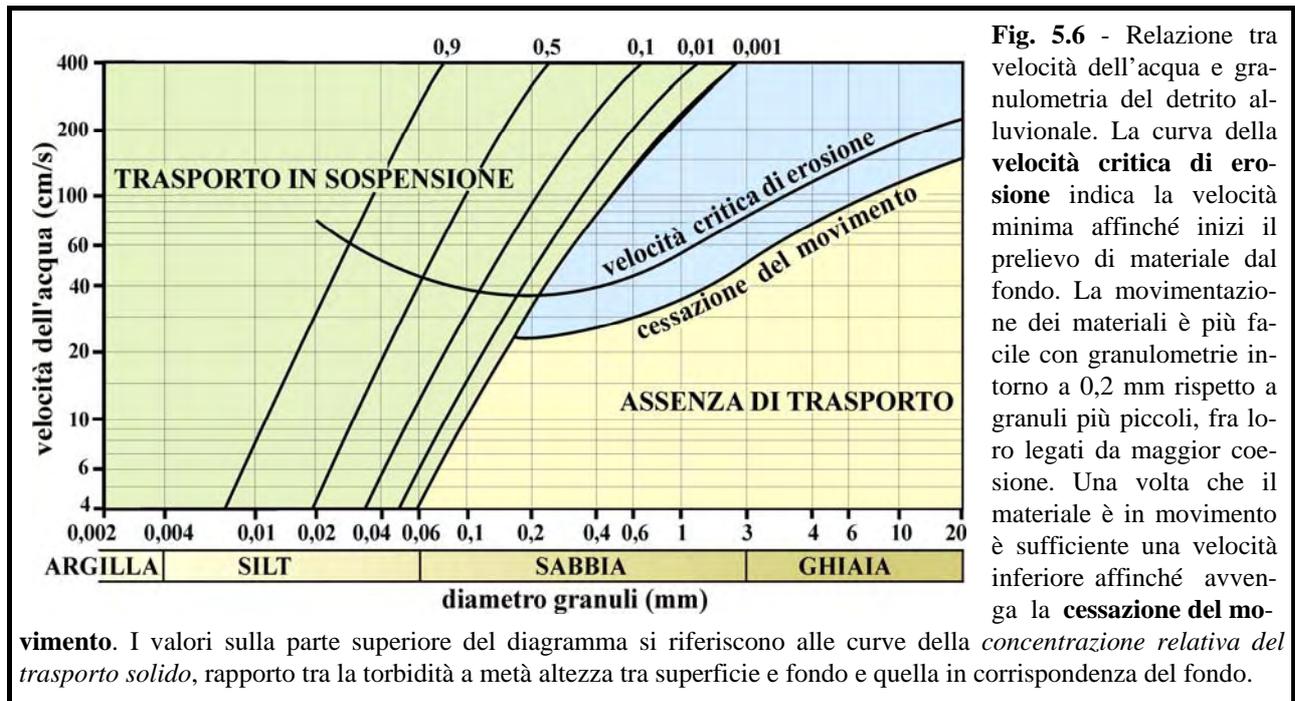


Fig. 5.6 - Relazione tra velocità dell'acqua e granulometria del detrito alluvionale. La curva della **velocità critica di erosione** indica la velocità minima affinché inizi il prelievo di materiale dal fondo. La movimentazione dei materiali è più facile con granulometrie intorno a 0,2 mm rispetto a granuli più piccoli, fra loro legati da maggior coesione. Una volta che il materiale è in movimento è sufficiente una velocità inferiore affinché avvenga la **cessazione del movimento**.

I valori sulla parte superiore del diagramma si riferiscono alle curve della *concentrazione relativa del trasporto solido*, rapporto tra la torbidità a metà altezza tra superficie e fondo e quella in corrispondenza del fondo.

Classificazione delle categorie granulometriche in funzione delle dimensioni dei grani.

classificazione dei grani	dimensioni dei grani [mm]		velocità corrente [cm/s]
ghiaia con massi	> 256		molto rapida (> 100)
ghiaia con ciottoli grossolani	64 ÷ 256		rapida (61 ÷ 100)
ghiaia con ciottoli medi	4 ÷ 64		moderata (31 ÷ 60)
ghiaia con ciottoli piccoli	2 ÷ 4		
sabbia molto grossolana	1 ÷ 2		lenta (6 ÷ 30)
sabbia grossolana	0,5 ÷ 1	1/2 ÷ 1/1	
sabbia media	0,25 ÷ 0,5	1/4 ÷ 1/2	
sabbia fine	0,125 ÷ 0,25	1/8 ÷ 1/4	
sabbia molto fine	0,0625 ÷ 0,125	1/16 ÷ 1/8	molto lenta (0 ÷ 5)
silt grossolano	0,0312 ÷ 0,625	1/32 ÷ 1/16	
silt medio	0,0156 ÷ 0,0312	1/64 ÷ 1/32	
silt fine	0,0078 ÷ 0,0156	1/128 ÷ 1/64	
silt molto fine	0,0039 ÷ 0,078	1/256 ÷ 1/128	
argilla	< 0,0078	< 1/256	

La quantità d'acqua nel fiume dipende dalle dimensioni del bacino, dal clima, dalla copertura vegetale (i boschi, i prati, le colture che "tappizzano" i terreni,...). La velocità delle acque dipende dalla pendenza dell'alveo e quindi dalla natura dei materiali che costituiscono il territorio del bacino imbrifero oltre che dalla sua forma. Le acque hanno un chimismo diverso da fiume a fiume (alcaline o acide, più o meno ricche di sali,...) che dipende dalle formazioni geologiche, dal tipo di suolo che su esse si forma e, quindi, di nuovo dal clima e dalla vegetazione. Il tutto può essere complicato dalla presenza di acque sotterranee, talora di notevole portata, come nelle zone carsiche. **L'acqua di un fiume o di un lago dipende dalla complessa natura del bacino imbrifero.**

Ogni goccia di pioggia ha un destino diverso a seconda della natura del suolo. Unendosi ad altre, forma rivoli che ruscellano sul terreno, scorrendo allo scoperto sulle pendici di montagne e di colline o al riparo di fitti boschi, incanalandosi poi in rigagnoli il cui percorso dipende dalla natura del substrato, quindi in torrentelli di maggiori dimensioni fino al corso principale. È un viaggio che può durare da poche ore a qualche giorno (anche mesi, anni o secoli se quella goccia venisse imprigionata in un ghiacciaio). In questo tempo la goccia si trasforma chimicamente a seconda della natura del suo tortuoso percorso; procedendo a valle "memorizza" la natura del bacino imbrifero che alimenta il fiume di cui è parte integrante. Forse quella stessa "memoria" che permette ai salmoni di distinguere, nelle loro incredibili risalite, le sorgenti dove sono nati. **Un corpo idrico superficiale (fiume, lago, stagno) è un sottosistema che fa parte di quello naturale più grande, il suo bacino imbrifero, dal quale dipende in tutte le sue caratteristiche (figg. 5.8 e 5.9).**

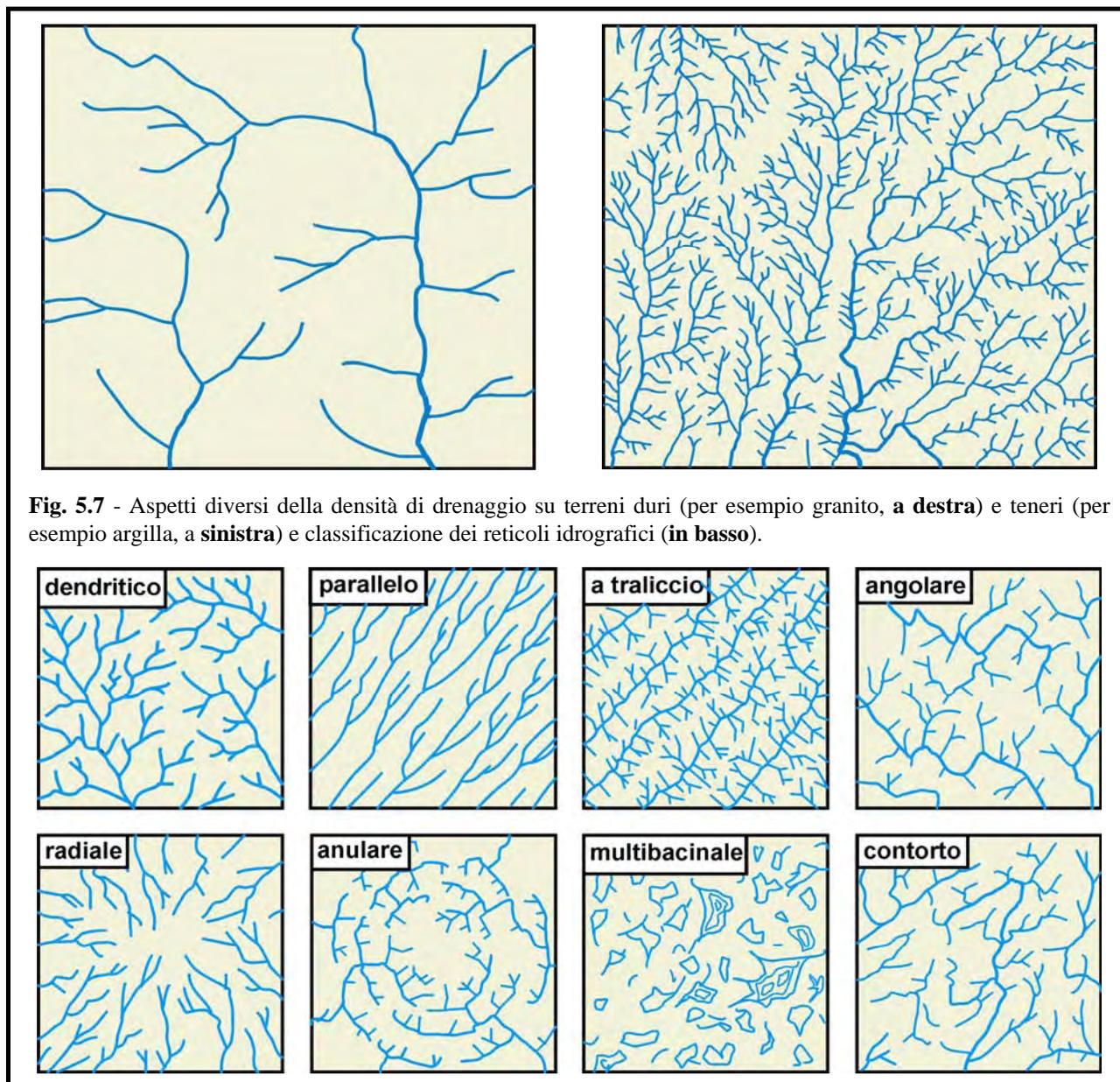


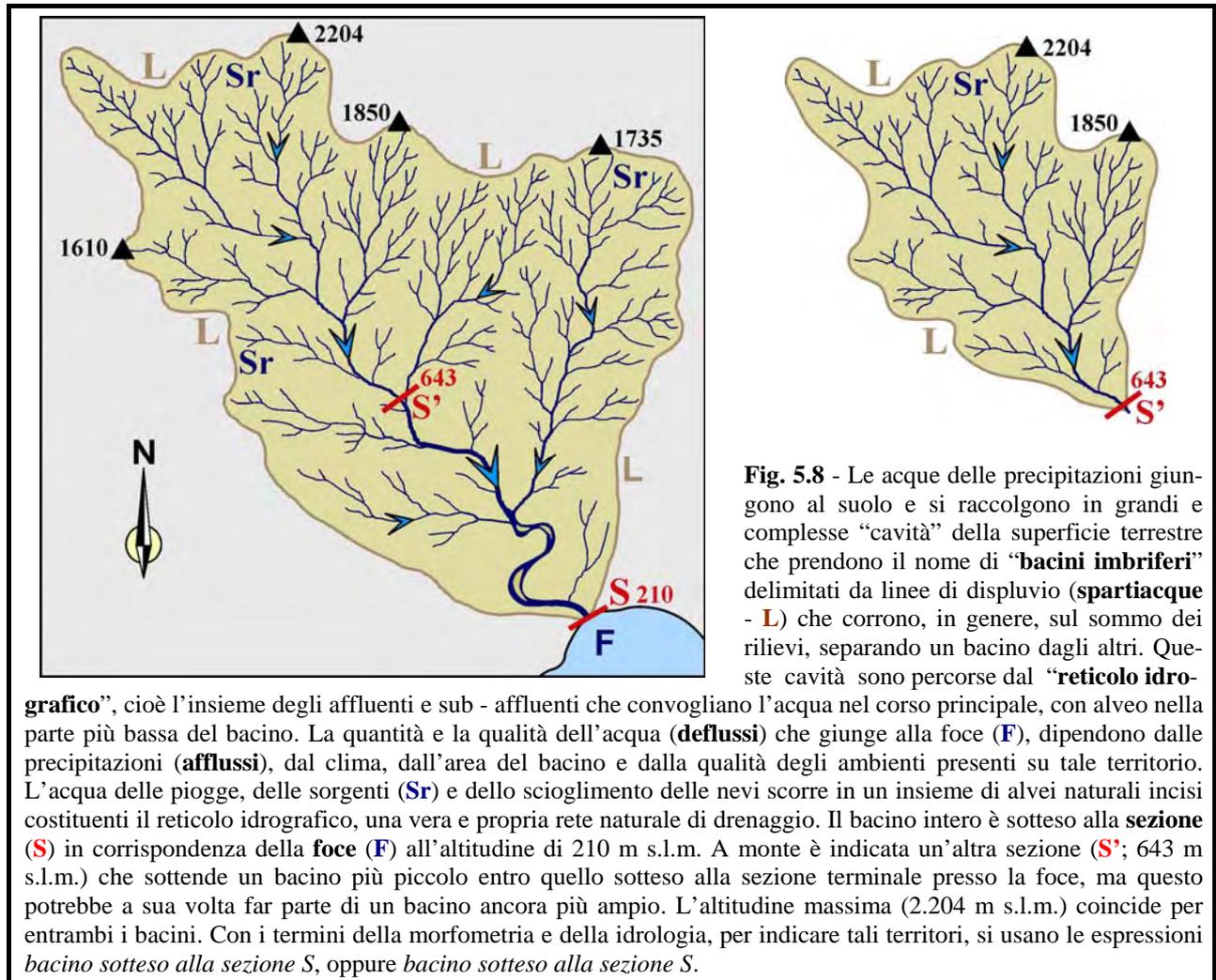
Fig. 5.7 - Aspetti diversi della densità di drenaggio su terreni duri (per esempio granito, a destra) e teneri (per esempio argilla, a sinistra) e classificazione dei reticoli idrografici (in basso).

La **fig. 5.10** mostra il bacino del fiume Po (75.000 km²) comprendente le regioni Valle d’Aosta, Piemonte, Lombardia e buona parte dell’Emilia. In quel territorio vivono oltre 15 milioni di persone e su di esso sono presenti attività agricole, zootecniche ed industriali. La qualità chimica e biologica dell’acqua che giunge all’Adriatico dipende dalla qualità ambientale del bacino padano, l’area più intensamente antropizzata d’Italia. Non stupisce se il mare risulta in cattive condizioni ambientali con estese manifestazioni di eutrofizzazione. Il Po, ogni anno, scarica in Adriatico ben 25.000 tonnellate di fosforo delle quali oltre il 90 % dovuto alle attività umane. Ciò dimostra che i problemi di risanamento dei corpi idrici superficiali sono più complessi di quanto appaiono a prima vista, perché bisogna porre attenzione non solo agli scarichi diretti, ma anche alla natura ed alle attività antropiche del territorio del bacino imbrifero.

5.3 - Gli alvei dei corsi d’acqua e le alluvioni

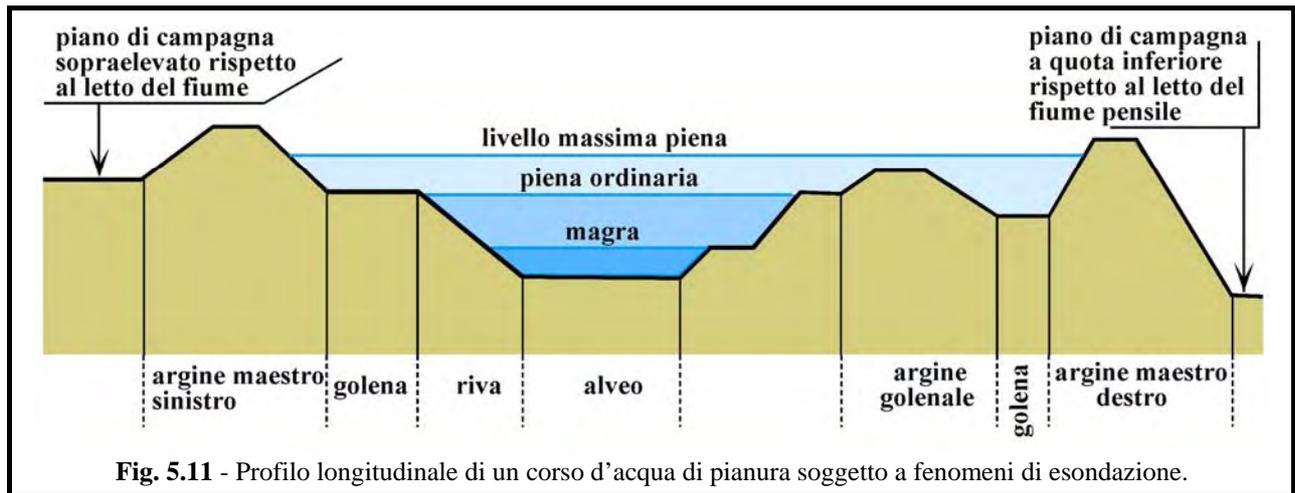
L’impeto dell’acqua che corre lungo una ripida incisione è conseguenza della pendenza dell’alveo. Esiste una relazione diretta, che lega la velocità del flusso idrico con la pendenza del profilo longitudinale. Maggiore è la velocità dell’acqua, più elevata è la capacità di trasporto solido; quindi la pendenza dell’alveo determina anche le dimensioni e la quantità dei detriti messi in movimento e trasportati a valle. L’alta montagna è caratterizzata da versanti ripidi lungo i quali, secondo linee di massima pendenza, l’acqua incide solchi che costituiscono il reticolo idrografico. Sono alvei naturali in cui solo i massi di maggiori dimensioni

non vengono strappati dalle loro posizioni durante le piene, quando più cospicue sono le portate e maggiore la capacità di trasporto solido. I materiali con granulometria più piccola vengono trascinati a valle. Un torrente montano appare con un alveo incassato tra pareti rocciose e con il fondo “ingombro” di massi che ostacolano il flusso dell’acqua, costringendola ad “aggirare” piccole dighe naturali, a compiere salti per scavalcare rocce meno facilmente erodibili o a scorrere veloce formando piccole ed impetuose rapide. Lungo il suo corso superiore, il torrente vede il repentino alternarsi di tratti con velocità di flusso molto diverse, ma sempre piuttosto elevate.

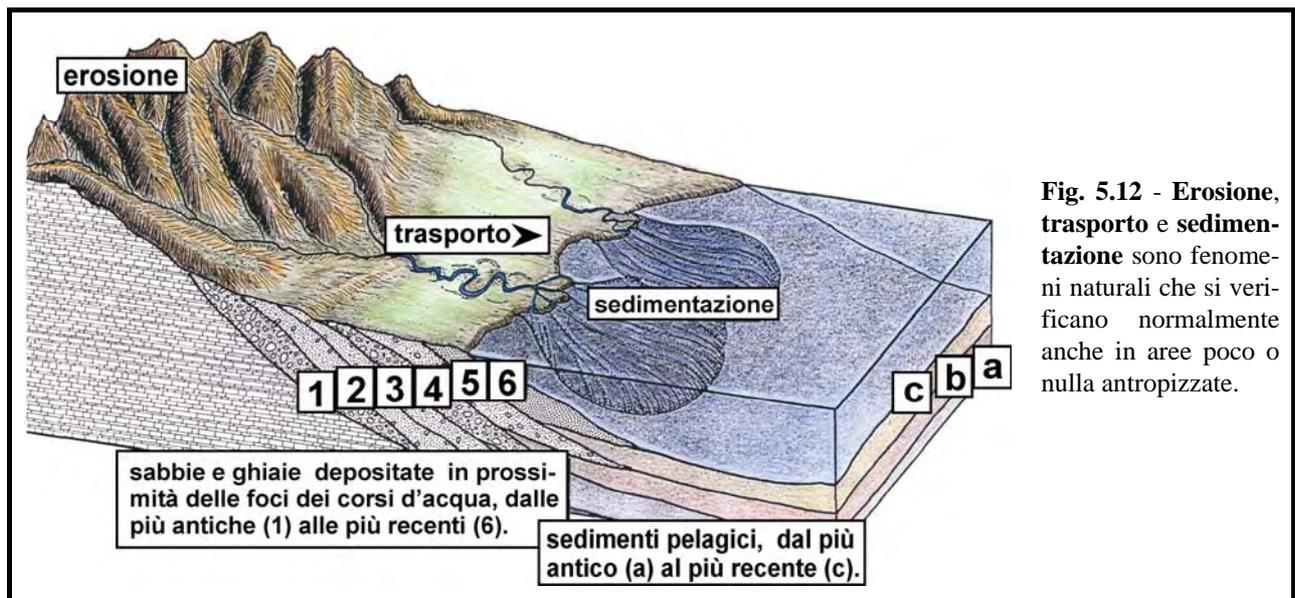


Verso valle diminuisce la pendenza dell’alveo; compaiono tratti, via via più ampi, in cui la velocità dell’acqua non è sufficiente al trasporto di ciottoli di medie dimensioni che, quindi, vengono lasciati sul fondale a formare i “**ghiaietti**”. In altri tratti, dove ostacoli naturali rallentano la corrente, si formano fondali costituiti da ghiaia sempre più minuta. Sono ancora rari i letti sabbiosi. È necessario scendere a valle, allo sbocco delle vallate, per trovare banchi di una certa consistenza. Giunto in pianura, il fiume corre veloce solo in corrispondenza di brusche variazioni di pendenza, dove si formano ampie **rapide** su fondo ciottoloso, ma destinate a diventare più rare. In corrispondenza delle sponde interne delle anse o presso le rive, dove l’acqua è più tranquilla, talora quasi stagnante, si hanno le condizioni per depositi di argilla, tipica dei fiumi di pianura, dove la corrente, anche di piena, ha minore capacità di trasporto dei solidi.

La **granulometria dei detriti diminuisce da monte a valle in funzione della pendenza del corso d’acqua**. I materiali detritici depositati dai corsi d’acqua sul fondo delle vallate e in pianura, sono detti **depositi alluvionali** (o **alluvioni**; dal latino “*alluvio*”). Il trasporto solido aumenta con la portata e risulta molto elevato in occasione delle **piene**. Queste sono il risultato di situazioni idrometeorologiche particolari; la portata in un fiume cresce, fino a decine e centinaia di volte superiore a quella media, per abbondanti precipitazioni sul bacino. Aumenta il livello d’acqua che può anche superare i margini superiori dei fianchi dell’alveo (**argini**; **fig. 5.11**), con allagamento delle campagne circostanti (alluvione o **esondazione**).

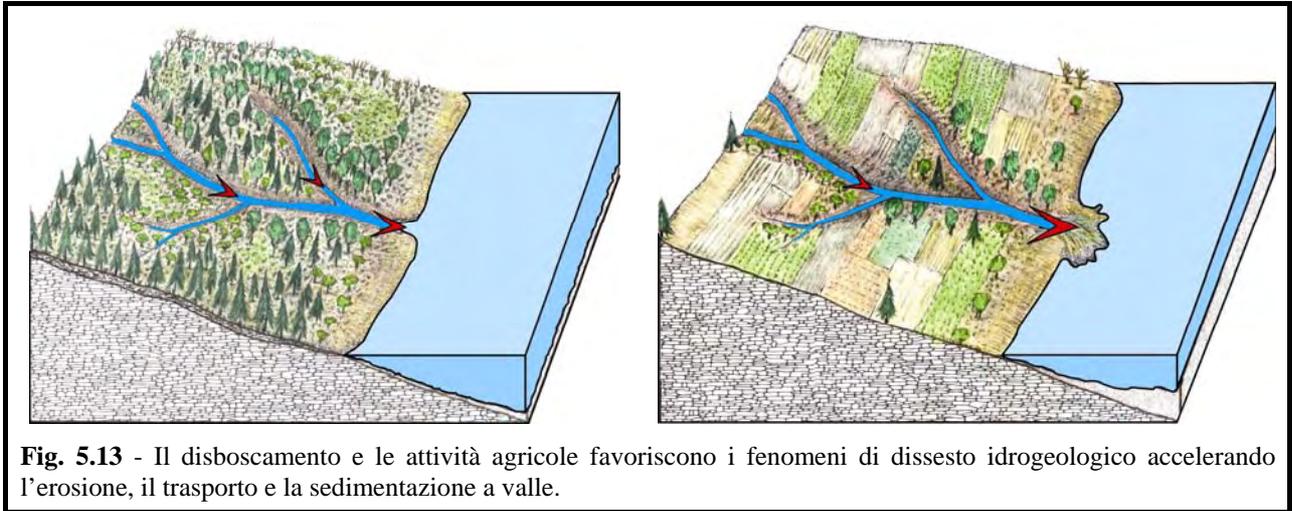


L'esondazione non è condizione necessaria per definire la piena; questa si può manifestare in modo meno accentuato, senza provocare allagamenti. Il fenomeno della piena comporta un notevole aumento della portata, un incremento della quantità e della velocità dell'acqua che corre nell'alveo del fiume. È acqua torbida perché trascina con sé detriti strappati dai terreni del bacino imbrifero per mezzo dell'erosione (ruscellamento). Quando la piena si esaurisce, nel letto del fiume e nelle campagne circostanti, se vi è stata esondazione, rimangono i materiali detritici, la cui composizione e granulometria assume aspetti caratteristici da monte a valle. Ma il fatto importante è che **i materiali costituenti le alluvioni presentano una composizione granulometrica relativamente omogenea**. La velocità dell'acqua è il fattore più importante nel determinare le dimensioni dei grani che vengono depositati. Se una corrente in un tratto dell'alveo (o al di fuori di esso in occasione di una piena con esondazione) ha velocità "abbastanza lenta" (intorno a 25 cm/s; **fig. 5.6**), essa è in grado di trasportare materiali con granulometria pari o inferiore a quella della sabbia (grani con diametro inferiore a 2 mm); si deposita la ghiaia fine mentre i grani più piccoli vengono depositati a valle dove diminuisce la corrente e i ciottoli più grandi vengono depositati a monte dove la corrente stessa è più veloce. Immaginando un fiume che trasporta materiali di varie dimensioni, con velocità minore da monte a valle, i detriti che esso deposita hanno dimensioni minori. Nei depositi fluviali si osserva una certa separazione dei materiali secondo la granulometria, ma sono presenti anche granulometrie miste, che denotano l'irregolarità delle correnti, specie nei corsi d'acqua con regime più variabile.



Le piene sono fenomeni idrologici conseguenti a intense precipitazioni. I rovesci temporaleschi della durata di poche innescano piene improvvise in piccoli torrenti montani o in fiumiciattoli di pianura alimentati da piccoli bacini. Tali piene, a parità di intensità e durata delle precipitazioni, sono più cospicue sia come portata, sia come trasporto solido (maggiore erosione), se i bacini non sono ben protetti dalla vegetazione.

Questa frena l'impeto dell'acqua allungando il tempo impiegato da essa per giungere al torrente (**tempo di corrivazione**) e soprattutto limita la possibilità di movimento delle particelle detritiche del terreno, diminuendo il trasporto solido (**fig. 5.12**). Il disboscamento e le attività agricole che necessitano di ampie porzioni di terreno poco protetto dalla vegetazione, sono le cause principali del "**dissesto idrogeologico**" (**fig. 5.13**), cioè l'insieme di fenomeni naturali e di origine antropica che favoriscono i fenomeni erosivi.



I rovesci temporaleschi non producono gli stessi effetti sui grandi bacini. Le piene di fiumi come il Po, l'Arno, il Tevere,... sono dovute a piogge intense, con durata di molte ore, anche di alcuni giorni. Se le piene dei piccoli fiumi possono essere limitate con una politica di prevenzione contro il dissesto idrogeologico (per esempio con il rimboscamento), più difficile è ridurre gli effetti delle piene dei grandi fiumi. Le gocce della pioggia, una volta giunte al suolo in un ampio bacino, impiegano parecchio tempo prima di giungere nel letto del fiume, almeno quelle che cadono nelle zone più lontane; le poche ore di "ritardo" imposte da una fitta vegetazione sui già lunghi tempi di corrivazione dei grandi bacini hanno scarsa influenza. Forse le disastrose alluvioni del Polesine del novembre '51 e di Firenze nel novembre '66, sarebbero avvenute ugualmente e con intensità poco diverse, anche se i bacini del Po e dell'Arno fossero stati fittamente boscati.

5.4 - La fascia di pertinenza fluviale

Ricordando gli eventi calamitosi che colpirono gran parte dell'Italia negli ultimi 15 anni, è importante notare che essi furono principalmente caratterizzati da allagamenti di vaste aree delle pianure. Quale conseguenza di quegli eventi, in molte situazioni, si è continuato con gli errori del passato con numerosi interventi di sistemazione idraulica. "... *Un alluvione è un evento naturale estremo, uno scatenarsi di enormi energie, come un terremoto, un'eruzione vulcanica. Non ci si deve illudere che con più oculate tecniche di gestione del territorio essa possa essere evitata Ne si deve pensare che sia solo un certo approccio all'uso del territorio tipico dell'uomo moderno a essere causa di tali disastri: chi magnifica una certa infallibile saggezza dell'uomo di un passato remoto, non conosce la storia. Gli archivi di ogni borgo sono pieni di cronache che contano i morti, i terreni corrosi, i ponti crollati, cento come mille anni fa*" Ciò dimostra che il rapporto della società con tali fenomeni non può più "... essere di opposizione, bensì di adattamento. Esiste certamente una quota parte di responsabilità precise e pesanti, ma limitata all'esecuzione scorretta di qualche manufatto, alla localizzazione di strutture in aree a rischio, senza dimenticare l'esplosione demografica che non ci permette di ragionare sul territorio con la stessa logica del medioevo. Ma tutto ciò rappresenta solo una parte del triste panorama che si lascia alle spalle un'alluvione. Inutile scagliarsi contro i disboscamenti inesistenti (l'alta Val Tanaro è una delle più boschive delle Alpi occidentali), l'apertura di fantomatiche dighe (...), l'abbandono delle montagne e un'agricoltura che ora è vista come benigna custode del territorio, ora scellerata sfruttatrice del suolo Chi ha visto le Langhe dopo il 6 novembre avrà osservato frane che hanno ferito interi versanti con e senza vigneti, con e senza boschi, con e senza case. **Una grande alluvione non si può ne evitare, ne prevenire**" (In: MERCALLI, Nimbus, 1994/95).

Sarebbe invece indispensabile una nuova filosofia di azione che implichi il riconoscimento tangibile e visibile che vi è una fascia del territorio che appartiene al fiume, nella quale ogni interferenza antropica, anche nelle forme degli usi agricoli e di quelli sociali e ricreativi, dovrebbe essere ridotta al minimo. Occorrerebbe una ricomposizione del paesaggio fluviale che renda leggibile e significativa l'autonomia del teatro nel quale il fiume deve restare o tornare il protagonista". Ciò significa **restituire il più possibile al fiume la fascia fluviale, salvaguardandone la libertà di divagazione e riducendo al minimo le interferenze nella dinamica evolutiva dell'ecosistema fluviale**. La storia insegna che, un tempo, per l'uomo era indispensabile costruire, lavorare e vivere vicino all'acqua; il fiume era la fonte principale della risorsa idrica, diluiva i rifiuti, forniva forza motrice,... Fino a poche decenni fa l'uomo viveva la contraddizione determinata sia dall'esigenza di facili approvvigionamenti idrici sia, come conseguenza, di vivere pericolosamente vicino all'acqua. Gli interventi di regimazione hanno una lunga storia; l'idraulica è una delle discipline più antiche. Nonostante i numerosi interventi (briglie, massicciate, primate, traverse, gabbionate, rampe, ecc...; **fig. 5.14**), numerosi continuano ad essere i fenomeni di dissesto.

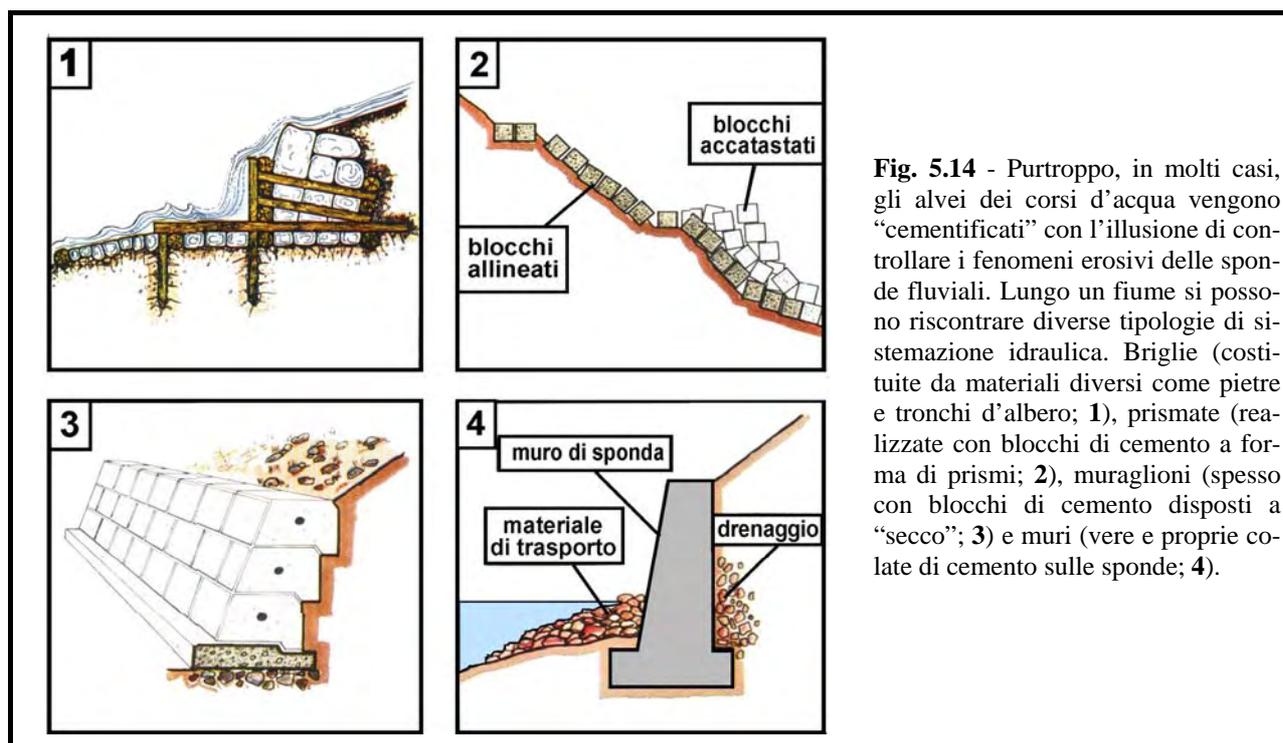


Fig. 5.14 - Purtroppo, in molti casi, gli alvei dei corsi d'acqua vengono "cementificati" con l'illusione di controllare i fenomeni erosivi delle sponde fluviali. Lungo un fiume si possono riscontrare diverse tipologie di sistemazione idraulica. Briglie (costituite da materiali diversi come pietre e tronchi d'albero; 1), primate (realizzate con blocchi di cemento a forma di prismi; 2), muraglioni (spesso con blocchi di cemento disposti a "secco"; 3) e muri (vere e proprie colate di cemento sulle sponde; 4).

Il problema della sicurezza idraulica lungo le sponde dei fiumi non è risolvibile. Le energie messe in gioco dalla Natura durante le situazioni idrometeorologiche più intense, sono tali che le stesse opere di difesa risultano inutili se non addirittura dannose. Visto che oggi la tecnologia lo permette, molto meglio (ed economicamente più vantaggioso) abbandonare le fasce fluviali e lasciare che i fiumi "facciano il loro mestiere" nel disegnare le forme del territorio, eliminando così i rischi di danni alle infrastrutture e pericoli per l'uomo. Nel 1797, G. Tarzoni Tozzetti scrisse al granduca di Toscana, Pietro Leopoldo, sull'alluvione del 1333: "*...una legittima vendetta del fiume; l'imprevidenza dell'uomo aveva fatto il possibile per portar via all'Arno una striscia del suo giusto e necessario letto, pretendendo di obbligarlo a camminare per una fossa augusta e strozzata....Ma l'Arno seppe vendicarsi, ed armata mano ricuperare il suo necessario letto*".

Nella moderna gestione del territorio sono indispensabili gli studi volti ad individuare le fasce di pertinenza fluviale dei corsi d'acqua delle pianure, costituite dalle aree fluviali determinate dai fenomeni morfologici, idrodinamici e naturalistici connessi al regime idrologico. Concorrono alla definizione delle fasce: le divagazioni dell'alveo storicamente documentate, l'estensione dell'alveo di piena e le aree strettamente connesse all'ambiente fluviale. L'individuazione di tali fasce è una procedura importante ed urgente; con esse si delimitano i territori nei quali i progetti di intervento sul paesaggio e di sfruttamento delle risorse, devono seguire procedure ben diverse rispetto alle aree adiacenti. Devono essere chiari i limiti di intervento, da subordinare alle necessità sia di difesa dai gravi rischi idraulici (che ancora permangono a carico soprattutto di centri urbani e di altre strutture non ricollocabili in aree di sicurezza), sia di rinaturalizzazione dell'alveo e delle fasce riparie, soprattutto attraverso le tecniche dell'**ingegneria naturalistica** (**fig. 5.15**).

Fig. 5.15 - Difesa spondale con le tecniche dell'ingegneria naturalistica. Si usano materiali naturali, in parte vivi (ontani, salici,...), che consolidano la struttura. Tali tecniche aumentano la sicurezza idraulica rispetto alle opere in cemento, in quanto favoriscono il drenaggio, aumentano l'elasticità della sezione, rallentano la corrente e favoriscono i processi dell'autodepurazione dei fiumi rispettandone la naturalità, offrendo cibo e riparo per gli animali. Le tecniche dell'ingegneria naturalistica non sono ancora sufficientemente diffuse; spesso si spacciano per tali interventi opere che niente hanno a che spartire con la filosofia dell'ingegneria naturalistica, che costringe i tecnici ad un notevole sforzo progettuale. Tali tecniche si impiegano anche per tratti fluviali entro centri abitati, perchè adatte per i raccordi con le aree verdi pubbliche.



5.5 - Il fiume cambia da monte a valle

L'ecosistema fluviale è paragonabile ad un lungo e sinuoso "nastro" d'acqua corrente. I parametri ambientali che possono essere utilizzati per descriverlo sono i seguenti:

- **pendenza dell'alveo**; dipende dalla natura dei terreni attraversati;
- **portata**; volume d'acqua che scorre nell'unità di tempo attraverso una sezione del corso d'acqua [m^3/sec]; dipende dal clima e dalle dimensioni del bacino imbrifero;
- **velocità della corrente**; dipende dalla portata e dalla pendenza dell'alveo [cm/sec];
- **larghezza dell'alveo**; dipende dalla portata e dalla pendenza dell'alveo; è molto variabile, pertanto vengono utilizzati valori medi [m], rappresentativi delle porzioni di letto bagnato;
- **profondità dell'acqua**; dipende dalla portata e dalla pendenza e viene espressa con valori medi che, in uno stesso corso d'acqua, può variare da pochi centimetri ad alcuni metri;
- **temperatura dell'acqua**; dipende dal clima del bacino; è difficile da valutare perché molto variabile secondo le stagioni e, pur se in misura minore, con l'alternarsi del dì e della notte;
- **parametri chimici delle acque**; si riferiscono al contenuto di ossigeno disciolto, al contenuto in sali, al pH, ecc... in generale al contenuto di sostanze diverse che, come qualità e quantità, dipendono dalla natura del bacino e dalle attività umane che su di esso si sviluppano;
- **ambiente circostante**; da monte a valle il corso d'acqua attraversa terreni rocciosi, tappezzati da prati, ricoperti di boschi, prima di conifere e successivamente di latifoglie, fino ad arrivare ai terreni agricoli della pianura, presso la foce; dall'ambiente circostante giunge nelle acque materia organica che, verso valle, diventa sempre più abbondante, contribuendo a sostenere una maggiore produttività biologica;
- **la torbidità**; in occasione di piogge molto intense l'acqua si "carica" di materiali limosi in maggiori quantità in pianura rispetto alla montagna; tipico è il colore giallo - marrone dei torrenti di fondovalle o dei fiumi delle aree pianeggianti durante le piene; essi trasportano tonnellate di limo, che è il materiale di copertura caratteristico delle pianure.

La larghezza del letto, la profondità dell'acqua e la velocità della corrente dipendono soprattutto dalla pendenza dell'alveo e dalla portata; queste ultime cambiano da monte a valle: diminuisce la prima ed aumenta la seconda. Procedendo dalla sorgente alla foce, i parametri ambientali di un ecosistema fluviale si modificano nel seguente modo:

- **diminuiscono** la pendenza dell'alveo, la velocità della corrente e la granulometria dei materiali costituenti i fondali;
- **aumentano** la portata, la larghezza del letto, la profondità dell'acqua, la temperatura, la concentrazione dei soluti, la produttività biologica e la torbidità.

5.6 - Alcune forme tipiche dell'erosione

Quando si formano dei solchi in terreni teneri, l'erosione rapidamente si accentua in essi, le incisioni si approfondiscono e si allungano a ritroso, ramificandosi e moltiplicandosi. Questo processo può estendersi a interi versanti che vengono profondamente suddivisi da una rete di vallecicole, separate da strette creste con microversanti nudi in rapida evoluzione. È il paesaggio dei *bad lands* (letteralmente "terre cattive") quale era stato descritto originariamente in alcune aree del Dakota, al tempo della prima colonizzazione negli Stati Uniti. Questo termine è poi entrato nell'uso scientifico. Simili sono i paesaggi a **calanchi**, figure d'erosione tipiche di ambienti dove l'acqua non è perenne, frequentemente presenti ai margini di corsi d'acqua che incidono profondamente una valle aumentando l'instabilità dei versanti.

Il lavoro dell'acqua negli alvei rocciosi forma scanalature e nicchie semicilindriche. Ai piedi delle cascate vengono scavate profonde cavità. Nelle rapide, durante le piene, si formano vortici in corrispondenza degli argini, con movimenti circolari dei ciottoli e della sabbia, che formano cavità emisferiche o cilindriche dette **caldaie** o **marmitte dei giganti**. Questo processo è detto "evorsione" e col tempo contribuisce attivamente all'approfondimento del letto. In molte vallate, spesso si osservano tali figure d'erosione in aree decine o centinaia di metri più in alto rispetto all'attuale posizione dei corsi d'acqua sottostanti; si ha così una percezione di quanto si siano abbassati gli alvei in tempi lunghi, fino a decine di migliaia di anni.

Ricordiamo le violente piene fangose che si riversano da piccole, ripide e strette valli laterali su quelle principali; esse si manifestano in seguito a forti rovesci temporaleschi e vengono denominate **mure** (dal tedesco *muren*). Esse si producono dove notevoli masse di materiale fangoso vengono rimosse dalle acque di dilavamento e convogliate negli alvei, ove costituiscono un ostacolo al deflusso. La piena catastrofica si verifica quando l'ostacolo viene sfondato dalla pressione delle acque che si accumulano a monte, le quali, aprendosi improvvisamente un varco, trascinano con sé le masse di argilla e di sfasciumi rocciosi che le trattenevano. Il fenomeno delle mure è in generale localizzato e caratteristico di alcune valli secondarie, composte da rocce incoerenti e di argilla, ove si produce con una certa regolarità.

Quando un ripido torrente laterale confluisce nel corso principale, la velocità dell'acqua diminuisce repentinamente; lo stesso fenomeno è frequente allo sbocco di un torrente in pianura. Da monte a valle, diminuisce la pendenza degli alvei, ma in certi tratti, talora lunghi centinaia o poche decine di metri, la diminuzione della pendenza è più rapida. Si ha una brusca variazione della velocità della corrente, una improvvisa caduta della capacità di trasporto solido ed abbondante sedimentazione di materiali detritici con formazioni dei **coni** (o **conoidi**) **alluvionali** (fig. 5.5). A monte, come si verifica la rottura di pendenza, si manifesta in genere la massima sedimentazione; verso valle diminuiscono quantità e granulometria del materiale alluvionale. Sul cumulo iniziale il corso d'acqua scarica altri materiali distribuendoli nello stesso modo, con gli elementi più grossolani in alto (*vertice* del cono), più piccoli in basso (*unghia* del cono).

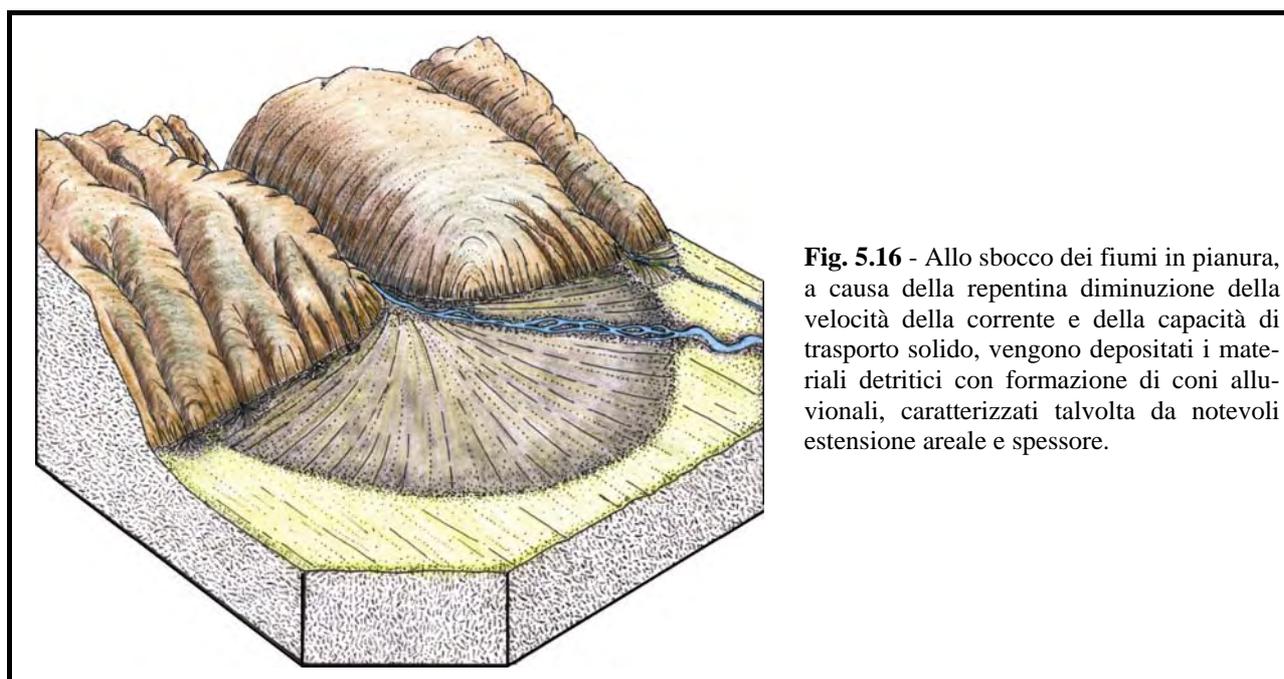
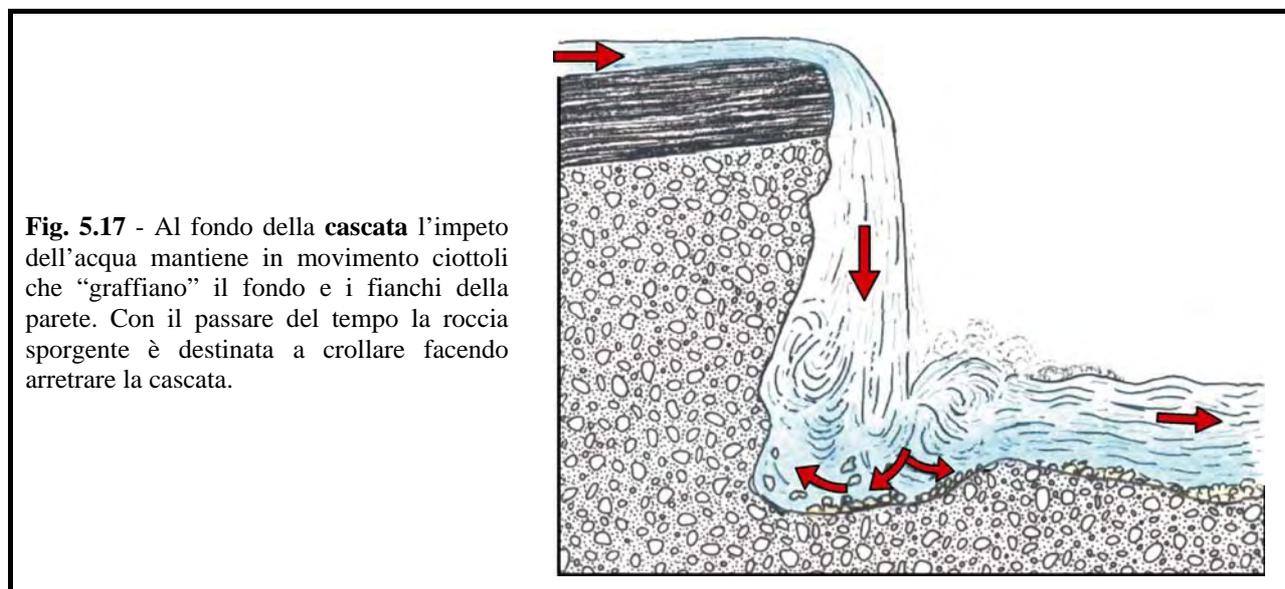


Fig. 5.16 - Allo sbocco dei fiumi in pianura, a causa della repentina diminuzione della velocità della corrente e della capacità di trasporto solido, vengono depositati i materiali detritici con formazioni di coni alluvionali, caratterizzati talvolta da notevoli estensione areale e spessore.

Le estensioni dei coni possono essere molto diverse, da alcune centinaia di metri quadrati (spessi qualche metro al vertice) in corrispondenza di piccoli torrentelli, fino a diversi chilometri quadrati (con spessori anche superiori all'ettometro) in corrispondenza dei maggiori fiumi che sfociano nelle pianure (**fig. 5.16**). Nei coni di recente formazione, soprattutto in montagna allo sbocco di piccoli torrenti in vallate principali, nella porzione a monte, sono praticamente assenti le granulometrie fini; le acque piovane, non trattenute, percolano velocemente in profondità; i pendii sono instabili perché altro materiale può aggiungersi con movimenti gravitativi (ciottoli che rotolano verso il basso). In tali condizioni la vegetazione non attecchisce; erba e arbusti più resistenti alla mancanza d'acqua possono colonizzare le porzioni marginali, caratterizzate da detriti meno grossolani e dove l'ulteriore sedimentazione è meno accentuata.

I corsi d'acqua erodono il fondo e si *approfondiscono* incassandosi entro ripide pareti, ma per breve tempo; le acque dilavanti erodono anche le pareti che quindi si *allargano*. Con il passare del tempo i processi di approfondimento e di allargamento procedono di pari passo determinando la formazione di valli a "V" (**fig. 5.4**). Quando un corso d'acqua attraversa rocce particolarmente resistenti esso, sia pur lentamente, tende ad approfondirsi erodendo il fondo, mentre l'allargamento non progredisce di pari passo con l'approfondimento. Si possono avere così valli strette e profonde a pareti verticali (**forre**) o appena allargate in alto (**gole**). Se il corso d'acqua si inoltra su rocce improvvisamente più tenere, l'erosione approfondisce repentinamente l'alveo con formazione di un brusco dislivello (**fig. 5.17**) che le acque superano con un salto (**cascata**). Col progredire del processo erosivo la cascata tende ad arretrare, a rompersi in una serie di salti più piccoli (**cateratta**), finché viene eliminata, restando solo una pendenza accentuata (**rapida**).



5.7 - Anse e meandri fluviali

Consideriamo una sezione qualunque su un tratto di fiume ad andamento rettilineo. La velocità dell'acqua è massima presso la superficie in corrispondenza dell'asse centrale, dove nessun ostacolo rallenta la corrente. Verso il basso la velocità diminuisce, fino a raggiungere un valore minimo per l'attrito con il fondo; negli interstizi fra i ciottoli o fra i grani di sabbia, la corrente può risultare nulla: un microambiente in grado di ospitare microrganismi (batteri e funghi) e macroinvertebrati (larve di Insetti, Molluschi, vermi, Crostacei,...). Sono organismi bentonici, parte dei quali si nutre di resti di materiale organico contribuendo al processo di autodepurazione del fiume. Essi devono la loro sopravvivenza in acque correnti a quel sottilissimo strato d'acqua che ricopre il fondo, in cui la velocità è praticamente nulla. La velocità dell'acqua diminuisce anche dal centro verso le sponde; diminuisce la profondità e diventa più importante l'effetto dell'attrito con il fondo e contro le sponde; presso queste possono trovarsi ampie fasce di acque poco profonde e stagnanti dove prevale la sedimentazione (**fig. 5.18**).

Lo schema sopra presentato è teorico; le situazioni possono presentarsi più complicate. Per esempio la corrente presso il fondo, in corrispondenza delle rapide, può risultare molto elevata. La velocità dell'acqua potrebbe risultare molto accentuata anche presso le sponde, favorendo la formazione di vortici. In altri casi,

in seguito a periodi siccitosi, la portata può essere così ridotta che la velocità della corrente può risultare quasi nulla anche al centro presso la superficie. In linea di massima tuttavia rimane valida la condizione generale per cui *la velocità della corrente tende a diminuire dalla superficie e dal centro di un fiume, verso il fondo e verso le sponde*. Uno dei casi che si discosta dalla situazione generale appena descritta, è rappresentato dal tratto di fiume in corrispondenza di una “curva” (**ansa**). Presso la riva esterna (**fig. 5.18**), la corrente è più veloce: si formano vortici e la sponda viene scalzata. Nella parte interna la corrente è più lenta e avviene la deposizione di materiali detritici.

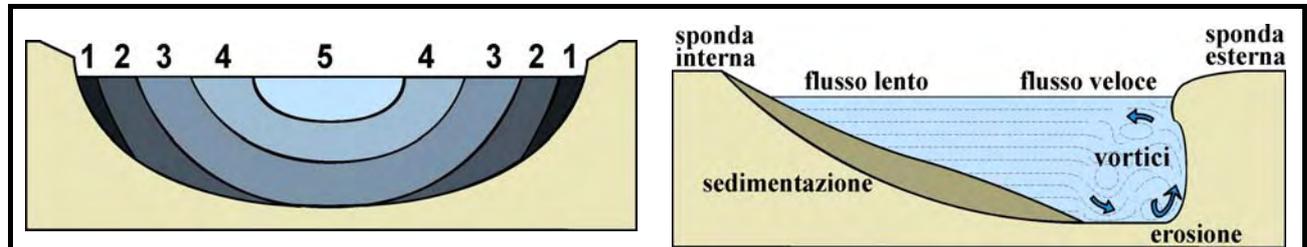


Fig. 5.18 - Lo schema a sinistra mostra come cambia la velocità del fluido in una sezione del corso d’acqua: ferma (1), molto lenta (2), moderatamente veloce (3), veloce (4) e molto veloce (5). In corrispondenza di un’ansa (a destra) la corrente è veloce presso il lato esterno; l’erosione è accentuata; la sponda viene scalzata e la profondità è maggiore. Presso il lato interno la corrente è debole: la profondità dell’acqua diminuisce e prevale la sedimentazione.

Un corso d’acqua che attraversa una pianura o un’ampia valle, scorrendo su materiali sciolti (spesso gli stessi sedimentati anticamente dallo stesso fiume) con debole pendenza, presenta frequentemente successioni di anse indicate con il termine “**meandri**” (**fig. 5.19**). L’evoluzione dei meandri avviene grazie all’erosione laterale sulla sponda esterna (*sponda concava*) di ogni curva. Dopo aver lambito la sponda il flusso principale di corrente si dirige verso quella opposta (*convessa*) dove si manifestano gli stessi fenomeni di erosione sul lato esterno e di sedimentazione su quello interno.

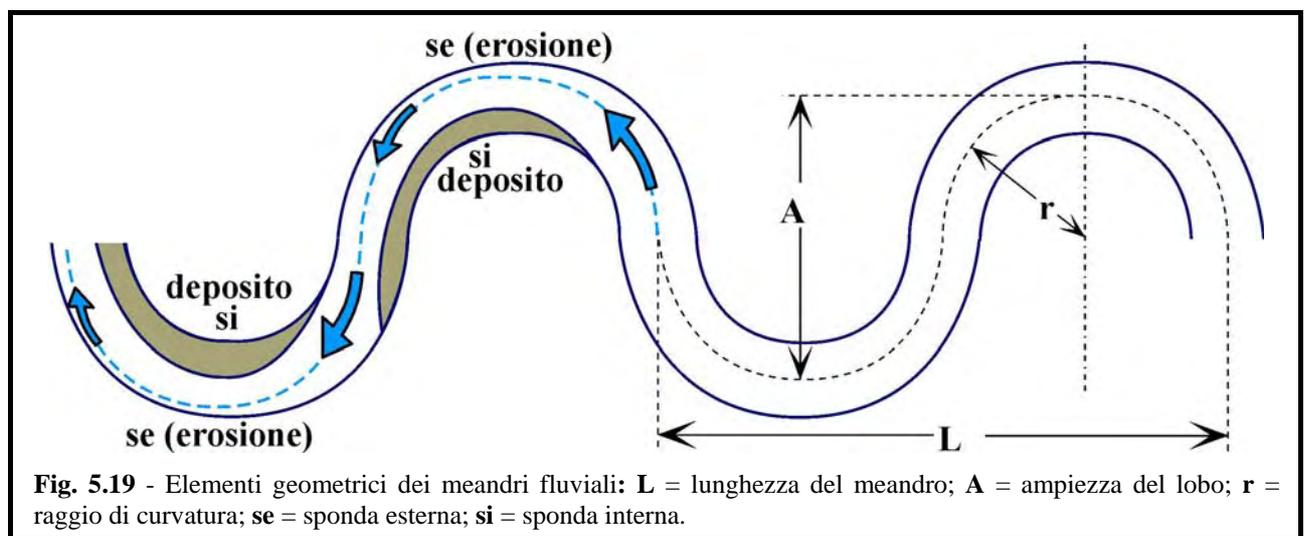


Fig. 5.19 - Elementi geometrici dei meandri fluviali: L = lunghezza del meandro; A = ampiezza del lobo; r = raggio di curvatura; **se** = sponda esterna; **si** = sponda interna.

L’elevata erosione sulle sponde concave accentua le curvature ed il restringimento del lobo tanto che le anse giungono a toccarsi escludendo il lobo stesso (*salto del meandro*). L’erosione è più accentuata nei confronti della porzione a valle di ogni ansa; pertanto le curve oltre ad allargarsi tendono a spostarsi verso valle (**figg. 5.20** e **5.21**). Molte di esse vengono abbandonate (*meandri morti*) e l’acqua può stagnarvi formando laghi arcuati che lentamente si interrano trasformandosi in stagni, poi in paludi (*lago di meandro*, *mortizza*, *lanca*). Il salto di un meandro può aversi anche quando, in occasione di una forte piena, l’acqua supera le sponde (esondazione) e con la sua energia scava un nuovo tratto di alveo di raccordo tra due anse vicine. Esempi di meandri sono ben visibili lungo il corso di pianura del fiume Po (**fig. 27**) a monte di Torino.

I corsi d’acqua, oltre ad avere un andamento rettilineo o meandriforme e quindi essere più o meno sinuosi (**fig. 5.22**), possono assumere configurazioni diverse (**fig. 5.23**). Fra esse quelle più diffuse sono quelle **intrecciata** ed **anastomosata**. La prima è dovuta alle divagazioni nelle aree di pertinenza fluviale (**par. 5.4** e **fig. 5.24**).

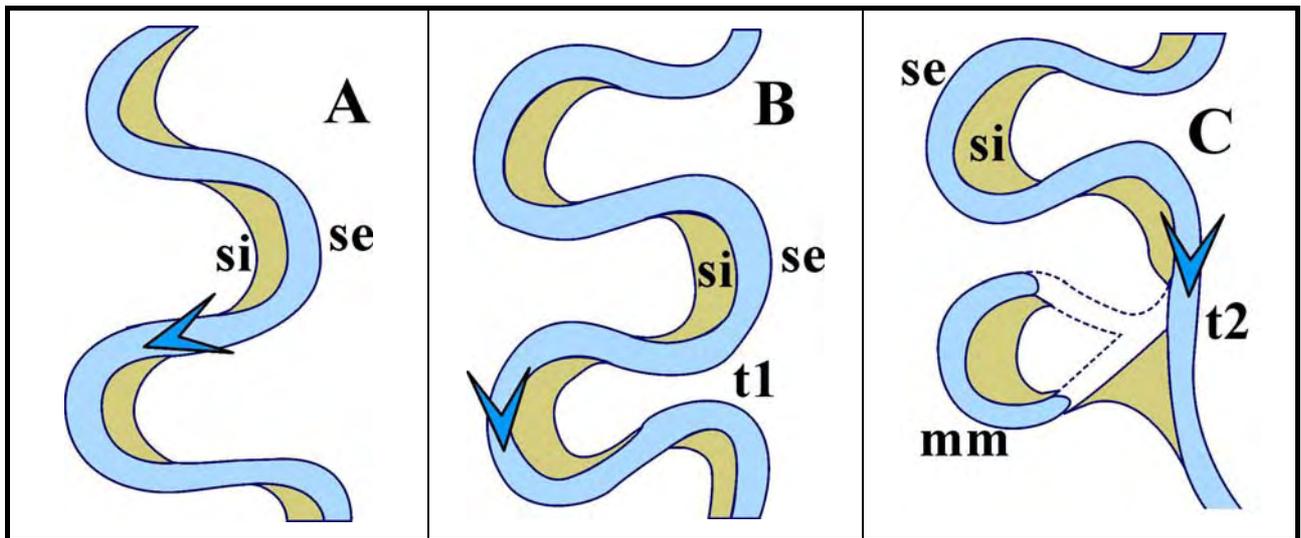


Fig. 5.20 - Evoluzione dei meandri fluviali. In A sono evidenti alcune anse di un corso d'acqua con le sponde esterne (se) e interne (si). L'erosione agisce sulle porzioni più a valle delle prime che quindi migrano verso valle (B) determinando un avvicinamento (t1) tra i lobi di due meandri successivi. Infine (C) i due lobi si fondono (t2) tagliando un'ansa che diventa un **meandro morto (mm)**.

La configurazione anastomosata è caratterizzata da successive separazioni e ricongiungimenti della corrente attorno ad isole alluvionali. Il canale principale è suddiviso in parecchi rami che si incontrano e si separano più volte. Gli sbarramenti che dividono la corrente durante le fasi di magra sono spesso sommersi durante le piene. Questi corsi d'acqua, sono caratterizzati da cospicue portate medie e da un notevole carico detritico fine continuamente mobilizzato (per esempio il Tagliamento). Occorre tuttavia precisare che non sempre è facile distinguere fra queste due configurazioni.

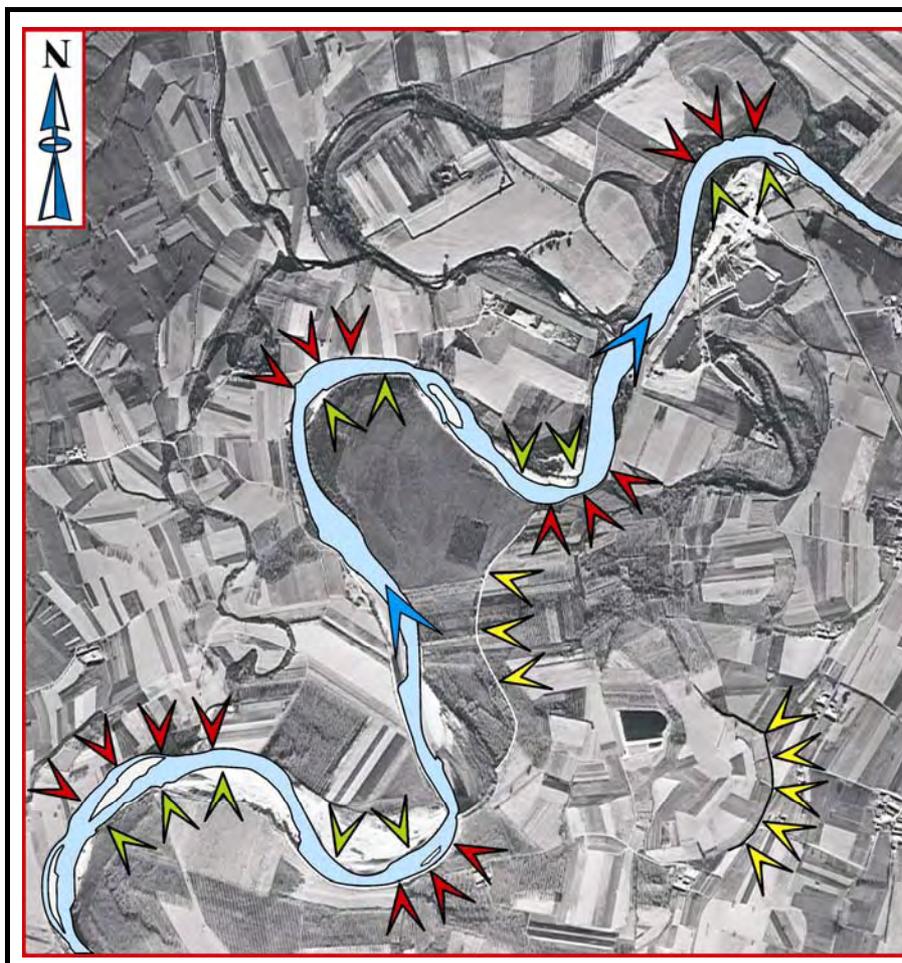
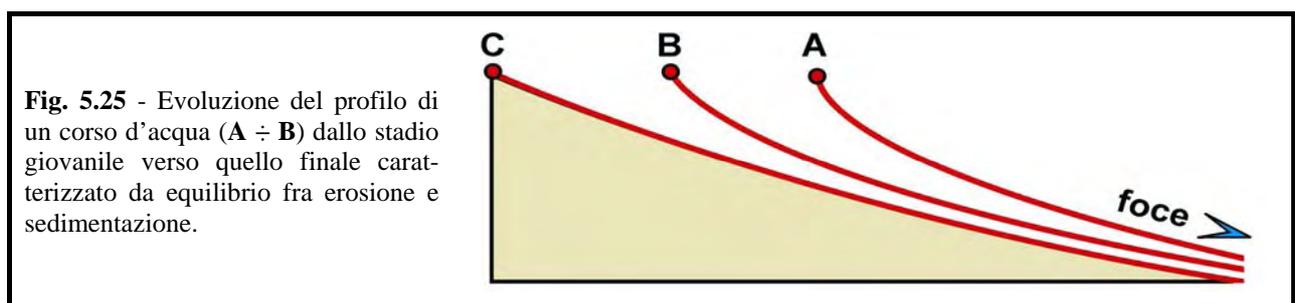
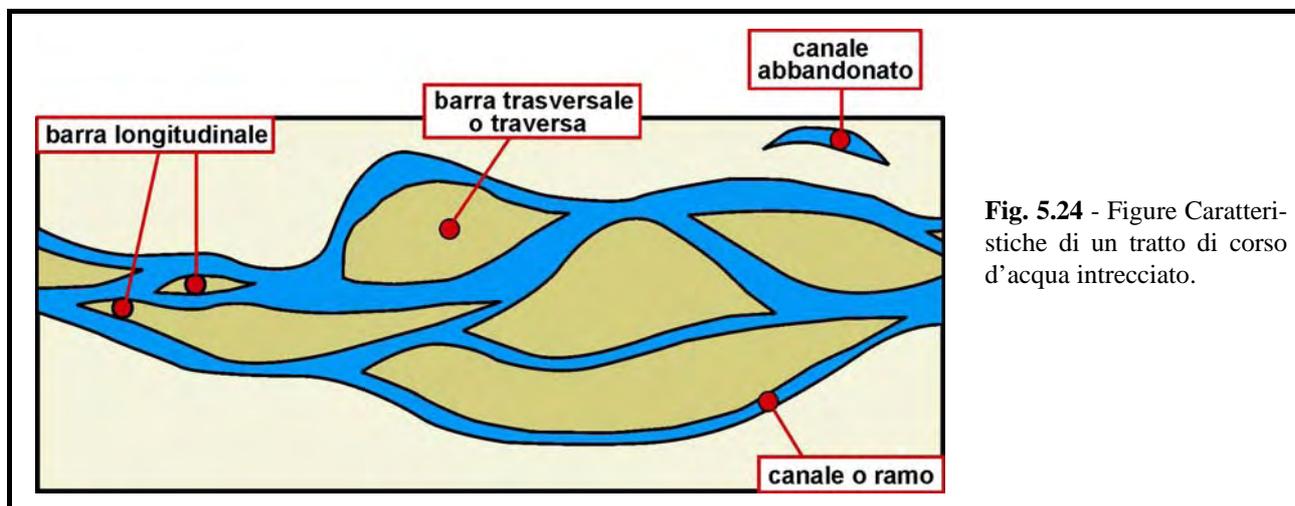
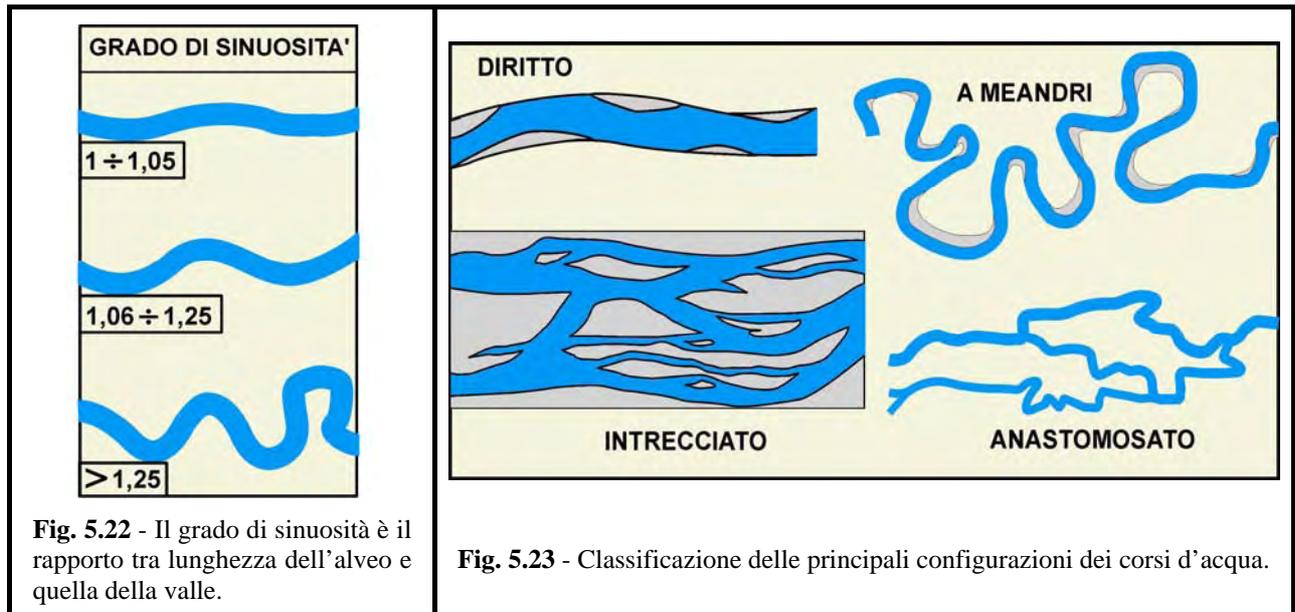


Fig. 5.21 - Foto area dei meandri del fiume Po a monte di Torino. Le **freccie azzurre** indicano il verso del flusso d'acqua. Le **freccie rosse** indicano le sponde esterne (concaeve, dove prevale l'erosione). Le **freccie verdi** indicano le sponde interne (convesse, dove prevale la sedimentazione). L'azione dell'acqua sposta a valle le anse del fiume che quindi si muovono entro la fascia di pertinenza fluviale. Quando i lobi di due anse successive si congiungono (per esempio in occasione di manifestazioni di forte piena) si può avere il "salto del meandro" del quale, molto spesso ed ancora dopo decenni, secoli ed anche millenni, rimane una traccia più o meno evidente sotto forma di una scarpata a forma di arco (**freccie gialle**); si tratta di tracce dei margini esterni di antichi meandri morti, ormai definitivamente colmati.



5.8 - Evoluzione dei bacini imbriferi

Consideriamo un ipotetico bacino imbrifero su una elevata catena montuosa che si affaccia sul mare; su di esso è impostato un reticolo idrografico che convoglia l'acqua al corso principale e quindi alla foce, cioè alla "sezione di chiusura del bacino". Il fiume ha l'aspetto, in tutto il suo percorso, di un ripido ed impetuoso torrente con forre, cascate, rapide. Il paesaggio circostante è dominato da rilievi aspri, simile a quello alpino attuale. L'acqua corre ovunque veloce, ha una elevata capacità di trasporto solido ed esercita una forte erosione. Nella porzione a valle del bacino, fin presso la foce, avviene la sedimentazione dei detriti. Questo scenario descrive un bacino imbrifero nello **stadio di giovinezza**.

Con il passare del tempo (secoli, millenni, milioni di anni a seconda della consistenza dei materiali) il bacino si evolve. L'erosione "addolcisce" il paesaggio: i versanti diventano meno ripidi, si riduce la quota dei picchi e delle creste, le vallate diventano più ampie e si accumulano le alluvionali nelle porzioni a valle e presso la foce. Il fiume principale si distingue in tratti di cui un "tronco alto" montano dove prevale l'erosione, un "tronco intermedio" collinare dove avviene la sedimentazione dei materiali più grossolani mentre continua l'asportazione di quelli più fini ed un "tronco inferiore di pianura" dove predomina la sedimentazione. Questo scenario, tipico di varie parti dell'Europa centrale, descrive un bacino imbrifero nello **stadio di maturità**. Con il passare del tempo altro materiale viene trascinato a valle per mezzo dell'erosione. Ma i fenomeni sono più lenti perché anche nelle porzioni a monte la pendenza dei versanti e dei corsi d'acqua è ormai debole e minore è la capacità di trasporto solido. Si giunge alla situazione in cui il fiume principale ha pendenza uniforme per tutto il suo corso e vi è equilibrio tra erosione e sedimentazione (**stadio di vecchiaia**; fig. 5.25 e 5.26).

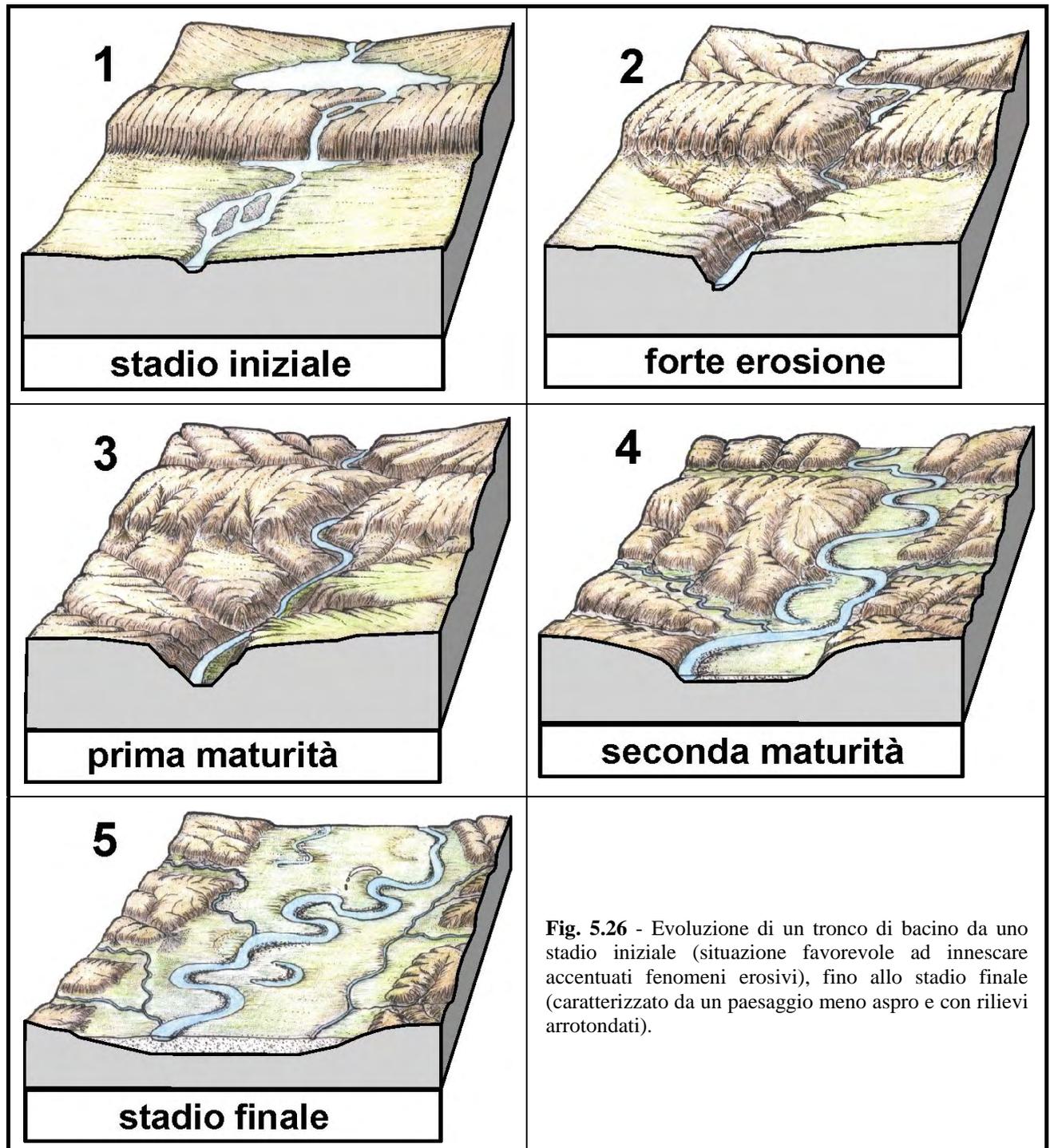
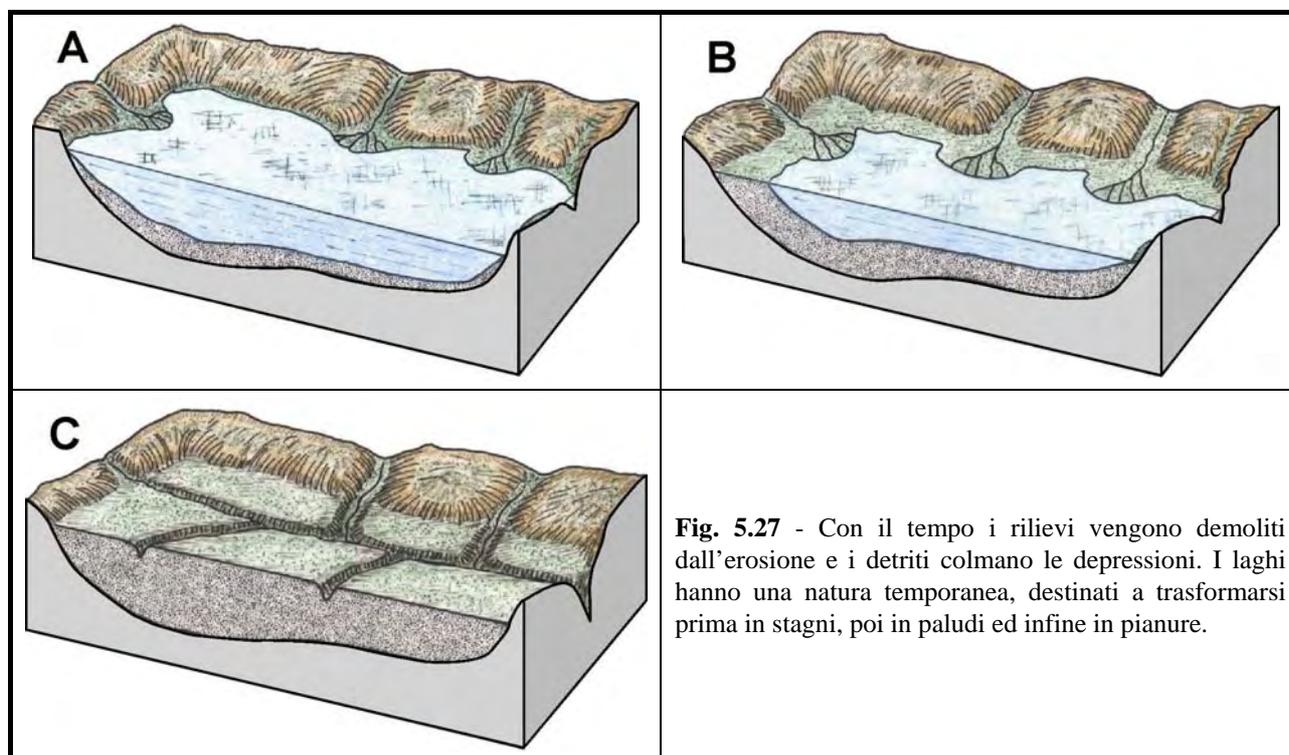


Fig. 5.26 - Evoluzione di un tronco di bacino da uno stadio iniziale (situazione favorevole ad innescare accentuati fenomeni erosivi), fino allo stadio finale (caratterizzato da un paesaggio meno aspro e con rilievi arrotondati).

Nei tratti a più debole pendio gli alvei assumono un andamento serpeggiante (meandri). Dolci e ampie dorsali separano le valli. Emergono soltanto rilievi isolati formati da rocce più resistenti all'erosione. Lo stadio finale di questa evoluzione porta alla formazione di una superficie lievemente ondulata (**penepiano**; **fig. 5.26**). In realtà, rispetto allo scenario sopra descritto, le situazioni possono essere anche molto diverse e più complicate, ma in generale l'evoluzione dei bacini imbriferi, in tempi geologici, significa "distruzione" per erosione dei rilievi e trasporto dei materiali nelle depressioni della crosta terrestre quali laghi, pianure e mari (**fig. 5.27**). **Con il tempo la crosta terrestre è teoricamente destinata ad essere livellata con scomparsa dei rilievi e riempimento dei mari.**



Alla foce di un fiume in un lago o nel mare, la velocità dell'acqua diminuisce repentinamente provocando una rapida deposizione del carico trasportato. In alcuni casi l'energia del moto ondoso o le ampie oscillazioni delle maree possono rimuovere i sedimenti che vengono trasportati più lontano. Con questo meccanismo si formano i cosiddetti **estuari**, con l'aspetto di canali navigabili, liberi da sedimenti. Nella maggior parte delle situazioni la velocità di sedimentazione è superiore a quella di asportazione. Questo processo viene favorito dall'acqua salata che induce le minuscole particelle di detrito a formare ammassi più grossolani che affondano più facilmente. Il materiale più grossolano viene depositato per primo, mentre quello più fine si accumula al largo, analogamente a quanto accade con i coni di deiezione. L'accumulo può diventare molto spesso, fino a raggiungere il livello della piana alluvionale (**fig. 5.28**). Con questo meccanismo si formano i **delta** (per esempio la foce del Po) dove il fiume, con acque molto lente, è costretto a farsi strada fra gli stessi sedimenti che ha accumulato, dividendosi in rami minori.

I termini "giovinezza", "maturità", "vecchiaia" non si applicano necessariamente contemporaneamente ai corsi d'acqua e al paesaggio circostante (bacini) in un determinato momento dell'evoluzione. Valli giovanili possono formarsi in un "vecchio" paesaggio quasi senza rilievi; successivamente ambedue potranno assumere caratteristiche di maturità, ma non è affatto inevitabile. È importante quindi servirsi di tali termini con particolare cautela. Quanto appena affermato può essere dimostrato illustrando un paio di casi di "**ringiovanimento**" di un corso d'acqua in un paesaggio ormai maturo.

Consideriamo un bacino nel suo stadio di vecchiaia. Il corso d'acqua principale ha debole pendenza, più o meno costante per tutta la lunghezza, con scarse erosione e sedimentazione. Esso scorre, con andamento meandriforme, in una fascia fluviale delimitata da scarpate che, con il tempo, ha allargato per erosione spondale (**fig. 5.29**). Se si abbassa il livello marino, aumenta il dislivello fra le sorgenti e la foce. L'equilibrio raggiunto dal fiume viene alterato e riprende l'erosione nei confronti dei materiali rocciosi a monte e dei materiali alluvionali accumulati a valle dallo stesso fiume. Esso approfondisce il proprio letto ed abbandona i fianchi delle sponde che delimitavano il letto più antico (**terrazzi fluviali**; **fig. 5.30**).

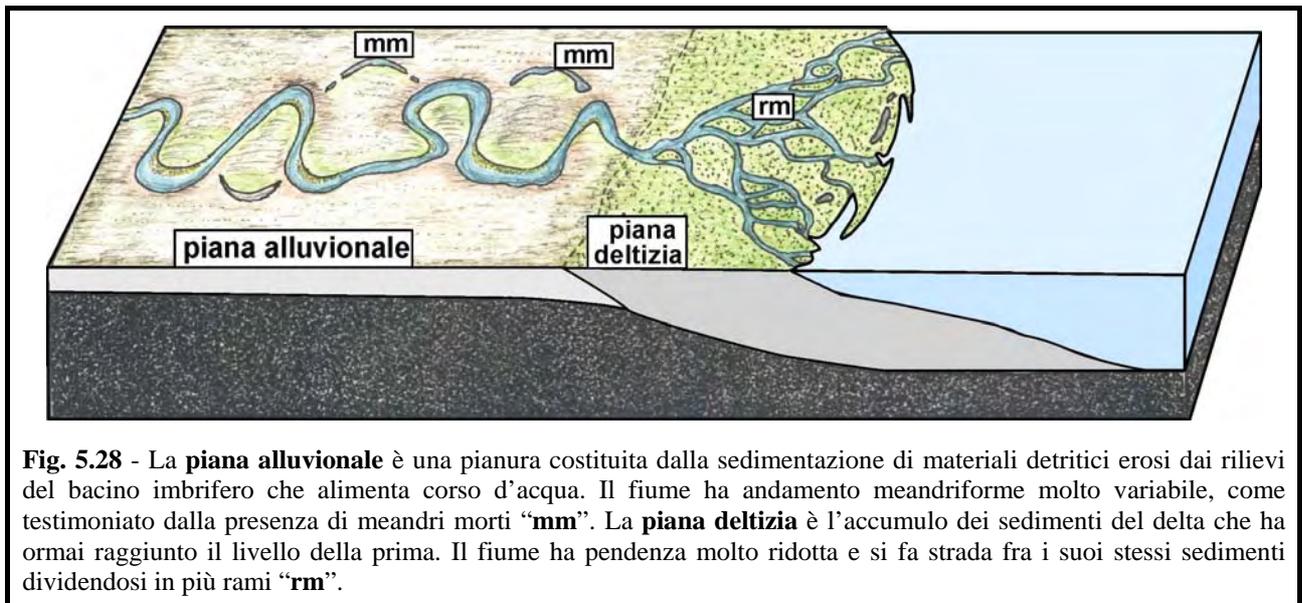


Fig. 5.28 - La **piana alluvionale** è una pianura costituita dalla sedimentazione di materiali detritici erosi dai rilievi del bacino imbrifero che alimenta corso d'acqua. Il fiume ha andamento meandriforme molto variabile, come testimoniato dalla presenza di meandri morti "mm". La **piana deltizia** è l'accumulo dei sedimenti del delta che ha ormai raggiunto il livello della prima. Il fiume ha pendenza molto ridotta e si fa strada fra i suoi stessi sedimenti dividendosi in più rami "rm".

Con il tempo il corso d'acqua assume un profilo di equilibrio adeguato al nuovo livello di base conseguente all'abbassamento del livello marino. Se questo si abbassasse nuovamente, si verificherebbe un nuovo ringiovanimento con conseguente formazione di nuovi terrazzi interni a quelli più antichi. Riassumendo il fiume può subire diversi ringiovanimenti in base alle oscillazioni del livello di base, ma il paesaggio circostante potrebbe non risentire in misura significativa di questi processi, conservando essenzialmente la morfologia tipica di un bacino nel suo stadio di vecchiaia.

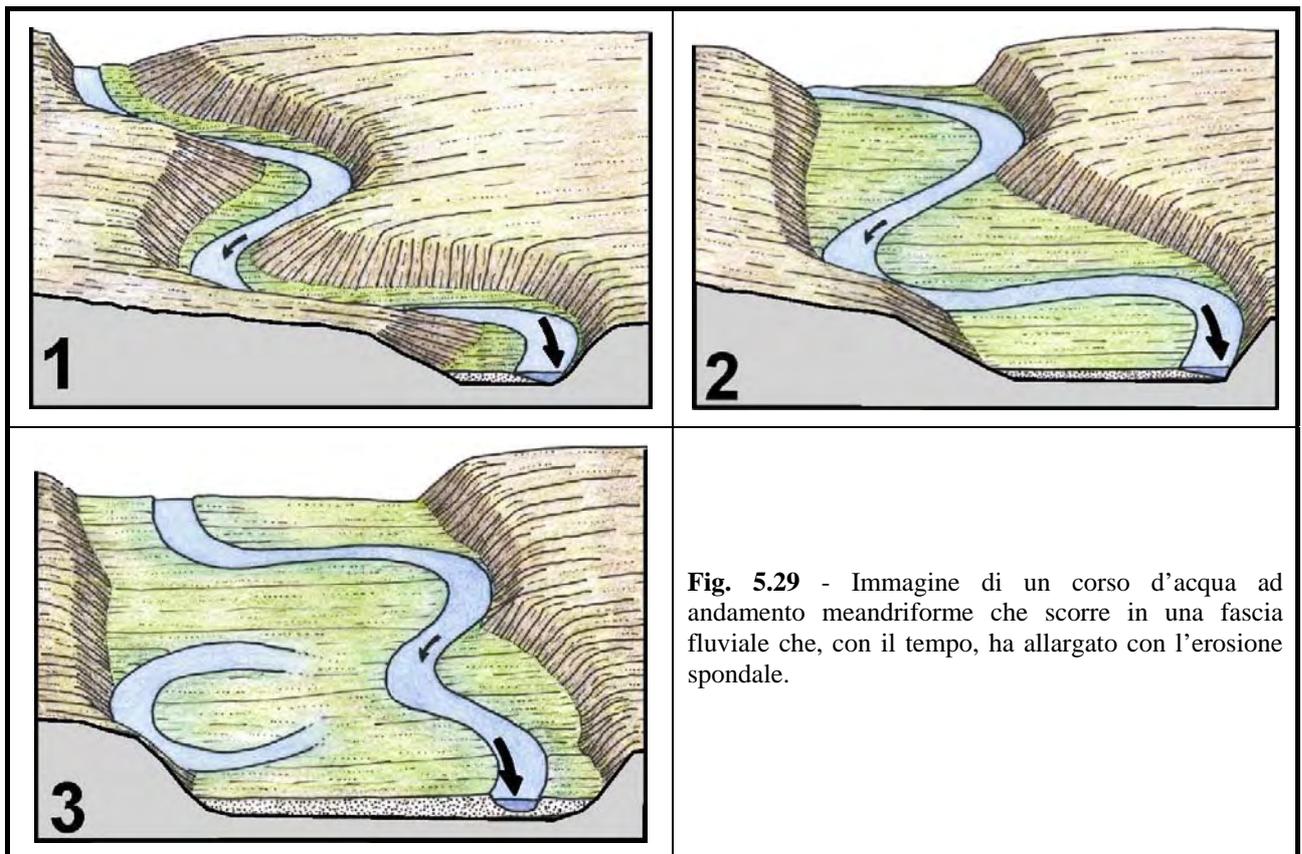


Fig. 5.29 - Immagine di un corso d'acqua ad andamento meandriforme che scorre in una fascia fluviale che, con il tempo, ha allargato con l'erosione spondale.

In senso orizzontale i corsi d'acqua, durante l'evoluzione e soprattutto nelle aree collinari e montane, tendono ad ampliare e a sviluppare il reticolo idrografico e conseguentemente il bacino imbrifero. L'ampliamento del bacino comporta uno spostamento dello spartiacque che lo delimita, in particolare un "arretramento" della porzione a monte (*testata* del bacino). Può così accadere che il corso d'acqua riesca ad

“impossessarsi” della testata di un bacino attiguo (**cattura fluviale**) sottraendo acqua ad un altro fiume dotato di minori capacità erosive (**fig. 5.31**).

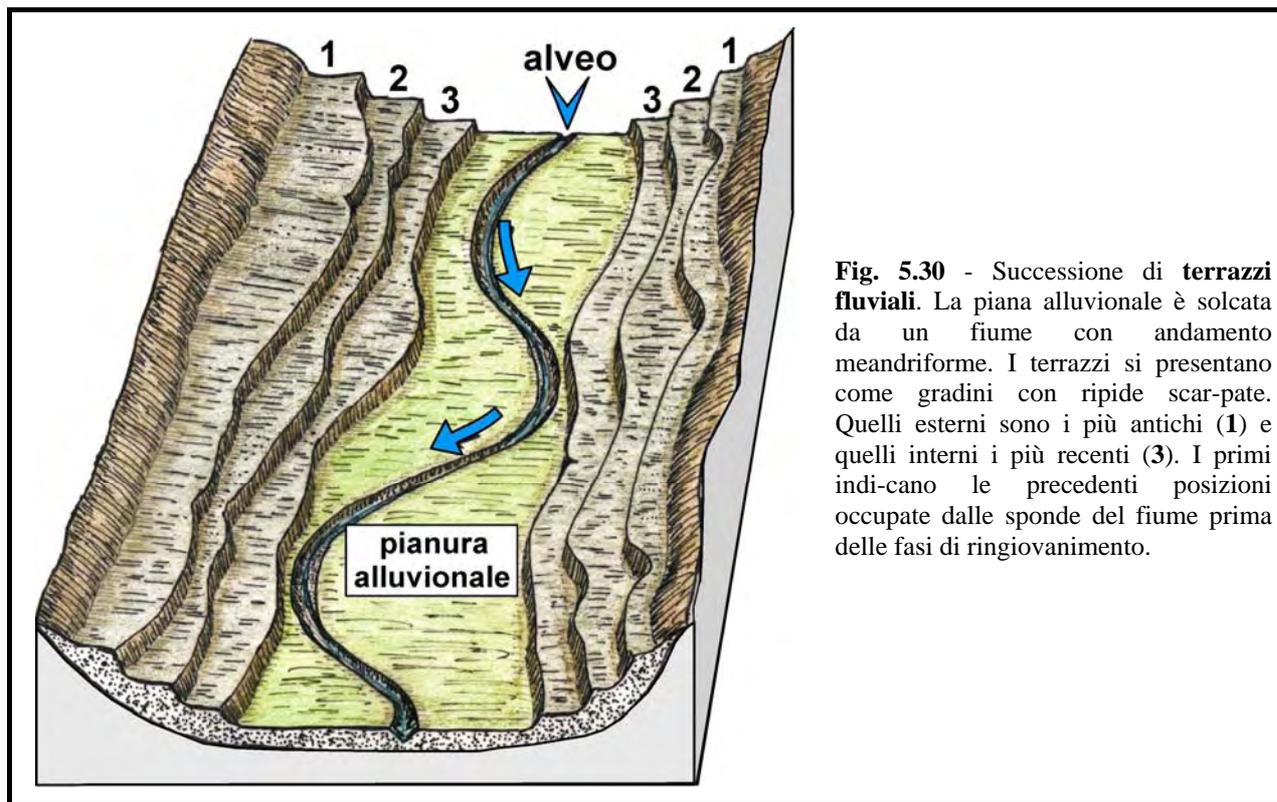


Fig. 5.30 - Successione di **terrazzi fluviali**. La pianura alluvionale è solcata da un fiume con andamento meandriforme. I terrazzi si presentano come gradini con ripide scar-pate. Quelli esterni sono i più antichi (1) e quelli interni i più recenti (3). I primi indicano le precedenti posizioni occupate dalle sponde del fiume prima delle fasi di ringiovanimento.

Questa nuova situazione comporta un improvviso incremento delle portate del fiume che viene alimentato da un bacino divenuto più ampio e quindi in grado di raccogliere maggiori volumi d’acqua delle precipitazioni. Ma un aumento delle portate significa maggior velocità dell’acqua, maggiore capacità di trasporto solido, aumento dell’erosione e conseguente ringiovanimento del fiume.

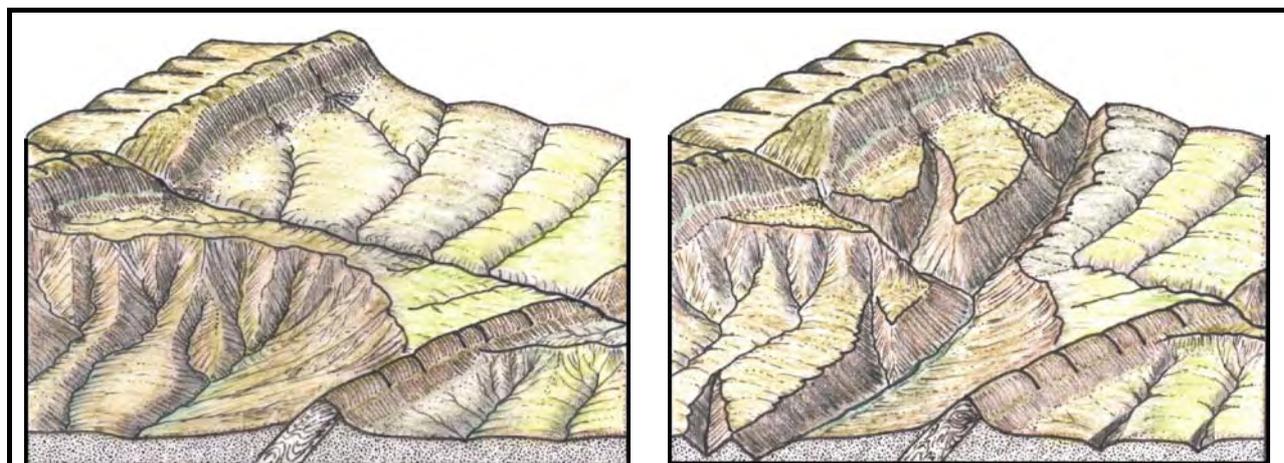


Fig. 5.31 - Dopo la cattura fluviale (**a destra**) diventa molto più accentuata l’erosione soprattutto lungo il corso d’acqua, alimentato da un bacino più grande e quindi da maggiori portate.