

3 - ELEMENTI DI IDROLOGIA

3.1 - Il bilancio idrologico

Gli ambienti acquatici sono dominati dall'acqua, o meglio dalla *quantità d'acqua*. A parità di altri fattori ambientali è il volume d'acqua che condiziona l'ecologia di fiumi, torrenti, paludi, ecc... Uno stagno si distingue da un lago in base alla superficie ed alla profondità e quindi dalla massa dell'acqua. Anche il ricambio idrico è importante. Uno stagno lungo e stretto può avere lo stesso volume d'acqua di un tratto di fiume della stessa lunghezza e profondità; nel primo si ha un ricambio idrico molto limitato (acque stagnanti), nel secondo si ha un ricambio d'acqua la cui entità dipende dalla portata (**fig. 3.1; scheda 3.1**); di conseguenza gli organismi acquatici sono diversi nei due ambienti. Il volume d'acqua e il ricambio idrico di una zona umida dipendono dal contributo di acque provenienti dal **bacino imbrifero** (**fig. 3.2; scheda 3.2**) e in misura limitata, dalle precipitazioni dirette sulla sua superficie.

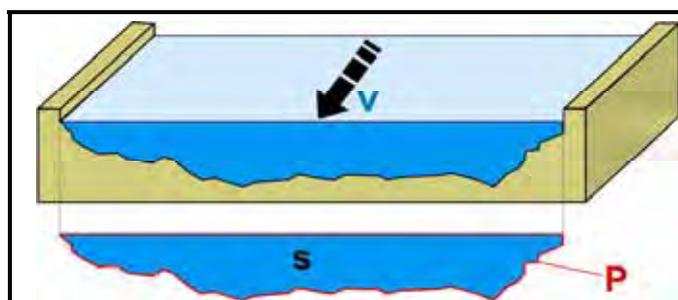
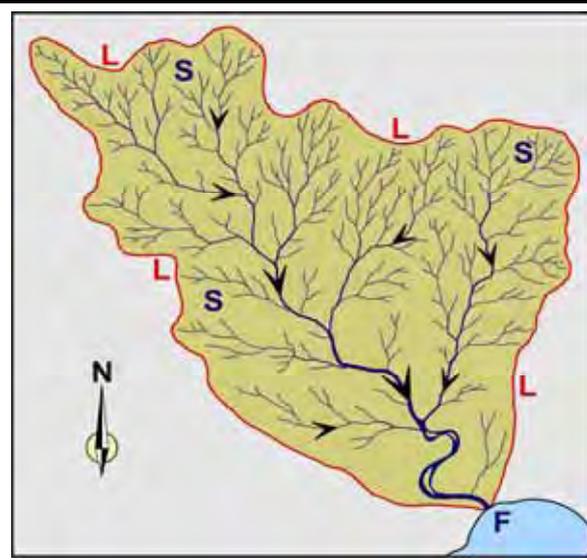


Fig. 3.1 - La **portata** (istantanea) in un qualunque sistema di trasporto (tubo, canale, fiume,...) è il **volume liquido che attraversa una sezione nell'unità di tempo**. S [m^2] è la superficie del condotto in corrispondenza di una determinata sezione (delimitata dal perimetro P); v [m/s] è la velocità dell'acqua che attraversa la sezione stessa. La portata Q [m^3/s] è il prodotto $Q = v \cdot S$.

Fig. 3.2 - La quantità d'acqua (*deflussi*) che giunge al mare (o al lago o ad un altro fiume), in corrispondenza della foce (**F**), dipende dalla quantità d'acqua delle precipitazioni (*afflussi*) e quindi dal clima e dall'estensione del *bacino imbrifero*, delimitato da precisi limiti (**L**) o *spartiacque*. L'acqua delle piogge, delle sorgenti (**S**) e della fusione delle nevi scorre incanalata in un insieme di alvei naturali incisi nel terreno e costituenti il *reticolo idrografico* (in blu), una vera e propria rete naturale di drenaggio.



Il bacino è un "sistema aperto" con acqua in entrata (precipitazioni e contributi sotterranei dai bacini adiacenti) ed acqua in uscita (evapotraspirazione, deflussi superficiali e perdite sotterranee). Il confronto tra entrate e uscite costituisce il **bilancio idrologico**; di questo la voce **deflussi superficiali** è quella che permette di conoscere i volumi d'acqua ed il ricambio idrico della zona umida. Per la definizione del bilancio idrico di un bacino occorre un'analisi complessa, uno studio ecologico vero e proprio. Le variabili che vanno considerate sono numerose e comprendono:

- **clima** - condiziona le modalità delle precipitazioni, quasi sempre la principale voce dell'acqua in entrata;
- **morfometria** - la forma e le dimensioni del bacino influiscono sul ruscellamento e sul tempo impiegato dall'acqua per giungere al reticolo idrografico; questo è più o meno complesso ed influisce sulle modalità dei deflussi;
- **geologia** - i bacini possono essere **impermeabili**, se costituiti da materiali non porosi o non fessurati per cui non vi sono scambi sotterranei con bacini adiacenti, o **permeabili**, se la circolazione delle acque sotterranee assume molta importanza rispetto a quella delle acque superficiali;

- **suolo e vegetazione** - i diversi tipi di suolo (profondità, porosità, permeabilità, ecc...) e di copertura vegetale (boschi, prati, coltivi, ecc...) agiscono sullo scorrimento superficiale;
- **antropizzazione** - opere di captazione e/o ritenzione idriche (prese di alimentazione di canali e dighe per fini idroelettrici, irrigui, potabili, industriali,...) influiscono sull'idrologia di interi bacini; a ciò si aggiunge la progressiva impermeabilizzazione (catrame e cemento) delle superfici per la costruzione di manufatti.

3.2 - Regimi idrologici dei corsi d'acqua

L'**afflusso meteorico mensile** è il volume d'acqua totale di precipitazione caduta in un mese sul bacino imbrifero. Parte di essa può passare ad altri bacini per via sotterranea (situazione frequente nelle zone carsiche), un'altra parte è persa per evapotraspirazione (evaporazione diretta dal terreno e traspirazione delle piante). La rimanente è il volume totale (**deflusso mensile**) che esce dal bacino attraverso la sezione dell'alveo del corso d'acqua alla chiusura del bacino stesso (per es. "F" in **fig. 3.2**). Il deflusso mensile [m³], se è una media calcolata per un certo periodo di osservazione, divisa per i secondi del mese, è la **portata media mensile** [m³/sec]. La media fra le dodici portate medie mensili è la **portata media annua**; essa dipende dal volume d'acqua che passa in un anno nell'alveo di un fiume attraverso una determinata sezione. La portata dipende dall'abbondanza delle precipitazioni sul bacino e dalle dimensioni dello stesso.

In Italia i corsi d'acqua sono numerosi (**tab. 3.1**), quasi tutti caratterizzati da un breve percorso; unica eccezione è il Po che comunque non è fra i maggiori fiumi europei e del resto del mondo (**tab. 3.2**). I caratteri dei fiumi italiani sono molto variabili e ciò perché i vari tipi di clima che caratterizzano i loro bacini sono molto diversi (**tab. 3.3**). Se l'altitudine media di un bacino è bassa, la maggior parte dell'acqua meteorica è costituita da piogge, per cui le portate del corso d'acqua sono soprattutto influenzate da quel tipo di precipitazioni. Se il bacino è prevalentemente di montagna per l'abbondanza di precipitazioni nevose, il regime delle portate del corso d'acqua è prevalentemente influenzato dalle modalità di accumulo e di fusione delle nevi e dei ghiacci. Queste sono condizioni limite; nella realtà le situazioni sono assai varie. A titolo di esempio si sono considerati i regimi idrici di alcuni fiumi (**tab. 3.4**, gli stessi elencati in **tab. 3.3**).

In Italia centrale e meridionale il regime delle piogge presenta valori massimi in inverno e scarse precipitazioni estive. L'andamento delle portate dei fiumi Tevere e Volturno risulta analogo, con portate medie di gennaio da 3 a 5 volte superiori a quelle

di agosto, quando le temperature sono più elevate e maggiore è la quantità d'acqua che ritorna all'atmosfera per evapotraspirazione senza contribuire ai deflussi. Il regime del Tanaro presenta un massimo principale in primavera (maggio), uno secondario in autunno (novembre), un minimo principale in inverno (gennaio) e uno secondario in estate (agosto). La distribuzione dei massimi e minimi nell'anno (linea blu in **fig. 3.3**) è simile a quella delle precipitazioni di gran parte del Piemonte: le portate del fiume Tanaro sono una risposta abbastanza immediata delle piogge. I regimi idrologici dei tre fiumi considerati sono essere classificati come tipo *pluviale*.

fiume	origine	km	foce
SIMETO	M. Sori	113	Ionio
SANGRO	M. Turchio	115	Adriatico
BRADANO	L. Pésole	116	Ionio
FLUMENDOSA	Gennargentu	127	Tirreno
OFANTO	M. Proviara	134	Adriatico
ISONZO	Grinta di Plezzo	136	Adriatico
IMERA-SALSO	Madonie	144	Mar di Sicilia
PESCARA	M. Cinisella	145	Adriatico
BASENTO	M. Maruggio	149	Ionio
TIRSO	P.ta Pianedda	150	Mar Sardegna
LIRI	M. Arunzo	158	Tirreno
BRENTA	L. Levico	160	Adriatico
DORA BALTEA	M. Bianco	160	Po
OMBRONE	M. Macchioni	161	Tirreno
TAGLIAMENTO	Passo Mauria	170	Adriatico
VOLTURNO	M. Rocchetta	175	Tirreno
RENO	Piano Pratale	211	Adriatico
PIAVE	M. Peralba	220	Adriatico
ARNO	M. Falterona	241	Tirreno
TICINO	Passo di Novena	248	Po
TANARO	Passo Tanarello	276	Po
OGLIO	Corno Tre Signori	280	Po
ADDA	Passo Alpisella	313	Po
TEVERE	M. Fumaiolo	405	Tirreno
ADIGE	Passo di Resia	410	Adriatico
PO	M. Viso	652	Adriatico

	L	A	Portata med.annua [m ³ /sec]		
	km	10 ³ km ²	minima	massima	media
Rio delle Amazzoni	5.500	5.780	20.000	200.000	100.000
Congo	4.640	3.728	40.000	80.000	60.000
Yang-Tse-Kiang	5.100	1.872	4.000	42.000	22.000
Mississippi	6.970	3.240	8.500	51.000	19.000
Gange	2.700	1.060	600	50.000	13.000
Danubio	2.780	804	2.600	28.000	6.000
Nilo	6.500	2.812	500	7.000	2.000
Po	652	75	280	10.000	1.500

Tab. 3.2 - Lunghezze (L), superfici dei bacino imbriferi (A) e portate di alcuni fiumi del Mondo a confronto con il Po. Il Congo, nonostante una superficie di bacino simile a quella del Mississippi, ha una portata media annua tre volte superiore per l'abbondanza delle piogge che caratterizzano il primo. Ridotte sono le portate del Nilo, poco superiori a quelle del Po, con superficie di bacino 7 volte inferiore; ciò è dovuto alle scarse piogge sul primo, alimentato quasi esclusivamente dalle montagne sulla testata del bacino. Il Rio delle Amazzoni, per le grandi dimensioni del bacino e le piogge abbondanti tipiche del clima equatoriale, è quello con le maggiori portate.

Per il Flumendosa (Sardegna) la differenza tra l'inverno (piogge abbondanti = portate elevate) e l'estate (siccità = portate scarse) è più accentuata (**fig. 3.3**); la portata media mensile di luglio è 1/50 di quella di gennaio. Nelle estati più calde l'alveo del fiume è completamente asciutto, mentre negli inverni con piogge più abbondanti le portate assumono valori decine di volte superiori a quelli medi. In inverno il Flumendosa è un grande fiume impetuoso su un ampio letto; la massa d'acqua e la velocità della corrente consentono elevate capacità di trasporto solido e di erosione; in tale situazione il corso d'acqua trasporta grandi quantità di detriti (soprattutto ghiaia e piccoli massi) che costituiscono essenzialmente il materiale del fondo dell'alveo. In estate l'ampio letto del fiume diventa una larga *fiumara* di ciottoli in cui scorre un sottile rivolo d'acqua. Situazioni analoghe si hanno in tutta l'Italia meridionale come conseguenza dell'abbondanza delle piogge invernali rispetto

alle siccità estive. In quelle regioni, soprattutto in Sardegna e in Basilicata, sono stati costruiti bacini artificiali per accumulare l'acqua abbondante della stagione fredda per avere a disposizione riserve idriche per le esigenze agricole e potabili nella stagione calda.

Tab. 3.3 - Caratteristiche morfometriche dei bacini di alcuni fiumi italiani ordinati secondo le dimensioni decrescenti.

FIUMI (località stazione idrometrica del Servizio Idrografico Italiano)	Area bacino	Altitudine max	Altitudine med.	Alt. stazione
	km ²	m s.l.m.	m s.l.m.	m s.l.m.
TEVERE (Ripetta)	16.545	2.487	524	1
ADIGE (Boara Pisani)	11.954	3.899	1.535	9
ARNO (S. Giovanni alla Vena)	8.186	1.657	330	7
TANARO (Montecastello)	7.985	3.297	663	79
TICINO (Miorina)	6.599	4.633	1.283	190
VOLTURNO (Cancello Arnone)	5.558	2.241	532	3
ADDA (Lavello)	4.572	4.050	1.569	-
RENO (Bastia)	3.410	1.945	324	3
DORA BALTEA (Tavagnasco)	3.313	4.810	2.080	263
SELE (Albanella)	3.235	1.899	679	1
PESCARA (S. Teresa)	3.125	2.795	940	4
BRADANO (Tavole Palatine)	2.743	1.228	407	10
OFANTO (Samuele di Cafiero)	2.716	1.493	454	32
OMBRONE (Sasso d'Ombro)	2.657	1.734	346	55
MINCIO (Monzambano)	2.350	1.556	996	-
VELINO (Terria)	2.076	2.487	970	370
RIENZA (Vandoies)	1.923	3.499	1.870	740
OGLIO (Capriolo)	1.842	3.554	1.429	-
SIMETO (Giarretta)	1.823	3.274	793	17
IMERA MERIDIONALE (Drasi)	1.782	1.912	586	56
BRENTA (Bassano)	1.567	3.185	1.256	106
TOCE (Candoglia)	1.532	4.633	1.641	198
FORTORE (Civitate)	1.527	1.150	474	17
NERA (Torre Orsina)	1.445	2.422	1.014	210
LIRI (Isola Liri)	1.410	2.349	1.037	244
BASENTO (Menzena)	1.405	1.835	664	20
CRATI (Conca)	1.332	1.856	664	35

ATERNO (Molina)	1.303	2.532	1.120	435
SECCHIA (Ponte Bacchello)	1.292	2.120	606	21
TOPINO (Ponte Bettona)	1.220	1.570	552	175
BIFERNO (Altopantano)	1.215	2.050	570	7
PLATANI (Passofonduto)	1.237	1.580	525	136
SINNI (Valsinni)	1.142	2.271	752	148
ANIENE (Lunghezza)	1.115	2.176	523	23
FLUMENDOSA (Monte Scrocca)	1.011	1.834	741	82
MAGRA (Calamazza)	939	1.904	612	45
CHIESE (Gavardo)	934	3.462	1.230	198
TRONTO (Tolignano)	910	2.478	959	90
MARTA (Centrale Traponzo)	851	1.053	340	48
SIEVE (Fornacina)	831	1.657	490	92
BREMBO (Ponte Briolo)	765	2.914	1.140	230
MANNU DI OZIERI (Coghinas)	757	1.259	471	190
SESIA (Ponte Aranco)	695	4.559	1.480	336
TANAGRO (Polla)	659	1.899	812	431
ISARCO (Pra di Sopra)	652	3.510	1.820	750
CECINA (Ponte di Monterufoli)	634	1.051	309	33
CEDRINO (Ponte Cedrino)	621	1.505	617	79
PARMA (Ponte Bottego)	618	1.851	650	49
ORCO (Acqualagna)	617	3.865	1.930	430
SCRIVIA (Serravalle)	605	1.699	695	195
STURA DI LANZO (Lanzo)	582	3.632	1.751	447
CHISONE (S. Martino)	580	3.280	1.751	400
STURA DI DEMONTE (Gaiola)	562	3.297	1.817	644
SANGRO (Ateleta)	545	2.795	1.320	720
ROIA (Airole)	478	3.045	1.460	90
PIAVE (Ponte della Lasta)	357	2.693	1.600	966
PO (Moncalieri)	4.885	3.841	950	214
PO (Piacenza)	42.030	4.810	-	42
PO (Baretto)	55.183	4.810	-	20
PO (Pontelagoscuro)	70.091	4.810	-	8

Il fiume Orco (provincia di Torino) presenta un massimo principale in giugno, mentre ancora in luglio le portate sono considerevoli. La collocazione del massimo secondario (autunno) e dei minimi (inverno ed estate) ricorda quella del Tanaro (linea blu in **fig. 3.3**). Le elevate portate della fine primavera e dell'estate sono da attribuire al contributo dovuto alla fusione delle nevi nella parte alta del bacino che si aggiunge alle abbondanti piogge del periodo. Per l'influenza delle nevi, oltre che delle piogge, il regime dell'Orco è classificato come *nivopluviale*. L'influenza delle nevi sul regime idrologico è evidente se si considerano anche i dati relativi alle altitudini massime e medie dei bacini.

Tab. 3.4 - Portate medie mensili ed annue (m³/sec) dei corsi d'acqua elencati in **tab. 3.3** (ordinati secondo le dimensioni decrescenti dei relativi bacini imbriferi).

FIUMI	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	anno
TEVERE	353	328	309	269	237	178	137	124	142	174	263	320	236
ADIGE	146	144	151	181	259	367	270	239	238	228	241	174	220
ARNO	168	193	173	111	87	46	17	10	19	58	139	171	99
TANARO	91	118	187	202	219	132	54	34	58	114	180	134	127
TICINO	146	142	149	257	441	500	389	306	319	315	333	198	292
VOLTURNO	193	168	163	114	80	57	42	37	40	63	105	175	103
ADDA	98	99	92	117	177	268	228	203	198	153	146	104	157
RENO	61	70	86	57	37	24	5	4	13	26	51	66	42
D. BALTEA	35	33	34	58	140	231	193	142	108	77	62	42	96
SELE	119	126	103	74	54	36	26	24	30	44	76	123	69
PESCARA	62	64	65	63	54	45	39	38	42	48	55	61	53

BRADANO	18	17	14	8	6	3	1	0,5	1	3	7	9	7
OFANTO	33	36	27	17	10	4	2	2	3	4	13	27	15
OMBRONE	44	48	42	29	24	12	5	4	11	19	44	48	27
MINCIO	47	43	43	57	67	69	69	77	70	48	47	47	58
VELINO	57	61	61	52	48	41	36	35	37	40	51	60	48
RIENZA	19	18	21	32	66	99	86	73	57	41	37	25	48
OGLIO	42	41	41	51	72	86	77	67	63	60	58	45	59
SIMETO	39	37	33	18	10	6	4	4	6	11	18	28	18
IMERA Mer.	17	10	8	4	3	1	0,5	0,5	0,6	1	2	8	5
BRENTA	47	40	50	89	109	91	63	58	71	72	100	70	72
TOCE	31	30	35	60	105	127	93	74	74	72	65	38	67
FORTORE	36	31	30	19	6	3	1	0,5	1	4	10	24	14
NERA	28	30	32	32	31	29	26	24	24	23	26	27	28
LIRI	34	38	39	34	30	25	20	18	18	21	31	42	29
BASENTO	28	25	23	15	10	4	2	1	2	4	12	22	12
CRATI	54	57	46	34	23	10	5	4	6	11	23	42	26
ATERNO	8	9	10	8	6	4	2	2	3	4	6	9	6
SECCHIA	25	30	43	41	31	12	3	2	5	14	37	31	23
TOPINO	16	18	18	14	12	7	4	3	5	8	12	17	11
BIFERNO	33	35	31	22	13	10	6	5	6	10	16	29	18
PLATANI	22	14	6	4	2	0,7	0,8	0,8	1	2	4	11	6
SINNI	43	44	35	24	17	8	4	3	6	8	24	38	21
ANIENE	38	39	38	37	34	29	23	21	21	23	32	40	31
FLUMEND.	24	22	21	12	7	3	1	0,5	1	7	9	22	11
MAGRA	58	60	58	44	37	21	11	8	15	39	72	66	41
CHIESE	27	28	29	34	42	46	38	37	35	33	38	29	35
TRONTO	20	26	31	31	27	15	8	5	6	9	16	20	18
MARTA	11	12	9	7	6	5	4	4	5	6	9	11	7
SIEVE	26	31	26	18	14	9	3	2	3	9	22	27	16
BREMBO	17	18	26	37	46	43	29	26	31	35	41	22	31
MANNU	13	15	10	6	3	1	0,1	0,1	0,3	1	6	13	6
SEZIA	8	9	16	45	65	56	30	27	34	40	34	14	32
TANAGRO	20	21	16	11	8	5	3	2	4	6	12	20	11
ISARCO	7	6	7	13	31	44	37	31	26	19	15	9	20
CEDRINO	13	16	14	7	4	2	1	0,6	1	4	8	14	7
PARMA	11	11	15	18	6	3	0,1	0,1	1	6	17	17	8
ORCO	8	7	9	20	38	46	27	18	21	22	17	9	20
SCRIVIA	18	18	25	19	16	10	4	3	8	16	30	24	16
Stura di LANZO	7	7	10	21	40	46	26	17	20	21	17	9	20
CHISONE	5	5	7	15	31	31	13	7	9	13	12	7	13
Stura DEMONTE	8	8	11	21	37	39	21	13	14	18	16	11	18
SANGRO	13	15	16	13	11	7	5	4	4	6	12	16	10
ROIA	11	12	14	18	20	16	9	7	7	12	18	14	13
PIAVE	5	4	6	14	21	20	14	11	10	11	12	7	11
PO (Moncalieri)	62	61	79	96	152	114	46	30	47	78	97	78	78
PO (Piacenza)	634	696	899	928	1350	1270	793	605	834	1030	1310	840	932
PO (Baretto)	890	957	1.00	1250	1400	1360	838	707	1050	1350	1670	1200	1150
PO (P.te lagos.)	1190	1230	1500	1590	1840	1810	1200	937	1250	1620	1980	1470	1470

Il Tevere, il Volturno, il Tanaro e il Flumendosa presentano una altitudine media inferiore a 800 m s.l.m. e solo lo spartiacque del bacino del Tanaro passa per una punta superiore a 3.000 m s.l.m. In tali bacini l'influenza della fusione delle nevi che si accumulano nell'inverno è scarsa o nulla. Diversa è la situazione dell'Orco, con una altitudine media di quasi 1.930 m s.l.m.; nelle porzioni più elevate del relativo bacino, la cui principale vetta è il Gran Paradiso, all'inizio della primavera è ancora presente un manto nevoso molto spesso.

Una parte del bacino della Dora Baltea si trova sopra i 4.000 m s.l.m. e dove sono presenti numerosi ghiacciai (massicci del Bianco, del Rosa, del Gran Paradiso, del Cervino,...). La vetta più elevata del bacino dell'Adige è molto superiore al limite climatico delle nevi persistenti. Le altitudini mediane sono superiori a 1.500 m s.l.m. La fusione delle nevi e dei ghiacciai avviene nei mesi caldi: le maggiori portate sono in giugno e in luglio e permangono cospicue anche in agosto (**fig. 3.3**). Al contrario il minimo si manifesta nei mesi freddi. Le piogge, per questi fiumi, sono meno importanti, essendo i regimi dovuti essenzialmente al contributo dei serbatoi glaciali e nivali della Valle d'Aosta e del Trentino, regolati da regimi termici molto simili, come andamento, a quello delle portate. Sono quindi regimi *nivoglaciali*.

Le considerazioni sopra espresse (**scheda 3.3** per approfondimenti) si riferiscono a corsi d'acqua considerati come esempi. Nella realtà può spesso verificarsi il passaggio da un tipo di regime ad un altro lungo il corso d'acqua dalle sue sorgenti verso la foce (**scheda 3.4**).

3.3 - Portate di piena

Le piene sono eventi idrologici in situazioni meteorologiche eccezionali, della durata di alcuni giorni e che interessano grandi bacini. Nel caso di piccoli bacini, sono il risultato di violenti nubifragi, della durata di poche ore, con elevate intensità di pioggia. L'entità delle piene non dipende solo dall'intensità degli afflussi, ma anche dalla forma dei bacini; per esempio in un areale di forma "compatta" e con ripidi versanti, i tempi di corrivazione sono più brevi e quindi, a parità di precipitazioni, più elevate risultano le portate di piena.

I fenomeni di piena non sono esclusivamente quelli associati ad esondazioni o ad intense manifestazioni erosive. La

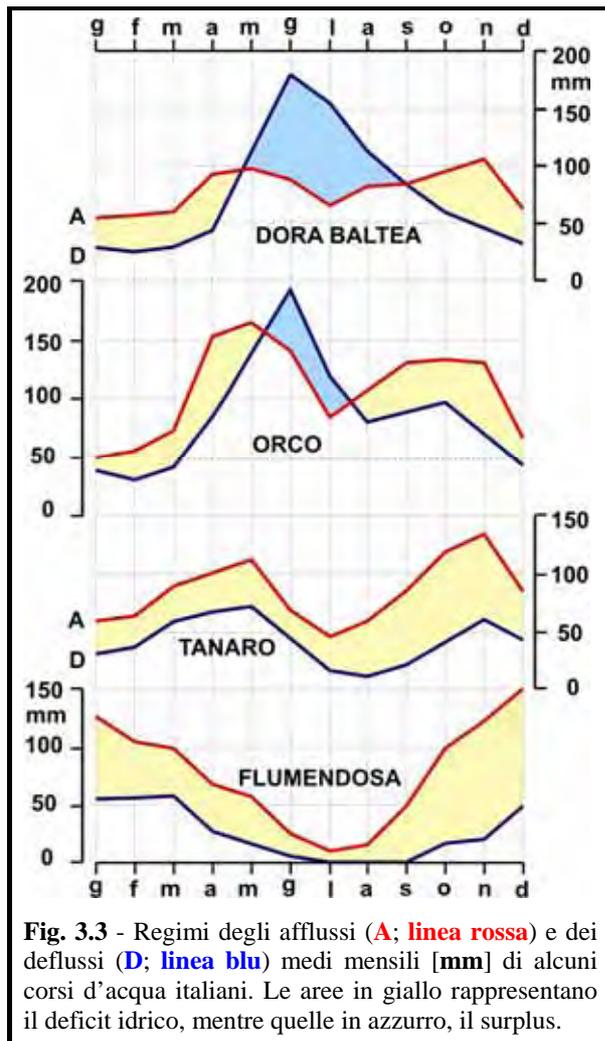


Fig. 3.3 - Regimi degli afflussi (A; linea rossa) e dei deflussi (D; linea blu) medi mensili [mm] di alcuni corsi d'acqua italiani. Le aree in giallo rappresentano il deficit idrico, mentre quelle in azzurro, il surplus.



Fig. 3.4 - In pianura, più che in montagna, i corsi d'acqua, durante le piene (dovute ad intense e prolungate piogge), diventano particolarmente torbidi a causa del trasporto di centinaia e migliaia di tonnellate di limo strappato dai terreni prevalentemente sabbiosi - argillosi delle campagne facenti parte del bacino imbrifero.

piena è una situazione idrologica particolare, con portate notevolmente superiori a quelle medie, con consistenti innalzamenti del livello dell'acqua in alveo, della velocità del flusso idrico e della torbidità (carico solido; **fig. 3.4**). Nel caso di piene eccezionali, a causa della violenza delle acque, oltre ai danni provocati alle attività umane e alle trasformazioni morfologiche del fondo e delle sponde fluviali per erosione, si possono avere conseguenze negative nei confronti delle cenosi; con piene particolarmente intense si determinano condizioni fisiche talora difficili anche per organismi adattati a più o meno intensi flussi idrici (non sono rari i casi di corsi d'acqua montani resi "deserti" in seguito a piene rovinose).

Le piene sono essenziali per gli ambienti ad acque correnti; esse "spazzano" gli alvei dei fiumi, altrimenti si trasformerebbero in canali ingombri di vegetazione acquatica e si accumulerebbero eccessive quantità di sostanze organiche sui fon-

dali di tranquille anse o immediatamente a valle di ostacoli, dove la debole corrente non riuscirebbe a rimescolare efficacemente le acque profonde (basta pensare all'aspetto autunnale dell'alveo di un corso d'acqua in periodo di magra con uno spesso strato di foglie che non vengono rimosse fino alla prima piena). Inoltre verrebbe a mancare l'azione erosiva dell'acqua che conferisce ai corsi d'acqua la molteplice variabilità di microambienti tipica degli ecosistemi fluviali.

Dal punto di vista dell'ingegnere idraulico l'eventuale eliminazione delle manifestazioni di piena, come talora succede immediatamente a valle delle dighe, può costituire un vantaggio. Dal punto di vista del naturalista (se si escludono le manifestazioni particolarmente eccezionali e rovinose) verrebbe a mancare un importante fattore ambientale in grado di "disegnare" la morfologia fluviale ed alla quale, nel corso di tempi su scala geologica, si è adattata una complessa comunità di viventi destinata ad essere gradualmente sostituita da organismi meno adatti alle correnti o addirittura tipici delle acque stagnanti (**scheda 3.5**).

La **tab. 3.5** riporta, per i corsi d'acqua elencati nelle precedenti tabelle, le portate massime assolute di piena registrate in un certo arco di tempo (indicato come numero "N" di anni di osservazione), insieme ai valori medi annui a titolo di confronto, espressi anche come contributo o *portata specifica*. Il contributo è la quantità d'acqua con la quale l'unità di superficie di bacino [km²], nell'unità di tempo [secondo], concede come surplus idrico destinato ad alimentare la portata. Per chiarire meglio il concetto si può ricorrere a due esempi. Se si indica con **Q** la portata media annua del Toce a Candoglia (67 m³/sec = 67.000 L/s) e con **S** la superficie di bacino sotteso (1.532 km²); il rapporto **Q/S** vale 44 L/sec/km². Il contributo medio annuo esprime la potenzialità idrica dell'areale contribuente il corso d'acqua; in questo caso ogni kilometro quadrato del bacino del Toce "contribuisce" all'entità delle portate con 44 L/sec. L'Arno a S. Giovanni alla Vena (**tabb. 3.3 e 3.4**) ha una portata media annua superiore (**Q** = 99 m³/s = 99.000 l/s); sembrerebbe un corso d'acqua più "generoso" rispetto al Toce; tuttavia il primo ha una superficie di bacino sotteso molto più grande (**S** = 8.186 km²) ed un rapporto **Q/S** inferiore (12 L/s/km²). Quindi le potenzialità idriche del Toce sono decisamente superiori a quelle dell'Arno anche se questo, in virtù della grande estensione del bacino sotteso, è un corso d'acqua con valore assoluto di portata superiore.

Dalle tabelle succitate si può tentare di capire la ragione di tale diversità fra i due bacini. La quota massima del bacino del Toce supera i 4.600 m s.l.m. e in corrispondenza delle fasce altimetriche più elevate sono presenti i ghiacciai del Massiccio del Rosa. L'altitudine mediana è oltre 1.600 m s.l.m.; è un bacino prevalentemente di montagna, con clima relativamente rigido e scarsa evapotraspirazione. Il coefficiente di deflusso è elevato e la maggior parte degli abbondanti afflussi meteorici tipici del clima del Piemonte Nord - orientale contribuiscono in modo rilevante ai notevoli contributi del bacino del Toce. L'altitudine massima del bacino dell'Arno (1.657 m s.l.m.) è minore e non sono presenti isole glaciali; l'altitudine mediana è di appena 300 m s.l.m.; le estati sono molto calde e poco piovose e i processi evapotraspirativi notevoli. Il coefficiente di deflusso è relativamente basso e quindi solo una piccola parte delle precipitazioni contribuiscono ai deflussi del bacino dell'Arno.

Tab. 3.5 - Portate media annua, massima e minima storica, rappresentative dei periodi di osservazione (N), per i fiumi riportati nelle **tabb. 3.3 e 3.4**.

FIUMI	N anni di osservazioni	portata media annua		portata max	portata min
		m ³ /s	L/s/km ²	m ³ /s	m ³ /s
TEVERE	50	236	14	3.300	60,8
ADIGE	21	220	18	1.700	56,6
ARNO	45	99	12	2.290	2,2
TANARO	50	127	16	3.170	6,5
TICINO	50	292	44	5.000	35,0
VOLTURNO	33	103	19	1.800	11,6
ADDA	25	157	34	683	16,5
RENO	30	42	12	863	0,0
DORA BALTEA	46	96	29	1.950	17,5
SELE	39	69	21	2.890	6,0
PESCARA	38	53	17	900	18,4
BRADANO	33	7	3	1.930	0,1
OFANTO	38	15	6	1.060	0,0
OMBRONE	39	27	10	3.120	1,1
MINCIO	20	58	25	163	0,5

VELINO	43	48	23	328	3,0
RIENZA	17	48	25	-	6,6
OGLIO	38	59	32	413	5,6
SIMETO	39	18	10	2.390	1,1
IMERA MERID.	11	5	3	645	0,0
BRENTA	14	72	18	-	17,9
TOCE	32	67	44	2.100	11,1
FORTORE	17	14	9	1.420	0,0
NERA	43	28	19	146	1,3
LIRI	27	29	21	600	8,4
BASENTO	25	12	9	1.420	0,0
CRATI	44	26	20	1.120	0,0
ATERNO	42	6	5	143	0,6
SECCHIA	43	23	18	823	0,0
TOPINO	37	11	9	390	1,0
BIFERNO	29	18	14	1.530	1,3
PLATANI	14	6	5	1.200	0,1
SINNI	27	21	19	2.370	0,7
ANIENE	43	31	28	865	9,4
FLUMENDOSA	38	11	11	3.300	0,0
MAGRA	40	41	43	3.480	2,6
CHIESE	32	35	37	533	11,7
TRONTO	39	18	19	1.320	1,0
MARTA	34	7	9	430	1,7
SIEVE	36	16	19	1.340	0,3
BREMBO	31	31	41	1.580	4,3
MANNU DI OZIERI	57	6	7	892	0,0
TANAGRO	11	11	16	490	0,5
ISARCO	20	20	31	-	3,3
CECINA	24	8	12	1.030	0,1
CEDRINO	50	7	11	2.360	0,1
PARMA	15	9	14	680	0,0
ORCO	39	20	33	1.410	1,2
SCRIVIA	25	16	26	1.800	0,4
STURA DI LANZO	39	20	35	1.600	2,8
CHISONE	34	13	22	700	1,6
STURA DEMONTE	18	18	32	400	3,2
SANGRO	40	10	18	420	0,9
ROIA	21	13	28	920	2,2
PIAVE	32	11	32	-	2,0
PO (Moncalieri)	44	78	16	2.230	1,0
PO (Piacenza)	47	932	22	12.800	125
PO (Baretto)	27	1.150	21	12.500	200
PO (Pontelagoscuro)	53	1.470	21	10.300	275

In **tab. 3.5** i bacini che presentano le maggiori potenzialità idriche sono il Toce, il Ticino, il Magra, il Brembo con oltre 40 L/s/km². Vi sono corsi d'acqua caratterizzati da valori medi annui inferiori a 6 L/s/km² come l'Aterno, il Platani, il Carapelle, il Cervaro, fino a valori minimi di 3 L/s/km² del Bradano e dell'Imera Meridionale. I corsi d'acqua che presentano le minori potenzialità idriche sono anche quelli per cui il rapporto tra la portata massima assoluta e la portata media annua è più elevato. In linea di massima le maggiori portate di piena sono decine di volte superiori alle medie annue nei bacini caratterizzati da ampie superfici e da grandi potenzialità idriche; sono anche centinaia di volte superiori alle medie annue nei bacini piccoli e caratterizzati da scarse potenzialità idriche. Si passa dalla situazione del Po, presso la foce, con una portata di massima piena 7 volte la media annua, all'estremo opposto dell'Esaro, in Provincia di Catanzaro, con una portata di massima piena quasi 450 volte superiore alla media annua.

3.4 - Portate di magra

La **tab. 3.5** riporta le **portate minime assolute** riscontrate presso le stazioni idrometriche dei principali fiumi italiani. Il confronto fra i diversi corsi d'acqua non può essere fatto con i dati assoluti in quanto, in linea di massima, i valori sono tanto più grandi quanto maggiori sono le dimensioni dei bacini. Infatti, dato che in **tab. 3.5** i corsi d'acqua sono ordinati secondo le dimensioni decrescenti dei relativi bacini, risultano conseguentemente minori le portate minime, da massimi fra $50 \div 60 \text{ m}^3/\text{s}$ per i primi (Tevere e Adige), fino a valori pari o prossimi a zero per gli ultimi. Tuttavia sono evidenti numerose eccezioni. Per esempio il Chiese (con superficie di bacino sotteso pari a 934 km^2) e l'Aniene (1.115 km^2) presentano minimi assoluti intorno a $10 \text{ m}^3/\text{s}$; mentre fiumi come l'Ofanto e l'Imera Meridionale, pur presentando superfici di bacino ben più ampie (rispettivamente 2.716 km^2 e 1.782 km^2), in situazioni siccitose neppure troppo eccezionali, possono presentare un alveo completamente asciutto. Nella maggior parte dei casi i bacini con le maggiori potenzialità idriche (più alti valori di contributi medi annui), presentano minimi di portata meno bassi; infatti i corsi d'acqua con minimi assoluti pari a $0 \text{ m}^3/\text{s}$, presentano contributi medi annui inferiori a 10 L/s/km^2 .

Quasi tutti i corsi d'acqua con minimi assoluti pari o prossimi a zero si trovano in parte dell'Italia centrale, nell'Italia meridionale e nelle isole; fanno eccezione pochi fiumi alimentati da bacini con porzioni altimetriche di montagna. In un bacino con un clima estivo caldo e siccitoso e senza consistenti riserve sotterranee che abbiano accumulato acqua nella stagione invernale, dove il ruscellamento superficiale dipende esclusivamente dal regime delle piogge, le portate possono ridursi a valori molto bassi o addirittura nulli in estate. In un bacino con vaste porzioni di elevata altitudine, in una situazione climatica come, per esempio, quella delle regioni Nord - orientali con precipitazioni abbondanti anche in estate, con ghiacciai di una certa estensione, ben difficilmente le portate sono esigue in estate; anzi i minimi si registrano nell'inverno per mancanza dell'ablazione dei ghiacci e delle nevi, quando si registrano anche i minimi pluviometrici; tuttavia, per le basse temperature, l'evapotraspirazione è molto contenuta o addirittura nulla, mentre le riserve idriche sono al colmo grazie alle abbondanti precipitazioni autunnali; in simili condizioni le magre invernali, rispetto alle medie annue, non sono così ridotte come quelle estive della maggior parte dei fiumi meridionali.

Se le manifestazioni di piena costituiscono un argomento di estremo interesse per gli ingegneri idraulici in conseguenza dei problemi legati al dissesto idrogeologico, all'opposto le portate di magra interessano i naturalisti. La piena, dal punto di vista biologico, è un tipo di evento naturale che fa parte integrante dell'insieme delle caratteristiche ambientali degli ecosistemi fluviali; essa contribuisce in misura determinante a "disegnare" la conformazione fisica degli alvei dei corsi d'acqua modificando nel tempo e nello spazio l'equilibrio fra sedimentazione ed erosione, aspetto questo tipico delle acque correnti. Molto raramente le piene, pur essendo "pericolose" per le attività umane, comportano conseguenze negative rilevanti per le comunità viventi acquatiche; sono rari i casi in cui dagli alvei dei fiumi vengono "spazzati" rovinosamente l'ittiofauna e gli altri gruppi di organismi vegetali ed animali; si tratta di episodi conseguenti a vicende idrometeorologiche veramente eccezionali ed accompagnati da situazioni idrogeomorfologiche particolari, caratterizzate da intensi fenomeni di trasporto solido (per esempio piene accompagnate da consistenti movimenti di terra).

La magra è una situazione idrologica di particolare vulnerabilità del corso d'acqua. Sono sufficienti pochi giorni con alveo asciutto anche una sola volta all'anno per impedire il mantenimento di comunità di organismi anche molto semplificate. Ma anche portate molto ridotte, pur garantendo perennemente la presenza di acqua in alveo, comportano situazioni di stress ambientale difficilmente sostenibili. Soprattutto oggi, a causa dell'inquinamento, quando i volumi d'acqua sono molto scarsi, un fiume potrebbe risultare gravemente compromesso. La situazione potrebbe aggravarsi ulteriormente in seguito a captazioni idriche; per esempio quelle per fini irrigui riducono ulteriormente le già modeste portate estive, soprattutto nei corsi d'acqua a regime pluviale; quelle per fini idroelettrici esercitano effetti negativi soprattutto nella stagione invernale nei corsi alpini. La fase più delicata del ciclo idrologico di un fiume è la magra, sia per il mantenimento degli equilibri biologici, sia per la gestione delle risorse idriche.

3.5 - Bilancio idrologico dei laghi naturali

I laghi naturali costituiscono una importante risorsa di acqua dolce; pertanto è importante conoscere i meccanismi con i quali avviene in tali ambienti il ricambio idrico. La valutazione del bilancio idrologico di un lago naturale è assai complessa perché richiede misure e stime di numerosi parametri idroclimatici. Per la maggior parte dei laghi italiani, mancano osservazioni di quel tipo, per cui risulta difficile il calcolo di bilanci idrologici completi. Quando invece si conoscono tutti i parametri idroclimatici, l'equazione completa del bilancio idrologico può essere così espressa:

$$I + R + P \pm S = E + U \pm H$$

dove **I** è il volume d'acqua che, in un dato intervallo di tempo, è convogliato nella cuvetta lacustre dagli immissari;
R è il volume d'acqua che giunge direttamente al lago attraverso il ruscellamento sui versanti del bacino;
P è la precipitazione diretta sulla superficie del lago;
S è la quantità d'acqua veicolata attraverso le falde sotterranee o le sorgenti subacquee;
E è l'acqua che evapora dalla superficie del lago;
U è la quantità d'acqua che fuoriesce dal lago attraverso l'emissario;
H il volume d'acqua corrispondente al dislivello fra le superfici lacustri all'inizio ed al termine delle osservazioni, vale a dire l'acqua immagazzinata (segno positivo) o persa (segno negativo).

La determinazione del volume [m^3 /anno] medio annuo delle uscite (**U**) è importante perché permette di calcolare il **tempo teorico di ricambio** (**T_r**) delle acque del lago:

$$T_r = \frac{V}{U}$$

Dove **V** è il volume del lago [m^3]. **T_r** rappresenta *il numero teorico di anni affinché tutta l'acqua del lago sia totalmente ricambiata*; esso è utile per l'interpretazione dei processi di inquinamento e di eutrofizzazione. La **tab. 3.7** riporta i tempi teorici di ricambio dei principali laghi italiani. I valori dei tempi di ricambio delle acque lacustri, anche se indicativi a livello di confronto, sono puramente teorici, perché presuppongono il lago come un tratto fluviale a sezione più ampia e con morfologia molto regolare, entro il quale si sviluppa un trasporto liquido più o meno uniforme, senza tenere conto del complesso di fenomeni fisici, chimici e biologici che sono importanti nel determinare l'evoluzione dei laghi. I tempi reali di totale ricambio delle acque lacustri sono alquanto superiori a quelli teorici.

Tab. 3.6 - Caratteristiche morfometriche dei principali laghi del Mondo.

Laghi	area geografica	area lago [km^2]	profondità [m]		Volume [km^3]
			massima	media	
Baikal	Asia centrale	31.500	1.741	730	23.000
Tanganyka	Africa orientale	34.000	1.470	572	18.940
Caspio	Europa/Asia	436.000	946	183	79.319
Nyassa (Malawi)	Africa orientale	30.800	706	273	8.400
Issyk Kul	Asia	6.200	702	320	1.732
Crater	USA	55	608	364	20
Matana	Celebes	164	590	240	39
Hornindalsvaten	Norvegia	508	514	237	12
Tahoe	USA	499	501	249	124
Chelan	USA	150	458	-	-
Mjosa	Norvegia	362	449	187	-
Manapouri	Nuova Zelanda	145	445	100	145
Salsvatn	Norvegia	45	445	-	-
Maggiore	Italia	212	370	177	38
Garda	Italia	368	350	133	49
Ginevra	Europa centrale	580	309	-	-
Superiore	Canada/USA	83.300	307	145	12.000
Michigan	USA	67.850	265	99	5.760
Ladoga	Russia	18.734	250	52	920
Ontario	Canada/USA	18.760	225	91	1.720
Huron	Canada/USA	59.510	223	76	4.600
Victoria	Africa orientale	68.800	79	40	2.700
Aral	Asia	62.000	68	16	970
Erie	Canada/USA	25.820	64	21	540
Balkhash	Asia centrale	17.575	27	6	112
Winnipeg	Canada	24.530	19	13	1.900
Chad	Africa centrale	16.500	12	2	24

Tab. 3.7 - Caratteristiche morfometriche e tempo teorico di ricambio dei principali laghi naturali italiani.

LAGHI	area bacino imbrifero	area lago	profondità max	profondità media	volume lago	tempo ricambio
	[km ²]	[km ²]	[m]	[m]	[m ³ ·10 ⁶]	[anni]
ALLENICHE	233	0,52	18	10	5,4	0,02
ANNONE EST	28	3,8	11	6,3	24	1,4
ANNONE OVEST	15	1,7	10	4,0	6,8	0,81
ALSERIO	18	1,2	8,1	5,3	6,5	0,35
BOLSENA	273	114	151	81	9.200	121
BRACCIANO	147	57	165	89	5.050	137
CALDONAZZO	84	5,6	49	26	149	3,6
CANDIA	6,9	1,4	6,7	3,8	5,4	2,3
CAVAZZO	19	1,7	39	12	21	0,66
COMABBIO	15	3,6	8,0	4,6	16	1,7
COMO	4.570	145	410	153	22.500	4,5
DOBERDÒ	21	0,34	9,5	5,0	1,7	-
ENDINE	37	2,3	9,0	5,1	12	0,27
FIMON	8,2	0,54	4,0	2,0	1,0	0,13
FRASSINO	5,6	0,35	15	6,9	2,4	0,90
GARDA	2.260	368	350	133	49.030	26,6
GARLATE	4.610	4,5	34	16	100	0,02
GRANDE di AVIGLIANA	11	0,83	26	19	16	2,3
INFERIORE MANTOVA	-	1,3	4,0	2,0	2,5	0,02
ISEO	1.740	61	258	124	7.600	4,1
REVINE	8,7	0,46	12	7,4	3,6	0,26
LEDRO	101	2,1	47	36	76	0,85
LEVICO	27	1,2	38	11	13	1,0
LUGANO	615	49	322	130	6.390	8,0
MAGGIORE	6.600	212	370	177	37.500	4,0
MERGOZZO	10	1,8	73	45	83	6,0
MEZZOLA	721	4,9	69	40	200	0,2
MONATE	6,3	2,5	34	18	45	7,9
MONTORFANO	1,9	0,46	6,8	4,1	1,9	1,5
MUTA	32	0,93	16	7,0	6,5	0,38
OLGINATE	4.670	0,58	17	8	7	0,01
ORTA	116	18,2	143	71	1.300	8,9
PIANO	26	0,63	12	6,4	4,0	0,13
PICCOLO di AVIGLIANA	8,1	0,57	12	8	4,5	0,9
PUSIANO	94	4,9	24	14	69	0,68
SANTA MARIA	5,0	0,35	9,0	4,9	1,7	0,2
SEGRINO	3,4	0,38	8,6	3,2	1,2	0,42
SIRIO	1,4	0,30	43	18	5,4	5,7
SUPERIORE di MANTOVA	-	2,7	12	6,0	16	0,08
TENNO	18	0,25	48	20	5,0	0,36
TERLAGO	21	0,20	14	7	1,5	0,1
TRASIMENO	396	124	6,3	4,7	586	21,6
VARESE	111	15	26	11	160	1,8
VICO	41	12,1	48	22	261	17,0

3.6 - Le acque sotterranee

Le precipitazioni fanno giungere acqua al suolo; ad essa può aggiungersi quella di fusione dei ghiacciai e delle nevi nelle montagne più elevate. Una parte ruscella sulla superficie alimentando direttamente il reticolo idrografico (*deflusso superficiale*); una parte impregna il suolo e ritorna direttamente all'atmosfera per evaporazione dal terreno e

per traspirazione delle piante; una terza parte penetra nel sottosuolo in funzione della permeabilità dei materiali, andando ad alimentare il dominio delle **acque sotterranee**. Queste nell'intero globo ammontano ad oltre 5.000.000 km³, pari a circa lo 0,4 % dell'acqua totale terrestre, 13 volte quella delle acque continentali superficiali (laghi e fiumi) e meno di 1/6 di quella allo stato solido nei ghiacciai alpini e polari. Tenendo conto che le acque "imprigionate" nei ghiacciai non sono utilizzabili dall'uomo, se non in seguito allo scioglimento, quelle sotterranee costituiscono un "serbatoio" di grande importanza; una riserva di acqua dolce molto più grande di quella delle acque superficiali, spesso inquinate.

Se in una roccia vi sono piccoli interstizi tra i granuli che la compongono, essa è detta *porosa*, in grado di assorbire l'acqua come una spugna. Molte arenarie (costituite da grani delle dimensioni della sabbia, più o meno cementati) sono rocce porose. Certi graniti o calcari duri si presentano come materiali con molte *diaciasi*, che sono fratture, vere e proprie fessure nelle quali penetra l'acqua; questi materiali vengono detti *rocce fessurate*. Le rocce che lasciano passare l'acqua sono dette *permeabili*; quelle come l'argilla, nelle quali i fini granuli che le compongono sono così compatti da non lasciar passare l'acqua, si dicono *impermeabili*. I calcari fessurati, pur non essendo porosi, lasciano passare l'acqua; questa percorrendo le fessure può allargarle per alterazione chimica (**scheda 3.6**).

Dell'acqua sotterranea parte risale per capillarità verso la superficie del terreno per evaporare o per essere assorbita dalle radici ed essere utilizzata per la traspirazione della vegetazione; parte scende a grandi profondità fino ad incontrare zone della crosta terrestre molto calde entrando nel gioco dell'endodinamica (vulcanismo secondario). La maggior parte scorre negli interstizi delle rocce, come se fossero spugne impregnate, migrando per gravità verso il basso e riuscendo prima o poi ad emergere in superficie, talora con effetti spettacolari (**fig. 3.5**). In alcuni casi parte delle acque delle precipitazioni che si manifestano su un bacino, penetrano in profondità per riemergere sotto forma di sorgenti in corrispondenza dei versanti di bacini adiacenti (**fig. 3.6**). A questo proposito è possibile classificare i bacini secondo diverse categorie:

- **bacini impermeabili** - coincidenza fra spartiacque superficiali e sotterranei; materiali impermeabili; trascurabili i passaggi sotterranei di volumi d'acqua fra bacini adiacenti;
- **bacini semipermeabili** - volumi d'acqua di una certa rilevanza (inferiori al 50 % del bilancio idrico complessivo) si trasferiscono da un bacino all'altro per la presenza di rocce permeabili;
- **bacini permeabili** - la maggior parte dei materiali sono permeabili; bilanci idrologici fortemente influenzati dai cicli delle acque sotterranee.

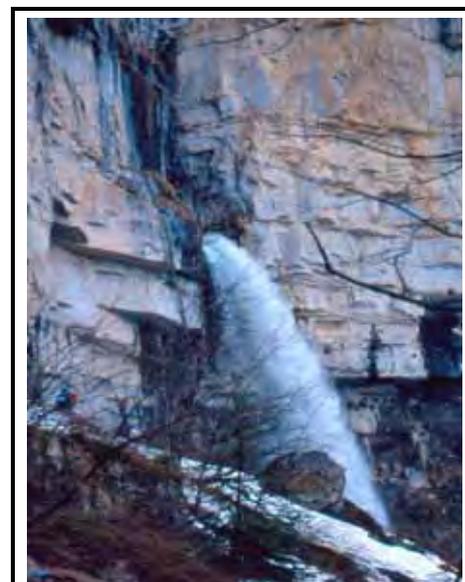


Fig. 3.5 - Nelle zone carsiche parte delle acque superficiali penetrano nel sottosuolo per riemergere come sorgenti o come veri e propri getti d'acqua caratterizzati da una elevata portata, che fuoriescono da una parete rocciosa dando origine a piccoli ed impetuosi torrenti.

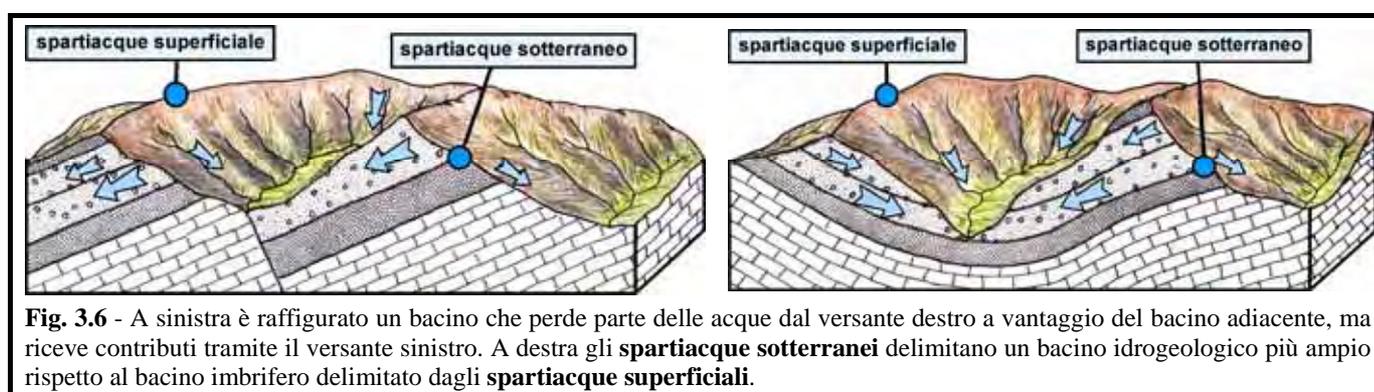


Fig. 3.6 - A sinistra è raffigurato un bacino che perde parte delle acque dal versante destro a vantaggio del bacino adiacente, ma riceve contributi tramite il versante sinistro. A destra gli **spartiacque sotterranei** delimitano un bacino idrogeologico più ampio rispetto al bacino imbrifero delimitato dagli **spartiacque superficiali**.

Se l'acqua che penetra nel terreno si arresta e si accumula su uno strato impermeabile, essa dà origine ad una **falda acquifera**. Se interessa il terreno prossimo alla superficie, alimentata direttamente dalle acque delle piogge, della fusione delle nevi e dei ghiacciai o dalle infiltrazione dei corsi d'acqua sovrastanti, viene detta **falda freatica** (**fig.**

3.7). Se interessa zone situate al di sotto dello strato impermeabile, viene detta **falda profonda**. Se la falda profonda è contenuta fra due strati impermeabili, la sua superficie “batte” contro lo strato impermeabile superiore; essa viene detta **falda artesianiana** ed è in pressione come se corresse in una condotta forzata. Le acque e i pozzi freatici o artesiani sono rispettivamente derivati dalle falde freatiche ed artesiane. Nei **pozzi freatici** l’acqua, che è sottoposta unicamente alla pressione atmosferica, giunge in superficie solo se pompata. Nei **pozzi artesiani** l’acqua può risalire ed anche zampillare all’esterno per il principio dei vasi comunicanti (fig. 3.7).

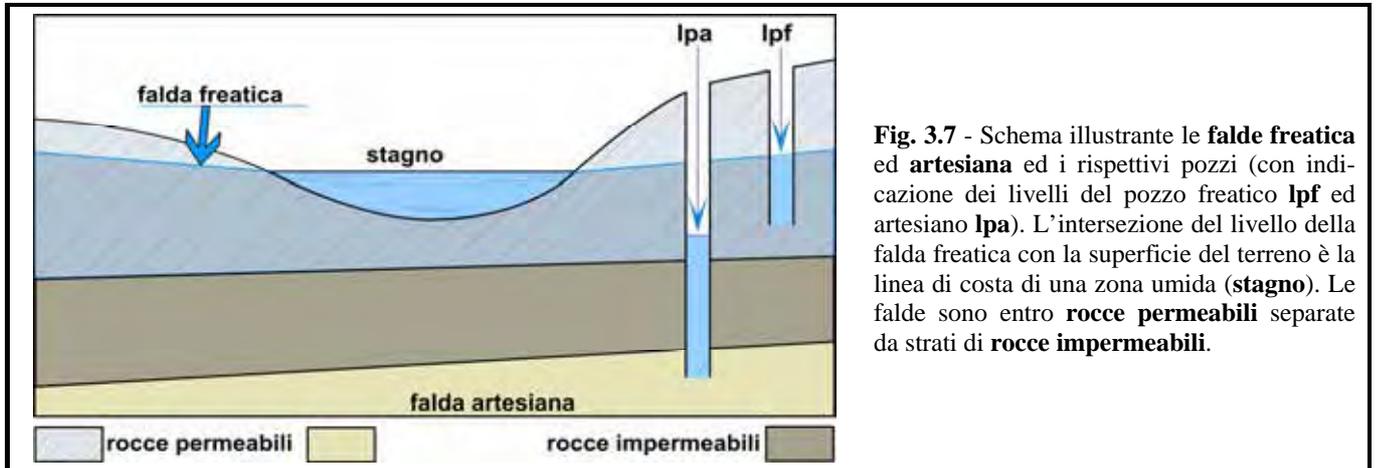


Fig. 3.7 - Schema illustrante le **falde freatica ed artesianiana** ed i rispettivi pozzi (con indicazione dei livelli del pozzo freatico **lpf** ed artesiano **lpa**). L’intersezione del livello della falda freatica con la superficie del terreno è la linea di costa di una zona umida (**stagno**). Le falde sono entro **rocce permeabili** separate da strati di **rocce impermeabili**.

La superficie della falda freatica, nella maggior parte dei casi, non si trova alla stessa quota, ma può subire variazioni da pochi centimetri fino a parecchi metri. Il livello della falda dipende dal volume dell’insieme dei materiali impregnati d’acqua (saturi). Le variazioni di livello sono tanto più limitate quanto maggiore è la massa d’acqua sotterranea. In Italia le falde più grandi sono quelle che impregnano i terreni delle maggiori pianure, con una superficie la cui profondità può oscillare da pochi centimetri sotto il livello di campagna fino a qualche decametro. Si tratta di grandi masse d’acqua, la più grande delle quali costituisce un complesso di falde, fra loro collegate e a diversi livelli, che saturano i terreni profondi della pianura Padana. Il fattore che maggiormente influisce sull’altezza della superficie della falda freatica è la situazione idrometeorologica (fig. 3.8).

In occasione di prolungate siccità la falda si abbassa per mancanza di precipitazioni e per i cospicui processi di evaporazione dal terreno, favoriti dalle alte temperature dell’aria, e di traspirazione ad opera della vegetazione (fig. 3.8). Con il prolungarsi della siccità il livello della falda può abbassarsi a tal punto che i processi di capillarità non sono sufficienti a portare acqua in superficie; essa quindi non evapora più dal terreno e non è più disponibile per le porzioni più profonde dell’apparato radicale delle piante. I temporali occasionali o le prime precipitazioni di un giorno o due non sono in genere sufficienti per far giungere acqua alla falda; l’acqua bagna soltanto pochi centimetri (al massimo qualche decimetro) di suolo, con beneficio delle piante limitato ad un breve periodo; nel giro di poco tempo (qualche giorno), il terreno è nuovamente secco.

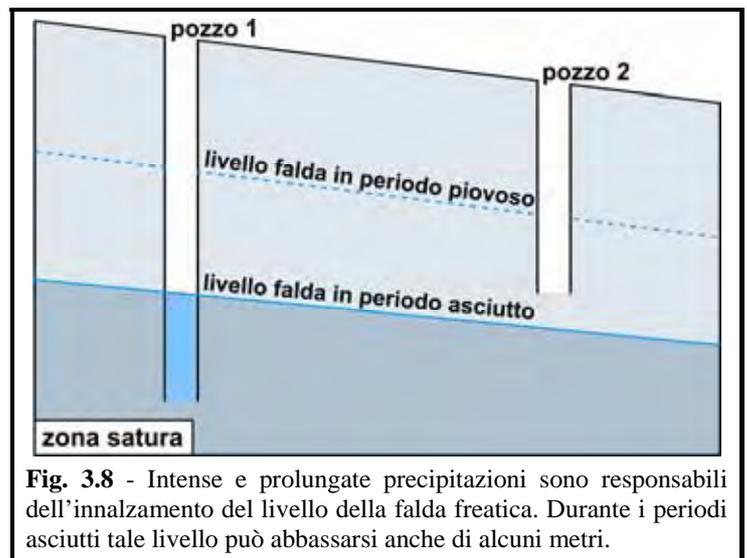


Fig. 3.8 - Intense e prolungate precipitazioni sono responsabili dell’innalzamento del livello della falda freatica. Durante i periodi asciutti tale livello può abbassarsi anche di alcuni metri.

Sono questi i periodi in cui l’agricoltura ha bisogno di acqua per irrigazione; essa viene captata in gran parte da fiumi e torrenti, pompata da pozzi, ecc... I campi vengono inondata (irrigazione a spargimento) o bagnati con irrigatori a pioggia, ma difficilmente l’acqua di irrigazione riesce a raggiungere la falda, la cui superficie si trova spesso a parecchi metri di profondità. Quando eccezionalmente l’acqua di irrigazione raggiunge la falda, porta con se una parte di prodotti chimici utilizzati in agricoltura (concimi, antiparassitari e anticrittogamici, ecc...) contribuendo all’inquinamento delle acque sotterranee. L’inquinamento delle falde a causa della agricoltura è particolarmente

pronunciato nelle risaie, dove vaste estensioni di terreno vengono trattate con grandi quantità di prodotti chimici e allagate per lunghi periodi; in tale situazione l'acqua inquinata penetra profondamente fino a raggiungere la falda, tra l'altro poco profonda.

Solo le intense e prolungate precipitazioni fanno giungere acqua in profondità rimpinguando le falde; il loro livello si innalza fino ad arrivare, in qualche caso, poco al di sotto della superficie libera del terreno. Le acque sotterranee, rispetto a quanto si crede comunemente, sono poco importanti per la vegetazione perché essa dipende quasi esclusivamente dall'acqua presente nel suolo fino alla profondità alla quale giungono le radici; tale profondità si spinge in genere fino a qualche metro per le specie arboree di maggiori dimensioni. La funzione più importante è svolta dalle radici più superficiali presenti nella porzione di terreno più ricco di nutrienti e dove è possibile trovare anche l'acqua di una breve pioggia in grado di impregnare solo la porzione superficiale del suolo. Nella maggior parte delle situazioni, durante le siccità, la falda si trova troppo in basso perché possa fornire acqua alle piante; durante i periodi con abbondanti precipitazioni la falda si alza, talvolta anche fino a raggiungere l'apparato radicale della vegetazione, quando non c'è ne più bisogno perché i terreni sono abbondantemente "irrigati" dalla pioggia.

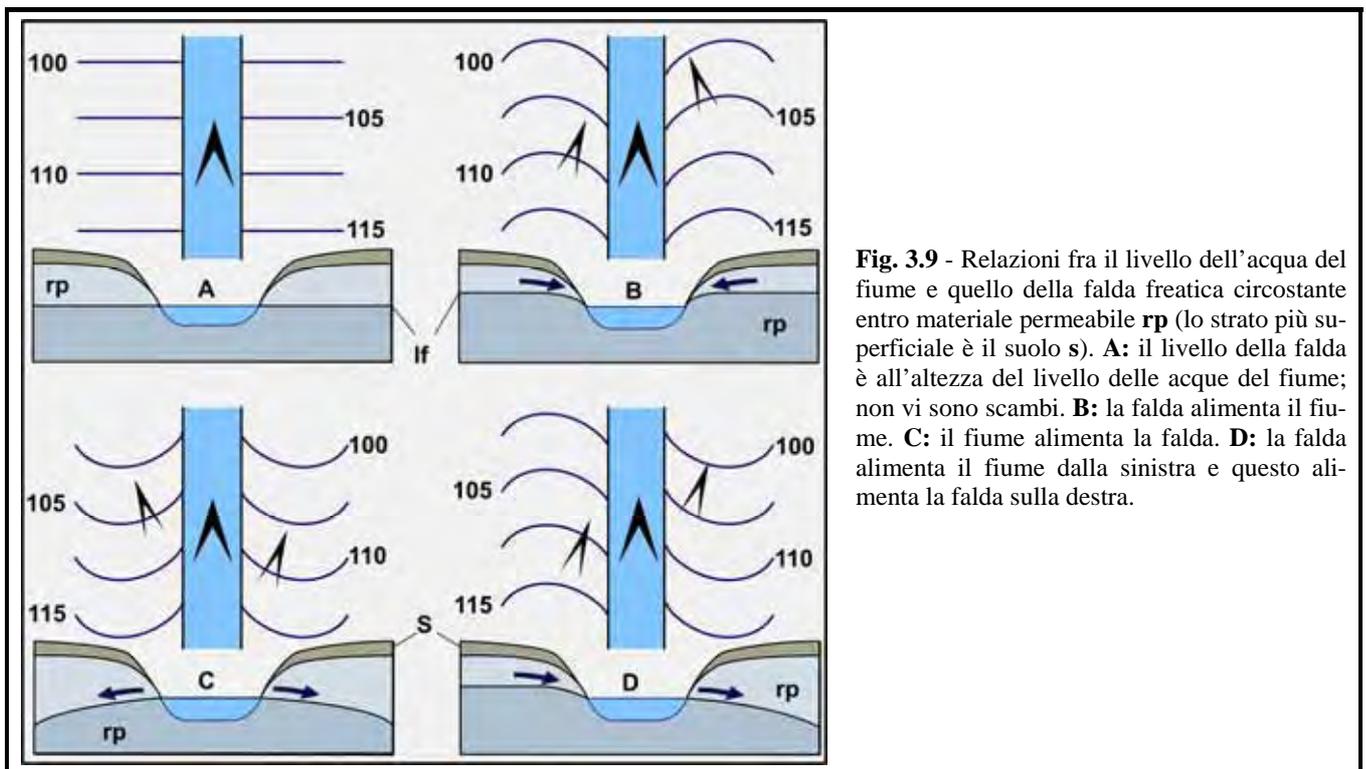


Fig. 3.9 - Relazioni fra il livello dell'acqua del fiume e quello della falda freatica circostante entro materiale permeabile **rp** (lo strato più superficiale è il suolo **s**). **A**: il livello della falda è all'altezza del livello delle acque del fiume; non vi sono scambi. **B**: la falda alimenta il fiume. **C**: il fiume alimenta la falda. **D**: la falda alimenta il fiume dalla sinistra e questo alimenta la falda sulla destra.

La profondità della superficie della falda freatica cambia in funzione delle condizioni idrometeorologiche e della morfologia del terreno. Con rilevazioni particolari (perforazioni) e con misure in corrispondenza dei pozzi, è possibile tracciare, su una carta topografica, le *isofreatiche*, linee che uniscono punti con la stessa profondità della superficie freatica; questa può essere in piano (caso poco frequente) o inclinata, con conseguente flusso dell'acqua dalle porzioni di falda più elevate a quelle più profonde. L'andamento delle isofreatiche mette in evidenza l'aspetto della superficie freatica che varia in funzione dei fattori idrometeorologici.

Un altro fattore che influisce sulla morfologia della superficie freatica è il livello delle acque negli alvei fluviali. Il caso **A** della **fig. 3.9** illustra una situazione in cui il livello dell'acqua nell'alveo del fiume è in equilibrio con quello della falda. In caso di siccità il livello del fiume scende e viene parzialmente alimentato dall'acqua della riserva sotterranea (caso **B**). Nel caso **C** si ha una situazione che potrebbe verificarsi durante una piena; il livello delle acque nell'alveo del fiume si alza improvvisamente alimentando in parte la falda. Il fiume può anche ricevere acqua dalla falda da un lato e immetterne nella falda dall'altro (caso **D**).

Esiste un delicato equilibrio tra le acque dei fiumi e quelle accumulate come riserva nel sottosuolo; esso dipende dalle diverse situazioni idrometeorologiche che si succedono nel tempo. Tale equilibrio è in funzione con la permeabilità delle sponde e del fondo del fiume per gli scambi di acqua nelle diverse direzioni; ogni intervento umano in grado di

limitare tale scambio produce una alterazione dell'equilibrio. Questa è una ulteriore conseguenza negativa della cementificazione degli alvei dei corsi d'acqua.

Attualmente le acque sotterranee sono minacciate dall'inquinamento. Oltre a quello agricolo, vi sono altre fonti pericolose. Acque luride (di fogna) possono giungere in profondità da pozzi perdenti o attraverso il dilavamento di concimaie o di discariche. Pericoloso è l'inquinamento di origine industriale per l'elevata tossicità di molti prodotti chimici; questi, anche se non scaricati direttamente in falda attraverso pozzi perdenti (abusivi), ma eliminati nelle acque di un fiume, possono giungere in falda per le connessioni fra acque superficiali e quelle profonde. Lo sfruttamento delle acque sotterranee comporta l'abbassamento delle superfici freatiche. Eccessivo sfruttamento ed inquinamento hanno compromesso la qualità e la quantità delle riserve idriche sotterranee, determinando problemi per il loro utilizzo, soprattutto per quanto riguarda gli approvvigionamenti idropotabili.

3.7 - Le sorgenti

L'intersezione fra la superficie freatica e quella topografica dà origine alle sorgenti (**fig. 3.10**); alcune emergenze d'acqua particolari sono le sorgenti intermittenti (**fig. 3.11**). Spesso nella zona di transizione tra l'alta e la bassa pianura Padana, la falda, pur essendo vicina alla superficie, non affiora; tuttavia è sufficiente scavare un poco il terreno perché l'acqua possa sgorgare (**fontanili** o **risorgive**) con una temperatura praticamente costante. Talvolta l'emergenza della sorgente può essere subacquea, cioè al di sotto del livello marino o di quello di un lago (**fig. 3.12**). Tra i diversi tipi di sorgenti citiamo le principali:

- **sorgente di strato**; lo strato impermeabile sul quale si raccoglie la falda affiora in superficie;
- **sorgenti di trabocco**; lo strato impermeabile ha forma concava; le acque che permeano la roccia permeabile traboccano all'esterno quando costituiscono un volume superiore alla concavità che le raccoglie;
- **sorgenti intermittenti**; emettono acqua ad intervalli più o meno regolari; la cavità sotterranea comunica con l'esterno per mezzo di una sorta di sifone ad "U" capovolto; quando il livello dell'acqua supera il tratto più alto del sifone, la sorgente sgorga e la cavità si svuota in parte; successivamente il flusso si arresta fino a quando le acque, percolando dall'alto, non riempiono nuovamente la cavità (**fig. 3.11**);
- **sorgente fredda**; quando l'acqua che sgorga ha una temperatura media inferiore a quella dell'aria;
- **sorgente termale**; la temperatura dell'acqua è superiore a quella dell'aria; in questo caso la circolazione profonda dell'acqua avviene a contatto con materiali molto caldi della crosta terrestre;
- **sorgente minerale**; la concentrazione di sali presenti nell'acqua è elevata; la presenza di sali è dovuta all'attraversamento in rocce con porzioni facilmente solubili; invece le acque sorgive povere di minerali vengono dette *oligominerali*.

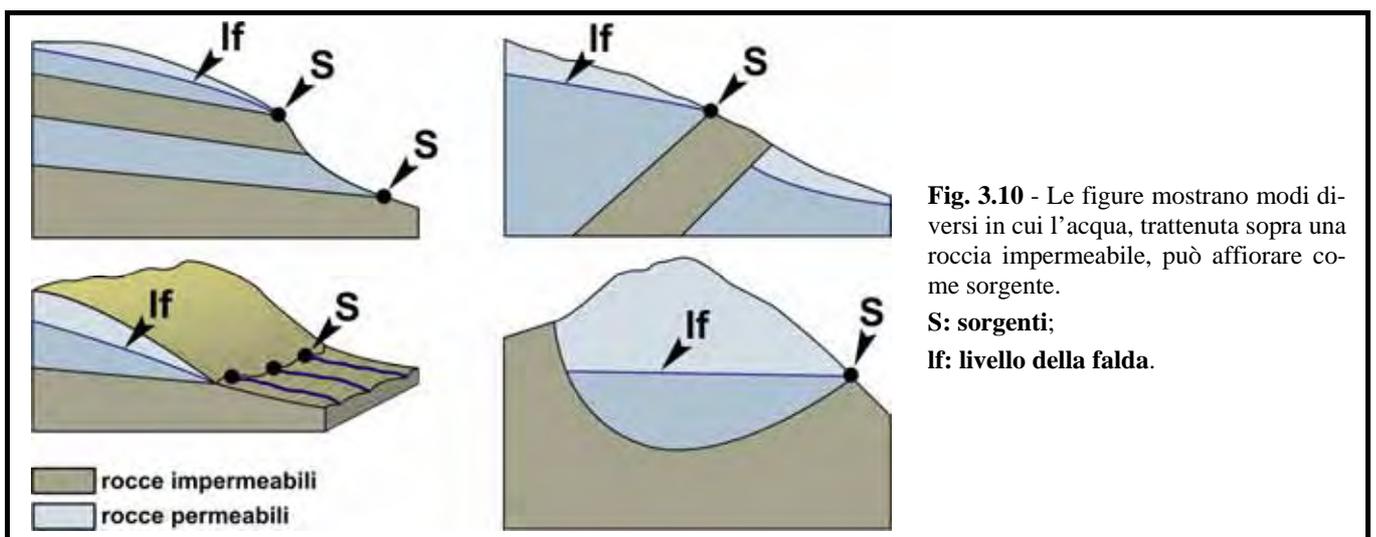


Fig. 3.10 - Le figure mostrano modi diversi in cui l'acqua, trattenuta sopra una roccia impermeabile, può affiorare come sorgente.

S: sorgenti;
If: livello della falda.

3.8 - Il carsismo

Vi sono regioni dove predominano materiali rocciosi molto permeabili (rocce porose o fessurate). Oltre ai processi di disfacimento dovuti alla disgregazione fisica ed alla alterazione chimica in funzione del clima, sono attivi fenomeni distruttivi particolari, che agiscono sotto la superficie del terreno, in grado di condizionare anche il paesaggio, le cui forme potrebbero essere determinate dalla circolazione delle acque sotterranee più che dall'insieme degli agenti esogeni (esempio in **fig. 3.13**). Sono le **zone carsiche**, costituite da rocce calcaree o dolomitiche; in esse sono presenti forme particolari, dovute a processi che, nel loro insieme, prendono il nome di **carsismo**. L'acqua delle precipitazioni spesso non riesce a raccogliersi in ruscelli di una certa consistenza perché penetra rapidamente nel sottosuolo; i fenomeni di erosione superficiale sono più limitati e il paesaggio conserva più a lungo le sue forme giovanili.

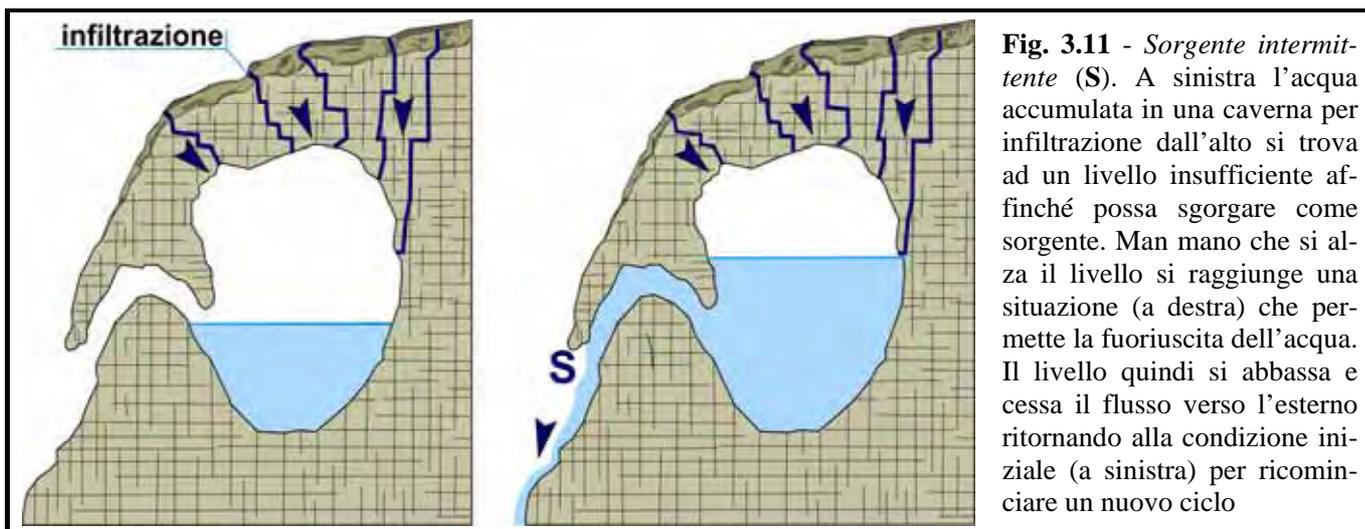


Fig. 3.11 - Sorgente intermittente (S). A sinistra l'acqua accumulata in una caverna per infiltrazione dall'alto si trova ad un livello insufficiente affinché possa sgorgare come sorgente. Man mano che si alza il livello si raggiunge una situazione (a destra) che permette la fuoriuscita dell'acqua. Il livello quindi si abbassa e cessa il flusso verso l'esterno ritornando alla condizione iniziale (a sinistra) per ricominciare un nuovo ciclo

L'acqua agisce sulla superficie ed in profondità grazie soprattutto all'azione chimica che allarga e approfondisce spaccature, crepe, buche, inghiottitoi,...; essa corre attraverso i materiali rocciosi profondi per mezzo di gallerie, caverne, fessure,... allargandole per l'azione chimica ed anche erosiva, o chiudendole per accumulo di detriti; talora forma veri e propri fiumi sotterranei che possono cambiare improvvisamente direzione per il crollo delle volte di caverne che ne sbarrano improvvisamente il corso. L'insieme dei condotti sotterranei viene indicato con il termine **reticolo carsico** (**fig. 3.14**).

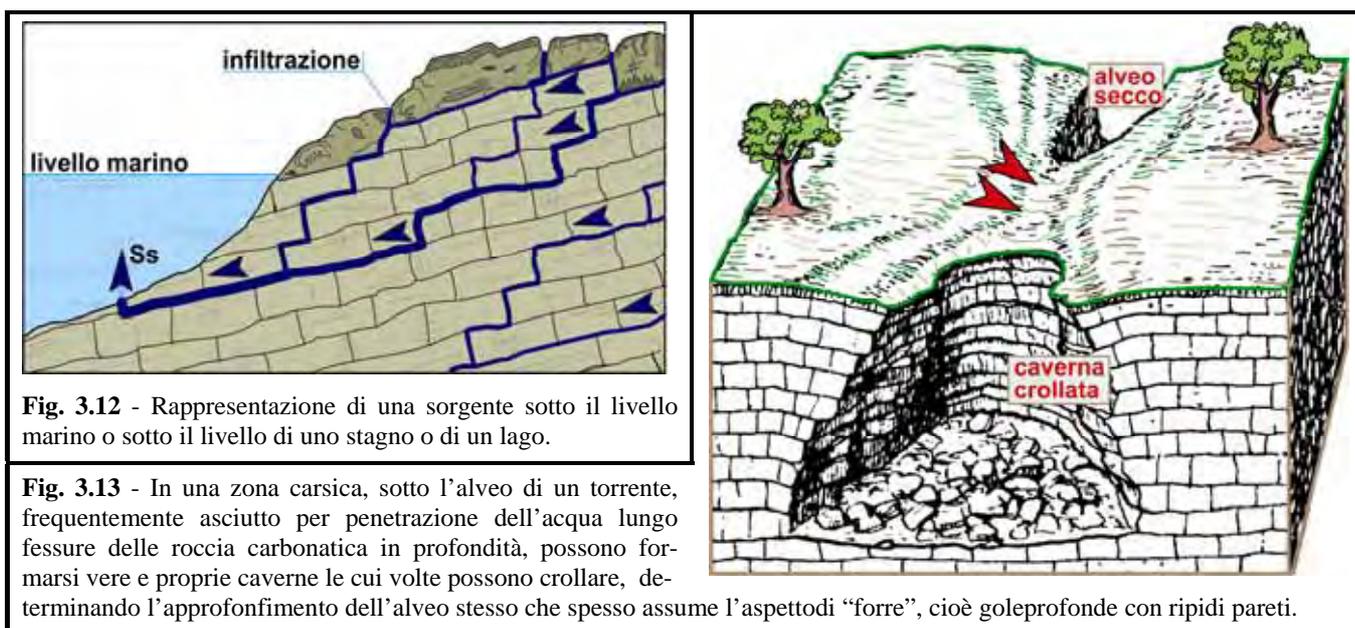


Fig. 3.12 - Rappresentazione di una sorgente sotto il livello marino o sotto il livello di uno stagno o di un lago.

Fig. 3.13 - In una zona carsica, sotto l'alveo di un torrente, frequentemente asciutto per penetrazione dell'acqua lungo fessure delle rocce carbonatiche in profondità, possono formarsi vere e proprie caverne le cui volte possono crollare, determinando l'approfondimento dell'alveo stesso che spesso assume l'aspetto di "forre", cioè gole profonde con ripidi pareti.

L'insieme di questi fenomeni che avvengono in profondità determinano anche forme superficiali fra le quali le **doline**, conche chiuse con diametro da pochi metri fino ad oltre un chilometro e profonde da 2 - 3 m fino ad oltre 200 m. Possono avere forma analoghe ad un piatto (il cui fondo è spesso una piccola pianura coltivata), ad una scodella, ad imbuto o a pozzo a seconda della pendenza delle pareti laterali e dell'estensione del fondo. I materiali calcarei sono in genere impermeabili, ma eventuali fessure favoriscono la concentrazione e la permanenza dell'acqua. Al di sopra vi può essere uno strato di terreno ricco di sostanza organica e spugnoso, in grado di mantenere umido il sottosuolo calcareo; l'humus contribuisce ad acidificare l'acqua aumentandone la capacità di alterazione chimica, cioè la capacità di sciogliere il calcare; in tali condizioni l'acqua scioglie il calcare allargando ulteriormente le fessure, in parte erose per l'azione meccanica dell'acqua stessa che ormai vi scorre in rigagnoli. Si forma quindi una depressione che favorisce l'ulteriore raccolta d'acqua verso il suo centro e l'accelerazione dei processi chimici e meccanici di disfacimento dei materiali calcarei che vengono sciolti e trasportati in profondità attraverso il sottostante reticolo carsico. Questa è l'origine più frequente delle doline, la maggior parte delle quali hanno forma di piatto o di scodella. Le più spettacolari, caratterizzate da ripide pareti, sono quelle ad imbuto o a pozzo, la cui formazione è dovuta al crollo delle volte di ampie grotte. È raro che in fondo alle doline, pur trattandosi di depressioni, si fermi dell'acqua formando laghi; al di sotto della coltre di terreno, i calcari fessurati si comportano come rocce porose che non consentono l'accumulo di acqua. In qualche raro caso, se i calcari contengono sufficienti quantità di impurezze come l'argilla, esse possono raccogliersi in fondo alle depressioni impermeabilizzandole e consentendo la formazione dei **laghi di dolina**.

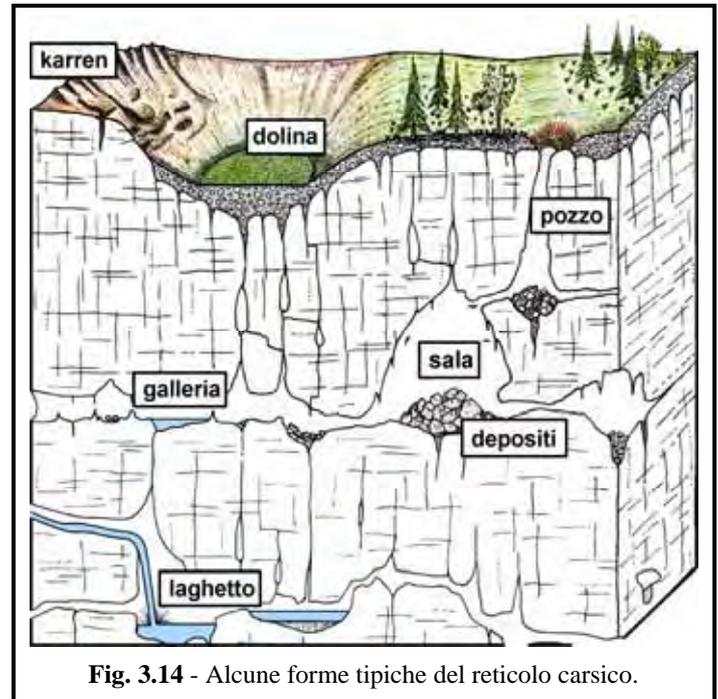


Fig. 3.14 - Alcune forme tipiche del reticolo carsico.

Non si devono escludere, nel paesaggio carsico, i fenomeni erosivi superficiali; si possono formare anche depressioni a forma di valli fluviali. Spesso succede che in fondo a quelle valli non sia presente il torrente che le ha incise (*valli morte*); a volte si verifica che nei tratti più a monte il corso d'acqua sparisca in uno o più **inghiottitoi**, diventando un fiume sotterraneo. La valle quindi è interrotta, manca di una foce (*valle cieca*). Il fiume può tornare alla luce attraverso numerose risorgive o in modo spettacolare può fuoriuscire improvvisamente da una grotta (**fig. 3.5**). Verso valle può esercitare un'azione puramente meccanica su calcari non fessurati, poco o nulla permeabili e molto resistenti; si formano allora *gole* o *canyon carsici*, profonde forre con ripidi versanti in roccia.

SCHEDA 3.1 - Portata idrica e sezione di alveo

Lungo un condotto (per es. un canale) la quantità d'acqua che passa attraverso una data sezione deve essere la stessa di quella che attraversa un'altra sezione a valle o a monte. Deve essere così, altrimenti dovremmo ammettere che, fra le due sezioni, venga aggiunta o tolta dell'acqua. Questo principio è valido anche se le superfici delle sezioni sono diverse (**fig. 3.13**). L'acqua, nell'attraversare la sezione di minore superficie S_2 , aumenta di velocità. Attraverso la sezione S_3 , più grande, potrebbe passare più acqua; succede invece che la velocità diminuisce, così che la portata rimane la stessa.

Approfondendo il letto ed allargando le sponde si aumenta la sezione di deflusso, a vantaggio della capacità del fiume nel sostenere maggiori portate. È una delle tesi più diffuse: se il fiume è più profondo e più largo può contenere più acqua, fino al limite di mantenerla tutta entro l'alveo, anche in occasione di eventi eccezionali. La **portata (Q)**, cioè il volume d'acqua [m^3] che scorre attraverso una sezione durante un certo tempo (un secondo), dipende dalla **superficie (S)** della sezione stessa [m^2] e dalla **velocità (V)** dell'acqua [m/s]. Queste grandezze (portata, superficie e velocità) sono correlate con una semplice espressione (**fig. 3.1**): la portata Q [m^3/s] è il prodotto della superficie della sezione (S) per la velocità dell'acqua (v). Sembra ovvio che aumentando la superficie aumenti la portata che può essere sostenuta. In realtà è una illusione, uno dei "miti" più pericolosi e persistenti ed ai quali si richiamano coloro che auspicano le asportazioni dei materiali detritici, le risagomature dei profili trasversali, i ritombamenti,... al fine di evitare le alluvioni.

In natura (ma ciò risulta anche dalla legge fisica evidenziata in **fig. 3.15**), nei tratti con sezione aumentata artificialmente, la velocità dell'acqua diminuisce per garantire la stessa portata che scorre a monte ed a valle. Inoltre, se a monte avviene erosione a causa dell'energia scatenata dalla piena, nella zona in cui la sezione è stata ampliata, la diminuzione di velocità causerà un repentino deposito di questi materiali, ripristinando, secondo regole naturali, la sezione precedente l'intervento di risagomatura dell'alveo.

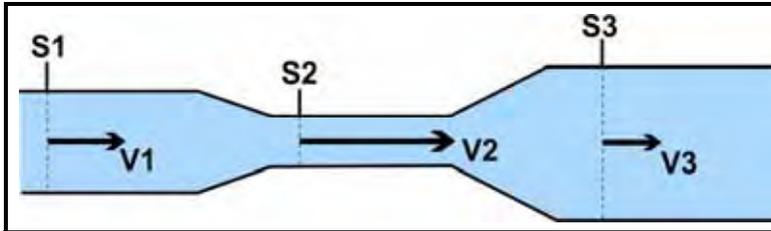


Fig. 3.15 - Lungo un condotto con sezione variabile (per esempio **S3** **S2**) la velocità dell'acqua si "adeguа", aumentando in corrispondenza delle sezioni più piccole (**V2**) e diminuendo in corrispondenza di quelle più grandi (**V3**). Il risultato è una portata identica lungo tutto il condotto ($V1 \cdot S1 = V2 \cdot S2 = V3 \cdot S3$).

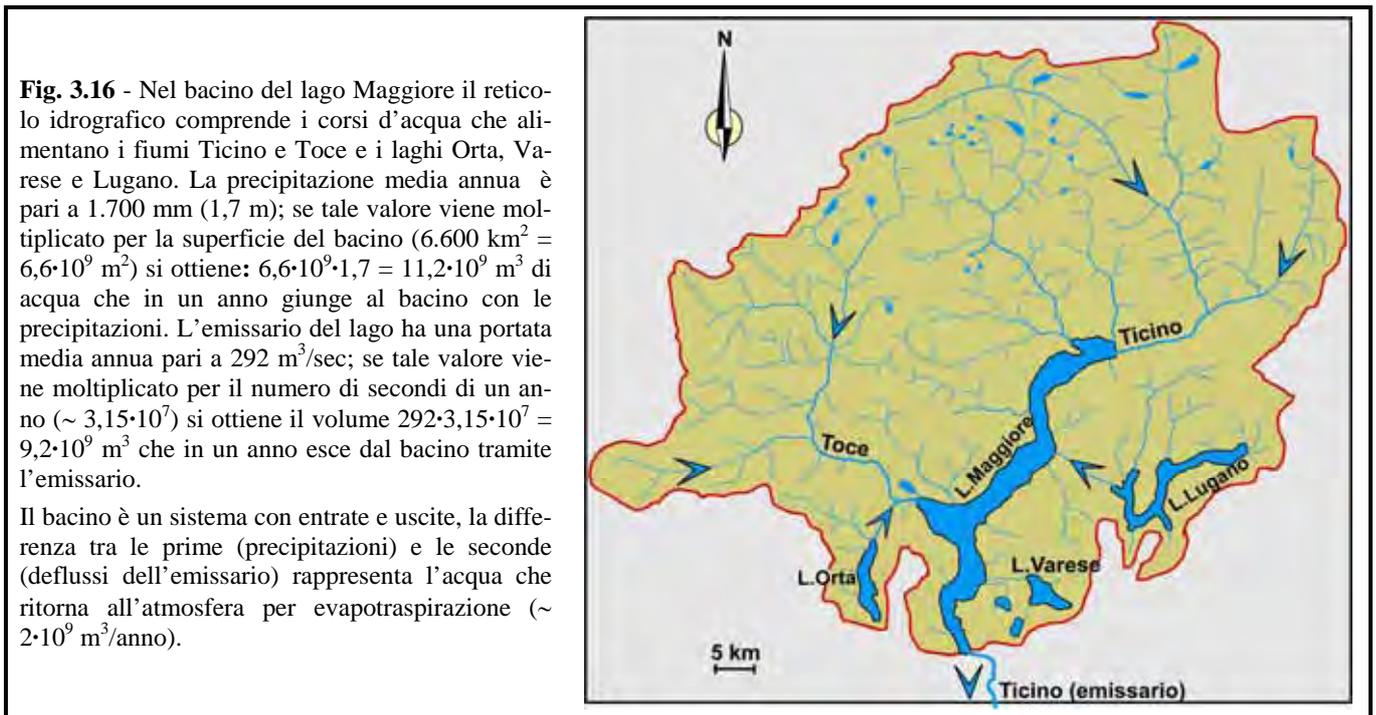
Il concetto si può chiarire con osservazioni durante una passeggiata lungo un fiume. Vi sono tratti, un po' più ripidi, dove la corrente è più veloce, ma la profondità è minore; si forma una sorta di rapida, con l'acqua che si "increspa" sulla superficie, "saltella" intorno ai sassi grandi e forma mulinelli. Se verso valle il fiume diventa più largo e più profondo, l'acqua che giunge da monte si "placa", cioè diminuisce di velocità in quanto ha a disposizione una sezione più ampia, al punto da formare ampie e profonde "lame" con corrente quasi nulla; alla fine il livello superficiale sostanzialmente non cambia. Il meccanismo è analogo a quanto accade in un evento di piena. Da ciò dipende l'inutilità degli interventi di aumento artificiale della sezione di deflusso, a meno che non si agisca sull'intero fiume, fino alla foce; ma ciò sarebbe un obiettivo impossibile, in quanto sarebbe necessario che le fasce lungo tutto il fiume siano sgombre di ostacoli (ponti, abitazioni isolate, centri abitati, aree industriali,...), esattamente il contrario della realtà attuale. Visto che serve poco aumentare la superficie della sezione di deflusso si potrebbe allora giocare sulla velocità dell'acqua. A parte il fatto che se ciò fosse possibile risulterebbe un gioco pericoloso (maggiore velocità significa erosione più intensa), risulta evidente che sarebbe necessario modificare la pendenza del fiume e quindi abbassare le quote di confluenza delle sezioni terminali, ma questa è pura fantascienza.

SCHEDA 3.2 - L'importanza del concetto di bacino imbrifero

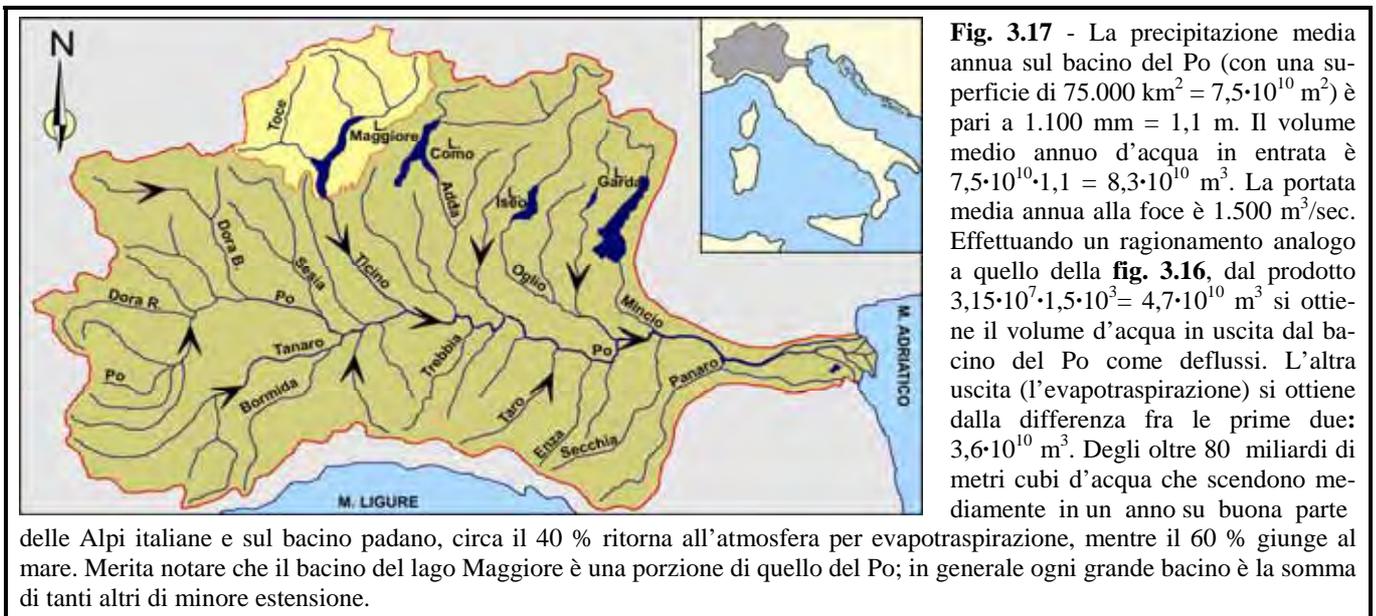
Spesso, quando si discute della qualità delle acque di un corpo idrico superficiale, che si tratti di un impetuoso torrente montano o di un placido fiume di pianura, di un lago o di una palude, si fa riferimento essenzialmente allo specchio d'acqua, senza considerare i rapporti di questo con l'ambiente circostante. Uno stagno è considerato un ambiente chiuso, nettamente 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 possono influenzare l'ambiente circostante e venire 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 è normalmente attribuito alle attività delle comunità costiere e quindi agli scarichi diretti; in questa visione è considerato nocivo alla qualità delle acque ciò che vi viene scaricato direttamente, ma è 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 (**fig. 3.2**). 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). La quantità d'acqua nel fiume dipende dalle dimensioni del bacino, dal clima e dalla copertura vegetale (i boschi, i prati, le colture che "tappezzano" 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 del bacino, dal tipo di suolo che su esso 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.

La qualità dell'acqua di un fiume o di un lago dipende dalla complessa natura del bacino imbrifero. Ogni goccia di pioggia può avere un destino diverso a seconda della natura del suolo. Essa unendosi ad altre gocce, forma rivoli d'acqua che ruscellano sul terreno, scorrendo allo scoperto sulle pendici di montagne e di colline o al riparo di fitti boschi, fino ad incanalarsi in rigagnoli, il cui percorso dipende dalla natura del substrato. Si formano quindi torrenti che confluiscono nel corso principale. È un viaggio che può durare da poche ore fino a qualche giorno (ma anche mesi, anni o secoli se quella goccia venisse imprigionata in un ghiacciaio). In questo tempo la goccia d'acqua si trasforma chimicamente a seconda della natura del suo tortuoso percorso; nel discendere a valle "memorizza" la natura del bacino imbrifero che alimenta il fiume di cui essa è parte integrante. Forse quella stessa "memoria" che permette ai salmoni di distinguere, nelle loro incredibili risalite, le stesse sorgenti dove sono nati. **Un corpo idrico superficiale** (un fiume, un lago, uno stagno) **è un sottosistema che fa parte di un sistema naturale più grande, il suo bacino imbrifero**, dal quale dipende in tutte le sue caratteristiche.



La **fig. 3.2** riassume i concetti sopra espressi. Le acque meteoriche (precipitazioni) che giungono al suolo, si raccolgono in grandi e complesse "cavità" della superficie terrestre che prendono il nome di "bacini imbriferi" delimitati da linee di displuvio (**spartiacque**) che corrono, in genere, sul sommo dei rilievi, separando un bacino dagli altri. Queste cavità sono percorse da "reticoli idrografici", cioè insiemi di affluenti e sub - affluenti che convogliano l'acqua nei corsi principali, i cui alvei si trovano nelle parti più basse dei bacini. La **fig. 3.16** mostra il bacino imbrifero del lago Maggiore. La superficie dello specchio d'acqua è 212 km^2 , quella del bacino imbrifero 6.600 km^2 . L'acqua contenuta nel lago ($37,5 \cdot 10^9 \text{ m}^3$) rappresenta la natura di un territorio grande quanto una regione dove, vivono, lavorano e producono rifiuti numerose comunità umane.



La **fig. 3.17** mostra il bacino del fiume Po la cui superficie (75.000 km^2) comprende 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 anch'esso in cattive condizioni, 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 dell'intero territorio del bacino imbrifero.

SCHEDA 3.3 - Afflussi e deflussi

La **tab. 3.8** riporta le principali caratteristiche idrologiche di alcuni corsi d'acqua scelti come esempi fra tutti quelli elencati nelle precedenti tabelle. Le variabili considerate (disponibili per tutti gli altri fiumi con la semplice consultazione degli Annali Idrologici del SERVIZIO IDROGRAFICO e MAREOGRAFICO ITALIANO) sono le seguenti:

Afflussi meteorici (A) - Valori medi mensili ed annui delle precipitazioni areali [mm] che si sono verificate in un determinato periodo di osservazione sul bacino imbrifero sotteso ad una sezione di corso d'acqua ove ha funzionato, per lo stesso periodo, una stazione idrometrica. Sono valori ottenuti da elaborazioni dei dati di rilevazioni effettuate da stazioni meteorologiche (dotate di pluviometri) situate entro il bacino e nelle aree limitrofe. Lo stesso Servizio Idrografico, oltre a gestire le stazioni idrometriche sui principali corsi d'acqua (quelli elencati nelle precedenti tabelle sono circa la metà del totale che hanno operato sui fiumi italiani), cura l'organizzazione di una rete di stazioni meteorologiche tutte munite di pluviometri ed in parte anche di termometri e di ulteriori strumenti per la misura di altri parametri atmosferici.

Deflussi (D) - Valori medi mensili ed annui dei volumi d'acqua che passano attraverso una determinata sezione di corso d'acqua, espressi come altezza [mm] di una lama d'acqua uniformemente estesa sul bacino imbrifero. Sono dati ottenuti dalle rilevazioni dirette delle succitate stazioni idrometriche del Servizio Idrografico.

Per chiarire meglio le precedenti definizioni si possono considerare, come esempio, i dati relativi al mese dicembre per il Flumendosa (**tab. 3.8**). La precipitazione areale media mensile sul bacino è $A = 157 \text{ mm}$ (0,157 m); la superficie del bacino (**tab. 3.3**) è $S = 1.011 \text{ km}^2$ ($1,011 \cdot 10^9 \text{ m}^2$). Il volume medio totale d'acqua in entrata (V_A) nel bacino nel mese di dicembre è pari al prodotto afflussi per superficie, rappresentativo del periodo di osservazione $1923 \div 1938, 1948 \div 1970$ (38 anni):

$$V_A = A \cdot S = (0,157 \text{ m}) \cdot (1,011 \cdot 10^9 \text{ m}^2) = 159 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

Il volume medio d'acqua (V_D) che, nello stesso periodo di osservazione, esce dal bacino attraverso la sezione ove ha operato la stazione idrometrica (**tab. 3.8**), si ottiene dal prodotto:

$$V_D = D \cdot S = (0,057 \text{ m}) \cdot (1,011 \cdot 10^9 \cdot \text{m}^2) = 57 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

Questo valore può essere diviso per i secondi del mese (31 giorni x 24 ore/giorno x 3.600 sec/ora $\sim 26 \cdot 10^6 \text{ sec}$); si ottiene la portata media mensile di dicembre ($22 \text{ m}^3/\text{sec}$) indicato in **tab. 3.4** per il Flumendosa. Lo stesso tipo di calcolo può essere effettuato per tutti i mesi e per l'anno medio; in sintesi vale il concetto fondamentale per cui i deflussi [mm] sono in rapporto diretto, attraverso la superficie del bacino, con le portate [m^3/sec]. Spesso, nel linguaggio a volte poco ortodosso della letteratura tecnica/scientifica, si utilizzano indifferentemente i termini "deflussi" e "portate". La rappresentazione della portata media mensile od annua di un corso d'acqua in corrispondenza di una determinata sezione attraverso l'altezza della lama d'acqua uniformemente distribuita sul bacino sotteso (deflusso) permette un migliore confronto con la quantità (afflusso) d'acqua che giunge, attraverso le precipitazioni, sul bacino stesso; afflussi e deflussi infatti sono quantificati con la stessa unità di misura [mm]. È pertanto possibile definire e confrontare alcuni termini del bilancio idrologico di un bacino.

Si può utilizzare ancora il Flumendosa come esempio (**tab. 3.8** e **fig. 3.3**). Nel diagramma la linea rossa rappresenta l'andamento degli afflussi meteorici medi mensili; esso rappresenta il regime pluviometrico del territorio nel quale si trova il bacino sotteso a Monte Scrocca, con un massimo nella stagione invernale (dicembre) ed un minimo in quella estiva (luglio), quindi simile al regime pluviometrico di Cagliari. La linea blu rappresenta l'andamento dei deflussi meteorici medi mensili; essa rappresenta la forma del regime delle portate medie mensili del fiume sardo (valori di portata in **tab. 3.8**). L'area gialla rappresenta la quantità d'acqua che giunge con le precipitazioni sulla superficie del bacino, ma che non defluisce attraverso la sezione di Monte Scrocca dove si trova la stazione idrometrica. La **tab. 3.8** riporta, per ciascun mese e per l'anno, le differenze tra afflussi e deflussi ($A - D$) dette **perdite apparenti**. Esse sono determinate essenzialmente dall'acqua "persa" per evapotraspirazione nei bacini impermeabili e caratterizzati da assenza o da una limitata presenza di ghiacciai. Nei bacini permeabili molta acqua viene "persa" per via sotterranea e quindi le perdite apparenti sono superiori all'acqua che ritorna all'atmosfera per evapotraspirazione; oppure i deflussi potrebbero essere alimentati da acque sotterranee provenienti dai bacini limitrofi e quindi le perdite apparenti potrebbero risultare inferiori ai processi evapotraspirativi.

Nei bacini con estese superfici occupate dai ghiacciai le cose si complicano ulteriormente. Durante le fasi di ritiro dei ghiacci, molta acqua accumulata decenni o secoli prima, per effetto dell'incremento dell'ablazione, potrebbe rimpinguare i deflussi facendo diminuire le perdite apparenti e viceversa. Il confronto fra i regimi degli afflussi e dei deflussi permette di interpretare meglio l'andamento idrologico medio di un corso d'acqua. Ritornando al Flumendosa (**fig. 3.3**) si osserva che le due linee hanno andamento quasi parallelo; in sostanza le portate sono maggiori quando piove molto e viceversa, a confermare che si tratta di un regime idrologico francamente pluviale. Le maggiori perdite apparenti sono fra la fine dell'autunno e l'inizio dell'inverno. Infatti con l'inizio del periodo piovoso, la maggior parte dell'acqua va a rimpinguare le riserve del sottosuolo parzialmente prosciugate nell'estate. L'area totale compresa fra le due linee costituisce il volume complessivo delle perdite apparenti; esso risulta inferiore nel caso del Tanaro il cui bacino è caratterizzato da un clima con temperature meno elevate e quindi con minori processi

evapotraspirativi. Anche nel caso del Tanaro si osserva un certo parallelismo fra gli andamenti degli afflussi e degli afflussi; si tratta quindi di un regime pluviale, con le maggiori perdite apparenti nel tardo autunno (come nel caso del fiume sardo).

Tab. 3.8 - Caratteristiche idrologiche di alcuni corsi d'acqua con regimi idrologici diversi. Afflussi meteorici (A), deflussi (D), perdite apparenti (A - D) e coefficienti di deflusso medio annuo (D/A).														
DORA BALTEA a Tavagnasco. Periodo di osservazione 1925 ÷ 1970 (46 anni). D/A = 0,97.														
		gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	anno
A	mm	53	56	60	92	99	89	67	85	86	94	104	64	949
D	mm	28	24	28	45	113	181	156	115	84	62	48	34	198
A-D	mm	25	32	32	47	-14	-92	-89	-30	2	32	56	30	31
ORCO a Pont Canavese. Periodo di osservazione 1928 ÷ 1943 e 1948 ÷ 1970 (39 anni). D/A = 0,82.														
		gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	anno
A	(mm)	44	50	69	154	166	140	82	105	128	133	129	63	1.263
D	(mm)	33	28	38	85	166	194	119	79	86	96	70	40	1.034
A-D	(mm)	11	22	31	69	0	-54	-37	26	42	37	59	23	229
TANARO a Montecastello. Periodo di osservazione 1923 ÷ 1950 e 1953 ÷ 1979 (46 anni). D/A = 0,50.														
		gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	anno
A	(mm)	55	63	86	97	108	68	45	56	83	117	135	84	997
D	(mm)	31	36	63	66	73	43	18	11	19	38	58	45	501
A-D	(mm)	24	27	23	31	35	25	27	45	64	79	77	39	496
FLUMENDOSA a Monte Scrocca. Periodo di osservazione 1923 ÷ 1938 e 1948 ÷ 1970 (38 anni). D/A=0,35.														
		gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	anno
A	(mm)	108	129	102	72	62	27	12	16	50	103	127	157	965
D	(mm)	55	57	59	32	18	9	4	1	2	19	23	57	336
A-D	(mm)	53	72	43	40	44	18	8	15	48	84	104	100	629
FORTORE a Civitate. Periodo di osservazione 1937 ÷ 1940 e 1955 ÷ 1967 (17 anni). D/A = 0,36.														
		gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	anno
A	(mm)	95	71	70	70	51	43	23	32	56	93	94	103	801
D	(mm)	63	54	50	32	11	6	1	1	2	7	18	41	286
A-D	(mm)	32	17	20	38	40	37	22	31	54	86	76	62	515

La situazione dell'Orco presenta un aspetto peculiare; dalla fine della primavera all'inizio dell'estate i deflussi sono superiori agli afflussi, per la fusione delle nevi nella parte alta del bacino. Vi è ancora un certo parallelismo fra le due linee per l'influenza del regime delle precipitazioni; anche in questo caso il confronto fra afflussi e deflussi serve per interpretare meglio la classificazione del regime idrologico come nivopluviale. Nel caso della Dora Baltea le due linee presentano un andamento molto diverso. Il regime degli afflussi segue naturalmente quello pluviometrico. Il regime dei deflussi è invece simile a quello termico, con un massimo nell'estate ed un minimo nell'inverno; da maggio a settembre i deflussi si mantengono superiori agli afflussi per il contributo della fusione delle nevi e soprattutto dell'ablazione dei ghiacciai. Nella restante parte dell'anno gli afflussi sono superiori ai deflussi, ma le perdite apparenti sono comunque molto limitate per le basse temperature della stagione fredda che limita fortemente i processi evapotraspirativi.

Una sintesi del bilancio idrologico di un corso d'acqua è data dall'esame del rapporto fra deflussi (**D**) e afflussi (**A**). Il rapporto **D/A**, per una determinata sezione fluviale, di cui è tributario un certo bacino, rappresentativo di un determinato periodo di osservazione, su scala di tempo mensile o annua, prende il nome di **coefficiente di deflusso**. Sul valore del coefficiente di deflusso esercitano una importante influenza diversi fattori:

- **Fattori meteorologici.** Le precipitazioni, per dar luogo a deflussi, devono essere superiori ad almeno pochi millimetri; altrimenti l'acqua verrebbe assorbita dal terreno e non risulterebbe disponibile al ruscellamento; essa potrebbe poi evapotraspirare prima dell'apporto di piogge successive; se queste fossero nell'anno frazionate in modo che ciascuna risulti di pochi millimetri, in teoria, non avverrebbe deflusso: esso dipende sia dalla quantità delle precipitazioni, sia dalla loro concentrazione nel tempo. Importante è la temperatura dell'aria; nei climi caldi è più cospicua l'evapotraspirazione che sottrae acqua ai deflussi. Alcuni bacini, caratterizzati da climi freddi (come alle elevate latitudini e altitudini) e da precipitazioni concentrate in brevi periodi, i deflussi risultano pari agli afflussi; addirittura in certe situazioni caratterizzate dalla presenza di estesi ghiacciai in fase di ritiro i primi possono risultare superiori ai secondi.
- **Fattori geografici.** La collocazione geografica (vicina o distante dal mare, la latitudine, le altitudini mediana ed estreme, ecc...) determina le caratteristiche del clima (intensità e modalità delle precipitazioni, regime termico, intensità e direzione dei venti che aumentano i processi evapotraspirativi, ecc...). Anche i caratteri morfometrici hanno notevole influenza sui deflussi; per esempio una maggiore pendenza dei versanti comporta un più veloce scorrimento delle acque e una minore evapotraspirazione. Una variabile importante è la distribuzione delle diverse fasce altimetriche; nelle regioni d'altopiano le superfici più estese sono

quelle delle quote più elevate; nelle regioni montuose con creste elevate e sottili (Alpi ed Appennino) prevalgono le aree di minori altitudini; questi aspetti sono importanti in quanto la temperatura dell'aria diminuisce con la quota e quindi diminuisce l'evapotraspirazione ed aumenta il coefficiente di deflusso. Convieni ricordare infine l'influenza dell'orientamento del bacino, in particolare dei suoi versanti; questi, quando esposti alle correnti (sopravvento) vengono "bagnati" da abbondanti precipitazioni; i versanti sottovento sono più aridi e caratterizzati da frequenti venti di caduta relativamente caldi e secchi.

- **Fattori geologici.** Nei bacini composti interamente o per la maggior parte da rocce impermeabili, i fattori geologici hanno influenza praticamente nulla sul regime dei deflussi. Situazione opposta presentano i bacini con preponderanza di rocce permeabili. Oltre al fatto che una porzione più o meno grande di acqua può essere sottratta ai deflussi a causa di perdite sotterranee o, al contrario, incrementata da apporti della stessa natura, la funzione idrogeologica delle formazioni permeabili si esplica con la formazione di una riserva sotterranea che passa con ritardo al deflusso. Gli afflussi vengono così ad essere smaltiti in due fasi; la prima come immediato deflusso superficiale, la seconda come deflusso ritardato delle acque di circolazione sotterranea che ritorna a giorno.
- **Fattori biologici.** La copertura vegetale influisce sullo scorrimento superficiale opponendosi ad esso come un ostacolo; lo sviluppo radicale e l'arricchimento del suolo di sostanza organica contribuiscono a rendere più igroscopico (più soffice e più poroso) il terreno che acquista maggiore capacità di trattenere l'acqua a disposizione della stessa vegetazione. L'evapotraspirazione sottrae acqua ai deflussi favorendo il ritorno dell'acqua all'atmosfera per mezzo dell'evaporazione diretta dal terreno e della traspirazione dalle piante; la traspirazione, per i bacini caratterizzati da una elevata copertura forestale, può costituire una voce molto importante nel bilancio idrologico, anche se risulta di difficile determinazione. Fra i fattori biologici sono anche quelli antropici, quali disboscamenti e rimboschimenti e soprattutto opere di ritenzione (dighe) e di captazione idrica (per fini idroelettrici, irrigui, potabili, industriali,...).

I bacini idrologici italiani sono stati classificati in relazione al coefficiente di deflusso medio annuo nel modo seguente:

- alpini ($D/A > 0,70$);
- Appennino settentrionale e centrale, versanti ligure padano e adriatico ($D/A = 0,50 \div 0,70$);
- Appennino centrale, versante tirrenico, Appennino meridionale e isole ($D/A = 0,30 \div 0,40$).

I corsi d'acqua possono essere classificati in funzione delle caratteristiche idrologiche, mentre non risulta scientificamente attendibile la distinzione in ruscelli, torrenti, fiumi, ecc.... I criteri sono essenzialmente:

- **permanenza dell'acqua** (*permanenti*: con acqua sempre presente in alveo; *semipermanenti* e *temporanei*: a seconda che l'acqua sia presente in alveo rispettivamente per oltre e meno di metà anno);
- **regime idrologico** (*nivoglaciale*, *nivopluviale* e *pluviale* a seconda della forma dei regimi medi mensili degli afflussi e deflussi; i regimi pluviali possono essere ulteriormente distinti a seconda della classificazione dei regimi pluviometrici);
- **coefficiente di deflusso** (a seconda del rapporto fra i valori medi annui D/A).

Si può concludere con un paio di esempi fra quelli riportati in **tab. 3.8**. Utilizzando nell'ordine i tre criteri sopra citati, la Dora Baltea può essere definito un *corso d'acqua permanente a regime nivoglaciale di tipo alpino* e il Fortore un *corso d'acqua permanente a regime pluviale dell'Appennino meridionale*.

SCHEDA 3.4 - Climi, ambienti... torrenti e fiumi

Un torrentello che scorre sulle pendici di una montagna sopra i 2.000 m di quota (**fig. 3.18**) è caratterizzato da acque fredde con temperature non superiori a $3/4$ °C anche d'estate, sia perché derivano direttamente dalla fusione di ghiaccio e neve, sia per il clima, con temperature medie dell'aria comprese fra 8 e 10 °C in luglio e agosto. Nell'ambiente circostante sono assenti i boschi; sono presenti solo alcuni larici, pini mughi e cespugli nani in ampie e verdi praterie alpine. La vita vegetale e animale non è abbondante. I ghiacciai modificano il paesaggio esercitando un'azione di *esarazione*; essi "raspano" il fondo ed i fianchi delle valli che percorrono nella loro lenta discesa; in questo modo "strappano" alla montagna grandi quantità di detriti (*materiali morenici*), compresi enormi massi. Le parti a granulometria più piccola di questi detriti ha l'aspetto di una argilla grossolana o di una sabbia fine, spesso di colore grigio chiaro (*farina glaciale*). Sulla fronte del ghiacciaio i detriti più grossi (macigni, massi, pietre, ghiaia) vengono depositati, mentre quelli più fini vengono trascinati a valle dalle acque che così scorrono torbide ed impetuose (**fig. 3.19**).

Intorno a 1.800 m di altitudine l'ambiente è ancora caratterizzato da un clima molto rigido e la temperatura delle acque bassa anche in estate; sono più frequenti gli alberi d'alto fusto, ma ancora prevalentemente conifere fra le meglio adatte ai climi freddi (larici, pini cembri) costituenti boschi radi. I torrenti alimentati prevalentemente (o esclusivamente) dalla fusione dei ghiacciai e dei nevai hanno regime nivoglaciale. Le portate dipendono essenzialmente dalla temperatura dell'aria. Il freddo invernale impedisce la fusione dei ghiacci e delle nevi e quindi i volumi d'acqua negli alvei sono ridotti; in taluni casi i torrenti più piccoli rimangono asciutti. Al contrario, in estate, per le elevate temperature, le portate possono diventare 100 volte superiori a quelle invernali. Nella stagione estiva notevoli fluttuazioni dei deflussi si hanno anche su scala giornaliera, triplicando dalla mattina, quando l'aria è ancora fresca, al tardo pomeriggio, quando massimo è la fusione dei ghiacci.

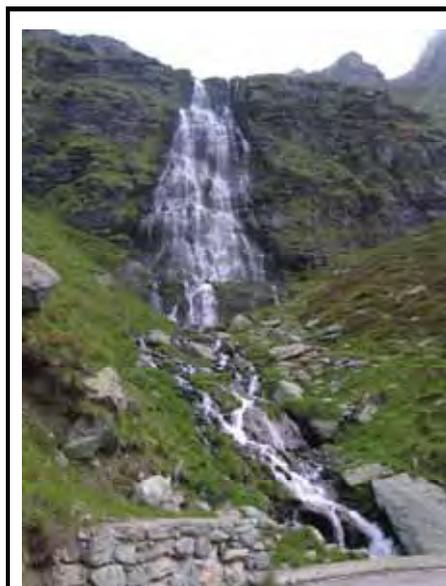


Fig. 3.18 - Molti fiumi, alle origini, nascono dal contributo di torrenti alimentati dai ghiacciai.

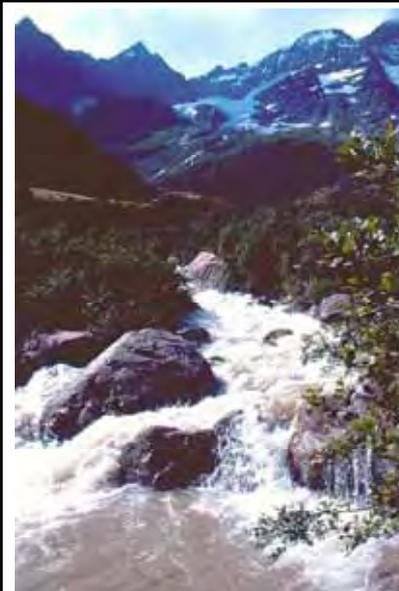


Fig. 3.19 - Nelle ore più calde delle giornate estive nei torrenti glaciali l'acqua appare torbida per la presenza di una notevole quantità di detriti fini, che sono una cospicua componente dei materiali morenici.

La quota 1.600 m è il limite climatico dello zero termico medio del trimestre invernale nelle Alpi (nell'Appennino sale fino a 1.800 ÷ 2.000 m s.l.m.). Le temperature medie mensili di dicembre, gennaio e febbraio sono pari o minori di 0 °C. Nelle porzioni di bacino che alimenta il torrente al di sopra di quell'altitudine, la neve invernale non fonde; essa restituisce acqua in primavera o in estate alle quote più elevate. Il regime è ancora spiccatamente nivoglaciale. Verso valle il clima si fa meno rigido e la temperatura delle acque, in luglio e agosto, può raggiungere e talora superare i 10 °C. Il torrente scorre in valli incise a "V" attraversando fitti boschi ricchi di vita vegetale ed animale, dove insieme al larice domina l'abete; mentre poco più a valle, oltre ai pini silvestri nei versanti più esposti, compaiono le faggete. Le portate invernali, non dipendono più solo dalla fusione dei ghiacci, ma sono parzialmente integrate dalle sorgenti. L'estate continua ad essere la stagione con i maggiori deflussi (**figg. 3.20 e 3.21**).

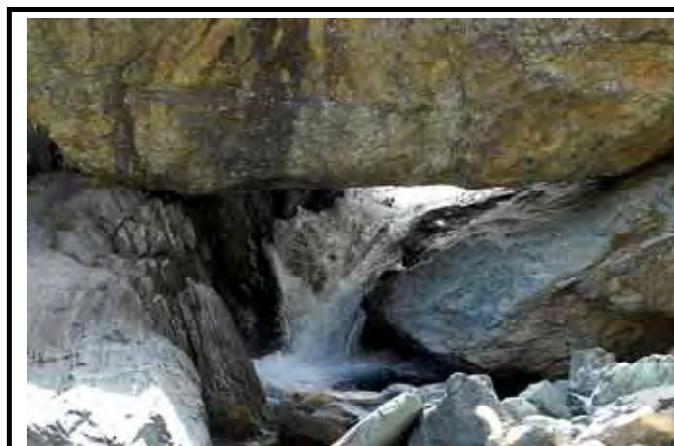


Fig. 3.20 - In montagna scorrono impetuosi torrenti con acque particolarmente veloci ed "incassati" nella roccia erosa, talora in fitti boschi.



Fig. 3.21 - I tipici torrenti del piano montano (all'altitudine di 1.400 ÷ 1.500 m s.l.m.) sono caratterizzati da un regime idrologico di tipo nivopluviale.

La quota 500 ÷ 800 m (diversa a seconda delle zone climatiche italiane) è il limite dello zero termico medio del mese di gennaio. A questa altitudine le nevi non fondono solo durante il mese centrale dell'inverno; negli altri mesi invernali normalmente la neve al suolo non si accumula, ma fonde nel giro di pochi giorni o, al massimo, in due o tre settimane. Pertanto, per quasi tutto l'anno, le precipitazioni sulle porzioni di bacino al di sotto di questa quota alimentano quasi immediatamente le portate dei corsi d'acqua. Sul regime idrologico diventa sempre più importante l'influenza del regime pluviometrico, diventando meno importante il contributo dei serbatoi nivali accumulati nell'inverno. La temperatura delle acque, sia per le estati più calde che caratterizzano il piano collinare (dominato dal castagno sui versanti a Nord e dalla roverella in quelli a Sud), sia perché le fredde acque glaciali hanno avuto il tempo di scaldarsi nella loro discesa verso valle, supera normalmente i 10 °C, fino a valori massimi in genere inferiori a 15 °C. Le portate più cospicue si manifestano, con acque piuttosto torbide, in tarda primavera e all'inizio dell'estate, quando alle abbondanti precipitazioni che caratterizzano il periodo, si aggiungono i deflussi dovuti alla fusione delle nevi e

all'alimentazione dei ghiacciai. L'inverno è ancora la stagione in cui più accentuate sono le magre e le acque sono particolarmente limpide. Il regime idrologico è generalmente è ancora nivopluviale (**fig. 3.22**).

Giunto in pianura il corso d'acqua si fa più sinuoso e raccoglie i contributi di affluenti che ne aumentano la portata. Sono maggiori le porzioni di bacino poco elevate in altitudine; pertanto l'alimentazione da parte delle piogge diventa più importante rispetto a quella della fusione delle nevi e dei ghiacciai, anche se questi fanno ancora sentire i loro effetti sul regime; infatti le portate primaverili sono ancora molto cospicue, ma i minimi invernali sono meno accentuati rispetto a quelli estivi. La temperatura delle acque, in estate, può raggiungere anche i 20 °C. Si tratta di una fase di transizione perché verso valle, il bacino che alimenta il corso d'acqua diventa sempre più esteso, inglobando vaste aree di pianura ed aree montane sempre più ridotte. Il regime diventa esclusivamente pluviale con portate medie più cospicue e regolari, mentre le temperature estive dell'acqua possono raggiungere i 25 °C (**fig. 3.23**).

La descrizione della successione di ambienti sopra riportata è teorica. In realtà il territorio italiano è geologicamente "giovane", stretto, allungato e ricco di montagne. I corsi d'acqua sono, in genere, piuttosto brevi; le loro origini si trovano ad elevate altitudini e le rispettive foci (direttamente in mare o in altri fiumi) a poca distanza dalle prime. Gli alvei sono quasi sempre "ripidi" e, quindi, si manifestano rapidi passaggi dagli ambienti montani a quelli del piano. Sono assai pochi i corsi d'acqua caratterizzati da scarsa pendenza e da correnti lente e, in genere, sono piccoli fiumi le cui sorgenti si trovano già a bassa altitudine, oppure di alcuni emissari dei grandi laghi subalpini. Fra i maggiori, con poca pendenza almeno nel loro tratto terminale, possiamo ricordare alcuni contribuenti della destra orografica del Po (es. il Tanaro e Scrivia) i cui bacini, nelle loro testate, si trovano impostati sull'Appennino ligure - piemontese o sulle Alpi Marittime di non elevata altitudine; essi presentano quasi esclusivamente da regimi idrologici di tipo pluviale; solo nelle porzioni più a monte, e non sempre, si possono riscontrare regimi di tipo pluvionivale, ma mai nivoglaciale.



Fig. 3.22 - Tipico corso d'acqua a regime nivopluviale. Sulle rive dominano i salici; sui versanti delle colline e delle montagne intorno sono presenti boschi di latifoglie decidue (castagni, roverelle,...). In estate le acque non sono più gelide come nei tratti montani, con temperatura di 10 ÷ 15 °C.

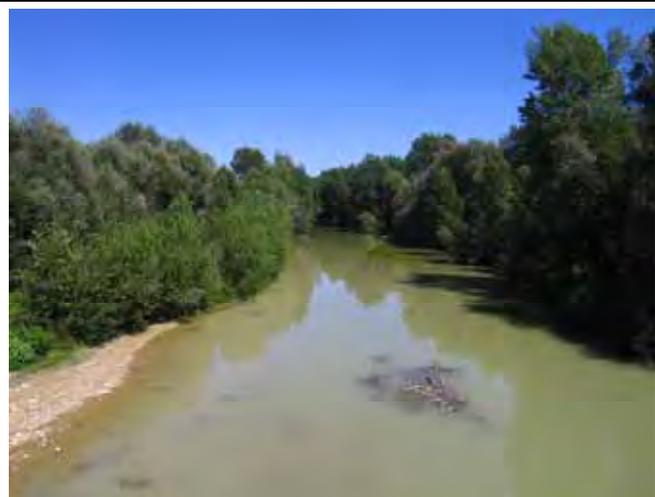


Fig. 3.23 - Un esempio di lento fiume di pianura, parzialmente incassato rispetto alle campagne circostanti e con ricca vegetazione perifluviale.

I corsi d'acqua appenninici sono quasi tutti caratterizzati da regimi idrologici francamente pluviali; solo nei tratti più a monte di alcuni fra i maggiori di essi si possono avere regimi pluvionivali. Al contrario fra gli importanti fiumi della sinistra orografica del Po, alimentati dalle Alpi, spesso, manca il regime pluviale; ne è un tipico esempio la Dora Baltea che alla confluenza con il Po, in un ambiente tipicamente di pianura, è dominato da un regime idrologico ancora chiaramente di tipo nivoglaciale. L'Adige conserva un regime di tipo nivoglaciale alla foce nel mare. Lo stesso Po, ancora poco a monte di Torino, nonostante il lungo tratto di pianura già percorso, presenta un regime che risente notevolmente del contributo di affluenti le cui acque, sia dal punto di vista idrologico, sia da quello dei caratteristi fisici e chimici, hanno andamento tipicamente "torrentizio". Le Alpi occidentali costituiscono un complesso sistema montuoso con elevate altitudini che sovrastano la Pianura Padana senza fasce territoriali intermedie collinari sufficientemente estese. Esse alimentano corsi d'acqua che scendono ripidamente e quasi "verticalmente" a Sud da quote elevate repentinamente in pianura; in tali condizioni viene spesso a mancare una graduale successione di ambienti.

Per sintetizzare le precedenti considerazioni vale la pena riportare una citazione dell'idrobiologo G. MORETTI che nel 1953 scriveva: "Il fiume italiano è sempre troppo breve e di troppa modesta portata per poter essere messo a paragone con i principali fiumi del continente europeo o di altri continenti..." o, in generale, di territori molto più vasti di quello italiano, geologicamente più antichi e da molto più tempo immobili. "...Solo il Po, che è l'unico corso d'acqua con esteso sviluppo,... potrebbe essere confrontato..." con i fiumi europei.

SCHEDA 3.5 - Portate di piena e fasce di pertinenza fluviale

I rovesci temporaleschi in genere sono responsabili delle piene sui piccoli bacini, ma non producono gli stessi effetti su quelli grandi. Le piene di grandi fiumi come il Po, il Tevere, l'Arno,... sono dovute a piogge intense, con durata di molte ore, anche di alcuni giorni. Se le piene dei piccoli fiumi possono essere parzialmente limitate con una saggia politica di prevenzione contro il dissesto idrogeologico (per esempio con il rimboschimento), molto più difficile è ridurre gli effetti per i 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 da esso; 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 1951, di Firenze 1966 e del Piemonte negli anni 1993, 1994 e 2001 sarebbero avvenute ugualmente e con intensità non molto diverse anche se i bacini del Po e dell'Arno fossero stati fittamente boscati.

Scrivono infatti il meteorologo L. MERCALLI (1995): "... *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 né evitare, né prevenire*".

Ricordando gli eventi calamitosi che hanno colpito il nostro territorio in questi ultimi anni, è importante notare che essi furono principalmente caratterizzati da allagamenti di vaste aree delle pianure intorno ai corsi d'acqua. Quale conseguenza di quegli eventi, in molte situazioni si è continuato con gli errori del passato, con numerosi interventi di sistemazione idraulica. 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 ci 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, ecc... 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, prismate, traverse, gabbionate, rampe,...) che hanno contribuito ad alterare in modo sensibile anche le comunità viventi acquatiche e riparie, numerosi continuano ad essere i fenomeni di dissesto, oggi come in passato. A questo proposito giova ricordare ciò che, nel 1797, scrisse G. T. TOZZETTI 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*".

Ogni anno emergono polemiche sulle responsabilità politiche della gestione del territorio. In realtà il problema della sicurezza 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 idraulica risultano inutili se non addirittura dannose, anche e soprattutto nei confronti delle cenosi acquatiche e della natura delle fasce riparie (**fig. 3.24**). 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.

Nell'ottica di una moderna gestione del territorio sono diventati indispensabili gli studi volti ad individuare le **fasce di pertinenza fluviale** dei principali corsi d'acqua scorrenti nelle pianure. Esse sono costituite dalle regioni fluviali determinate dai fenomeni morfologici, idrodinamici e naturalistici connessi al regime idrologico. Possono concorrere alla definizione della fascia: le divagazioni dell'alveo storicamente documentabili, l'estensione dell'alveo di piena (anche per eventi di alta gravosità) e le aree con caratteri naturali connessi all'ambiente fluviale. L'individuazione delle fasce di pertinenza fluviale è una procedura importante ed urgente in quanto si tratta di delimitare un territorio nel quale i progetti di intervento di modificazione del 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.

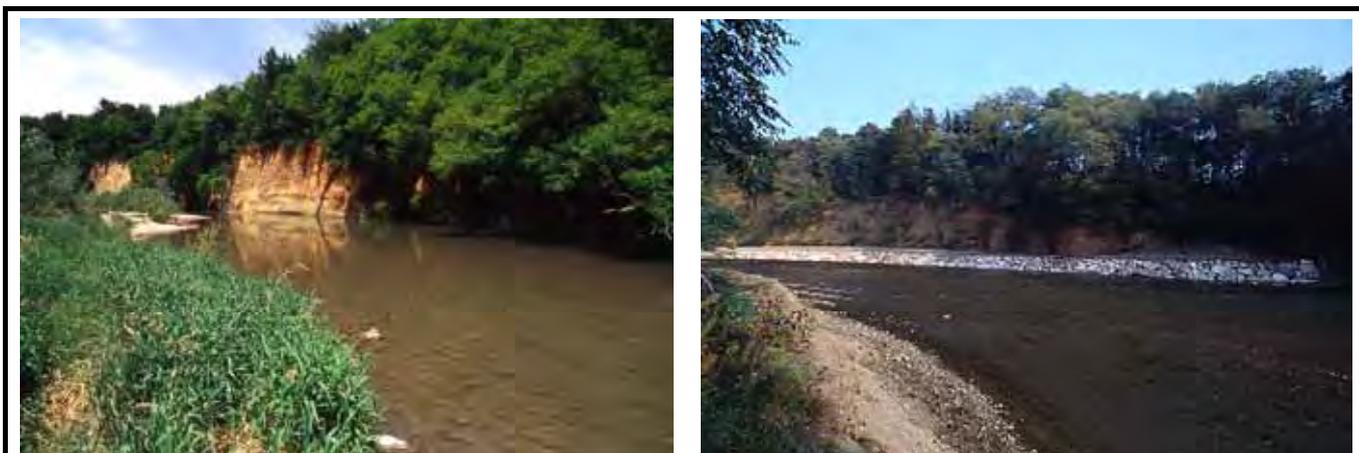


Fig. 3.24 - A sinistra è un tratto fluviale in condizioni naturali, con sponde riccamente vegetate e con morfologia assai variabile; si tratta di una situazione complessiva adatta alle comunità viventi, sia strettamente acquatiche, sia quelle tipiche delle fasce riparie; inoltre nelle aree circostanti non sono presenti costruzioni in pericolo per eventuali esondazione e/o erosioni in occasione delle manifestazioni di piena maggiormente pronunciate. Nonostante l'assenza del rischio idrogeologico è stato effettuato un costoso ed inutile intervento di risistemazione idraulica che ha sconvolto il paesaggio (a destra), banalizzandolo, peggiorando la qualità paesaggistica e rendendolo meno adatto alle comunità viventi.

SCHEDA 3.6 - L'azione chimica dell'acqua

L'acqua è un solvente; essa porta in soluzione materiali diversi contribuendo, con un'azione di tipo chimico, al disfacimento delle terre emerse (**alterazione chimica**). La soluzione di composti diversi contribuisce a diminuire la consistenza e la coesione delle rocce che diventano più facilmente aggredibili dall'erosione. L'azione solvente dell'acqua si manifesta sui *minerali solubili* e sulle rocce che ne sono costituite, per esempio il salgemma (NaCl), l'anidrite (CaSO_4), il gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$),... La maggior parte dei minerali sono scarsamente solubili. Ma l'acqua che penetra nel suolo e poi nella roccia sottostante non è mai pura; in essa sono sciolte sostanze in grado di alterare chimicamente minerali altrimenti insolubili o di produrre fenomeni meccanici in grado di produrre effetti di disgregazione. Un caso è rappresentato dalla *crystallizzazione di sali*. Acque saline penetrano nei pori e nelle fessure delle rocce ed evaporano; si formano cristalli di sali che esercitano pressioni in grado di provocare rotture in blocchi o la polverizzazione della roccia. Ciò favorisce i processi di erosione costiera e si indica spesso con le espressioni "*effetto salsedine*", "*processo aloclastico*", "*disgregazione salina*". Alcuni minerali, come il carbonato di sodio (Na_2CO_3) o il solfato di calcio anidro ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), quando sono in contatto con l'acqua, tendono a trasformare la struttura cristallina inglobando molecole d'acqua. Questa trasformazione (*idratazione*) comporta un aumento di volume di interi corpi rocciosi con effetti meccanici sulle rocce circostanti che possono sgretolarsi. Anche in questo caso fenomeni chimici hanno conseguenze distruttive di tipo meccanico. Molti minerali della famiglia delle "argille" (silicati), per idratazione o per assorbimento d'acqua, si rigonfiano con effetti meccanici di disgregazione.

Molte rocce sono costituite da carbonato di calcio (CaCO_3); gli atomi che costituiscono tale sostanza si organizzano nello spazio secondo due configurazioni cristalline leggermente diverse, corrispondenti a due minerali distinti: l'*aragonite* e la *calcite*. Il secondo è più stabile e costituisce la maggior parte delle rocce delle zone carsiche (Alpi Carniche e Dolomitiche, prealpi lombarde, Alpi Apuane, Gran sasso, Matese, Gargano,...). La calcite è poco solubile in acqua pura; in laboratorio in un litro a 20 °C si sciolgono appena 12 mg, ma in natura le acque ne contengono in soluzione quantità superiori. L'anidride carbonica, che dall'atmosfera si scioglie in acqua, consente la trasformazione del carbonato in bicarbonato di calcio [$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$], più solubile. La CO_2 contribuisce ad acidificare l'acqua che quindi scioglie una maggior quantità di CaCO_3 . Quando le rocce sono prevalentemente costituite da calcite esse vengono dette **calcarei**. Anche il magnesio forma composti carbonatici; un esempio è il minerale *magnesite* (MgCO_3). Nelle zone carsiche (Dolomiti), frequenti sono le **dolomie**, rocce formate prevalentemente dal minerale *dolomite*, un carbonato doppio di calcio e magnesio ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$). Vi sono rocce miste come i *calcarei dolomitici* e le *dolomie calcaree* con prevalenza rispettivamente di calcari o di dolomie. Possono essere presenti altre sostanze, dette "impurità", più o meno abbondanti fra le quali i minerali argillosi, granuli di quarzo, noduli di selce, ossidi e solfuri di ferro,... I calcari con forti percentuali di argille sono detti calcari marnosi, materiali soggetti ad alterazione chimica dell'acqua il cui potere solvente dipende dalla presenza di CO_2 . I processi di soluzione nelle zone carsiche sono importanti nel determinare le forme del paesaggio. La presenza di CO_2 contribuisce ad acidificare l'acqua e quindi ad aumentare la capacità di sciogliere le sostanze; l'arricchimento di questo gas non è dovuto solo all'atmosfera, ma può essere prodotto anche dai microrganismi e dagli invertebrati presenti nel

suolo a contatto con la roccia sottostante. I processi biologici che avvengono nel suolo portano alla formazione di diverse sostanze organiche di decomposizione, molte delle quali in grado di favorire l'acidificazione. Quindi l'acqua che circola a contatto delle rocce viene arricchita di agenti d'attacco chimico.

Non soltanto i minerali delle rocce carbonatiche sono più facilmente solubili in acqua acidificata dalle diverse sostanze in essa disciolte; anche i silicati sono più facilmente aggredibili (*idrolisi dei silicati*). L'acqua acidificata riesce a portare in soluzione gli atomi metallici presenti nel reticolo cristallino dei silicati (soprattutto feldspati quali plagioclasti, ortoclasio,... fillosilicati come le miche). I metalli, una volta sciolti, vengono portati via dall'acqua e rimangono gli "scheletri" dei reticoli silicatici privati di quegli atomi che ne costituivano il "cemento"; sono minerali residui, poco solubili, ma facilmente disaggregabili; essi danno spesso origine a piccole particelle più esposte ai fenomeni di disaggregazione fisica. I minerali residui sono silicati detti *minerali dell'argilla* (montmorillonite, sericite, illite, ecc...). In sintesi avviene una *argillificazione* dei minerali originali che, in particolare condizioni, come nei climi caldi e umidi e in corrispondenza di orizzonti rocciosi "coperti" da un suolo ricco di vita e di sostanze organiche, determina accentuati fenomeni di disfacimento, paragonabili come capacità distruttiva, a quelli erosivi delle acque. Molti minerali, infine, sono instabili a contatto con l'ossigeno nell'aria o disciolto in acqua; si formano quindi *ossidi* e *idrossidi* fra i quali possiamo ricordare quelli del ferro (ruggine) e di manganese che, sulla superficie delle rocce, determinano colorazioni giallastre, rossastre, nere, brune o ruggine.