

Sebbene i cittadini lombardi non conoscano personalmente i disagi della mancanza di acqua, il problema della qualità e della quantità delle risorse idriche regionali è sempre al centro dell'attenzione e dell'azione di governo.

Le pressioni sulla risorsa idrica superficiale derivano certamente dallo sviluppo socio-economico della regione ma alcune problematiche originano anche al di fuori del territorio lombardo, ove la programmazione regionale non ha vigenza.

Anche se molti problemi rimangono tuttora irrisolti, si può registrare un progressivo e significativo miglioramento sia nella qualità che nella gestione del patrimonio idrico regionale quale risultato dell'applicazione delle norme di tutela e risanamento.

Acque superficiali

Il bacino idrografico del Po

Il territorio della Lombardia ricade quasi interamente nel bacino idrografico del fiume Po; tale bacino è il più grande d'Italia: alla sezione di Pontelagoscuro (FE) ha una superficie di 70.091 km² ed interessa sei regioni (Piemonte, Valle d'Aosta, Lombardia, Veneto, Liguria ed Emilia-Romagna) nonché la provincia di Trento; altri 3.836 km² del bacino idrografico ricadono in territorio svizzero e 129 km² in territorio francese. Il fiume Po nasce dal Pian del Re, ai piedi del Monviso, ad un'altitudine di 2.020 m e sfocia nel Mare Adriatico con un delta di 380 km² dopo aver percorso 652 km; lungo il suo corso riceve 141 affluenti provenienti sia dalle Alpi che dagli Appennini.

La parte di bacino idrografico che affluisce al Po nel tratto d'asta fluviale lombardo ha una superficie di 46.850 km², pari al 63% circa dell'estensione del bacino internazionale; tale superficie è di gran lunga superiore a quella della Lombardia (23.861 km²), di cui però non comprende alcune limitate aree delle province di Mantova e di Sondrio.

Nell'ambito di un bacino i fiumi costituiscono l'ossatura del reticolo idrografico naturale; gli affluenti vengono classificati secondo un ordine gerarchico in rapporto al corso d'acqua principale ed ognuno di essi sottende un proprio sottobacino idrografico.

La complessa configurazione orografica del bacino padano si rispecchia nella sua idrografia: il reticolo è infatti composto da corsi d'acqua alpini e di collina (come in Piemonte), corsi d'acqua alpini regimati da laghi (come in Lombardia) e corsi d'acqua appenninici (come in Emilia) caratterizzati da regimi idrologici abbastanza differenti.

Oltre che dalle precipitazioni meteoriche, i corsi d'acqua alpini sono alimentati in buona parte dallo scioglimento delle nevi e dei ghiacciai; in Lombardia, inoltre, l'influenza dei grandi laghi alpini nel determinare l'andamento delle portate durante le piene è particolarmente significativa. La presenza dei grandi laghi e dei serbatoi idroelettrici condiziona decisamente il regime delle acque correnti trasferendo le portate in funzione degli usi delle acque stesse, in particolare garantendo l'afflusso nei mesi estivi.

Al contrario i corsi d'acqua appenninici – in larga misura a regime torrentizio – sono influenzati quasi esclusivamente dalle precipitazioni; ne deriva che in periodi di scarse precipitazioni, come in estate, la portata d'acqua può essere minima o addirittura nulla per lunghi intervalli di tempo.

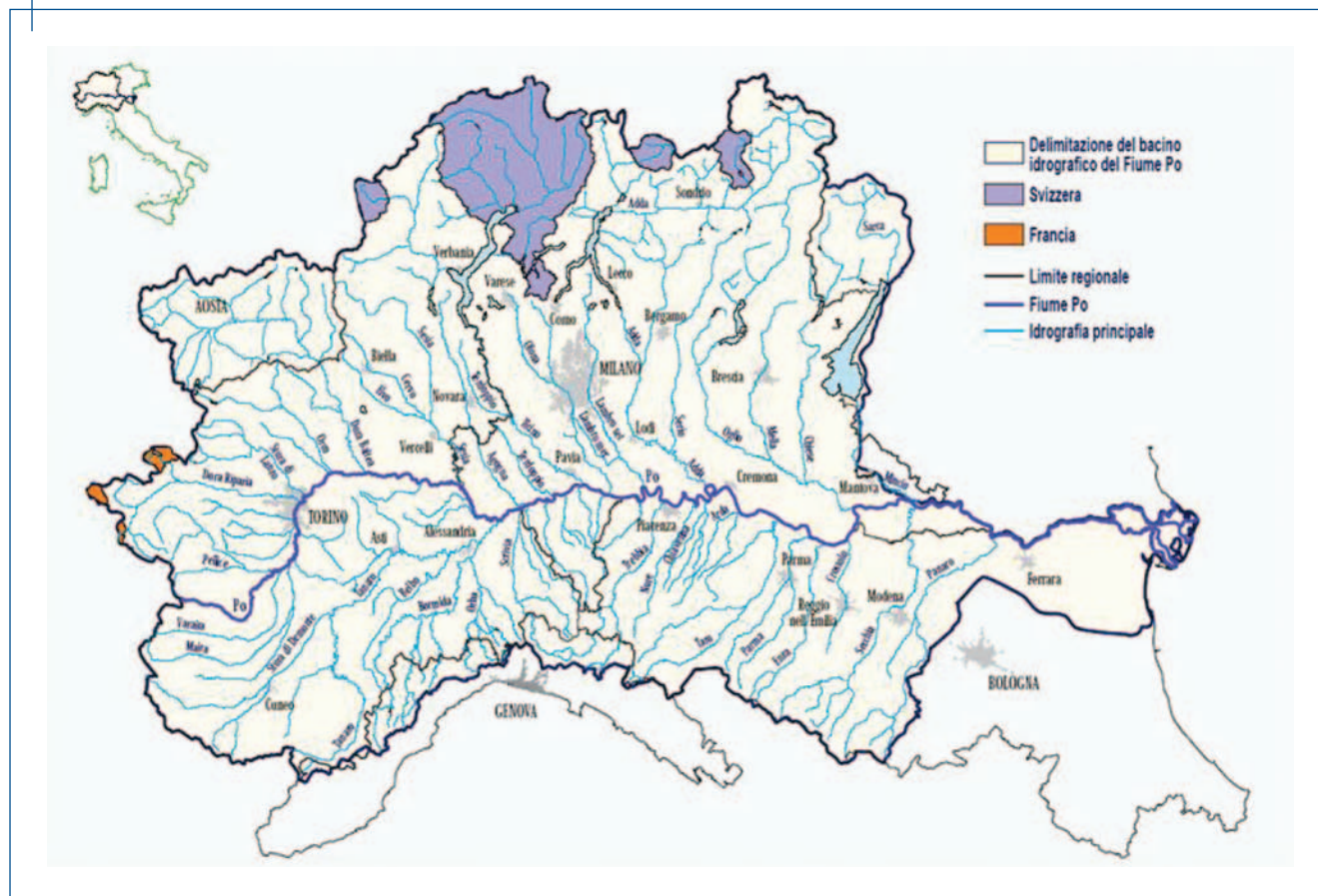
Il reticolo idrografico della Lombardia è caratterizzato dalla presenza del Po e da quella dei fiumi in ingresso e in uscita dai grandi laghi con un regime di deflusso stabile quali Ticino, Adda, Oglio, Chiese e Mincio; è caratterizzato inoltre da altri fiumi – quali Olona, Lambro, Serio, Mella e Chero – che evidenziano un regime torrentizio più simile a quello dei torrenti appenninici. Il reticolo comprende infine altri corsi d'acqua minori e – in zona di pianura – una rete di canali di origine artificiale che si estende per circa 40.000 km.

Figura 8.1 **Il bacino idrografico del fiume Po**

Il bacino idrografico del fiume Po corrisponde ad un quarto circa del territorio italiano; interessa 3.200 comuni, di cui 1.541 (su 1.546) in Lombardia.

Il fiume Po è il principale fiume italiano non solo per lunghezza ma anche per portata: quella massima è di 10.300 m³/s alla sezione di chiusura di Pontelagoscuro (FE).

Fonte: Autorità di bacino del fiume Po



Aspetti qualitativi

Componenti fondamentali dell'idrosfera, le acque dolci superficiali sono contenute nei laghi, nei fiumi e nei corpi idrici artificiali (invasi e canali).

In senso geologico, i laghi sono formazioni relativamente giovani in quanto risalgono generalmente all'ultima glaciazione; possono essere di origine glaciale, vulcanica o di sbarramento ma il loro destino è comunque quello di riempirsi di detriti e di scomparire. In senso ecologico, la caratteristica di tutti i laghi è quella di presentare una zonazione che consente l'individuazione di tre ambienti: la zona litoranea, poco profonda e caratterizzata dal passaggio dall'ambiente terrestre a quello acquatico; la zona limnetica, cioè la zona delle acque libere; la zona profonda, caratterizzata dall'assenza di luce e da condizioni più costanti.

Nelle regioni temperate le acque dei laghi spesso si stratificano con i cambiamenti stagionali; in estate l'acqua più calda della superficie (epilimnio) è separata dall'acqua profonda dell'ipolimnio da uno strato caratterizzato da una diminuzione sensibile e costante della temperatura dell'acqua (termoclinio). La presenza del termoclinio – che agisce come una barriera – impedisce lo scambio di materiali fra epilimnio ed ipolimnio, fatto cui può conseguire una condizione di anossia negli strati profondi e minore produttività negli strati superficiali. In autunno le acque superficiali tendono a raffreddarsi finché non raggiungono una temperatura uniforme con le acque sottostanti, dissolvendo la stratificazione; in primavera l'acqua superficiale inizia nuovamente a scaldarsi e si ha una ripresa del ciclo. Con le inversioni stagionali i nutrienti delle zone profonde vengono resi disponibili nelle zone più superficiali in cui è presente la luce, incrementando la produttività degli organismi fotosintetici.

Per il 2005 una prima ipotesi di caratterizzazione dei bacini lacustri in relazione alla loro geomorfologia – in linea con le indicazioni della Direttiva 2000/60/CE – individua in Lombardia tre tipi di lago; tutti i bacini appartenenti ad un certo tipo dovrebbero presentare evoluzione abbastanza simile.

La classificazione qualitativa di un lago, invece, si fonda sullo Stato Ecologico (SEL) ed è basata su quattro parametri: trasparenza, ossigeno ipolimnico, clorofilla *a* e fosforo totale, misurati in corrispondenza della piena circolazione e della stratificazione delle acque.

Tabella 8.1 **Proposta di tipizzazione degli ambienti lacustri**

Generalmente alle nostre latitudini la piena circolazione delle acque dei grandi laghi si verifica a fine inverno e la stratificazione a tarda estate. Il comportamento termico dei piccoli laghi piatti è tale per cui spesso non si distingue l'ipolimnio mentre quello dei laghi di montagna è condizionato dalle condizioni climatiche estreme.

Fonte: ARPA Lombardia

Tipo	Caratteristiche
A	Quota: < 800 m s.l.m. Profondità massima: > 120 m Superficie: > 100 km ²
B	Quota: < 800 m s.l.m. Profondità massima: < 120 m Profondità media: < 15 m Superficie: < 100 km ²
C	Quota: < 800 m s.l.m. Profondità massima: < 120 m Profondità media: > 15 m Superficie: < 100 km ²

Complessivamente i rilievi del 2005 hanno mostrato una condizione discreta dei bacini lacustri lombardi in quanto le stazioni di monitoraggio che si trovano in uno stato di qualità che va da sufficiente a buono corrispondono al 61% dei siti campionati.

Rispetto al 2004 si è riscontrato miglioramento in 8 stazioni di campionamento, 3 delle quali relative ai laghi d'Iseo, Maggiore e d'Idro; contrariamente a quanto accaduto negli anni precedenti, infine, la classe peggiore – corrispondente allo stato di qualità pessimo (SEL pari a 5) – non è stata assegnata a nessun punto di campionamento.

Nella campagna di monitoraggio del 2005 – come d'altronde in precedenza – l'ossigeno disciolto non è risultato essere un parametro critico mentre fosforo e clorofilla hanno spesso raggiunto concentrazioni attribuibili allo stato qualitativo peggiore; il fosforo rappresenta un elemento nutritivo per gli organismi vegetali acquatici mentre la clorofilla è l'espressione della densità della biomassa algale che si sviluppa nell'ambiente acquatico.

Nonostante i continui miglioramenti nella depurazione degli scarichi industriali e urbani il carico di fosforo che va a lago non viene completamente

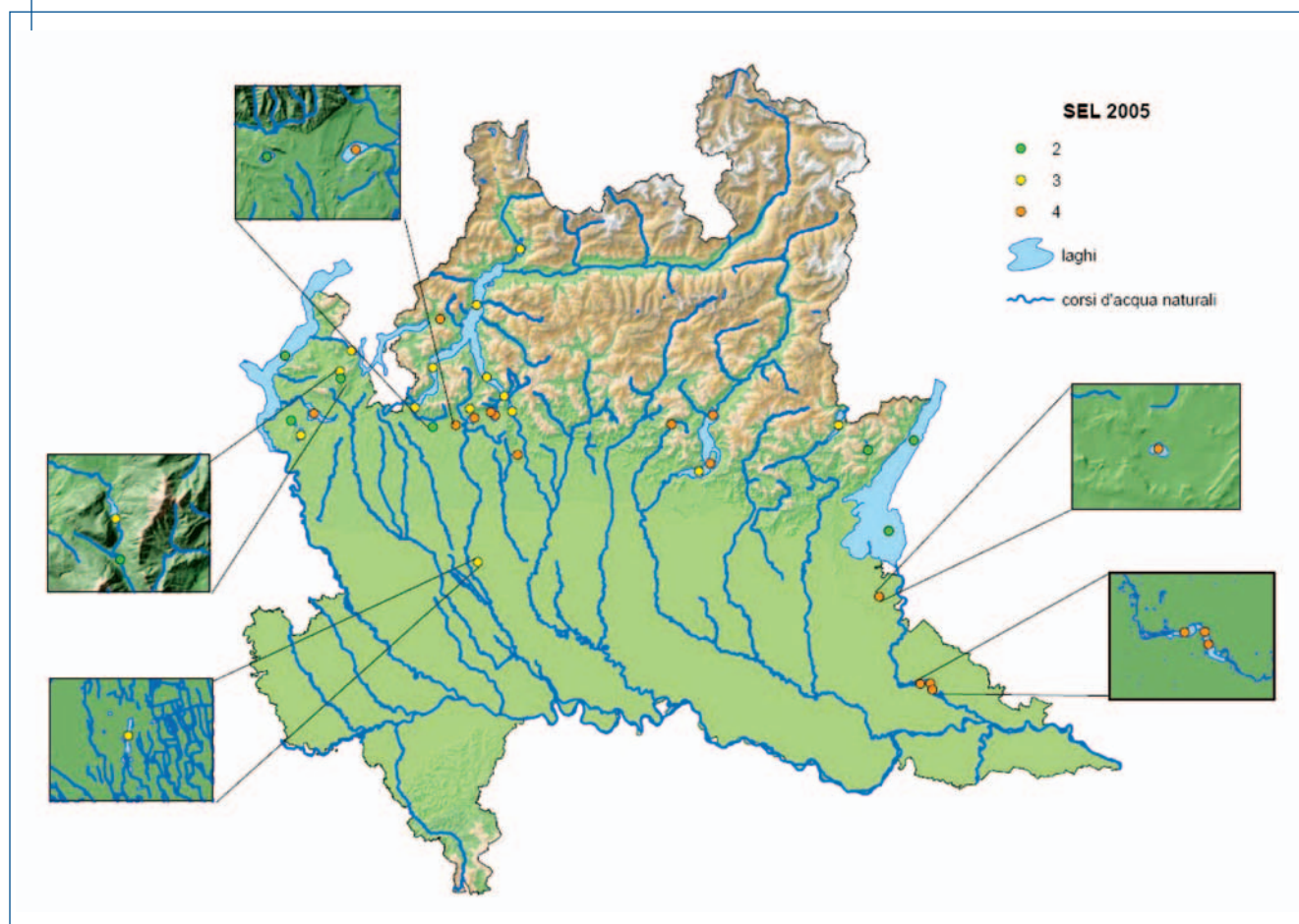
Figura 8.2 Stato Ecologico dei Laghi – 2005

Per il monitoraggio annuale relativo alla classificazione sono state studiate 36 stazioni di campionamento, a rappresentare 28 laghi naturali o artificiali.

È stato attribuito SEL pari a 2 (stato di qualità buono) a 8 stazioni di campionamento, SEL pari a 3 (stato di qualità sufficiente) a 14 stazioni e SEL pari a 4 (stato di qualità scadevole) a 14 stazioni.

I dati relativi al lago di Garda sono stati gentilmente forniti da ARPA Veneto.

Fonte: ARPA Lombardia



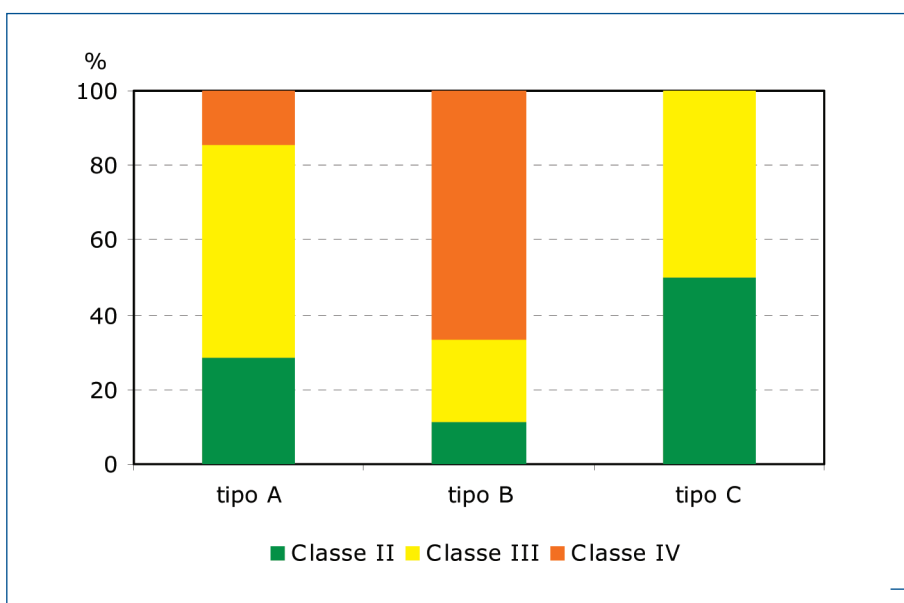


Figura 8.3 **Distribuzione classi di qualità SEL per tipo lacustre – 2005**

I grandi laghi prealpini (tipo A: 14 stazioni di campionamento) ed i piccoli laghi di bassa quota più profondi (tipo C: 4 stazioni di campionamento) mostrano criticità minori rispetto ai piccoli laghi piatti (tipo B: 18 stazioni di campionamento). Le stazioni di campionamento rappresentano 28 laghi di cui 2 artificiali (tipo B e tipo C).

Fonte: ARPA Lombardia

intercettato, soprattutto perché questo nutriente proviene anche da sorgenti diffuse connesse con l'uso antropico del territorio. Il fosforo inoltre – ed in particolare nei laghi poco profondi – viene rilasciato dai sedimenti (carico interno) limitando gli effetti dell'intercettazione dei carichi esterni. In questi casi possono avere un ruolo chiave nell'avviare e accelerare i processi di recupero del bacino lacustre le tecniche di intervento che agiscono direttamente sul lago: ne sono un esempio l'asportazione dei sedimenti, la precipitazione chimica, il prelievo ipolimnico o l'aerazione.

La clorofilla *a* è considerata uno dei parametri più significativi per la valutazione dello stato trofico di un ambiente lacustre: misurando i livelli di questo pigmento fotosintetico nella zona fottica, cioè in quella porzione della colonna d'acqua in cui penetra la luce, si ha una stima della biomassa di fitoplancton presente e quindi della produttività del lago.

Un ultimo parametro importante nello studio dei laghi è la trasparenza dell'acqua, che in genere è inversamente correlata con la concentrazione della clorofilla sebbene valuti anche la torbidità dovuta alla presenza di materiale sospeso di origine minerale-inorganica.

Nei laghi naturali lombardi, negli ultimi sei anni, si è registrata una generalizzata tendenza alla diminuzione dei valori della concentrazione di clorofilla che risulta sempre superiore nei piccoli laghi piatti prealpini (tipo B) rispetto agli altri due tipi. Al tipo B appartengono i laghi con profondità media inferiore a 15 m, generalmente caratterizzati da una termica che determina una

o più piene circolazioni annuali delle acque; alcuni di questi laghi – come i laghi briantei e quello di Varese – presentano inoltre carichi interni significativi, tali da vanificare gli sforzi profusi per ridurre i carichi esterni provenienti dal bacino idrografico. In questi laghi i sedimenti giocano quindi un ruolo determinante sulla produttività, rilasciando nei periodi di circolazione fosforo biodisponibile. A fronte del decremento della clorofilla, seppur con qualche eccezione, si registra l'aumento della trasparenza nelle tre categorie lacustri considerate.

Fiumi, torrenti, rogge e canali compongono il reticolo idrografico.

Dalla sorgente alla foce i fiumi subiscono trasformazioni che riguardano sia gli aspetti morfologici (come la pendenza o la tipologia del fondo) sia gli aspetti chimico-fisici (come la temperatura e l'ossigenazione) ed anche biologici, in quanto sono presenti differenti tipologie di comunità viventi nei differenti tratti.

In un corso d'acqua si distinguono due grandi zone: la regione salmonicola e la regione ciprinicola; nella regione salmonicola la corrente è forte e mantiene il letto del fiume chiaro e privo di fango, le acque sono ricche di ossigeno, il benthos è abbondante e caratterizzato da forme viventi specializzate ad aderire saldamente al substrato; in questi tratti i fiumi sono erosivi ed asportano e trasportano grandi quantitativi di materiale. Nella regione ciprinicola la pendenza del letto del fiume è molto ridotta, le acque sono profonde e poco ossigenate e la velocità della corrente è bassa, fatto che consente il deposito di materiali quali sabbia e fango por-

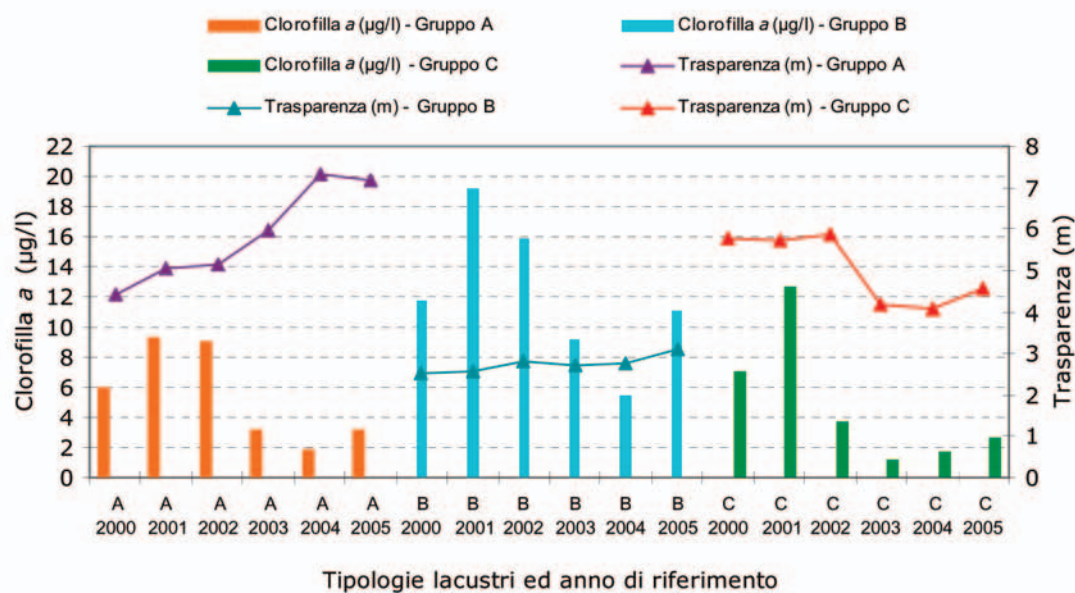
tando alla formazione di fondi molli; le rive e le zone sommerse sono ricche di vegetazione mentre sul fondo melmoso vivono organismi macrobentoni meno esigenti.

Lo Stato Ecologico dei Corsi d'Acqua (SECA) – indice sul quale è basata la classificazione dei corsi d'acqua prevista dalla normativa – esprime la complessità chimica, fisica e biologica degli ecosistemi acquatici.

La campagna di monitoraggio del 2005 – per la quale non si sono resi possibili i campionamenti nel 3% circa delle stazioni che compongono la rete – ha registrato una situazione complessiva che vede il 65% circa delle stazioni di monitoraggio garantire qualità sufficiente o più che sufficiente, ed ha evidenziato almeno due importanti risultati positivi dell'azione di risanamento: il torrente Breggia – a seguito del collettamento ad impianti di depurazione di scarichi altrimenti non depurati – ha stabilmente raggiunto classe di qualità sufficiente; similmente, la progressione del risanamento della roggia Vettabbia a seguito dell'attivazione dell'impianto di depurazione di Nosedo è ancora in atto ed ha consentito il passaggio da qualità pessima a qualità sufficiente nel giro di pochi anni. Nel periodo 2000-2005 la qualità delle acque del reticolo idrografico lombardo è complessivamente migliorata in tutti i bacini regionali, e per la metà degli stessi non si è riscontrato peggioramento in alcuna stazione (bacino del Mincio, bacino del Ticino e fiume Po).

Figura 8.4 **Clorofilla a e trasparenza nei laghi naturali significativi della Lombardia – 2000-2005**

Il tipo A è rappresentato dai laghi Como, Idro, Iseo, Lugano, Maggiore e Garda; il tipo B dai laghi Endine, Di Piano, Alserio, Montorfano, Pusiano, Annone Est, Annone Ovest, Mantova Inferiore, Mantova di Mezzo, Mantova Superiore, Comabbio, Ghirla e Varese; il tipo C dai laghi Garlate, Mezzola, Monate.
Fonte: ARPA Lombardia



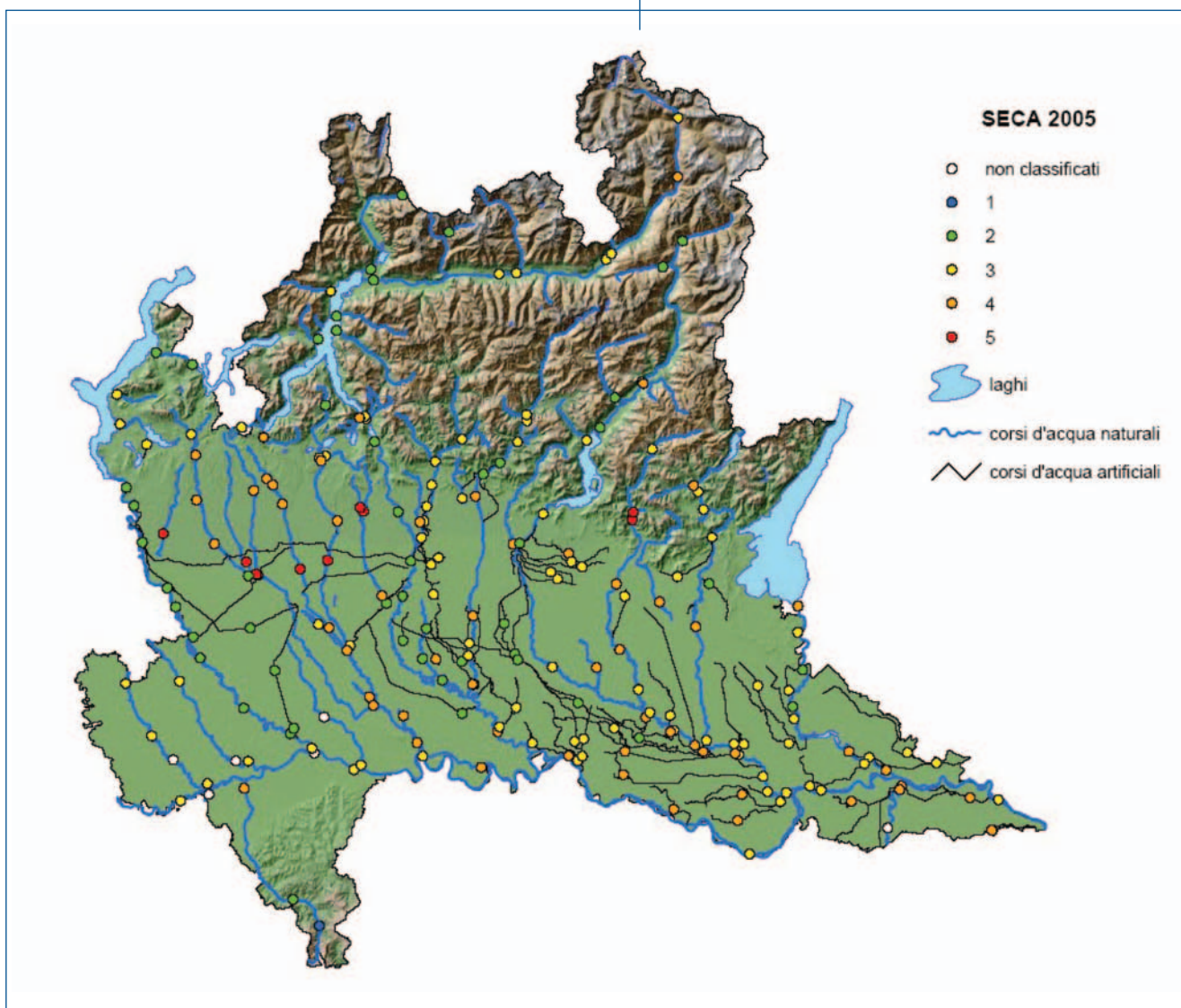
I casi di peggioramento del SECA sono stati determinati quasi sempre dalla sola componente vivente dell'ecosistema: ciò può essere anche il segnale di situazioni di sofferenza degli organismi viventi dovute alla scarsità d'acqua. Con ogni probabilità è proprio questa la causa del peggioramento registrato nelle stazioni sopralacuali del fiume Adda, inserite in un territorio caratterizzato da elevata densità di concessioni ad uso idroelettrico. I peggioramenti imputabili ad un aumento della concentrazione degli inquinanti chimici interessano invece le stazioni riferibili a bacini ad elevata densità demografica e produttiva.

I miglioramenti dello stato ecologico dei corsi d'acqua ottenuti in questi cinque anni sono molto significativi e sono probabilmente ascrivibili sia agli interventi strutturali realizzati nell'ambito del collettamento e della depurazione dei reflui sia all'applicazione del Deflusso Minimo Vitale; con questo termine si indica la portata che deve es-

Figura 8.5 **Stato Ecologico dei Corsi d'Acqua – 2005**

Per il monitoraggio annuale sono state studiate 208 stazioni di campionamento, a rappresentare 134 corsi d'acqua. È stato attribuito SECA pari a 1 (qualità elevata) allo 0,5% delle stazioni di monitoraggio, SECA pari a 2 (qualità buona) al 23%, SECA pari a 3 (qualità sufficiente) al 41,8%, SECA pari a 4 (qualità scadente) al 27,2% e SECA pari a 5 (qualità pessima) al 4,7%.

Fonte: ARPA Lombardia



Bacino	N stazioni	Variazione del SECA (espressa come % di stazioni)		
		miglioramento	peggioramento	nessuna variazione
Ticino	13	12,5		87,5
Lambro Olona	24	33		67
Adda	40	21,4	10,7	67,9
Oglio	28	20	12,5	67,5
Mincio	3	29,2	12,5	58,3
Asta del Po	16	15,4		84,6

■ miglioramento
 ■ peggioramento
 ■ nessuna variazione

Tabella 8.2 **Variazione della qualità ecologica nei principali bacini regionali – 2000-2005**

Il confronto fra il SECA registrato nel 2000 e quello registrato nel 2005 si è limitato a quelle stazioni di monitoraggio del singolo bacino per le quali i due dati sono disponibili; la valutazione della variazione di qualità è stata quindi effettuata su un numero di stazioni inferiore a quello delle stazioni effettivamente posizionate su ogni bacino.

Fonte: ARPA Lombardia

sere presente in un corso d'acqua a valle delle captazioni idriche per mantenere vitali le condizioni di funzionalità e di qualità degli ecosistemi interessati.

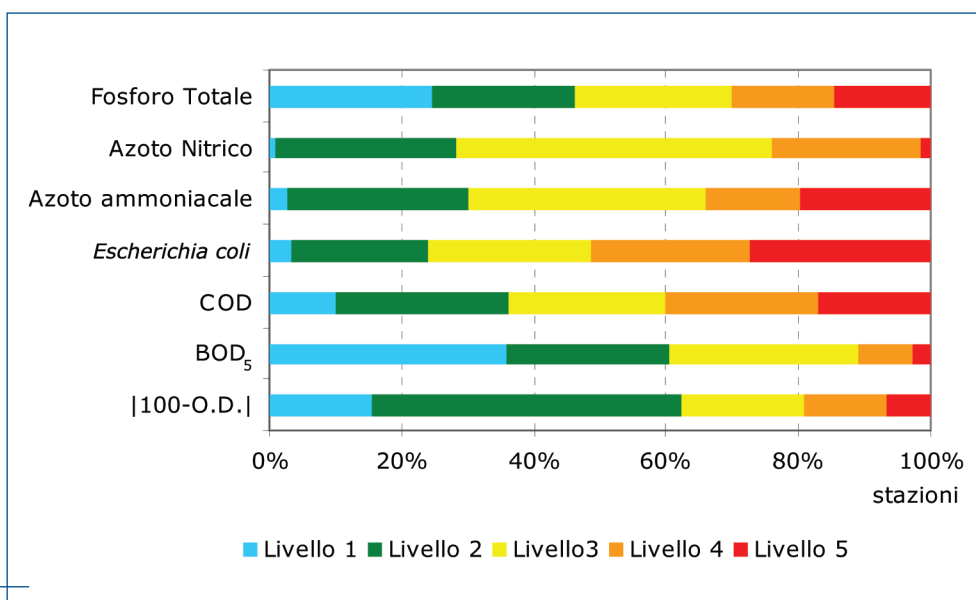
Emblematica è l'evoluzione del bacino Lambro-Olona per il quale si sono registrati peggioramenti nella parte a nord di Milano e significativi miglioramenti nella parte posta a sud della città; i miglioramenti sono attribuibili alla entrata in funzione dei nuovi depuratori di Milano Nosedo e Milano Sud ed all'ampliamento del depuratore di Peschiera Borromeo, impianti che trattano le acque del capoluogo lombardo.

Valutando i riscontri chimico-fisici e batteriologici sulle acque, però, si osserva come sul territorio regionale permangano ancora problematiche riconducibili al collettamento e/o alla depurazione dei reflui: le acque di oltre il 30% delle stazioni di campionamento presentano livelli di azoto ammo-

Figura 8.6
Caratterizzazione LIM delle stazioni di campionamento – 2005

Il LIM è il Livello di Inquinamento da Macrodescriptors previsto dalla normativa per comporre – insieme all'Indice Biotico Esteso (IBE) – il SECA. Il livello 1 di LIM corrisponde a condizioni ottimali delle acque, il livello 5 alle condizioni peggiori; il livello 3 corrisponde a condizioni ancora accettabili.

Fonte: ARPA Lombardia



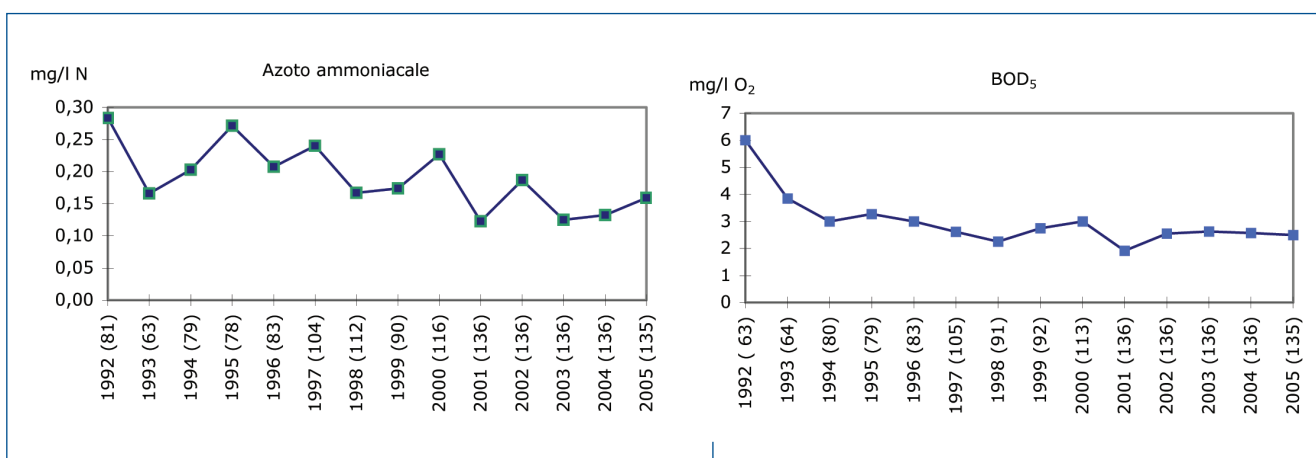


Figura 8.7 **Indicatori di inquinamento di origine civile - 1992-2006**

Il valore indicato per ogni anno corrisponde alla mediana delle medie annuali delle concentrazioni rilevate in corrispondenza delle stazioni che compongono la rete di monitoraggio delle acque correnti naturali; in parentesi è indicato il numero delle stazioni disponibili per il calcolo.

Fonte: ARPA Lombardia, Regione Lombardia

niacale tipici di qualità bassa o nulla, così come le acque di oltre il 50% risultano tali per il parametro *Escherichia coli*, indicatore di inquinamento di origine fecale.

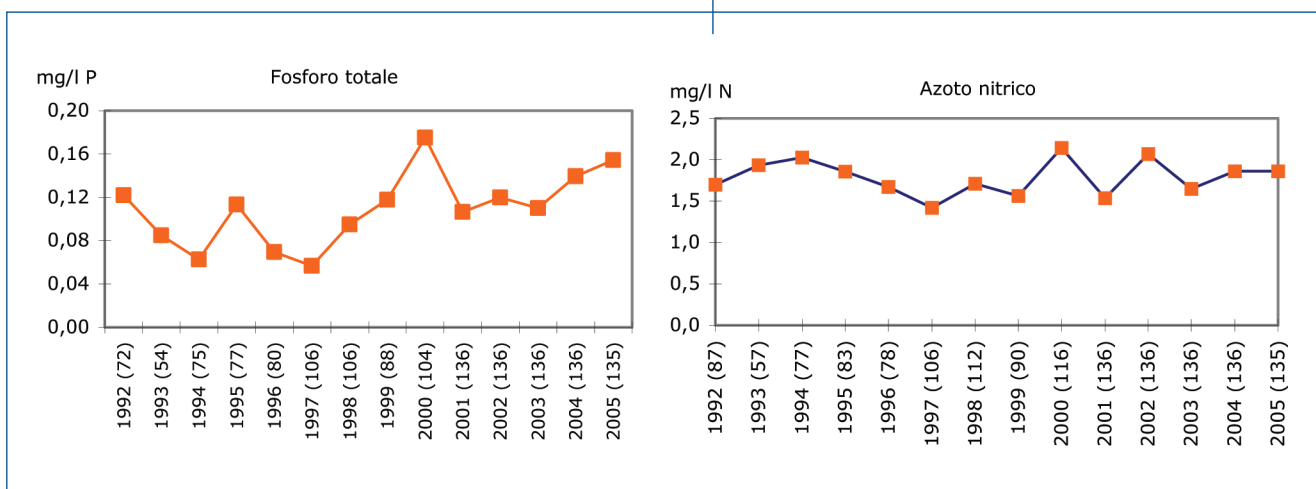
Per valutare nel medio periodo gli effetti delle azioni intraprese per risanare i corsi d'acqua superficiali risulta utile analizzare gli andamenti temporali dei parametri indicatori di inquinamento di origine civile (azoto ammoniacale e BOD₅) e dei nutrienti (azoto nitrico e fosforo totale).

Il BOD₅ segnala la presenza di sostanza organica ossidabile biologicamente e concentrazioni elevate del parametro indicano la carenza ossigenazione del corpo idrico, carenza che si ripercuote su tutte le comunità viventi; anche l'azoto ammoniacale, oltre ad essere tossico per la vita acquatica in determinate condizioni chimico-fisiche delle acque, sottrae l'ossigeno disciolto agli organismi viventi per trasformarsi nelle forme ossidate. La presenza in eccesso di N e P nelle acque correnti, invece, indica spesso un uso agricolo del bacino drenato o l'immissione di portate significative di acque depurate, ed è causa di potenziale eutrofizzazione delle acque lentiche ricettrici.

Figura 8.8 **Nutrienti nelle acque correnti - 1992-2006**

Il valore indicato per ogni anno corrisponde alla mediana delle medie annuali delle concentrazioni rilevate in corrispondenza delle stazioni che compongono la rete di monitoraggio delle acque correnti naturali; in parentesi è indicato il numero delle stazioni disponibili per il calcolo.

Fonte: ARPA Lombardia, Regione Lombardia



La stima di tendenza evidenzia come nelle acque correnti della Lombardia, nell'arco temporale 1992-2005, entrambi gli indicatori di inquinamento di origine civile mostrino una progressiva e costante, seppur discontinua, diminuzione di concentrazione; tale discontinuità è evidente in particolare per l'azoto ammoniacale mentre per il BOD₅ è più evidente il consolidamento dei risultati raggiunti.

L'andamento decrescente osservato è quasi certamente correlato alla depurazione delle acque fognarie garantita dalla realizzazione di opere di collettamento e depurazione. Differente la tendenza dei nutrienti, la cui concentrazione nelle acque non mostra variazioni apprezzabili (azoto nitrico) o risulta in lieve aumento (fosforo); la presenza di questi nutrienti deriva sia da fonti puntuali (impianti di depurazione) che diffuse (dilavamento dei suoli coltivati, apporto di origine zootecnica) ma è ragionevole supporre che il contributo maggiore sia da imputare a fonti di tipo diffuso in quanto molti dei depuratori pubblici presenti sul territorio regionale sono dotati di trattamenti terziari per la rimozione dei nutrienti.

Nel marzo 2006 è stato definitivamente approvato il *Programma di Tutela e Uso delle Acque* (PTUA) della Regione Lombardia (D.G.R.VIII/2244 del 29 marzo 2006), che rappresenta lo strumento di programmazione per il raggiungimento degli obiettivi di qualità dei corpi idrici fissati dalla normativa nazionale.

Aspetti quantitativi

L'acqua circola continuamente tra terraferma, mari e atmosfera grazie alla sua capacità di cambiare stato fisico, guidata dalla gravità. Il ciclo idrologico è tale per cui l'irraggiamento solare provoca l'evaporazione dell'acqua; l'acqua sotto forma di vapore si raffredda e condensa formando nuvole; la gravità la fa cadere sotto forma di pioggia, neve o grandine. Parte di quest'acqua – giunta a terra – evapora e parte viene utilizzata dalle piante; la quantità più cospicua filtra invece attraverso il terreno o si riversa nei fiumi sfociando infine nel mare. La permanenza dell'acqua nell'atmosfera è breve (da poche ore a poche settimane), nei fiumi più lunga (da alcune settimane a mesi) mentre nei ghiacciai o nelle falde sotterranee può essere di anni o, addirittura, di millenni.

Il conteggio delle quantità di acqua presenti nelle varie forme in un determinato bacino ed in un certo periodo di tempo si chiama bilancio idrologico e la prima voce di tale bilancio è data dalla precipitazione meteorica.

In Lombardia – sotto forma di pioggia o di neve – cadono in media circa 1.000 mm di acqua all'anno, con piovosità massima nella zona prealpina occidentale e minima nella zona di pianura sud-orientale; nel complesso la precipitazione meteorica in Lombardia fornisce circa 24 miliardi di m³ d'acqua all'anno. In pianura la distribuzione spaziale delle precipitazioni varia con relativa gradualità: nell'alta pianura occidentale si registrano 1.600-2.000 mm annui contro valori di 600-700 mm nel basso mantovano; la distribuzione temporale mostra due massimi, uno principale in autunno (intorno ad ottobre-novembre) ed uno secondario in primavera (intorno a maggio). Nelle aree montane la distribuzione delle piogge – soprattutto durante gli eventi piovosi intensi e durante i temporali – è molto disomogenea, variando in modo significativo anche in piccole aree in funzione della quota altimetrica, dell'esposizione del versante, della tipologia e della provenienza delle perturbazioni. Nell'area prealpina e nell'area dei laghi si registra abbondanza di precipitazioni; nella zona dei laghi occidentali (Maggiore, Como ed Iseo) le precipitazioni massime sono estive ed autunnali e di pari intensità, mentre nell'area del lago di Garda si registrano un massimo principale autunnale ed uno secondario primaverile-estivo.

Nell'ultimo secolo il numero dei giorni piovosi è nettamente diminuito: sull'Italia settentrionale cade sostanzialmente la stessa quantità d'acqua ogni anno ma ciò avviene in meno giorni, il che significa che in quei giorni si verificano precipitazioni più intense. Il decremento più marcato dei giorni piovosi è stato osservato negli anni 1930-1940 e 1960-1980, con una diminuzione media nazionale di 9 giorni all'anno per secolo. Nelle aree settentrionali l'accresciuta intensità delle precipitazioni si riscontra prevalentemente nelle stagioni estiva ed autunnale.

Il regime pluviometrico ha un'enorme influenza nel determinare la consistenza del patrimonio idrico del territorio; la morfologia, le caratteristiche geologiche e pedologiche nonché l'uso del suolo, gli invasi e le opere di trattenuta determinano invece come la risorsa viene trattenuta, distribuita o dispersa. Poiché in Lombardia i ghiacciai e i nevai costituiscono una risorsa importante per alimentare i bacini idroelettrici e i bacini dei laghi regolati, è im-

portante la determinazione dell'equivalente idrico del manto nevoso (Snow Water Equivalent o SWE), che rappresenta una quantità d'acqua aggiuntiva disponibile per il deflusso estivo.

Un secondo elemento del bilancio idrologico è rappresentato dalla quantità di acqua che scorre durante l'anno nei corsi d'acqua: la portata di morbida, di piena e di magra sono le tre grandezze più rappresentative.

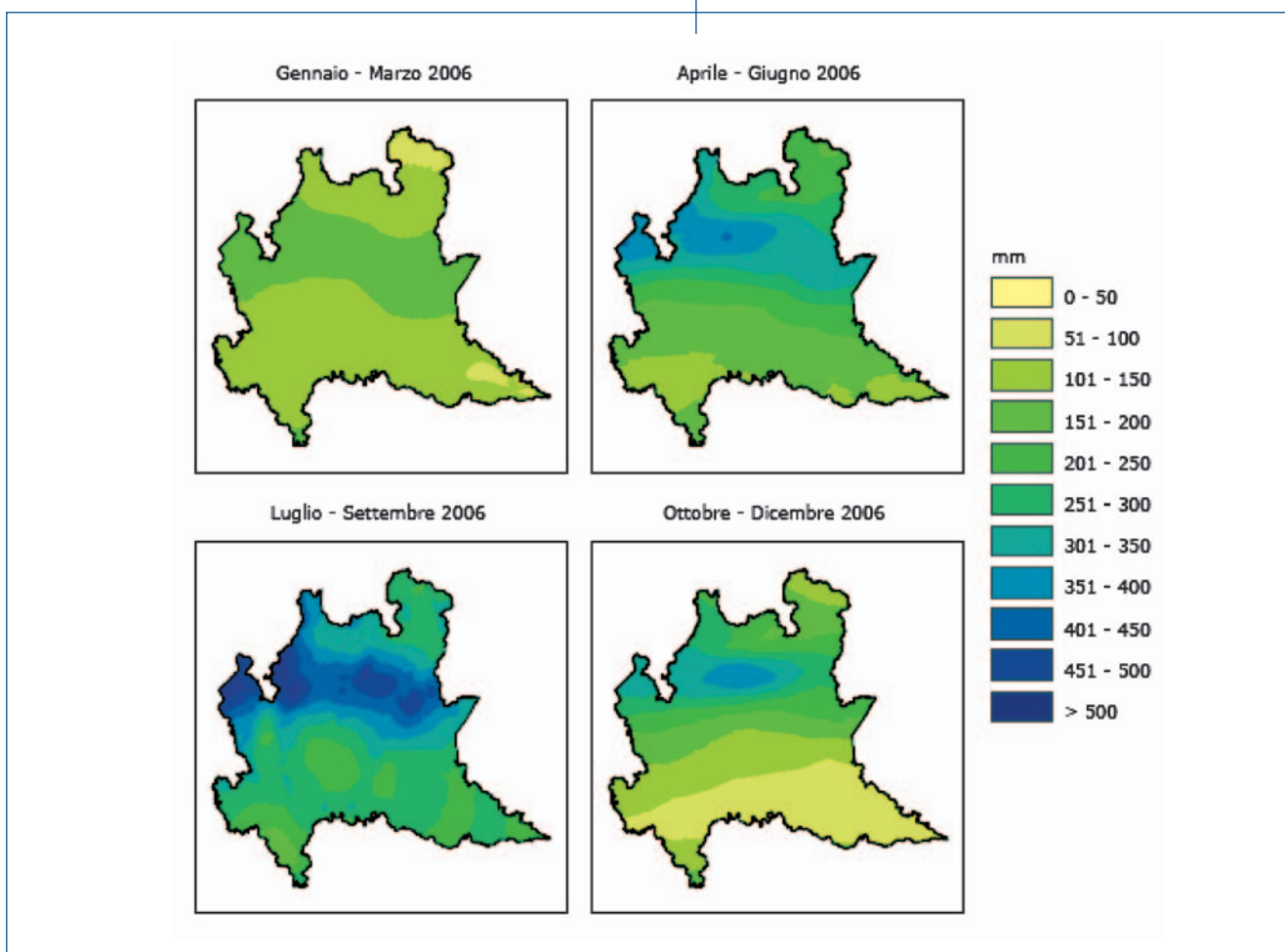
Mentre la portata di morbida è rappresentativa di una condizione di deflusso ordinario, la portata di piena rappresenta la condizione di deflusso caratterizzata da un innalzamento notevole e rapido dei livelli idrici, seppur per un periodo relativamente breve; la portata di magra è invece la condizione di acque basse e può essere naturale oppure indotta da cause antropiche.

Le precipitazioni persistenti e intense – eventualmente aggravate da improvvisi scioglimenti delle nevi alpine a seguito di ondate di caldo in quota – sono le cause principali delle piene fluviali. La differente esposizione alle perturbazioni meteoriche, la presenza di invasi naturali o artificiali, la morfologia e il tipo di substrato e di copertura del suolo influenzano in modo

Figura 8.9 **La distribuzione delle piogge – 2006**

La distribuzione delle piogge varia nel tempo e nello spazio a seconda della località e della stagione. In Lombardia le zone più piovose sono ubicate sulle Prealpi, mentre le meno piovose sono maggiormente concentrate nella zona meridionale della regione e in particolare nella pianura cremonese e mantovana. Storicamente le stagioni più piovose sono la primavera e l'autunno; nel 2006 il maggior quantitativo di acqua è caduto nella stagione estiva, mentre l'autunno e l'inverno sono stati piuttosto asciutti.

Fonte: ARPA Lombardia



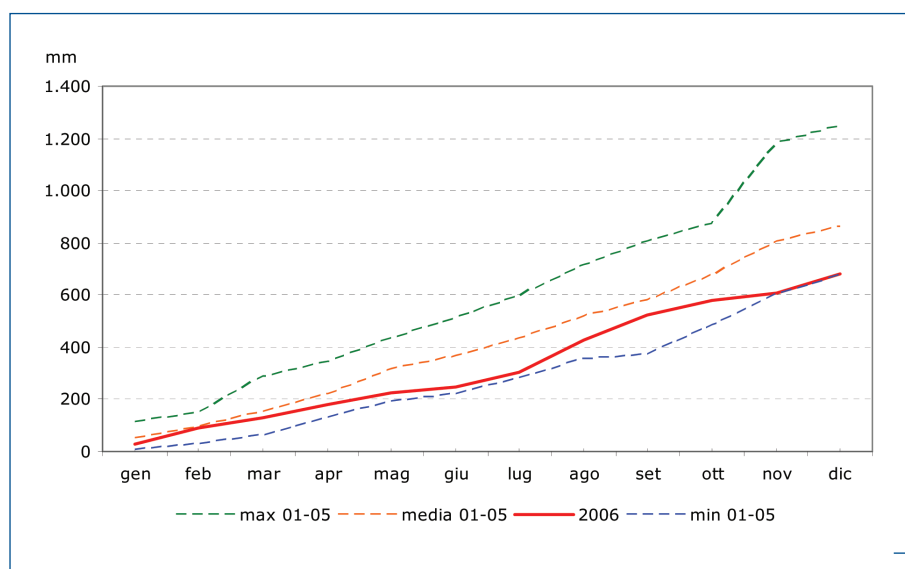


Figura 8.10 **Pioggie mensili: periodo 2001-2005 e 2006**

Dal punto di vista pluviometrico il 2006 si è rivelato piuttosto dissimile dal quinquennio precedente: la quantità di pioggia caduta nell'arco dell'anno risulta prossima ai valori minimi del quinquennio precedente; è mancato, inoltre, il regime di pioggia tipico della zona subalpina che presenta le precipitazioni massime verso maggio e novembre.

Fonte: ARPA Lombardia

determinante la formazione delle piene e gli effetti sul territorio interessato. I fenomeni di piena quindi sono il frutto di molte componenti: alcune inevitabili (come la precipitazione), altre regolabili (come il livello degli invasi), altre ancora che si modificano nel tempo per cause naturali oppure a causa dell'intervento dell'uomo (come l'impermeabilizzazione del terreno o la rettificazione dei corsi d'acqua). Tutte le componenti si combinano nello spazio e nel tempo in modo da generare piene più o meno significative; storicamente il territorio regionale lombardo è stato mediamente interessato da un evento alluvionale all'anno, anche se di proporzioni e conseguenze estremamente diversificate da un caso all'altro. Dal 1990 almeno sei piene storiche hanno interessato l'asta del fiume Po in Lombardia coinvolgendo, nella loro genesi, gran parte del bacino padano.

Il valore massimo che il livello di un fiume può raggiungere durante un evento di piena è influenzato da molti fattori, che difficilmente si ripetono invariati in un successivo episodio alluvionale: ad

Fiume	Stazione di misura	Portata media annua (m ³ /s)
Po	Becca	761
Po	Cremona	1.312
Po	Casalmaggiore	1.314
Po	Borgoforte	1.386
Ticino	Vigevano	320
Adda	Fuentes	85
Adda	Pizzighettone	291
Lambro	San Colombano	41
Oglio	Costa Volpino	45
Oglio	Capriolo	58
Mincio	Monzambano	58

Tabella 8.3 **Portata di alcuni fiumi alle principali sezioni di chiusura dei bacini**

Data la complessità della materia, gli indicatori che possono essere utilizzati per caratterizzare il regime idrologico di un corso d'acqua sono molteplici; tra i più intuitivi va citata la portata media annua.

Fonte: Regione Lombardia, Autorità di bacino del fiume Po

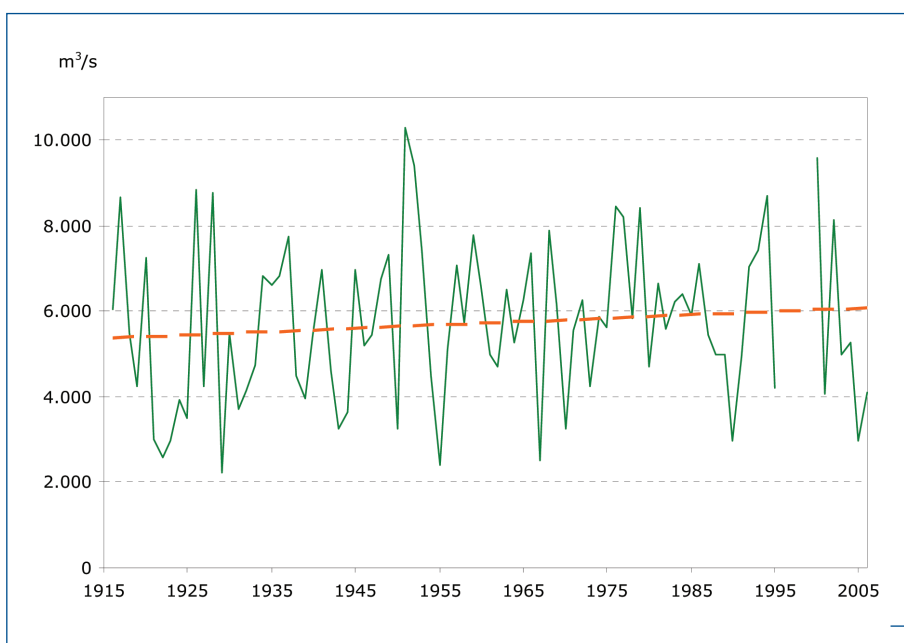


Figura 8.11 **Portate massime annuali del Po alla sezione di chiusura di Pontelagoscuro (FE)**

Negli ultimi trent'anni ci sono stati sei episodi di piena con portata di oltre 8.000 m³/s, contro i 5 superamenti dei 60 anni precedenti. Oltre ai cambiamenti climatici, tra le cause va citata una generalizzata tendenza all'urbanizzazione, alla rettificazione e alla impermeabilizzazione della rete idrica del bacino.

Fonte: Autorità di bacino del fiume Po

esempio, il formarsi e il propagarsi di un colmo di piena sono influenzati dalle condizioni dei vari corsi idrici affluenti e dai loro bacini, in rapporto agli eventi pluviometrici e climatici. Analogamente, la contrazione o la scomparsa del reticolo idraulico minore – la cui capacità di invaso delle acque esercita un ruolo molto importante nei riguardi della moderazione delle piene – oppure gli interventi di arginatura sul reticolo fluviale, per confinare la zona di espansione delle piene all'interno di una fascia ristretta, determinano l'incremento delle portate.

La misura al colmo di piena è importante per la corretta progettazione degli alvei fluviali e per pianificare le operazioni di protezione civile a tutela della popolazione.

Le magre indotte, invece, possono generare problematiche ambientali dovute ad una eccessiva scarsità di deflusso idrico: per garantire quindi la salvaguardia delle caratteristiche chimico-fisiche delle acque del corpo idrico nonché il mantenimento delle biocenosi tipiche delle condizioni naturali locali si stabilisce il Deflusso Minimo Vitale (DMV); per i corsi d'acqua del bacino del Po si valuta il DMV con la formula stabilita dall'Autorità di bacino, recepita dalla Regione Lombardia nel *Programma di Tutela e Uso delle Acque* (PTUA).

In qualunque regime di portata, la forza della corrente idrica trascina a valle anche materiali solidi; il trasporto solido riveste un ruolo fondamentale in relazione alle trasformazioni dinamiche dei corpi idrici da un punto di vista geomorfologico, ecologico ed economico. A seconda delle portate transitorie, l'azione del passaggio dell'acqua può avere

un prevalente carattere erosivo (come nei tratti a maggiore pendenza o all'esterno delle curve) oppure deposizionale (come nelle zone di calma): i meccanismi erosivo-deposizionali determinano quindi la conformazione del reticolo idrografico.

In Lombardia una forte modificazione del trasporto solido nelle acque – e quindi dei naturali processi di sedimentazione – è dovuta alla presenza di numerose opere di sbarramento: i laghi artificiali tendono ad intercettare il trasporto solido con un meccanismo tale per cui i sedimenti più grossolani e pesanti si depositano vicino all'immissione del corso d'acqua mentre i più fini e leggeri si depositano in zone più lontane. In regione sono presenti 480 dighe, di cui 80 definite grandi dighe; a partire dagli anni '20 – proprio mediante la realizzazione di dighe – si sono resi disponibili sul territorio regionale quasi 2 miliardi di m³ di spazio per raccogliere, invasare e distribuire le acque meteoriche nel corso dell'anno; circa 664 milioni di m³ sono stati ottenuti mediante la realizzazione di sbarramenti su fiumi e laghetti alpini, i restanti 1.250 milioni di m³ (le "acque nuove") sono stati ottenuti dalla costruzione di sbarramenti per la regolazione dei cinque grandi laghi prealpini.

Un'altra tipologia di invaso è costituita dai bacini temporanei destinati alla laminazione delle piene, progettati a partire dagli anni '80 e '90 nelle aree a monte delle grandi zone urbanizzate e oggi in fase di realizzazione e completamento, principalmente nelle province di Milano e Varese. I volumi di laminazione possono variare da qualche centinaio di migliaia a qualche milione di m³ e costituiscono spesso l'unico intervento risolutore dei problemi di esondazione lad-

dove non è possibile o conveniente aumentare la capacità di deflusso del corso d'acqua.

Gli utilizzatori delle acque superficiali costruiscono opere idrauliche in fregio a torrenti, laghi e sorgenti per derivare acqua dai corpi idrici superficiali e convogliarle ad uno specifico uso; in funzione del prelievo medio annuo ed al variare dell'uso, le derivazioni si suddividono in due categorie, grandi e piccole (R.D. 1775/1933); le grandi sono generalmente destinate ai prelievi idrici degli acquedotti comunali, dei sistemi idroelettrici, delle industrie (tra cui si annoverano le centrali termoelettriche) e dei consorzi di bonifica e irrigazione. In Lombardia la maggior parte delle acque derivate è destinata all'utilizzo idroelettrico, concentrato essenzialmente nelle aree montane; le acque vengono prelevate spesso direttamente alle sorgenti

e immesse nei sistemi idroelettrici dove vengono utilizzate in serie di impianti a cascata, e restituite molto più a valle. Anche l'uso irriguo presenta un impatto consistente sul corpo idrico all'altezza della derivazione, punto dove vengono sottratte rilevanti quantità d'acqua per brevi periodi: normalmente l'uso irriguo è infatti concentrato nel semestre da aprile a settembre. Le acque prelevate per il comparto industriale sono utilizzate sia per raffreddamento sia per i processi produttivi; il primo tipo di utilizzo richiede portate consistenti – come nel caso delle centrali termoelettriche – ma non produce elevato degrado della risorsa, se non il riscaldamento dell'acqua; gli usi di processo, invece, richiedono quantitativi d'acqua più limitati ma determinano solitamente un forte degrado qualitativo della risorsa impiegata.

Lo studio del deflusso superficiale

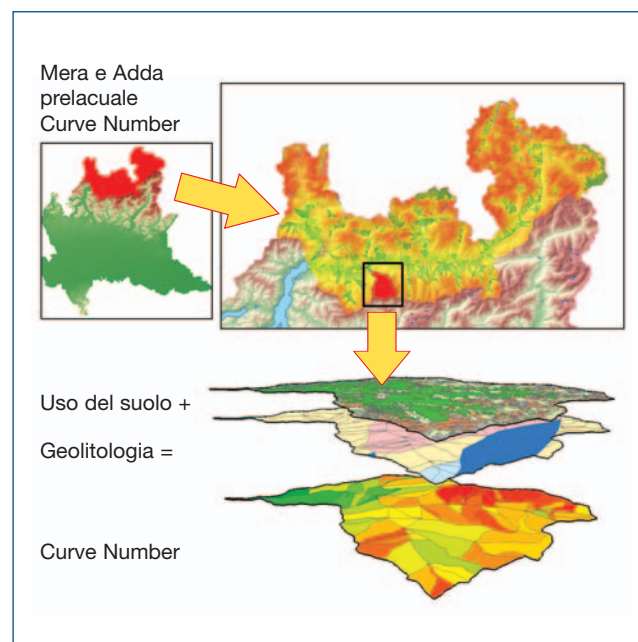
Durante un evento piovoso parte dell'acqua che cade viene trattenuta dal terreno; la parte rimanente viene rifiutata e ruscella sulla superficie andando a formare il deflusso idrico superficiale.

In aree naturali la formazione del deflusso superficiale dipende principalmente dall'intercettazione della pioggia da parte del manto vegetale, dalla detenzione superficiale nei piccoli invasi naturali, dall'infiltrazione nei suoli permeabili e dalla saturazione del terreno; in aree urbanizzate invece l'impermeabilizzazione dei suoli, l'eliminazione delle piccole irregolarità superficiali che consentono l'accumulo dell'acqua e la captazione della rete fognaria drenante contribuiscono spesso ad aumentare il rifiuto del terreno e il deflusso superficiale.

I modelli che stimano la quantità di deflusso superficiale ai fini della pianificazione territoriale o della protezione da eventi estremi considerano tutti questi aspetti. Una volta conosciuto l'evento di pioggia o il regime pluviometrico, si può valutare quale sia la parte di precipitazione assorbita o trattenuta dal terreno e quale la parte che scorre sulla superficie. Uno dei modelli di stima che simula il comportamento del suolo è il *Soil Conservation Service-Curve Number (SCS-CN)*; esso definisce la quantità di pioggia che darà origine al deflusso superficiale utilizzando il parametro CN (Curve Number) che indica la capacità di assorbimento del terreno; il parametro CN è determinato in base al tipo e all'uso del suolo e

varia in funzione delle condizioni iniziali di imbibimento del terreno.

Al momento attuale in Lombardia il parametro CN è stato definito per i bacini idrografici a monte del lago di Como (Mera e Adda prelacuale), la cui superficie individua la maggior parte del territorio provin-



ciale di Sondrio: il territorio è stato suddiviso in piccole porzioni (emibacini) dalle caratteristiche idrologiche omogenee. Ogni stima di CN può essere considerata rappresentativa della rispettiva porzione di territorio fino a che il continuo mutamento dell'uso del suolo non modifichi sostanzialmente i presupposti della determinazione del valore del parametro.

Le portate di concessione dell'acqua per le diverse tipologie di uso in Lombardia superano 4.000 m³/s; tale valore è cinque volte maggiore dell'afflusso meteorico annuo sul territorio lombardo: questa apparente contraddizione trova spiegazione nel fatto che le acque meteoriche vengono utilizzate in media cinque volte prima di arrivare al Po, e ciò è sintomo di un intenso sfruttamento ma anche di una notevole efficienza nell'utilizzo della risorsa.

Ultime componenti che influenzano il bilancio idrologico – caratterizzando i bacini idrografici – sono la copertura e l'uso del suolo: la risposta del terreno agli eventi meteorici, infatti, presenta forti differenze a seconda delle proprietà fisiche del suolo e del suo utilizzo.

Le tipologie di uso del suolo sono distribuite sul territorio in relazione sia alla geomorfologia che caratterizza l'area d'interesse, sia al tessuto storico-culturale ed economico che lì si è sviluppato.

Il termine *urbanizzazione* molto spesso assume, dal punto di vista idrologico, il significato di cementificazione e impermeabilizzazione dei suoli ad opera dell'edificazione; un territorio fortemente urbanizzato influisce negativamente sull'infiltrazione naturale delle acque piovane nelle falde acquifere in quanto l'acqua raccolta in ambito urbano viene rapidamente riversata nella rete fognaria e da qui trasferita celermente verso i recapiti finali.

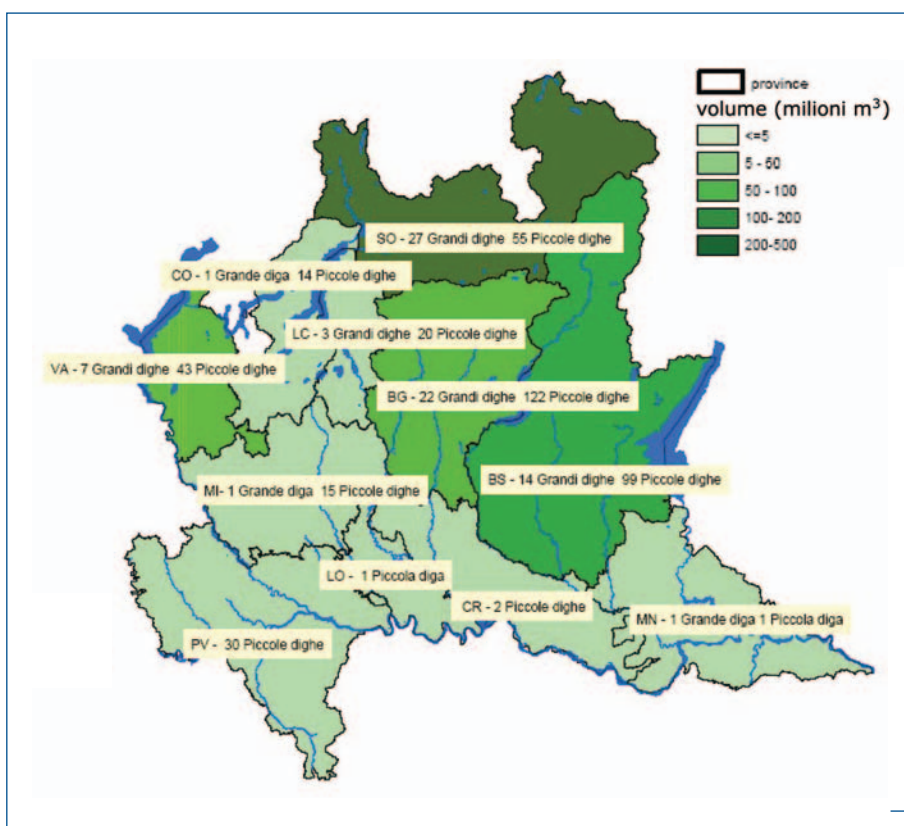


Figura 8.12 **Distribuzione delle dighe lombarde**

Secondo la Legge 584/94 le opere di sbarramento, le dighe di ritenuta o le traverse che superano i 15 m di altezza o che determinano un volume d'invaso superiore a 1.000.000 m³ sono definite grandi dighe e sono vigilate dal Registro Italiano Dighe. Sulle piccole dighe le funzioni di autorizzazione alla costruzione, esercizio e vigilanza sono di competenza regionale ed in corso di trasferimento alle Amministrazioni Provinciali, secondo quanto disposto dalla Legge Regionale 26/2003.

Fonte: Regione Lombardia

Le crisi idriche

Definire la siccità risulta difficoltoso a causa del fatto che essa si relaziona con il normale regime delle precipitazioni di una determinata area. In termini generali, la siccità si origina dalla riduzione delle precipitazioni per un lungo periodo di tempo, fatto che determina carenza d'acqua sia per i sistemi naturali che per gli usi dell'uomo.

Per territori come quello lombardo il termine siccità indica un fenomeno sporadico e casuale che si manifesta in aree non aride quando le precipitazioni sono sensibilmente inferiori ai livelli mediamente registrati nel tempo.

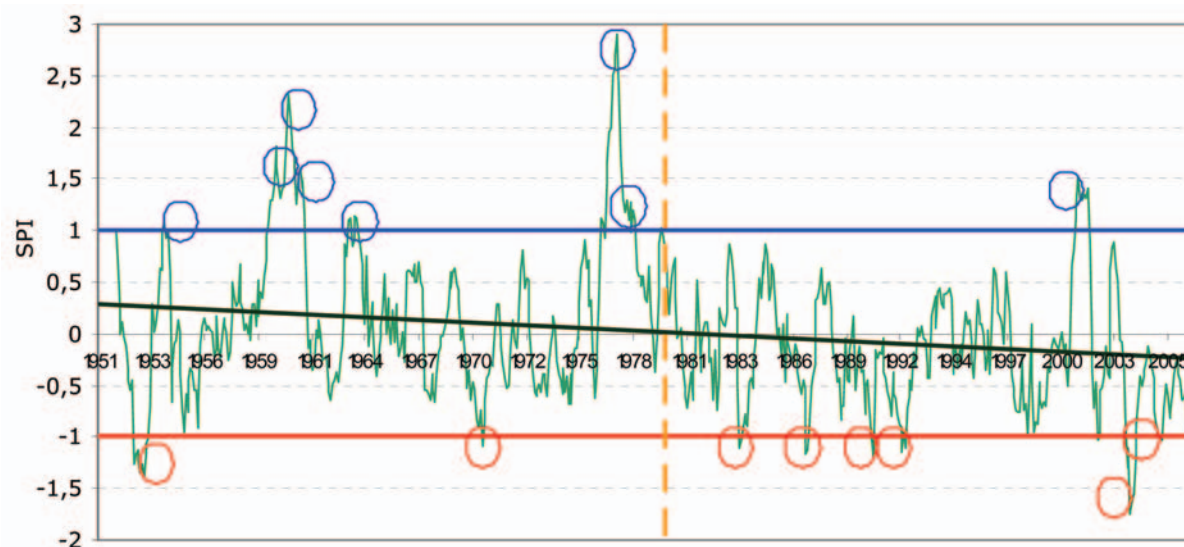
Lo studio storico della frequenza, della durata e dell'estensione spaziale dei periodi siccitosi in un determinato territorio consente di stimare le proba-

bilità di accadimento di altri periodi simili e di pianificare le contromisure necessarie.

Nonostante il regime pluviometrico, la ricchezza delle falde e gli accumuli di neve e ghiaccio rendono la Lombardia la regione italiana più ricca di acque superficiali, anche qui – soprattutto negli ultimi anni – si tende a parlare di siccità.

I fiumi ed i laghi lombardi hanno infatti subito nel corso dei secoli interventi strutturali e sistemazioni d'alveo che ne hanno alterato le caratteristiche morfologiche e i regimi idraulici naturali.

In Lombardia negli ultimi 25 anni si sono registrati 6 periodi siccitosi contro i 2 registrati nel trentennio precedente, e 1 periodo piovoso contro i 7 registrati nel trentennio precedente.



Un indice di siccità basato sulle precipitazioni è lo *Standard Precipitation Index* (SPI): esso considera che un evento siccitoso sia in corso nel momento in cui assume valore inferiore a -1 mentre considera il periodo piovoso quando assume valore superiore a +1.

Fonte: ARPA Lombardia