

tivamente erogata, mentre oggi rappresenta anche più del 40% del volume di acqua che dovrebbe teoricamente essere distribuito agli utenti. In questo senso Piemonte, Lombardia, provincia autonoma di Bolzano, Liguria, Emilia Romagna e Campania sono le zone del Paese dove le perdite percentuali di acqua risultano più basse della media nazionale (27% della acqua condotta). In tutte le altre zone della penisola le perdite percentuali d'acqua superano il valore medio nazionale, toccando punte più alte del 40% in Molise, nella provincia autonoma di Trento ed in Sardegna.

Acque minerali e termali

La differenza tra un'acqua minerale ed una termale è legata alla temperatura dell'acqua nel suo punto di recapito. Vengono così definite minerali le acque che fuoriescono a temperature inferiori o uguali alla temperatura me-

dia annua dell'ambiente e termali quelle per le quali tali valori vengono superati. L'acqua sotterranea acquisisce la sua composizione chimica (grado di mineralizzazione) grazie alla aggressività delle acque piovane, al grado di solubilità delle rocce attraversate e alla lunghezza e durata del percorso. È oligominerale quando attraversa rocce poco solubili e segue percorsi relativamente limitati e con brevi tempi di residenza; è molto mineralizzata quando attraversa rocce solubili e/o sosta a lungo nel sottosuolo. Il patrimonio di acque minerali naturali e di acque termali è particolarmente ricco in Italia, che conta ben 251 fonti di acque minerali oggetto di imbottigliamento (tab. 6) superata solo dalla Germania che ne ha 495 (tab. 7). Alle acque minerali si debbono aggiungere anche le acque termali, di cui è particolarmente ricco l'intero Paese fin nelle isole minori (ad esem-

pio Pantelleria). A tal proposito l'Italia possiede un primato europeo, quanto a portata, per una fonte di acque minerali solfuro-carbonica le "acque Albule" di Bagni di Tivoli a circa 20 km da Roma. Se si considera il valore economico di questo tipo di risorse, è evidente come occorrerebbe non alterarne la qualità. L'introduzione di contaminanti chimici e microbiologici comporta ovviamente la chiusura di queste località termali. Molte sorgenti termali e minerali, già sfruttate nell'antichità, sono state oggetto di culto; presso di esse sono sorti templi, bagni pubblici, mercati che hanno lasciato resti di grande interesse storico-documentale. Al 1994 il mercato delle acque minerali era di 7,8 miliardi di l/anno con un incremento di 600 milioni di litri rispetto al 1992, con un consumo medio pro-capite di 138 l/anno ed un giro di affari di oltre 2.300 miliardi. Il settore delle acque minera-

TABELLA 6 ACQUE MINERALI OGGETTO DI IMBOTTIGLIAMENTO (CLASSIFICAZIONE SECONDO IL DL N. 105 DEL 25.1.1992, DIRETTIVA CEE 80/777)						
REGIONE	TIPOLOGIA ACQUE MINERALI					
	oligo-minerale	minerale	ricca di sali minerali	minimamente mineralizzata	non classificata	totale
PIEMONTE	15	2	1	11	2	31
LOMBARDIA	23	5		2		30
TRENTINO ALTO ADIGE	2	2		3		7
VENETO	11	2		1		14
FRIULI VENEZIA GIULIA	1					1
LIGURIA	2	2		3		7
EMILIA ROMAGNA	18	11	1			30
TOSCANA	16	7	5	2		30
UMBRIA	10	3				13
MARCHE	15	2				17
LAZIO	7	8	2			17
ABRUZZO	3	1				4
CAMPANIA	2	8	2			12
PUGLIA	1	1			1	3
BASILICATA	3	5	1			9
CALABRIA	4					4
SICILIA	6	2	1			9
SARDEGNA	10	2	1			13
ITALIA	149	63	14	22	3	251

Tabelle 7, 8 e 9

FONTE:
ISTITUTO SUPERIORE
DI SANITÀ, 1996

TABELLA 7 SORGENTI DI ACQUE MINERALI DA TAVOLA NEI PAESI UE	
PAESE	SORGENTI
BELGIO	37
DANIMARCA	2
FRANCIA	63
GERMANIA	495
GRECIA	14
INGHILTERRA	59
IRLANDA	4
ITALIA	251
LUSSEMBURGO	2
OLANDA	7
PORTOGALLO	16
SPAGNA	75
TOTALE	1.025

TABELLA 8 CLASSIFICAZIONE DELLE ACQUE MINERALI (DL 25.1.1992 N. 105)		
TIPOLOGIA ACQUE MINERALI	MOTIVAZIONE	CONTENUTO, mg/l
OLIGOMINERALI	RESIDUO FISSO	≤ 500
MINIMAMENTE MINERALIZZATE	RESIDUO FISSO	≤ 50
RICCHE DI SALI MINERALI	RESIDUO FISSO	≥ 1.500
BICARBONATICHE	BICARBONATI	> 600
SOLFATE	SOLFATI	> 200
CLORURATE	CLORURI	> 200
CALCICHE	CALCIO	> 150
MAGNESIACHE	MAGNESIO	> 50
FLUORURATE	FLUORO	> 1
FERRUGINOSE	FERRO	> 1
ACIDULE	ANIDRIDE CARBONICA	> 250
SODICHE	SODIO	> 200

TABELLA 9 LAGHI ED INVASI, UTILIZZATI O POTENZIALMENTE UTILIZZABILI A SCOPI MULTIPLI (POTABILI, IRRIGUI, ECC.)			
REGIONE	N. LAGHI	N. INVASI	TOTALE
PIEMONTE	22	53	75
VALLE D'AOSTA	52	16	68
LOMBARDIA	69	76	145
TRENTINO ALTO ADIGE	193	38	231
VENETO	14	22	36
FRIULI VENEZIA GIULIA	15	16	31
LIGURIA	1	13	14
EMILIA ROMAGNA	45	19	64
TOSCANA	9	26	35
UMBRIA	2	8	10
MARCHE	2	18	20
LAZIO	12	18	30
ABRUZZO	3	11	14
MOLISE	2	1	3
CAMPANIA	4	17	21
PUGLIA	5	2	7
BASILICATA	9	10	19
CALABRIA	1	12	13
SICILIA	8	33	41
SARDEGNA	1	54	55
ITALIA	469	463	932

li è regolato dal DL n. 105 del 25.1.1992, attuazione della direttiva CEE 80/777 che sancisce le norme di utilizzazione e commercializzazione delle acque minerali naturali. Il DM del Ministero della sanità n. 542 del 12.11.1992 reca i criteri di valutazione delle caratteristiche fisiche, chimiche e microbiologiche delle acque minerali naturali, fissando standard, per quei parametri che sono considerati nocivi per la salute umana o che sono indice di contaminazione. La Circolare ministeriale n. 17 del 13.9.1991, il DM Sanità del 13.1.1993 e la Circolare ministeriale n. 19 del 12.5.1993 forniscono indicazioni metodologiche relativamente alle analisi da compiere. Le acque minerali in base alla normativa vigente si distinguono per il loro contenuto in sali (tab. 8).

Laghi ed invasi per produzione di acqua potabile

Negli anni '90 l'Istituto superiore di sanità, ha sviluppato un programma di raccolta dati relativamente alla eutrofizzazione lacustre con particolare riguardo ai bacini naturali ed artificiali adibiti a scopo potabile o destinabili a tale uso, interessati da fioriture algali. Le informazioni raccolte non sono state omogenee su tutto il territorio. L'obiettivo di stabilire un primo livello conoscitivo della situazione italiana è stato comunque raggiunto anche se l'indagine, per la sua stessa struttura, individuava quasi esclusivamente le condizioni estreme di eutrofizzazione, quelle cioè in cui si è avuta la risposta biologica dell'esuberante proliferazione di microalghe; il censimento non fornisce quindi la dimensione complessiva del problema dell'eutrofizzazione lacustre italiana. Il risultato dell'indagine ha anche evidenziato che il ricorso alle acque di lago per l'approvvigionamento idropotabile è molto sviluppato in alcune regioni e del tutto assente in altre. Ciò è in parte attribuibile al notevole divario della disponibilità di risorse idriche sotterranee. La regione Sardegna, ad esempio, per natura geologica, ha la maggiore carenza di acque di falda; per far fronte alla crescente domanda interna, anche in funzione dell'incremento estivo della popolazione, dovuto al turismo, è stata progettata una serie di invasi pluriuso (tab. 9).

Le acque per scopo irriguo

La richiesta di acqua per scopo irriguo è pari ad oltre il 50% del fabbisogno idrico complessivo (secondo stime OCSE tale valore raggiunge quasi il 60%).

Se si tiene conto che si producono mediamente 300 litri di liquame procapite/giorno, si comprende che il reimpiego di questa acqua di scarto potrebbe coprire fino al 50% del fabbisogno di acqua necessario per l'agricoltura. Tuttavia, a parte le considerazioni chimiche, i severi standard microbiologici attualmente fissati dalla normativa in materia ne limitano le possibilità di riuso.

La potenzialità dei reflui di trasmettere malattie dipende da numerosi fattori quali ad esempio la persistenza nell'ambiente dell'agente eziologico, la dose infettante, la copertura immunitaria delle persone esposte. Il potenziale rischio legato al riuso dei reflui in agricoltura riguarda soprattutto i lavoratori dei campi e le loro famiglie, gli operatori del settore orticolo e i consumatori dei prodotti così ottenuti.

Secondo studi epidemiologici, il rischio sanitario legato al pericolo di diffusione di patogeni con il riuso dei reflui è sufficientemente limitato ed esistono una serie di processi di minimizzazione che possono abbatterlo senza incidere notevolmente sul costo della risorsa prodotta. La minimizzazione della diffusione dei rischi igienico-sanitari legati al riuso delle acque reflue depurate come risorsa seconda e per il suo impiego in agricoltura può essere raggiunta con semplici sistemi di multibarriere meglio se basate su processi fisico-meccanici (es. sedimentazione, filtrazione, stabilizzazione per stoccaggio) piuttosto che chimici (disinfezione). Il vero problema connesso con il reimpiego delle acque in agricoltura è quello pedologico. Le acque reflue, seppure ricche di nutrienti utili per le piante (composti azotati, fosfatati e sostanze organiche) hanno una composizione ionica diversa da quella richiesta dal suolo e dalle piante con la prevalenza di sodio e calcio su potassio e magnesio. È noto il pericolo che un loro uso non razionalizzato può determinare nella modificazione della permeabilità del suolo e

nell'arricchimento in cloruri delle falde superficiali; tuttavia, il tipo di irrigazione può mitigare questo effetto negativo.

Le acque sotterranee

L'infiltrazione delle acque piovane e di ruscellamento per la costituzione degli acquiferi sotterranei è resa possibile e regolata dalle caratteristiche delle rocce. In particolare essa dipende dalla permeabilità, dalla capacità di assorbimento (proprietà di una roccia di assorbire acqua fino alla sua saturazione), dalla capacità di percolazione (proprietà di cedere acqua per effetto della forza di gravità) in presenza di un substrato impermeabile che sostiene l'acquifero. La permeabilità delle rocce può essere di vario tipo: per porosità (permeabilità in piccolo), nel caso di rocce granulari come le sabbie, per fessurazione (permeabilità in grande) nel caso di rocce compatte come le lave oppure di tipo misto. Una permeabilità particolare è quella dei calcari, definita per "fessurazione e carsismo", in quanto lungo le linee di frattura ove avviene l'infiltrazione si svolgono anche fenomeni di dissoluzione dei carbonati (si veda la Scheda 4) che tendono ad ampliare il reticolo delle fratture. Rocce che non consentono l'immagazzinamento, quali le argille, vengono definite "impermeabili". All'interno di un acquifero si distinguono diverse zone (fig. 2): una zona di aerazione, non saturata attraverso la quale l'acqua percola fino a raggiungere un livello impermeabile; una di saturazione dove l'acqua comincia a risalire saturando l'acquifero, fino ad un livello definito livello piezometrico (o soltanto piezometrica). Il volume d'acqua che ha saturato la roccia viene definito falda; le falde possono essere di vario tipo:

- libere o freatiche quando hanno la propria superficie piezometrica sottoposta ovunque alla pressione atmosferica;
- confinate o in pressione sono quelle che si generano allorché acque, dotate di gradiente idraulico, circolano in un acquifero compreso fra due livelli impermeabili, in tal caso la falda viene definita "artesia" quando

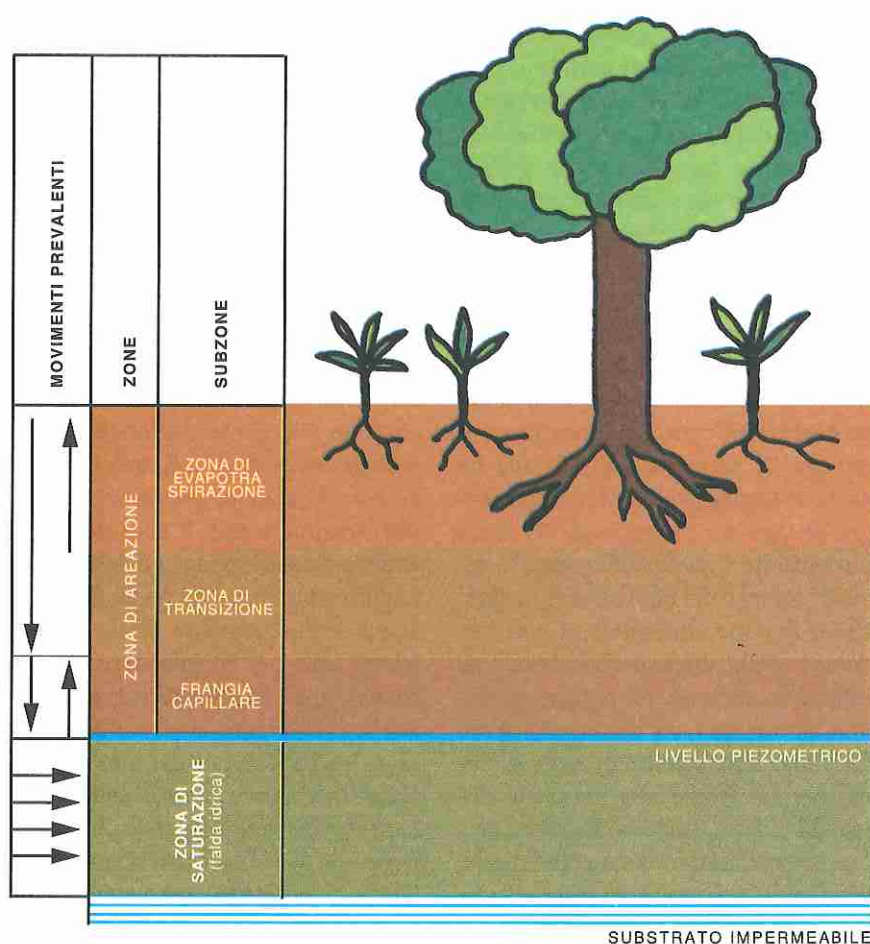
l'acqua risale al di sopra del piano di campagna. Le falde defluiscono nel sottosuolo e vengono recapitate in punti di emergenza definiti sorgenti, oppure vengono a giorno nei pozzi artificiali. Il deflusso sotterraneo non coincide necessariamente con il deflusso superficiale, pertanto non sempre c'è coincidenza fra bacino idrologico e bacino idrogeologico.

Le risorse idriche, che rappresentano in generale i volumi di acqua teoricamente disponibili, si distinguono in riserve permanenti e rinnovabili. Le riserve permanenti, definite anche geologiche e accumulate in tempi molto lunghi, rappresentano il volume di acqua che si sposta sotto l'azione della forza di gravità, posta al di sotto della piezometrica e quindi al di sotto della quota di sbocco delle sorgenti; sono quantitativi non rinnovabili, rappresentando delle potenzialità in più rispetto a quelle risultanti dal bilancio idrogeologico. Le riserve rinnovabili sono invece quel-

le legate alle piogge stagionali e alimentano una o più sorgenti. La loro portata generalmente diminuisce fino a raggiungere un valore minimo (portata di magra), nel periodo autunnale finché le acque piovane del periodo autunnale/invernale non aumentano di nuovo facendo risalire la piezometrica che assume alti valori di pendenza (gradiente idraulico), e raggiunge il suo valore massimo nel periodo tardo primaverile (portata di morbida). Da ciò se ne deduce che, pur risultando estremamente variabili, le riserve rinnovabili sono le uniche utilizzabili dall'uomo.

I tempi che intercorrono fra la caduta della pioggia, la sua infiltrazione ed il suo recapito alle sorgenti possono essere anche molto lunghi e variano a seconda del tipo di acquifero; ad esempio le piogge autunnali/invernali determinano le massime portate alle sorgenti per lo più nel tardo periodo primaverile. La perdita di qualità di una falda idrica può essere diretta-

FIGURA 2
SCHEMA
DI SUDDIVISIONE
DI UN ACQUIFERO



mente determinata dallo sversamento di sostanze inquinanti, oppure dalla diminuzione volumetrica della risorsa. In questo caso l'abbassamento della piezometrica produce indirettamente delle modificazioni ambientali; in acquiferi di pianura ad esempio forti prelievi possono determinare il richiamo di acque superficiali inquinate in acquiferi profondi non contaminati, in prossimità della costa possono indurre il richiamo di acque marine nell'acquifero, causando la salinizzazione delle falde, infine possono indurre variazioni nei rapporti idraulici fra falde sotterranee e corsi d'acqua superficiali.

L'abbassamento della piezometrica induce anche modificazioni ambientali esterne alla falda stessa: il fenomeno della subsidenza nelle aree di Venezia, Bologna, Ravenna, Milano e Ferrara e lungo le piane costiere peritirreniche a Pisa, Piombino (si veda il paragrafo "La subsidenza") ha indotto danneggiamenti in edifici storici.

Le cause generali che determinano l'inquinamento delle acque sotterranee vengono generalmente attribuite ai seguenti fattori:

- economici: gli elevati costi necessari ad uno smaltimento dei rifiuti solidi e liquidi compatibile con l'ambiente possono indurre ad uno smaltimento non controllato, anche perché gli eventuali risarcimenti imposti in sede giudiziaria comportano spesso un costo ridotto rispetto agli oneri connessi ad uno smaltimento corretto;
- tecnologici: in molti casi le tecnologie necessarie per un efficace smaltimento sono inadeguate e tuttora oggetto di ricerca e sperimentazione, inoltre hanno costi elevati;
- normativi: provvedimenti legislativi adeguati sono stati adottati soltanto in tempi recenti;
- accidentali: sovente le misure preventive nei riguardi di incidenti e quindi di riduzione della loro frequenza non sono studiate o non sono attivate; tale situazione determina la

possibilità che elevate concentrazioni di inquinanti possano essere introdotte nel sottosuolo. Le cause specifiche sono molteplici e collegate principalmente a: infiltrazione nelle falde dai corsi d'acqua superficiali, ricarica naturale degli acquiferi, utilizzo non corretto di erbicidi, insetticidi e fertilizzanti, infiltrazione di acque d'irrigazione, spandimento di fanghi, sviluppo di pozzi mal condizionati, fosse perdenti, sistemi fognari civili ed industriali, scarico di rifiuti solidi urbani, stoccaggio di minerali, ricarica degli acquiferi mediante acque di scarico, pozzi superficiali, pozzi di ricarica in acquiferi salati, stoccaggi sotterranei, scavi superficiali e sotterranei, drenaggio di acque acide, discariche di origine animale, giacimenti di idrocarburi, metanodotti, fondenti per autostrade, intrusione di acqua salata. Alcune di tali cause d'inquinamento agiscono molto lentamente e per processi di accumulo nel tempo; ad esse si aggiungono altri eventi quali la sic-

TABELLA 10 EVENTI DI INQUINAMENTO DELLE FONTI IDROPOTABILI, TIPOLOGIA DELLE SOSTANZE INQUINANTI E COMUNI INTERESSATI DAL PROBLEMA IN ITALIA NEL 1990							
REGIONE	N. COMUNI INTERESSATI	EVENTI CENSITI	TIPOLOGIA DELLA SOSTANZA INQUINANTE				TOTALE
			ORGANICO		INORGA- NICO	MICRO- BIOLOGICO	
			biodegradabile	non biodegradabile			
PIEMONTE	31	12	5	10	1		16
VALLE D'AOSTA							
LOMBARDIA	41	34	3	22	12	4	41
TRENTINO ALTO ADIGE	13	13	1	4	3	6	14
VENETO	20	11	1	9	2	1	13
FRIULI VENEZIA GIULIA							
LIGURIA	7	5	3	5	1		9
EMILIA ROMAGNA	48	21		3	17	3	23
TOSCANA	6	4		4			4
UMBRIA	7	5	1		3	4	8
MARCHE	8	7		1	5		6
LAZIO	2	2	4			2	6
ABRUZZO	48	48			10	35	45
MOLISE	11	11	7	5	8	9	29
CAMPANIA	34	33	1		15	16	32
PUGLIA	2	2				2	2
BASILICATA	1	1			1		1
CALABRIA			9				9
SICILIA	12	10			6	8	14
SARDEGNA							
TOTALE	291	219	35	63	84	90	272

FONTE: ELABORAZIONE ENEA PER IL MINISTERO DELL'AMBIENTE, 1996

cità o gli incidenti. L'emergenza idrica, al di là degli aspetti qualitativi, è anche motivata dai danni o dal progressivo invecchiamento delle reti di adduzione e di eduazione delle acque, dagli sprechi e dall'insufficienza delle reti, che sottendono concetti spesso inadeguati della gestione.

La rete di controllo delle acque sotterranee del Sistema Informativo Nazionale dell'Ambiente (SINA)

Sulla base degli obiettivi generali prefissati, il progetto di rete nazionale di controllo mira essenzialmente alla rilevazione degli aspetti quantitativi di "fondo" delle più importanti riserve idriche sotterranee nel nostro Paese, delegando alle reti regionali il controllo di dettaglio nell'ambito dei confini amministrativi. La "vista ambientale" del SINA consente sia di superare i limiti connessi a viste strettamente normative, sia di individuare attraverso l'analisi dei fattori di pressione i carichi inquinanti che gravano ed interferiscono col sistema stesso. Il funzionamento del "sistema acque sotterranee" è legato ad una serie complessa di fattori, schematicamente riassumibili nelle modalità di afflusso-deflusso-recapito, che rappresentano i criteri per la definizione di uno schema di circolazione idrica. Ciò consente di trasferire le conoscenze pregresse inerenti i bilanci idrici relativi alle strutture idrogeologiche e di mettere in relazione il regime delle portate con le caratteristiche chimico-fisiche delle acque. Nella prima stesura del progetto non sono stati considerati gli acquiferi contenenti acque minerali e/o termali che potranno essere in seguito inseriti nella rete SINA. La selezione degli acquiferi è stata effettuata utilizzando come supporto cartografico di sintesi la carta idrogeologica d'Italia alla scala 1:500.000, edita dalla CEE/CMP (1983), in quanto rappresenta l'unica cartografia a tale scala attualmente disponibile per l'intero territorio nazionale.

La situazione di sintesi del degrado qualitativo delle acque sotterranee

In una sintesi del 1990, curata da gruppi di lavoro operanti nell'ambito del "Gruppo Nazionale per la Difesa

dalle Catastrofi Idrogeologiche" (GNDCI), sono stati rilevati oltre 219 casi di inquinamento di acque destinate al consumo umano, che hanno interessato direttamente il territorio di 291 comuni italiani (tab.10). Il 45% degli eventi censiti è localizzato nelle regioni dell'Italia settentrionale, ove è concentrato l'80% dei casi di inquinamento industriale, il 35% nell'Italia centrale ed il 20% nell'Italia meridionale e nelle isole.

L'origine dell'inquinamento è prevalentemente di tipo industriale, civile ed agricolo e, in minor misura deriva da attività zootecniche, discariche di rifiuti e da sovrasfruttamento delle falde. I fattori microbiologici rappresentano le cause più comuni d'inquinamento (33%), nelle regioni centrali e meridionali; a questi seguono le sostanze inorganiche rappresentate da nitrati e cloruri (30%) soprattutto nelle regioni settentrionali e centrali; i metalli pesanti, in particolar modo il cromo, sono presenti per lo più nelle zone fortemente industrializzate del nord, ove si associano le sostanze organiche di chiara origine industriale, come i solventi clorurati ed in modo nettamente subordinato quelli organici aromatici. Fra i solventi, utilizzati nello sgrassaggio e pulitura dei metalli e dei tessuti e nella produzione di pesticidi, vernici e plastiche, il tricloroetilene è il più frequente in associazione con il cloroformio ed il tetracloruro di carbonio. Tra gli erbicidi, rinvenuti soprattutto in Lombardia, Piemonte e Campania, il più frequente è l'atrazina, talora in associazione con la simazina. Netamente inferiori sono i casi di inquinamento legati a sostanze organiche degradabili e ad aspetti fisici spesso connessi a fonti di natura civile o zootecnica. I corpi idrici inquinati, relazionabili ad acquiferi di pianura e/o collinari, sfruttabili mediante pozzi, sono generalmente posti a profondità ridotte (minore di 10 m) e medie (circa 30 m).

Lo stato degli acquiferi ed i fenomeni indotti

La subsidenza

Col termine subsidenza s'intende un movimento di abbassamento della superficie del terreno, per lo più lento, causato da fattori naturali o antropici.

SCHEDA 4 IL CARSIISMO IN ITALIA

Il 18% del territorio italiano è costituito da rocce carbonatiche (calcari, travertini e dolomie) ed in misura minore evaporitiche (gesso ed anidridi) sulle quali l'acqua esercita l'azione della corrosione chimica e dell'erosione meccanica, originando morfologie superficiali e sotterranee, nonché una particolare circolazione dell'acqua, che prendono il nome di fenomeno carsico.

In superficie la modellazione del territorio porta alla formazione di depressioni ed incisioni più o meno ampie (i campi solcati, le doline, i polje e le forre) e nel sottosuolo alla formazione delle grotte.

Le aree carsiche interessano il 43% del territorio montano della penisola, originando oltre 25.000 grotte, ciascuna delle quali costituisce un ecosistema (tab. 1). Lo sviluppo spaziale di queste cavità varia da pochi metri a diverse decine di chilometri, mentre la profondità in molte raggiunge il migliaio di metri (tab. 2). Queste aperture nella crosta terrestre, sono popolate al loro interno da diverse specie animali e vegetali tanto da rappresentare una nicchia ecologica indipendente rispetto all'ambiente esterno sovrastante.

Proprio per questo l'ecosistema grotta, altamente specializzato, presenta un'alta vulnerabilità, tanto da poter rappresentare un vero e proprio indicatore sullo stato e sulla qualità dell'ambiente. In Italia le maggiori aree carsiche sono localizzate, oltre che nella regione classica del Carso nella Venezia Giulia, nelle Alpi e Prealpi Venete, nelle Alpi Apuane, nell'Appennino Umbro-Marchigiano, nell'Appennino Centrale e Meridionale, nel Gargano, nelle Murge, nella penisola salentina, in Sicilia nei Monti Iblei e Peloritani ed in Sardegna nella zona del Golfo di Orosei.

Lo sviluppo del fenomeno carsico è legato all'acqua che, arricchita di anidride carbonica o di altre sostanze aggressive, penetra in profondità solubilizzando in parte le rocce calcaree e mettendo in soluzione il bicarbonato di calcio ed allargando quindi le fessure. Il processo opposto di deposizione chimica avviene quando l'acqua rilascia il suo carico di carbonato di calcio, dando luogo a forme di concrezionamento minerale (calcite), con caratteristiche morfologie che vanno sotto il nome di stalattiti e stalagmiti. Il fenomeno carsico può aver luogo anche su rocce particolarmente solubili all'acqua come i gessi o le rocce evaporitiche dando luogo alla formazione di grotte con sviluppo significativo come quelle della "Vena del gesso" nei pressi di Bologna, nel crotonese in Calabria e in tutta la Sicilia occidentale. Il paesaggio carsico superficiale è caratterizzato da alcune forme particolari che lo contraddistinguono dagli altri morfotipi presenti su un determinato territorio.

Tali forme hanno una scala diversa e vanno sotto il nome di doline, valli chiuse, campi solcati, forre ecc.. Le doline costituiscono senza dubbio uno degli elementi caratteristici del carso superficiale, quasi da costituirne il simbolo. Si originano per l'azione solvente delle acque che confluiscono verso un punto centrale della depressione, la quale smaltisce tutte le acque di assorbimento. Le conche carsiche o polje sono forme carsiche molto grandi che interessano diversi kmq di terreno. La loro genesi è legata a fattori tettonico-strutturali regionali, sui quali solo successivamente si è imposta una morfologia e circolazione idrica di tipo carsico.

Su queste depressioni chiuse il drenaggio avviene spesso attraverso una rete idrografica superficiale che concentra le acque nel sottosuolo all'interno di inghiottitoi carsici. La grotta è l'elemento caratterizzante il mondo sotterraneo; essa è costituita da una serie di vani o gallerie di dimensioni variabili dal metro alle centinaia di metri.

Alle gallerie orizzontali si contrappongono i pozzi, passaggi verticali che in taluni casi superano le centinaia di metri di profondità. La grotta non è costituita dalla sola roccia incassante, più spesso infatti le gallerie sono riempite da detriti e massi crollati dalle pareti e dalla volta, oppure da sedimenti trasportati all'interno dai corsi d'acqua. La maggioranza delle grotte turistiche puntano soprattutto sulle bellezze delle stalattiti e delle stalagmiti come ad esempio la Grotta Grande del Vento a Frasassi (AN), le Grotte di Castellana (BA), la Grotta Gigante nel Carso (TS), la Grotta del Vento a Fornovolasco (LU), la Grotta di Nettuno in Sardegna (CA). Tali concrezionamenti, unici ed irripetibili, hanno velocità di formazione di

TABELLA 1 DISTRIBUZIONE REGIONALE DEL CARISMO E DELLE GROTTE CONOSCIUTE IN ITALIA, ANNO 1993						
REGIONE	TOTALE	MONTUOSA	AREA, kmq		N. GROTTE CONOSCIUTE	
			v.a.	CARSICA		
				% sul totale	% su montuosa	
PIEMONTE	25.400	10.986	2.000	7,9	18,2	1.100
VALLE D'AOSTA	3.264	3.262	500	15,3	15,3	50
LOMBARDIA	23.859	9.672	3.800	15,9	39,3	2.500
TRENTINO ALTO ADIGE	13.607	13.618	3.800	27,9	27,9	1.250
VENETO	18.365	5.349	3.800	20,7	71,0	4.800
FRIULI VENEZIA GIULIA	7.844	3.340	1.900	24,2	56,9	5.344
LIGURIA	5.418	3.525	800	14,8	22,7	1.250
EMILIA ROMAGNA	22.124	5.992	200	0,9	3,3	650
TOSCANA	22.993	5.770	2.000	8,7	34,7	1.410
UMBRIA	8.456	7.736	2.700	31,9	34,9	856
MARCHE	9.694	3.021	1.900	19,6	62,9	550
LAZIO	17.227	4.507	4.100	23,8	91,0	1.100
ABRUZZO	10.794	7.026	3.400	31,5	48,4	250
MOLISE	4.438	2.455	650	14,6	26,5	80
CAMPANIA	13.595	4.697	3.600	26,5	76,6	1.100
PUGLIA	19.357	9450	9.400	48,6	99,5	1.380
BASILICATA	9.992	4.679	450	4,5	9,6	130
CALABRIA	15.080	6.308	1.600	10,6	25,4	180
SICILIA	25.707	6.286	5.300	20,6	84,3	450
SARDEGNA	24.090	3.286	1.500	6,2	45,6	1.250
TOTALE	301.304	120.965	53.400	17,7	44,1	25.655

TABELLA 2 LUNGHEZZA E PROFONDITÀ DELLE MAGGIORI GROTTA ITALIANE				
REGIONE (ZONA)	LOCALIZZAZIONE	LUNGHEZZA, m	PROFONDITÀ, m	
TOSCANA (ALPI APUANE)	MONTA CORCHIA - GROTTA DEL VENTO	50.000	1.208	
PIEMONTE (MARGUAREIS)	SISTEMA DI PIAGGIA BELLA	33.000	924	
UMBRIA (APPENNINO UMBRO)	GROTTA DI MONTA CUCCO	31.300	945	
SARDEGNA (CALA GONONE)	GROTTA DEL BUE MARINO	26.500	106	
VENETO (MALO)	BUSO DELLA RANA	24.000	225	
MARCHE (FRASASSI)	GROTTA DEL VENTO - GROTTA DEL FIUME	21.000	215	
TRENTINO ALTO ADIGE (VALSUGANA)	GROTTA DELLA BIGONDA	17.500	60	
FRIULI VENEZIA GIULIA (MONTA CANIN)	COMPLESSO DEL COL DELLE ERBE	14.000	943	
TOSCANA (ALPI APUANE)	ABISSO ULIVIFER	6.000	1.215	
VENETO (ALTOPIANO DI ASIAGO)	ABISSO DI MALGA FOSSETTA	2.600	1.048	
LOMBARDIA (LE GRIGNE)	ABISSO W LE DONNE	3.560	1.155	
MOLISE (MATESE)	POZZO DELLA NEVE	5.000	1.050	
TOSCANA (ALPI APUANE)	ABISSO DELLO GNOMO	4.400	915	
TOSCANA (MONTA TAMBURA)	SISTEMA PINELLI -PIANONE	4.000	970	
PIEMONTE (MARGUAREIS)	GROTTA LABASSA	13.000	545	
VENETO (MONTA LESSINI)	SPLUGA DELLA PRETA	3.900	875	
TOSCANA (ALPI APUANE)	ABISSO SARAGATO	2.500	960	
TRENTINO ALTO ADIGE	ABISSO PIANI ETERNI	3.700	930	
MOLISE (MATESE)	ABISSO CUL DI BOVE	4.200	906	

TABELLA 3 PRINCIPALI SORGENTI CARISICHE CAPTATE E LORO PORTATA		
REGIONE - LOCALITÀ (PROVINCIA)	SORGENTE	PORTATA MEDIA, mc/sec
LAZIO - MONTA NURIA (RIETI)	PESCHIERA	18
LAZIO - MONTA CAIRO (FROSINONE)	GARI	18
LAZIO - VAL ROVETO (FROSINONE)	FIBRENO	10
CAMPANIA - MASSICCIO DEL MATESE (CASERTA)	TORANO E MORETTO	8
ABRUZZO - MONTA SIRENTE (L'AQUILA)	CAPO PESCARA	7
MOLISE - MAINARDE (ISERNIA)	CAPO VOLTURNO	6
LAZIO - MONTA LEPINI	SERMONETA	6
LAZIO - MONTA SIMBRUINI	AGOSTA	5
CAMPANIA - MONTA CERVIALTO	CAPO SELE	4
PIEMONTE - MASSICCIO DI MARGUAREIS (CUNEO)	MONREGALESE	2
PUGLIA - PENISOLA SALENTINA	CHILDRO	2

poco inferiore al mm/anno e conservano tutte le informazioni storiche riguardanti l'acqua che le ha formate, il suolo attraversato, la storia tettonica della regione. Anche l'azione erosiva dell'acqua corrente può dar luogo alla formazione di forme particolari come cascate, marmitte dei giganti, laghi sotterranei ecc. In Italia sono oltre 50 le grotte utilizzate per scopi turistici; in questo numero rientrano quelle grotte che presentano una struttura tale da permettere un facile accesso e percorrenza. La prima grotta turistica ad essere attrezzata in Italia nel 1832 fu la Grotta Parolini, situata a circa 34 km a nord-est di Vicenza, cui successivamente fecero seguito altre che, attualmente, raccolgono un flusso turistico pari a circa 1.000.000 di visitatori all'anno.

Le ragioni per le quali una cavità sotterranea viene attrezzata per un visita turistica vanno ricercate nelle caratteristiche paesaggistiche dell'ambiente sotterraneo, ricco in particolare di concrezionamenti e mineralizzazioni o di ambienti suggestivi come ad esempio un corso d'acqua.

Nel caso del mondo sotterraneo carsico, che presenta unicità difficilmente inseribili in una schematizzazione classica, avendo una scarsa capacità di reazione alle modificazioni ambientali, l'apertura al pubblico di una grotta comporta necessariamente delle alterazioni all'ecosistema sotterraneo. La realizzazione di camminamenti e passerelle in cemento, l'apertura di gallerie artificiali sono interventi certamente irreversibili. L'entità e la reversibilità di alterazioni sul clima e sull'ecosistema grotta è difficilmente quantizzabile anche se attraverso la misura di alcuni parametri ambientali come la temperatura dell'aria e dell'acqua, l'umidità e la concentrazione di anidride carbonica è possibile verificare lo stato dell'ambiente ipogeo.

Oggi in tutte le grotte turistiche italiane non è possibile verificare l'impatto antropico soprattutto per la mancanza di una serie storica di dati. Attualmente i sistemi di monitoraggio ambientale sono installati solo nelle due maggiori grotte turistiche italiane: la Grotta Grande del Vento a Frasassi e la Grotta di Castellana che richiamano rispettivamente 350.000 e 300.000 visitatori annui circa.

Nel caso della Grotta di Castellana dove è stato registrato un progressivo riscaldamento di 3°C degli ambienti ipogei negli ultimi 20 anni, c'è da rilevare lo sviluppo e

proliferazione di alghe sulle concrezioni in prossimità delle lampade per l'illuminazione. La Grotta Grande del Vento a Frasassi per le sue dimensioni, morfologia e localizzazione riesce invece a ripristinare per gran parte dell'anno le sue condizioni naturali. L'acqua si muove nel sottosuolo attraverso una rete, detta appunto carsica, costituita da condotti e gallerie più o meno ampie e con velocità di deflusso di qualche metro/ora; l'organizzazione del sistema di drenaggio è tale che le acque vengono immediatamente assorbite nel sottosuolo e convogliate, attraverso una serie di fratture e grotte di varie dimensioni, verso la zona di risorgenza. Una delle caratteristiche degli acquiferi carsici è la rapidità del deflusso che implica uno scarso potere autodepurante del sistema e quindi una notevole vulnerabilità all'inquinamento. Gli inghiottitoi, concentrando gli afflussi nel sottosuolo, costituiscono dal punto di vista ambientale, le zone più sensibili in quanto raccordano direttamente la superficie al sottosuolo.

La presenza nella zona di assorbimento carsico di attività inquinanti rappresenta un sicuro trasferimento di questo carico alla zona di risorgenza senza nessuna possibilità di autodepurazione da parte del suolo e del sottosuolo.

Gli acquiferi carsici rivestono una notevole importanza sociale ed economica in quanto gran parte dell'approvvigionamento idrico delle città dell'Italia centrale avviene per captazione di acquiferi carsici o carbonatici, come è il caso di Roma con l'acquedotto del Peschiera (tab. 3). Risulta quindi chiara l'importanza non solo dal punto di vista ecologico, ma anche socio-economico di sistemi carsici facenti parte di una rete di drenaggio che alimentano sorgenti captate da acquedotti.

Esiste una proposta di legge quadro sull'attività speleologica in Italia, presentata nelle due precedenti legislature, mentre solo otto regioni (Abruzzo, Emilia Romagna, Friuli Venezia Giulia, Liguria, Toscana, Umbria e Veneto) hanno promulgato delle leggi regionali per la regolamentazione dell'attività speleologica e prevedono interventi per la salvaguardia, la conoscenza e lo studio delle aree carsiche e delle grotte. In particolare nel Veneto è stata istituita l'unica riserva naturale speleologica in Italia (Decreto del Ministero dell'ambiente n. 296 del 16.6.1987): il Bus della Geneziana nell'Altopiano del Cansiglio.

SCHEDA 5

GLI ACQUIFERI
DELLA REGIONE UMBRIA

Nella regione Umbria le risorse idriche sotterranee più consistenti sono legate alla presenza di due grandi e differenziati sistemi acquiferi: il primo è costituito dalle rocce carbonatiche che interessano tutto l'Appennino Umbro-Marchigiano e le dorsali dei Monti Martani e dei Monti di Narni-Amelia per una superficie complessiva pari ad un quarto di quella regionale, il secondo è rappresentato dagli acquiferi alluvionali (Valle Umbra, Conca Ternana, Conca Eugubina, Alta e Media Valle del Tevere) per una superficie totale di circa 800 kmq, pari a 1/10 di quella regionale.

Gli acquiferi carbonatici sono prevalentemente utilizzati per uso idroelettrico attraverso lo sfruttamento delle grandi sorgenti lineari lungo il corso del fiume Nera, del Menotre e di altri corsi minori, e per uso civile tramite numerose sorgenti appenniniche captate che alimentano importanti acquedotti per circa 1/3 dell'intero fabbisogno idropotabile regionale. Sulla base delle caratteristiche geologiche e strutturali gli affioramenti carbonatici sono stati suddivisi in sette strutture idrogeologiche ben definite:

- sistema Valnerina;
- sistema dell'Umbria nord orientale (da Spoleto a Scheggia);
- sistema dei Monti Martani;
- sistema dei Monti di Amelia;
- unità del Monte Subasio;
- unità dei Massicci Perugini;
- unità dei Monti di Gubbio.

Per la definizione della qualità delle risorse idriche delle strutture calcaree sono state effettuate varie analisi e attraverso una classificazione si sono definite la tipologia degli acquiferi e le modalità di circolazione:

- due idrotipi si possono definire "bicarbonato-calcico" con un tenore diverso di salinità, uno basso e l'altro medio, che sostanzialmente differenzia i due tipi di acque a seconda di tempi e modalità di circolazione; molte sorgenti appartenenti a questi due idrotipi sono utilizzate per scopo idropotabile;
- un idrotipo bicarbonato-solfato-calcico a media salinità legato a circolazione profonda con arricchimento in solfati a causa delle interazioni con rocce triasiche ricche in solfati;
- un idrotipo solfato-clorurato-alcantino, rappresentato da poche emergenze di una circolazione sotterranea molto profonda con tempi di permanenza più lunghi, ha caratteristiche chimico-fisiche incompatibili con una destinazione ad uso potabile nonostante le ingenti portate delle sorgenti (Stifone ad esempio ha una portata di 13 mc/sec).

Le acque derivanti da questi massicci carbonatici, utilizzate a scopi potabili, sono di qualità generalmente buona e non presentano grandi potenziali rischi di inquinamento in quanto i loro serbatoi di alimentazione sono situati in aree ove la pressione antropica è decisamente scarsa.

Gli acquiferi dei sistemi alluvionali sono prevalentemente sfruttati per uso civile, industriale ed irriguo.

Dalle pianure della regione Umbria vengono emunti, nei periodi di maggiore consumo, circa 14 mc d'acqua al secondo, di cui circa un 20% ad uso civile. Di seguito si descrivono alcune caratteristiche idrogeologiche ed idrogeochimiche dei principali sistemi acquiferi alluvionali considerati strategici per l'approvvigionamento idrico regionale e dove per la loro vulnerabilità all'inquinamento sono stati eseguiti numerosi controlli qualitativi e quantitativi.

Alta e Media Valle del Tevere

Nella zona settentrionale della regione, da San Sepolcro a Città di Castello si estende un consistente acquifero alluvionale con spessori notevoli che raggiunge anche i 150 metri con una intensa circolazione di acque, come tra l'altro riscontrato in numerosi pozzi utilizzati per uso idropotabile ed irriguo. L'acquifero è localizzato nei depositi alluvionali del fiume Tevere che contengono abbondanti

intercalazioni sabbioso-ghiaiose molto produttive. Sull'acquifero in oggetto sono stati effettuati diversi campionamenti chimici attraverso una rete di controllo di circa 100 punti d'acqua che hanno messo in evidenza:

- l'appartenenza qualitativa ad un'unica famiglia, bicarbonato alcalino, indicativa di una circolazione su terreni analoghi per composizione;
- interazione delle acque sotterranee con le acque del fiume Tevere in tutta una fascia ad esso prospiciente, anche se non sempre coincidente con l'attuale alveo;
- arricchimento salino naturale della falda nelle zone marginali della piana, situazioni più ristrette ed idrogeologicamente meno significative in cui cambia la composizione territoriale e litologica dei terreni (sono indicative le presenze di ferro e di ammoniaca);
- aumenti graduali in sali nel settore meridionale dell'area dove non si rilevano gli apporti del fiume Tevere, essi si evidenziano molto bene nella distribuzione dei nitrati: minori lungo le fasce di maggior scambio e a concentrazioni maggiori, ma comunque contenute, sulle altre aree dell'acquifero. Pochi pozzi in cui sono rilevate concentrazioni di nitriti ed ammoniaca di origine non naturale e comunque sempre al di sotto del limite di potabilità.

Nel settore tra Città di Castello e Todi le caratteristiche delle formazioni alluvionali decadono notevolmente, sia in termini di spessori che di livelli di produttività, con conseguenti riflessi negativi anche sulla qualità delle acque. Queste presentano spesso salinità piuttosto elevate e concentrazioni di alcuni parametri (ferro-ammoniaca e spesso anche nitrati) al limite delle condizioni di potabilità e qualche volta anche superiori.

In questo settore la depressione tiberina è stata colmata da depositi lacustri villafranchiani prevalentemente sabbioso-limosi e argillosi e le alluvioni recenti sono di ridotta entità. L'interscambio tra falda e fiume condiziona quindi la qualità delle acque.

Conca Eugubina

Si sviluppa parallelamente agli allineamenti dei rilievi calcarei appenninici. I terreni che costituiscono la depressione valliva sono rappresentati da depositi del ciclo lacustre del Villafranchiano e da terreni alluvionali recenti anche se di ridotta entità.

I parametri idraulici misurati su pozzi effettuati per uso civile mostrano buoni valori di trasmissività per quelle opere che intercettano i livelli calcarei più profondi, valori più scadenti su quelle più superficiali anche a causa di una matrice limosa nei detriti e nelle ghiaie. A livello chimico risulta diffusa l'ammoniaca, anche se nei limiti di legge, proveniente dai terreni fluvio-lacustri ricchi in materia organica e dove si è instaurato un sistema riducente. Nei livelli freatici più superficiali le acque presentano arricchimenti in nitrati a causa della notevole pressione antropica di tipo civile ed agricolo.

Valle Umbra

Rappresenta l'acquifero alluvionale più consistente da dove viene captato circa 1/4 dell'intero fabbisogno potabile regionale. Possono essere descritti sinteticamente tre settori con diverse caratteristiche idrogeologiche. Nel primo settore situato a nord della linea Ospedalicchio-Bastia è stata riscontrata una potente formazione alluvionale a prevalente componente clastica grossolana, su cui è tra l'altro ubicato il campo pozzi di Petrignano di Assisi. Il secondo settore, compreso tra Bastia e Foligno è caratterizzato dalla presenza di falde artesiane protette superficialmente. Il terzo settore, compreso tra Foligno e Spoleto, presenta caratteristiche idrogeologiche abbastanza buone grazie alle alimentazioni provenienti dai calcari situati ad est dell'acquifero. L'elaborazione della notevole mole di dati chimici raccolti sull'intero acquifero ha permesso di distinguere due idrotipi principali a chimismo bicarbonato alcalino-terroso e bicarbonato-alcalino. La distribuzione areale degli idrotipi e delle loro caratteristiche chimiche corrisponde a situazioni idrogeologiche chiare che si ricollegano alla distribuzione dei corpi acquiferi principali e alle due vaste aree limo-argillose scarsamente permeabili. Preoccupante la concentrazione di

nitrati presente nella zona a nord della valle dove l'acquifero risente della depressione indotta dal campo pozzi di Petrignano.

Nell'acquifero confinato di Cannara si riscontra la presenza di ammoniaca, ferro e manganese. Il campo pozzi che capta circa 250 l/sec si è dotato di un sistema per il trattamento delle acque. Nella zona centro-meridionale l'apporto laterale delle formazioni carbonatiche opera un'azione di diluizione degli eventuali inquinanti.

Conca Ternana

Nella Conca Ternana si riscontrano due situazioni idrogeologiche: la prima è legata ai depositi alluvionali del fiume Nera con buone caratteristiche quantitative, visto anche il contributo che il fiume scambia con la falda; la seconda è legata ai depositi detritici e di travertino presenti nella fascia pedemontana a ridosso dei Monti Martani, con caratteristiche quantitative minori della precedente. Il quadro chimico che emerge da una serie di indagini condotte in tutta la Conca con campionamenti ripetuti di circa 100 punti d'acqua, può essere così riassunto:

- un settore alluvionale caratterizzato dalla presenza di acque di tipo bicarbonato alcalino terroso che in funzione dei rapporti tra le specie ioniche può essere suddiviso in due sottogruppi in funzione del grado di interazione tra le acque di falda e quelle del fiume Nera;
- un settore detritico pedemontano che comprende anche i depositi travertinosi, caratterizzato da chimismo bicarbonato calcico a bassa salinità;
- le aree di affioramento del complesso sabbioso-argilloso villafranchiano caratterizzate da acque a chimismo variabile tra bicarbonato alcalino terroso e solfato alcalino terroso, con elevata salinità.

I nitrati sono presenti nella piana alluvionale, in genere in autunno, probabilmente in relazione alle piogge che mobilitano e portano in falda i fertilizzanti presenti nel terreno. Sono anche presenti in quantità superiore ai limiti dei valori di potabilità nelle falde presenti nel Villafranchiano. A causa dell'elevata pressione antropica di tipo industriale e civile e lo scarso grado di protezione le condizioni dell'acquifero alluvionale sono di elevata vulnerabilità, anche se gli apporti del fiume Nera riescono in genere e localmente a svolgere una funzione di diluizione dei parametri inquinanti.

Nella regione Umbria sono presenti un migliaio di acquedotti e le opere di prelievo che servono gli acquedotti sono circa 1.500; le disponibilità idriche utilizzate ammontano a circa 3.600 l/sec, di cui 1/3 da sorgenti e 2/3 da pozzi.

La qualità delle acque emunte risulta essere buona per l'85%, mentre un 15%, pari a 550 l/sec, presenta uno o più aspetti negativi dal punto di vista chimico-fisico e/o batteriologico.

Un terzo dei comuni denuncia un'eccessiva durezza o elevato tenore in sali su quota parte della risorsa disponibile, o un odore o sapore sgradevole, o presenza di sabbia o altri materiali in sospensione. Dal punto di vista dell'inquinamento 12 comuni denunciano al prelievo, sempre per una quota parte della risorsa disponibile, inquinamenti permanenti di natura chimica, mentre quelli permanenti di natura batteriologica sono presenti in 14 comuni.

Infine 29 comuni denunciano un inquinamento saltuario di carattere batteriologico. Le risorse che maggiormente risentono degli inquinamenti citati sono quelle che appartengono agli acquiferi meno consistenti nella Media Valle del Tevere, dei terreni flyschoidi e dei depositi fluvio-lacustri del Villafranchiano.

NOTE:

[1] meq/l =
milliequivalenti per litro.

[2] MPN/100 ml =
Most Probable Number,
n. di coliformi presenti
in 100 ml di acqua.

pici. Fra i primi si ricordano i sismi, i bradisismi, i fenomeni vulcanici, l'erosione o il collasso di cavità sotterranee e la naturale compattazione di sedimenti recenti. Fra i fattori legati alle attività umane, rivestono particolare importanza l'estrazione dal sottosuolo di liquidi (ad esempio acqua e idrocarburi), di gas e di sostanze solide (coltivazione di miniere, estrazione di materiali da costruzione, realizzazione di gallerie), lo sfruttamento di energia geotermica e l'abbassamento della falda idrica più superficiale per opere di bonifica. Quest'ultimo tipo di subsidenza è forse meno studiato degli altri, ma non per questo è meno importante dati i suoi rilevanti effetti. In alcune zone gli abbassamenti del suolo hanno raggiunto valori enormi. In Italia è diffusa la compattazione del suolo per drenaggio; numerose sono infatti le piane costiere come la Pianura Pontina, quella del Sele e quella di Massaciuccoli che mostrano problemi di subsidenza. Uno dei primi casi registrati di subsidenza, causata da estrazione di acque dal sottosuolo e il più grave per dimensioni, è quello del delta del Po. Alcuni studiosi ritengono che, a partire dal periodo postbellico, l'estrazione delle acque metanifere determinò l'abbassamento degli argini del Po che non furono più in grado di contenere le piene allorché il fenomeno raggiunse dimensioni notevoli. Nel 1957 infatti si verificò la rotta dell'argine sinistro del Po di Gorro. A questi fenomeni si associarono anche effetti sui centri abitati fra cui Venezia è il caso più noto. Anche Ravenna è stata interessata da vistosi fenomeni di subsidenza: qui il fenomeno ha raggiunto la fase più critica nei primi anni '70 con valori massimi che hanno superato largamente il metro ed è tuttora in atto, anche se di intensità attenuata. Tali eventi hanno recato danni alle infrastrutture urbane costituendo una minaccia per l'integrità di monumenti importanti ed influito sugli impianti industriali e portuali con una serie di ripercussioni sull'equilibrio del litorale.

Numerose sono le altre località italiane ove si sono prodotti fenomeni di subsidenza indotta da sovrasfruttamento delle falde; i casi più noti so-

no quelli di Modena, Milano, Pisa e Bologna, in quest'ultima l'abbassamento del territorio raggiunge valori massimi superiori al metro.

A Modena la subsidenza è iniziata attorno agli anni Cinquanta con valori di abbassamento pari ad 80 cm in 30 anni e con danni a numerosi edifici storici. A Milano sono stati osservati cedimenti differenziali nell'abside del Duomo e dei piloni del Tiburio. Infine a Pisa, la subsidenza differenziale della piazza dei Miracoli ha accentuato l'inclinazione della Torre. La chiusura dei pozzi che servivano all'approvvigionamento idrico della città non è stata sufficiente ad arrestare il fenomeno mentre c'è da augurarsi che i recenti interventi abbiano definitivamente risolto il problema.

La salinizzazione delle falde nelle aree costiere

Lungo le aree costiere è stata registrata l'intrusione di acqua marina in acquiferi di differente natura in relazione a forti emungimenti, e quindi ad un uso non sostenibile della risorsa; basti pensare che nella Penisola salentina è stata calcolata una densità di pozzi pari a 3/kmq. Questo fenomeno è abbastanza diffuso ed in alcuni casi preoccupante in quanto interessa aree che si estendono verso l'entroterra per 4-5 km a partire dalla costa e dove la concentrazione salina raggiunge valori di 60 meq/l [1] (piana di Palermo). Casi di questo genere sono noti da tempo e sono stati segnalati un pò ovunque sul territorio nazionale prevalentemente in studi di tipo scientifico. Le aree costiere ove tali fenomenologie sono state riscontrate con condizioni di criticità, sono la pianura pisana, la pianura di Cecina, la pianura di Piombino, la pianura foggiana, la penisola salentina, la piana di Catania e l'acquifero Ibleo, la piana di Palermo, la piana di Carini e le piane costiere dell'Alto Adriatico (Rimini, Pesaro, ecc.).

I fenomeni più diffusi di inquinamento

L'inquinamento da nitrati è il più diffuso ed interessa prevalentemente le falde più superficiali (piana campana e penisola salentina) o le falde contenute negli acquiferi alluvionali

(fiumi Esino, Musone e Potenza nelle Marche) con valori che superano in alcuni casi 50 mg/l e rappresentano il limite di legge per le acque potabili (piana campana). In alcuni casi sono stati riscontrati nelle acque di falda anche elevate contaminazioni da coliformi fecali come nel caso della penisola salentina dove raggiungono anche valori superiori a 100 MPN/100 ml [2].

Un recente studio condotto sul Bacino padano dall'Istituto di Ricerca sulle acque del CNR con il Servizio geologico nazionale e docenti dell'Università di Modena, consente di disegnare un quadro generale di questo ampio tratto del territorio nazionale sufficientemente allarmante per la numerosità e la diffusione areale dei fenomeni di inquinamento (si veda la Scheda 6).

I depositi che colmano la pianura padana sono sede di un complesso ed importante acquifero che raggiunge spessori compresi fra 50 e 700 m, con uno spessore medio di circa 300 m. A scala regionale l'acquifero può essere definito un corpo idrogeologico unitario ("monostrato"), anche se nelle porzioni centrali della pianura e presso la costa esso appare nettamente suddiviso in più strati; ai piedi degli Appennini e delle Alpi, ghiaie e sabbie formano uno strato indifferenziato, di sovente senza copertura, a bassa permeabilità ospitante una falda libera. Verso valle si divide in più strati ("monostrato compartimentato") ed è caratterizzato quasi ovunque da una falda in pressione, che ha caratteri artesiani nella parte centrale della pianura ed in quella costiera. Nella zona costiera ed in mare fino a 90 km dalla riva una copertura argillosa molto sviluppata protegge la falda profonda dall'intrusione marina.

L'alimentazione dell'acquifero padano avviene principalmente per infiltrazione diretta delle acque meteoriche che corrispondono a 3 miliardi di mc, per alimentazione da parte dei corsi d'acqua superficiali, 2,5 miliardi di mc, per alimentazione da parte degli acquiferi ubicati nelle Alpi e negli Appennini per circa 2 miliardi di mc ed infine per infiltrazione delle acque d'irrigazione pari a circa 7 miliardi di mc/anno. I deflussi avvengo-

SCHEDA 6

VULNERABILITÀ NATURALE E RISCHIO DI INQUINAMENTO DEL BACINO PADANO

L'Istituto di Ricerca Sulle Acque del CNR ed il Servizio geologico nazionale hanno promosso e realizzato una ricerca sulla vulnerabilità naturale e sul rischio di inquinamento delle acque sotterranee nella pianura padana, veneta e friulana, finalizzata alla realizzazione di cartografie tematiche da utilizzare a scala regionale ed a livello di bacino idrografico per una corretta gestione e tutela delle risorse idriche. All'indagine, avviata nel 1990, partecipano il Dipartimento di scienze dell'ambiente e del territorio dell'Università di Milano, il Centro di studio per la geodinamica alpina e quaternaria del CNR di Milano, il Politecnico di Torino e quello di Milano, l'Università degli studi ed il Presidio multizonale di prevenzione di Modena, l'Istituto poligrafico e zecca dello Stato. Nell'area oggetto di studio (45.000 kmq) insiste una elevata concentrazione di attività civili, industriali, zootecniche ed agricole che, in relazione alle modalità di occupazione e di uso del suolo ed allo smaltimento dei rifiuti solidi e liquidi rappresentano un rilevante potenziale di contaminazione delle risorse idriche sotterranee. Il sistema acquifero della pianura padana, veneta e friulana rappresenta la principale fonte di approvvigionamento idropotabile per le comunità insediate e viene utilizzato in modo rilevante anche per l'agricoltura e per l'industria. I risultati della ricerca sono rappresentati da cartografie tematiche informatizzate alla scala 1:500.000 e 1:1.000.000 dell'area oggetto di studio; essi riguardano le caratteristiche idrogeologiche, le tessiture dei depositi superficiali, la infiltrabilità, l'uso reale del suolo, la vulnerabilità naturale all'inquinamento, le pressioni antropiche (urbane, industriali, agricole e zootecniche) ed i carichi inquinanti potenziali e l'inquinamento delle acque sotterranee.

Figura 3



FONTE: IRSA,
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI MODENA, 1993

Figura 4



FONTE: IRSA,
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI MODENA, 1993

FIGURA 3
ANDAMENTO DELLA SUPERFICIE PIEZOMETRICA DELL'ACQUIFERO REGIONALE E LOCAZIONE DEI MAGGIORI CENTRI DI POMPAGGIO AD USO IDROPOTABILE

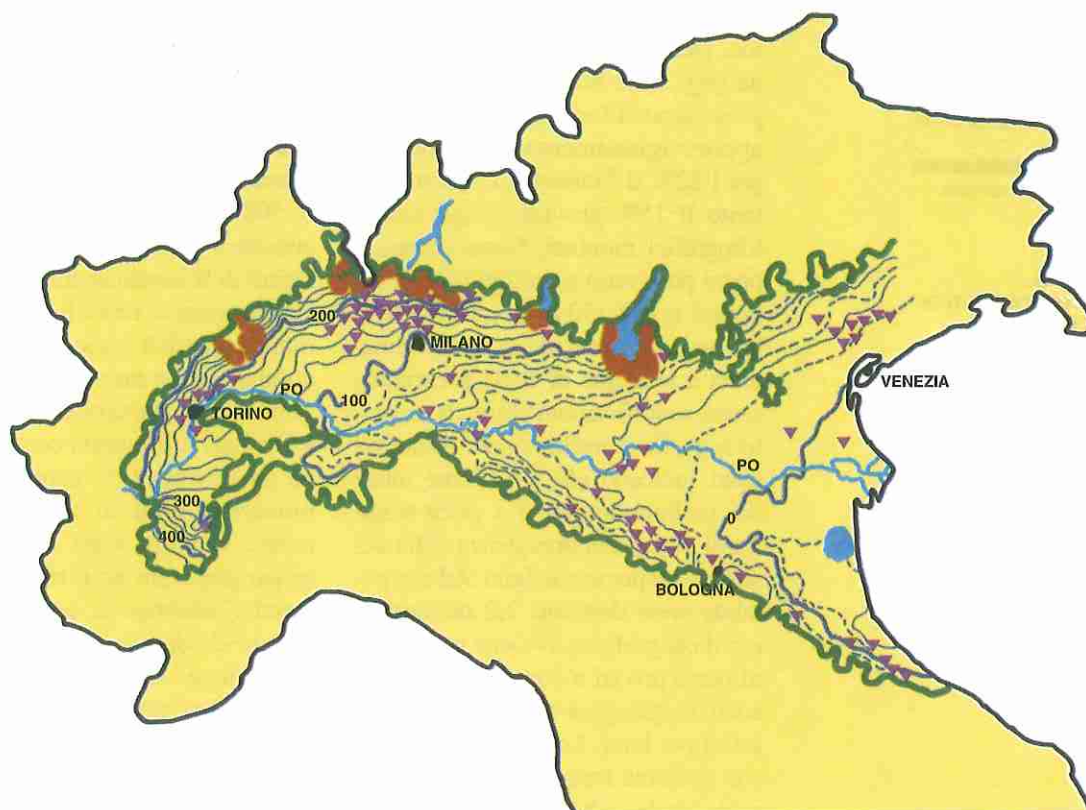


FIGURA 4
DISTRIBUZIONE DELLE AREE CON FALDE CONTAMINATE DA ORGANO-CLORURATI

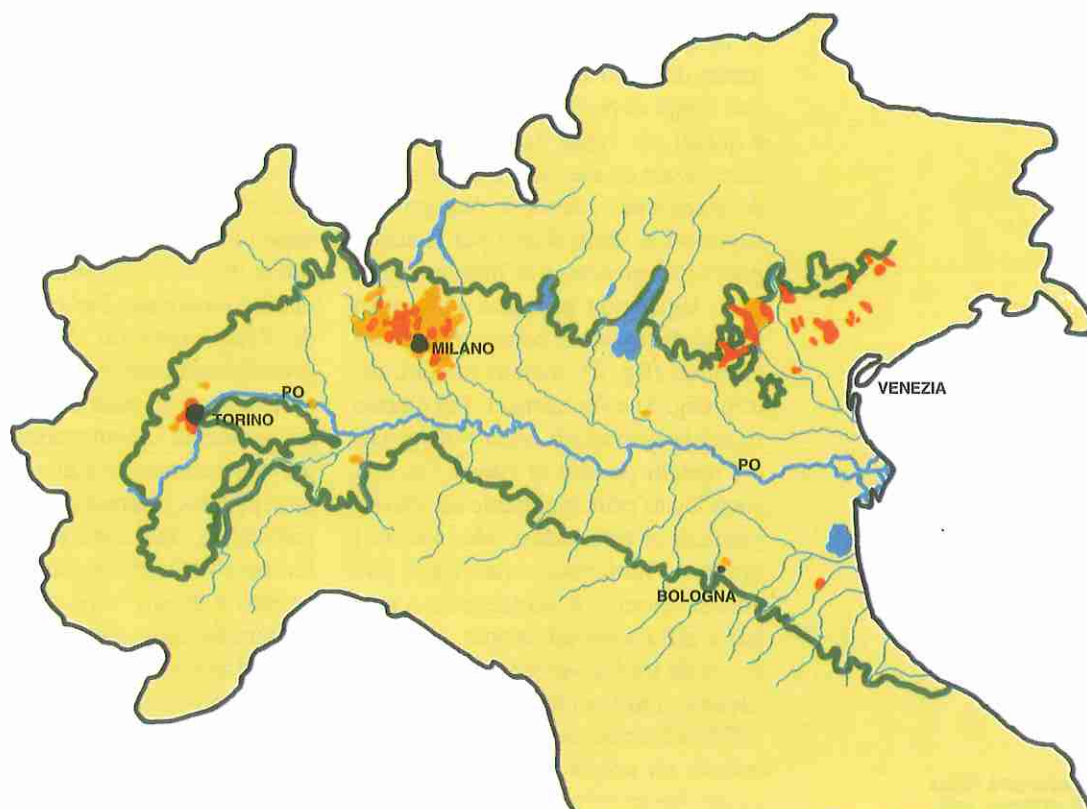
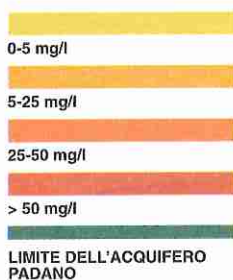


Figura 5



FONTE: IRSA,
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI MODENA, 1993

Figura 6



FONTE:
IRSA, UNIVERSITÀ DEGLI
STUDI DI MODENA, 1993

no principalmente per emergenza lungo la linea delle risorgive e come alimentazione dei corsi d'acqua per un ammontare di circa 9 miliardi di mc. Nell'ambito della pianura padana (fig. 3) le acque sotterranee rappresentano la fonte quasi esclusiva di approvvigionamento, contribuendo per l'82% al fabbisogno, mentre soltanto il 15% proviene dagli ambiti idrografici montani. Generalmente i pozzi prelevano a profondità non superiori a 100-150 m in quanto qui si hanno condizioni di ricarica immediata e le acque di falda presentano scarse modificazioni chimiche rispetto a quelle d'infiltrazione. Stime recenti indicano che il volume totale dei prelievi ammonta a circa 6 miliardi di mc con prevalenza della destinazione per uso irriguo. Ad uso potabile sono destinati 2,2 miliardi di mc il cui prelievo avviene per mezzo di pozzi privati o comunali, che possono raggiungere una densità di 10 pozzi per kmq. Le reti acquedottistiche risultano frammentate e gestite a scala locale, soltanto in pochi casi sono presenti grandi utenze con grandi reti a scala comprensoriale. Le acque sotterranee più superficiali sono classificabili come bicarbonato-calciche, mentre quelle più profonde, che rappresentano il 30% delle riserve idriche sotterranee, soprattutto nel settore centrale della pianura ed in vicinanza della costa, a causa degli elevati tempi di permanenza delle acque e quindi per cause naturali, sono caratterizzate da elevate concentrazioni di ammoniaca, ferro e manganese, superiori ai limiti fissati per le acque potabili. I problemi di inquinamento sono legati alla presenza di quattro gruppi di sostanze: composti organoclorurati (fig. 4), metalli pesanti, nitrati (fig. 5) e fitofarmaci. Per quanto riguarda i composti organo-alogenati e i metalli pesanti si rileva che essi sono legati principalmente ad attività puntuali di tipo industriale, mentre i nitrati e i fitofarmaci sono legati alle attività agricole e zootecniche e perciò a diffusione più ampia. Inquinamenti da tricloro-etilene, tetracloroetilene e cloroformio sono noti fin dal 1970 in Lombardia, ove hanno interessato un acquifero in parte multistrato che approvvigiona 2 milioni di

persone. Problemi analoghi si sono verificati in Piemonte e nel Veneto coinvolgendo 1,5 milioni di persone; contaminazioni localizzate si sono verificate anche in Friuli Venezia Giulia ed in Emilia Romagna. Inquinamenti di questo tipo si manifestano con tipici pennacchi a più elevata concentrazione, con valori massimi di 500 mg/l, accompagnati da estese aureole a minor concentrazione. L'origine dell'inquinamento legato allo smaltimento di reflui industriali è caratterizzato dall'associazione di organo-alogenati e metalli tossici, cromo esavalente in particolare; l'estensione e l'intensità di questa contaminazione ha provocato la soppressione di numerose fonti di approvvigionamento, il trattamento chimico delle acque prelevate ed il ricorso a fonti idriche alternative accompagnato, nonché da deroghe temporanee ai limiti di legge nazionali ed europei per l'acqua destinata al consumo umano. L'inquinamento da nitrati è molto diffuso ed è connesso sia all'elevata presenza di coltivazioni intensive che ricorrono all'uso di fertilizzanti azotati, sia allo spandimento dei liquami zootecnici e alle perdite dalle reti fognarie civili. Purtroppo i maggiori livelli di inquinamento, fino a 150 mg/l si osservano lungo il margine alpino ed appenninico ove avviene la ricarica della falda e ove gli utilizzi del suolo sono i più gravosi. Alle zone di maggior contaminazione, fortunatamente di limitata estensione, si accompagna la presenza in tutto l'acquifero padano di un fondo sovente superiore a 5 mg/l, che rappresenta il limite di potabilità previsto dalla normativa nazionale. Per quanto riguarda l'inquinamento da fitofarmaci, prevalentemente erbicidi utilizzati nelle colture di mais e di riso (atrazina, simazina e bentazone) è diffuso prevalentemente nell'alta e bassa pianura padana, interessando aliquote significative dell'approvvigionamento idropotabile in Piemonte, Lombardia, Veneto e Friuli Venezia Giulia. La contaminazione estensiva non è elevata ed interessa la falda più superficiale, esposta alla percolazione degli inquinanti dal suolo, ma è tuttavia diffusa anche nelle falde più profonde a causa degli scambi idrici che si