

LE ACQUE CARSICHE: STUDIO, UTILIZZAZIONE E TUTELA

GUIDO PEANO

Stazione Scientifica di Bossea C.A.I. Cuneo

Comitato Scientifico Centrale del C.A.I.

Lo studio delle acque circolanti nelle rocce carbonatiche ed in quelle solfatiche (formazioni gessose), costituisce, per le peculiari caratteristiche degli acquiferi carsici, un settore particolarmente importante dell'idrogeologia, sia sul piano della ricerca scientifica che su quello della valorizzazione e tutela delle risorse.

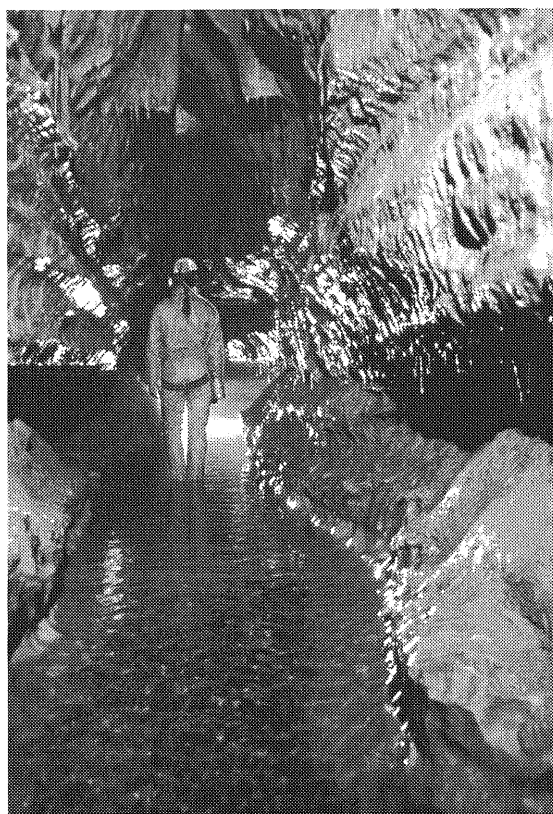
Le rocce carbonatiche, costituite essenzialmente da calcari e dolomie rivestono in questo ambito un ruolo preponderante per la loro diffusione ed estensione, per la frequenza e consistenza dei flussi idrici che le attraversano e per le dimensioni dei sistemi acquiferi. Pertanto, ai fini di una semplificazione del discorso, verrà privilegiata in questa sede la trattazione delle circolazioni carsiche che si verificano in tali formazioni.

I SISTEMI CARSICI

Le acque di precipitazione pluvio-nivale che si infiltrano dalla superficie nei calcari fratturati, immediatamente o nel periodo del disgelo, vengono trasferite alle risorgenze tramite i sistemi acquiferi carsici. Questi costituiscono complesse strutture sotterranee, spesso di estesissimo sviluppo (fino a decine o centinaia di chilometri lineari), articolate nel caso più comune in un insieme di grandi e piccoli condotti, di vasti o modesti invasi e di fitti ed estesi reticoli di frat-

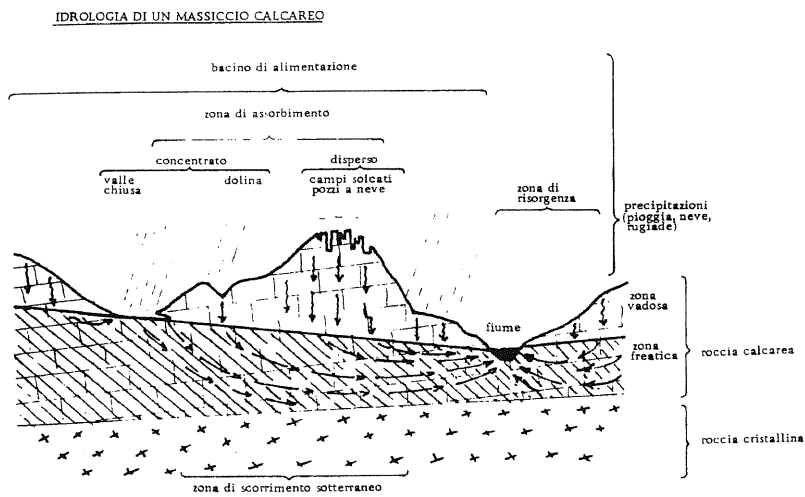
ture allargate dalla dissoluzione chimica, che possono interessare l'intero spessore del massiccio carbonatico.

In un sistema carsico l'azione chimica delle acque meteoriche infiltratesi nel terreno e del biossido di carbonio in esse contenuto allarga progressivamente, con la soluzione della roccia carbonatica, le discontinuità ivi presenti (faglie, diaclasi, giunti di stratificazione), creando condotti di differenti dimensioni ed importanza. In linea generale questi tendono a realizzare successive confluenze con la discesa delle acque verso le zone più profonde del massiccio, divenendo man mano più grandi e meno numerosi e aumentando progressivamente la propria portata, fino a concentrare l'intero flusso in pochi importanti dreni interdipendenti, o in unico grande dreno denominato collettore principale. Questi condotti terminali convogliano infine le acque alla risorgenza.



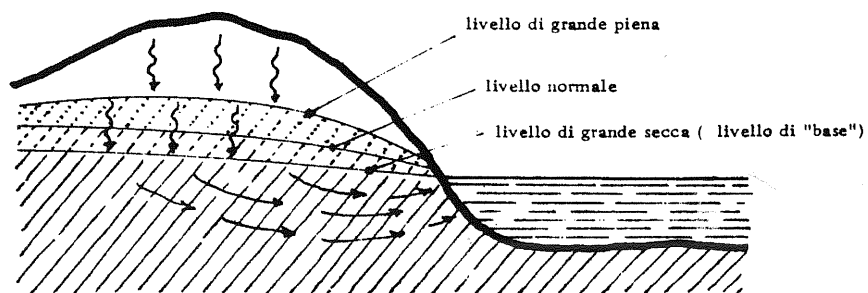
Un collettore ipogeo in condizioni di magra (Grotta del Caudano, Frabosa Sottana, Alpi Liguri)

Le acque carsiche: studio, utilizzazione e tutela



Vanin A., 1972

LIVELLO DI FALDA



Vanin A., 1972

Tale gerarchizzazione dei dreni determina il riaffioramento di acque assorbite in estesi bacini imbriferi in una sola emergenza o in un gruppo di emergenze appartenenti ad un unico apparato di risorgenza.

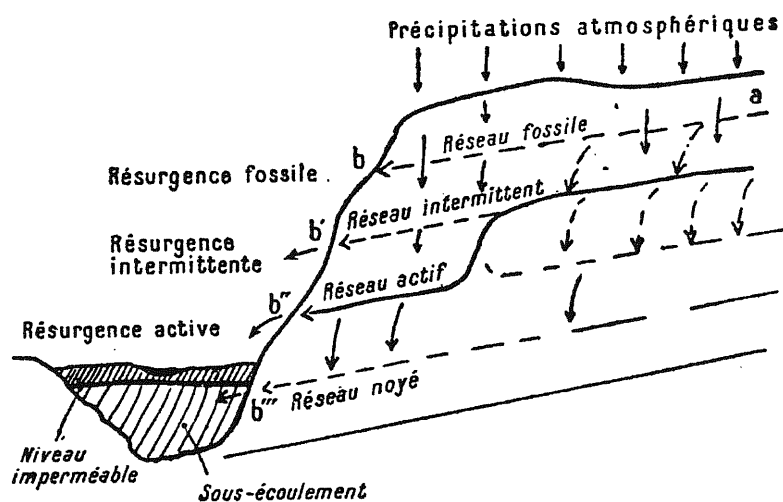
Le acque arrestano la loro discesa verso il basso incontrando i livelli impermeabili del massiccio (di norma le rocce metamorfiche sottostanti i calcari) e si accumulano fino ad una certa altezza occupando tutti i vuoti e gli interstizi intercomunicanti della roccia carbonatica, costituendo così la zona satura o falda freatica. La superficie superiore di questa, situata ad altezza variabile a seconda degli apporti infiltrativi stagionali, è denominata livello di falda o superficie piezometrica. Tutti i condotti e gli invasi sottostanti tale livello rimangono pertanto completamente sommersi, mentre quelli sovrastanti saranno solo parzialmente occupati dalle acque.

Le risorgenze sono per lo più ubicate al contatto dei calcari con le rocce impermeabili, o comunque in corrispondenza di marcate riduzioni del grado di permeabilità della roccia, possibili anche nei carbonati per la riduzione dell'intensità della fratturazione o per l'intasamento delle fratture ad opera di materiali insolubili.

I VOLUMI IDRICI IN TRANSITO E LE RISERVE REGOLATRICI

Nei calcari fratturati le acque di precipitazione si infiltrano in misura assai rilevante grazie alla forte permeabilità del suolo ed alle possibilità di rapido drenaggio interno. Alle nostre latitudini le acque meteoriche assorbite in un sistema carsico, residuanti dall'evapotraspirazione e dal ruscellamento superficiale, possono costituire a seconda delle condizioni locali, fra il 30% ed il 60% della precipitazione totale. Valori di infiltrazione di tali entità sono comunque di gran lunga superiori a quelli riscontrabili in qualsiasi altro tipo di roccia.

Per le ragioni suddette transitano nelle falde carsiche e scaturiscono dalle risorgive volumi idrici di solito non riscontrabili negli altri tipi di falde, a parità di tempo, di estensione del bacino di alimentazione e di condizioni climatiche. Gran parte dei sistemi carsici funziona tuttavia non solo come via di trasferimento, ma anche come



**Circulation de l'eau dans une masse calcaire
(inclinaison des strates vers l'aval)**

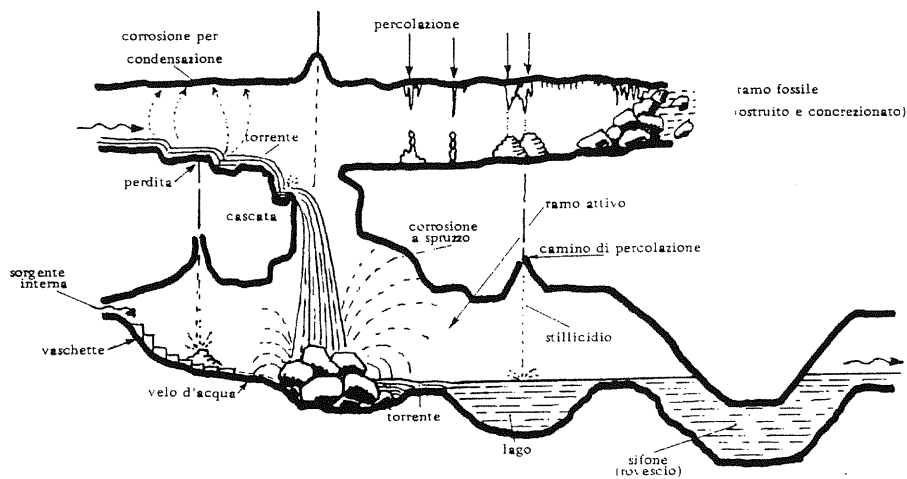
Trombe F., 1973

sede di accumulo della risorsa idrica; infatti una quota rilevante delle acque assorbite viene immagazzinata in serbatoi collaterali ai dreni principali della zona di trasferimento e negli estesi reticoli di diaclasi, costituendo una riserva che viene poi trasferita gradualmente alle risorgive mantenendovi una portata consistente anche nelle stagioni più secche. Pertanto le sorgenti alimentate da acquiferi carsici così strutturati possono essere captate in acquedotti urbani, come avviene in più regioni d'Italia.

Una miglior comprensione dell'entità dei volumi idrici emergenti dagli acquiferi carbonatici può derivare da una più precisa conoscenza della geografia dei sistemi carsici. Questi possono avere grandissima estensione spaziale con enorme sviluppo in ogni direzione del complesso dei condotti, invasi e microcondotti: è stato infatti calcolato che in un massiccio calcareo ben carsificato un chilometro cubo di roccia possa giungere a contenere fino ad alcune decine di chilometri lineari di grandi e piccoli dreni e di fratture imbibite e progressivamente allargate dalla corrosione chimica delle acque

(carsificazione). E' da ciò deducibile l'importanza dei volumi idrici in gioco, che in acquiferi di rilevante estensione possono raggiungere diversi milioni di metri cubi annui.

Idrologia di una grotta matura



Vanin A., 1972

LE GROTT E LO STUDIO DEI SISTEMI CARSICI

Come risulta dalla situazione suesposta gli acquiferi carbonatici, a differenza di quelli situati in altri tipi di rocce permeabili, presentano frequentemente delle vere e proprie strutture architettoniche caratterizzate da ambienti ipogei di dimensioni anche imponenti. Tali strutture costituiscono le grotte, spesso percorribili dall'uomo, articolate in gallerie, cunicoli, saloni, pozzi e camini, frequentemente ancora

percorse da circolazioni idriche perenni (in situazioni di sistema carsico attivo) o altre volte prive di flussi continuativi o periodici (nel caso di sistemi ormai fossili o che hanno approfondito fortemente il proprio livello di drenaggio). Le cavità in oggetto sono comunque interessate, nella quasi totalità dei casi, da percolazioni e stillicidi, provenienti dalle fratture della massa rocciosa sovrastante, che possono costituire una rilevante componente del flusso totale dell'acquifero e che, in adatte condizioni, costruiscono le formazioni, concrezionali.

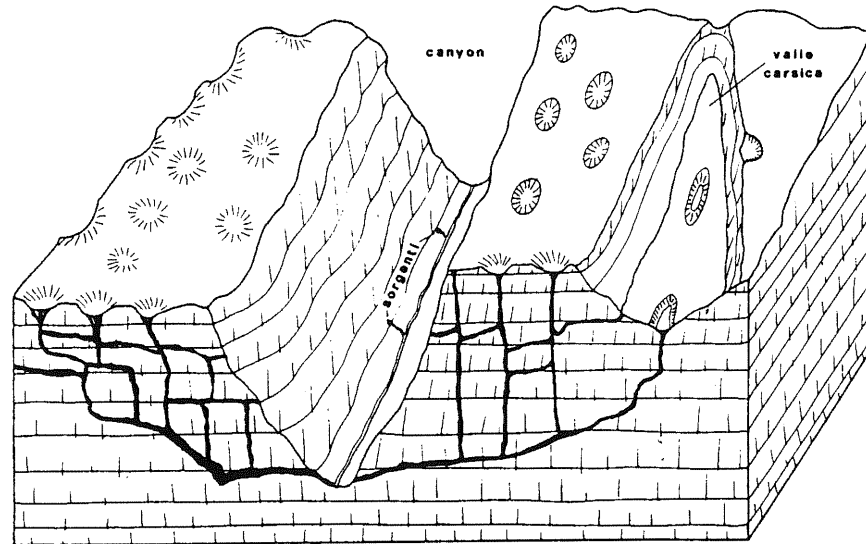
Le grotte offrono pertanto a speleologi e ricercatori una frequente possibilità di accesso, anche per lunghi tratti, nell'interno degli acquiferi carsici attivi, consentendone uno studio particolarmente approfondito difficilmente praticabile in altri tipi di falde. I vantaggi da ciò derivati sono assai rilevanti anche agli effetti dell'utilizzazione delle acque carsiche per uso potabile, con captazione delle sorgenti negli acquedotti urbani.

LE VIE DELL'ACQUA

L' INFILTRAZIONE DI SUPERFICIE: CARSI NUDI E CARSI COPERTI

Le acque superficiali si infiltrano nei calcari secondo differenti modalità in rapporto alle caratteristiche geotettoniche e litologiche del massiccio, alla quota della superficie carsica ed alla situazione climatica dell'area. Si distinguono a tali effetti due principali tipologie di superficie carsica: i carsi nudi, caratterizzati da un assorbimento estremamente disperso, e i carsi coperti in cui si verifica un assorbimento prevalentemente concentrato in importanti punti idrovori.

I carsi nudi, situati nelle Alpi Occidentali quasi sempre in alta quota, sono privi di copertura arborea od arbustiva. Grandi distese di rocce nude e fessurate, caratterizzate da tipiche microforme di dissoluzione quali i campi carreggiati, si alternano con sottili suoli umiferi ricoperti da una bassa cortica erbosa ove sono talora presenti brevi solchi idrici quasi sempre asciutti. L'infiltrazione delle acque di



Stereogramma di un altopiano carsico a doline, inciso da un canyon attivo (percorso da un fiume) e da una valle carsica asciutta, con doline assorbenti sul fondo

Maifredi G., Perna G., 1978

precipitazione o di fusione nivale interessa tutta la superficie del massiccio, con assorbimento immediato o quasi immediato (dopo breve scorrimento sulle cotiche erbose) attraverso la miriade di fratture ed i numerosi punti idrovori che caratterizzano questo tipo di carso. Questi ultimi sono costituiti da doline, inghiottitoi, pozzi a neve, ecc., ove ha luogo un assorbimento più concentrato.

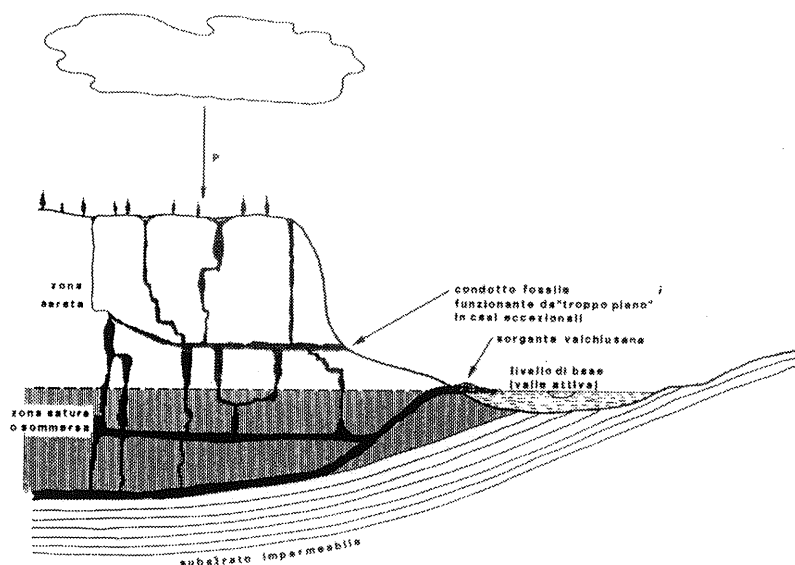
I carsi coperti sono diffusi nelle aree carbonatiche di quota medio-bassa. La superficie della roccia è prevalentemente coperta da humus e detriti, derivanti dalla dissoluzione superficiale dei carbonati o dalla gelifrazione. (depositi eluvio-colluviali o crio-nivali), su cui si è spesso installata una rigorosa vegetazione prativa o boschiva. Sono spesso presenti modesti solchi idrici abitualmente attivi, frequentemente interessati da perdite alveari. Qui è prevalente l'assorbimento concentrato in un numero limitato di importanti punti idrovori (doline, inghiottitoi, infiltrazioni alveari). L'assorbimento disperso mantiene tuttavia un ruolo ancora rilevante, anche se arealmente più limitato.



Un inghiottitoio carsico in alveo torrentizio, in condizioni di minima portata.

IL DRENAGGIO IPOGEO: MODALITA' GENERALI

Nella zona più alta di un massiccio carsificato l'infiltrazione idrica segue percorsi prevalentemente verticali e le acque non occupano in genere l'intera sezione dei condotti o delle diaclasi, ma circolano in presenza di aria (scorrimento vadoso). La situazione può modificarsi in occasione di infiltrazioni di eccezionale entità e di ingente innalzamento della superficie piezometrica. Nella zona più bassa, ove subentrano condizioni di falda freatica, lo sviluppo dei condotti ed i percorsi delle acque sono prevalentemente suborizzontali: tale andamento presentano infatti i grandi collettori che recapitano le acque alle risorgenze.

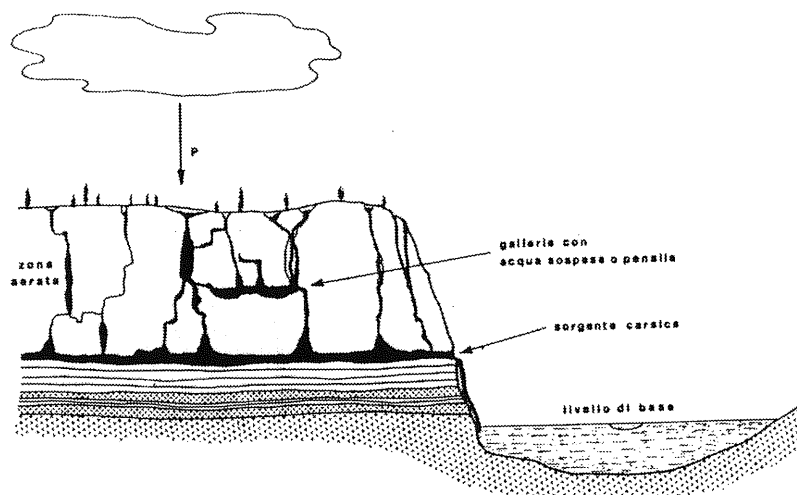


Rappresentazione schematica della zona aerata e della zona satura di un sistema carsico (Maifredi P., Perna G., 1978)

In linea generale i sistemi acquiferi carsici sono caratterizzati da una forte variabilità del regime, legata all'entità della infiltrazione, con portate massime che spesso superano di venti o trenta volte le minime e possono giungere, in determinati casi, anche a 100 volte tanto. In altre situazioni, come vedremo in seguito, la portata degli acquiferi carsici può tuttavia presentare variazioni molto più contenute.

Idrodinamica dei sistemi carsici: grandi e piccoli dreni

Il transito delle acque nei dreni principali ed in particolare nei collettori terminali avviene, in genere, a velocità piuttosto elevata, data la grande sezione dei condotti e la scarsità di ostacoli. La



Quando il substrato impermeabile si trova sopra il livello di base (rappresentato dal fondovalle), manca la zona satura. Si può verificare anche il caso, non certo frequente, di gallerie con acqua pensile

Maifredi P., Perna G., 1978

velocità può essere rallentata dalla presenza di grandi invasi o di tratti sifonanti con sezioni ridotte direttamente su tali assi di deflusso. Nei serbatoi collaterali (denominati anche bacini annessi) le acque riducono fortemente la loro velocità e possono talora essere quasi stagnanti con debolissimi movimenti di scambio con i dreni principali.

Con la crescita della portata, può salire fortemente la velocità delle acque in rapporto all'aumento della pressione a monte. In caso di massivi incrementi dell'infiltrazione vengono mobilitate per pistonaggio anche le acque dei bacini annessi che si riversano nell'asse centrale del sistema modificandone notevolmente il contenuto in sali minerali. Il tempo necessario per il transito del flusso idrico dall'assorbimento alla risorgenza può pertanto ridursi fortemente in tali situazioni, con variazioni, al limite, da un periodo di qualche settimana ad uno di poche ore.

Molto più lento è il transito nei piccoli condotti, nelle fratture ed in particolare nelle leptoclasti ove il movimento idrico può essere qualche volta addirittura di tipo capillare e richiedere per il trasferimento delle acque periodi di parecchi mesi o addirittura di anni, avvicinandosi in questo caso alle velocità di deflusso che si riscontrano nei mezzi porosi e nelle diaclasi delle rocce cristalline.

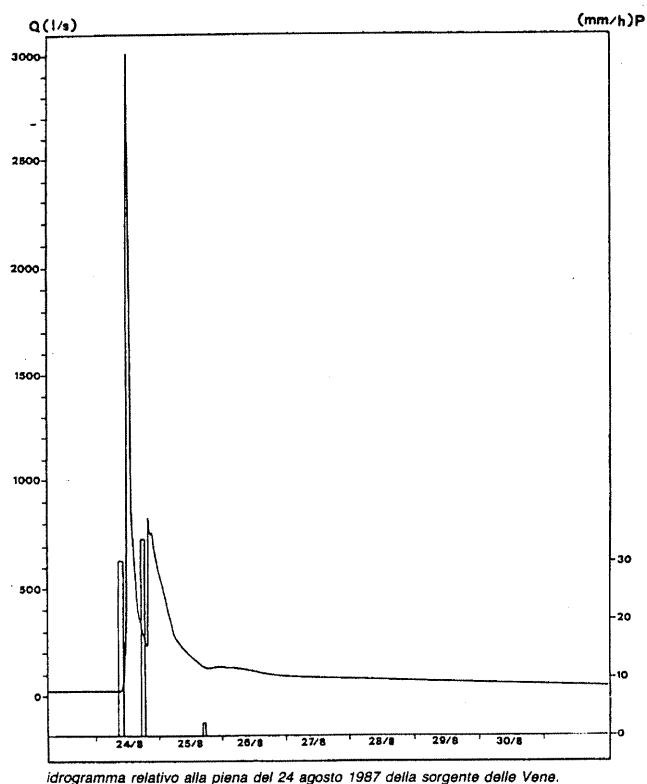
Mentre il gettito dei dreni più importanti sosterrà in particolare le grandi portate dei periodi di piena, le riserve accumulate nei serbatoi collaterali, nei piccoli dreni ed in particolare nei reticoli di fratture manterranno prevalentemente le portate di minima tramite un deflusso lento e protratto.

TIPOLOGIE DELLE RETI DI DEFLUSSO

Nei sistemi carsici sono state individuate differenti tipologie della rete di deflusso che possono essere schematizzate secondo tre modelli concettuali di base (Civita et al., 1991): rete a dreno dominante; rete a dreni interconnessi; rete a circolazione dispersiva.

Le circolazioni negli acquiferi carbonatici sono spesso più complesse rispetto ai proposti modelli. Sono più volte presenti situazioni intermedie ove nell'ambito di uno stesso sistema possono coesistere diverse tipologie della rete di drenaggio. I tre modelli di base possono tuttavia costituire punti fondamentali di riferimento per la descrizione di qualsiasi sistema carsico, essendo le caratteristiche idrodinamiche e geochimiche intimamente legate al tipo di drenaggio prevalente.

Rete a dreno dominante - E' reperibile in masse rocciose interessate da un ridotto numero di importanti fratture, ove alcuni grandi collettori trasferiscono molto rapidamente le acque d'infiltrazione alla risorgenza. La risposta agli eventi infiltrativi è pertanto velocissima e massiva con raggiungimento di altissimi picchi di portata. Sono quasi assenti le riserve idriche legate alla presenza di serbatoi collaterali e non esiste una effettiva zona satura ma soltanto alcuni settori sommersi (tratti sifonanti) dei condotti principali. Pertanto si



Vigna B., 1990

verifica una drastica riduzione del flusso con la cessazione dell'infiltrazione. Le portate sono quindi estremamente variabili con minime spesso esigue e massime, come anzidetto, elevatissime. La repentina caduta dei valori dei parametri idrochimici alla risorgenza, in occasione di nuovi intensi apporti esterni, testimonia il rapido arrivo di acque di neoinfiltrazione.

Reti di drenaggio di questo tipo, anche per le scarsissime possibilità di autodepurazione delle acque, sono inadatte ad una captazione per uso potabile.

Un esempio di sistema carsico riferibile, nelle grandi linee, a questo modello di deflusso è quello delle Vene-Fuse, che drena le acque

assorbite nell'area del Mongioie (Alpi Liguri) ed ha le sue risorgenze in prossimità di Viozene (alta Valle Tanaro). Il sistema ha un elevatissimo indice di carsificazione con presenza di grandi condotti caratterizzati da un rapidissimo drenaggio e da un'estrema variabilità della portata. Le misure effettuate nella zona terminale del collettore (entro la Grotta delle Vene) hanno evidenziato variazioni di portata fra 25-30 litri/secondo (minime caratteristiche in particolare del periodo invernale) e 4000-5000 litri/secondo (massime tipiche in particolare del periodo primaverile), con rapidissimi passaggi (spesso nel giro di qualche ora soltanto) dai valori più bassi a quelli più elevati, in occasione di violente precipitazioni e/o di massivo scioglimento nivale, e quasi altrettanto rapide decrescite.

Rete a dreni interdipendenti - E' tipica delle masse rocciose mediamente fratturate, con discontinuità non distribuite omogeneamente e allargate in misura differente dall'azione delle acque.

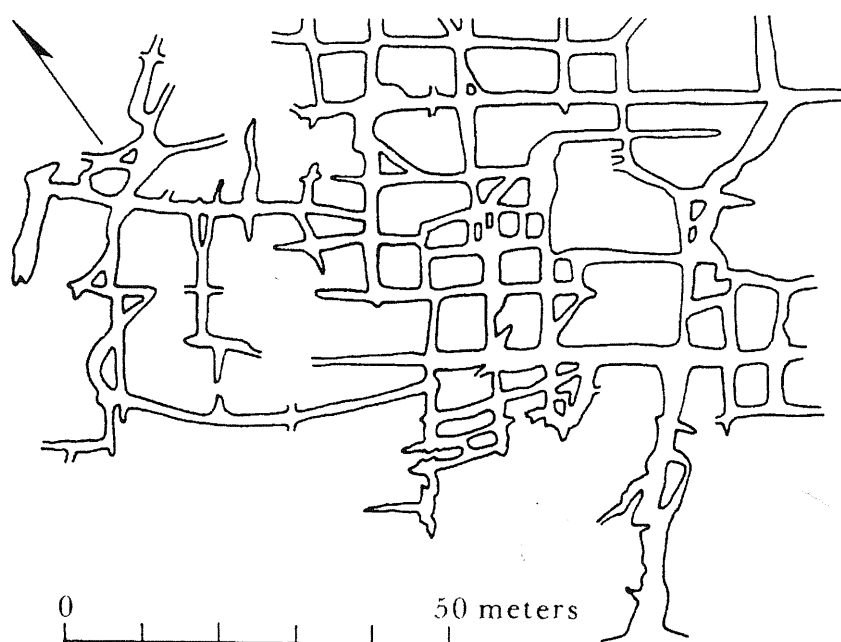
Esiste in questo caso una vasta zona satura, strutturata in un complesso di condotti, invasi e fratture variamente collegati, articolate in numerosi sottosistemi interconnessi e delimitata da una superficie piezometrica alquanto irregolare in rapporto alle diverse situazioni locali della fratturazione. Qui ha luogo un rilevante accumulo di riserve idriche, atte al mantenimento di una consistente alimentazione della risorgenza anche nelle stagioni più asciutte. Le portate presentano, in genere, minore variabilità rispetto al precedente modello di rete di drenaggio, ma si verificano ancora piene molto importanti, collegate ai maggiori eventi infiltrativi. Il raggiungimento dei valori massimi è tuttavia solitamente più lento, e più graduale è la riduzione del flusso conseguente alla fine dell'evento, con mantenimento di una portata apprezzabile anche in assenza protratta di infiltrazione.

I valori dei parametri idrochimici registrano nel primo periodo degli eventi di piena un aumento rilevante, legato al pistonaggio delle acque che hanno stazionato a lungo nei sistemi interconnessi. La successiva riduzione dei predetti valori testimonia l'arrivo delle acque di neoinfiltrazione.

Questo tipo di rete di deflusso può meglio prestarsi ad una utilizzazione delle acque per il rifornimento dei centri abitati, anche in relazione alle maggiori capacità di autodepurazione conseguenti ad un drenaggio più prolungato.

Gli acquiferi carbonatici riferibili a questa tipologia di drenaggio sono probabilmente quelli di più frequente riscontro da parte degli speleologi o dei ricercatori.

Fra questi riveste grande interesse il sistema carsico di Bossea che drena le acque assorbite in una vasta area compresa fra il centro sciistico di Prato Nevoso, nella Valle Maudagna, ed il Torrente



Un modello veridico di rete a dreni interdipendenti è offerto da questa fitta rete di condotti carsici intersecantisi, impostata su un preesistente reticolo di fratture allargate dalla dissoluzione chimica della roccia carbonatica (Planimetria della Hamilton Cave, West Virginia, USA; William E. Davies, 1978)

Corsaglia. Le risorgenze sono ubicate nell'alveo del Corsaglia, sotto l'ingresso della famosa grotta turistica costituente il settore terminale del sistema carsico. Nella cavità sono installati i laboratori di ricerca della Stazione Scientifica di Bossea, deputati allo studio delle acque carsiche.

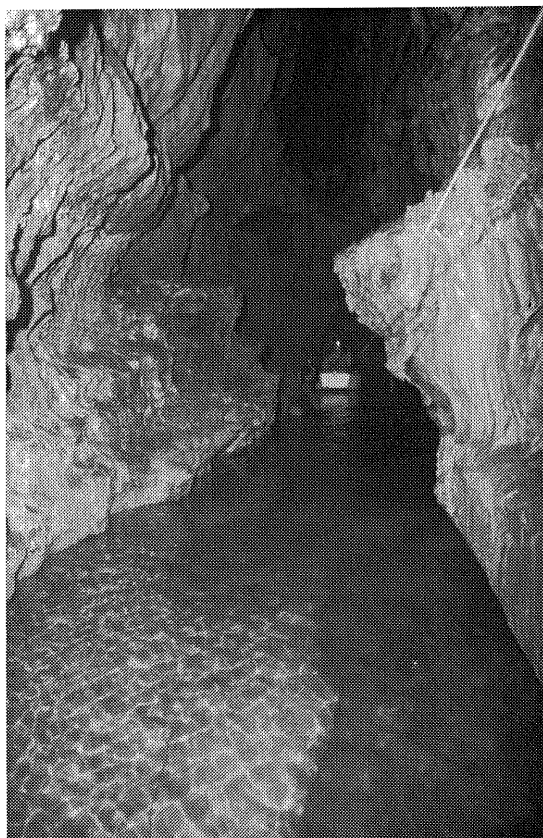
Il sistema è costituito da alcuni grandi dreni che hanno origine da importanti punti idrovori situati in zone diverse del bacino di alimentazione che confluiscono, a monte della grotta, in una vasta zona satura dell'acquifero. Questa è delimitata verso valle da un contatto tettonico fra i porfiroidi del basamento e le rocce carbonatiche che costringe tutte le acque ad affiorare nella zona vadosa riunendosi in un unico collettore a pelo libero. Quest'ultimo, percorrendo l'intera grotta, raggiunge infine le risorgenze.

Nella zona satura sono presenti numerose zone serbatoio intercomunicanti impostate sull'asse principale di deflusso (come il sifone del Lago Loser) o collateralmente ad esso (come il sifone del Lago Morto), costituite in parte da condotti e da invasi e in parte da estesi reticoli di fratture.

Nella zona vadosa il collettore riceve l'apporto idrico del complesso reticolo di fratture sovrastante la cavità, frazionato in molteplici apporti di modesta entità che forniscono tuttavia, nel loro complesso, un contributo non trascurabile alla portata del collettore, in particolare nei periodi di magra.

Nella parte più interna del sistema l'apporto dei reticoli di fratture situati al disopra dei grandi dreni, qui assai più estesi in rapporto allo spessore molto maggiore della roccia sovrastante la zona satura, fornisce un contributo più importante alla portata del sistema, legato all'infiltrazione frazionata che ha luogo in superficie. In queste fratture si accumulano nel contempo notevoli riserve idriche, che insieme con quelle presenti nei vari serbatoi interconnessi della zona satura, concorrono alla regolazione del regime del torrente ed al mantenimento di una portata minima consistente anche in assenza di infiltrazione.

Tale portata infatti non scende mai al di sotto dei 50 l/s, neppure nelle stagioni più secche, e rimane più frequentemente attestata su valori minimi annui di 60-90 l/s. Le portate massime possono talvol



Il collettore principale del sistema carsico di Bossea (Valle Corsaglia, Alpi Liguri)

raggiungere, in occasione di piene molto sostenute, i 1500 l/s e quindi l'escursione annua è ancora molto marcata, con un rapporto fra i due valori limite che può arrivare fino ad 1:30.

Le variazioni di portata possono essere ancora rapidissime nella salita, specie in occasione di precipitazioni molto intense che si verificano in preesistenti condizioni di saturazione delle zone dell'acquifero, con effetto immediato di pistonaggio sulle acque già ivi stazionanti. Sono generalmente più gradualmente in occasione dello scioglimento nivale, che sopraggiunge abitualmente in una situazione di marcata insaturazione del sistema carsico, quando il raggiungimento dei valori di piena più elevati può richiedere, in assenza di consistenti precipitazioni, da alcuni giorni a più settimane.

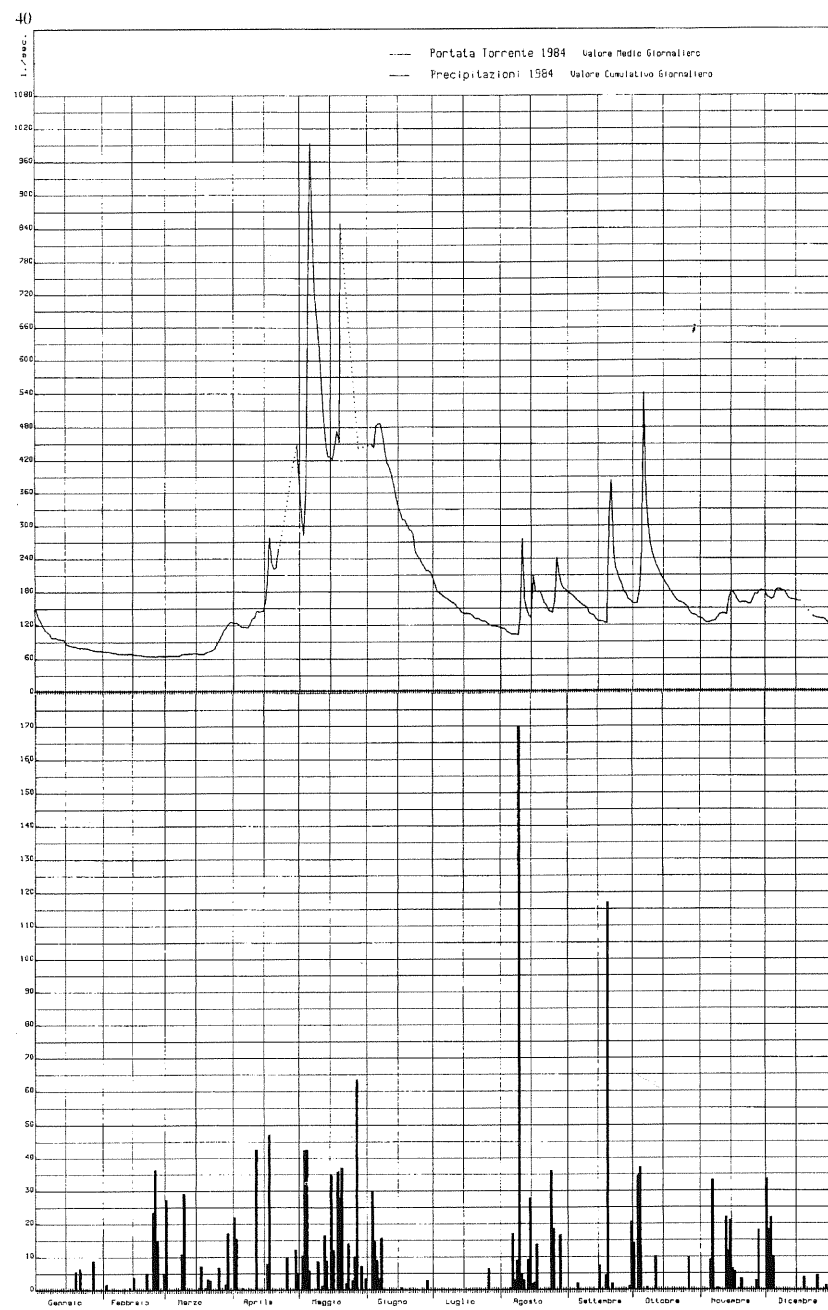


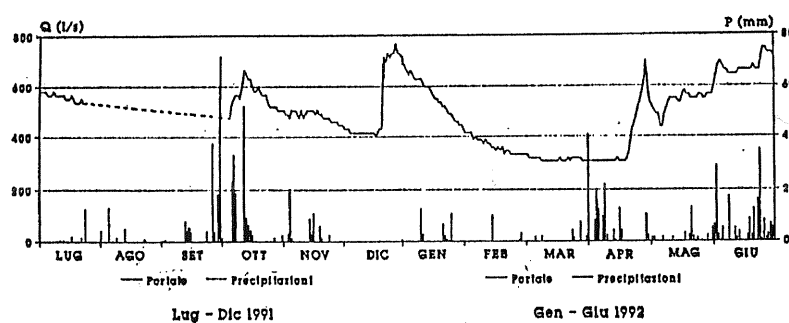
Diagramma delle portate e istogramma delle precipitazioni relativi al sistema carsico di Bossea, anno 1984.

La riduzione della portata successiva alla fine dell'infiltrazione, grazie alle riserve disponibili, è invece assai più graduale e l'esaurimento del picco di piena può protrarsi, in assenza di precipitazioni, per più mesi.

Il rilevante aumento della mineralizzazione delle acque, in occasione delle piene, che si protrae almeno per tutto il periodo di salita della portata, ed anche oltre, testimonia il pistonaggio delle acque stazionanti nel sistema ad opera delle acque di neoinfiltrazione che solo in un secondo tempo raggiungono il collettore principale e la risorgenza.

La portata media del sistema risulta, dalle misure effettuate negli anni 1983-1987, di 156 l/s, e la media delle portate totali annue, sempre per lo stesso periodo, risulta di 4.920.000 mc. I valori massimi dei due parametri, registrati nell'anno 1983, sono rispettivamente di 197 l/s e di 6.210.000 mc annui.

Rete a circolazione dispersiva - E' presente in masse rocciose interessate da numerose faglie di discontinuità, con elevato ed omogeneo livello di fratturazione. Non sono individuabili vie di deflusso preferenziali, ma esiste una fitta e complessa rete di drenaggio costituita da molti piccoli condotti e da estesi reticoli di fratture interconnessi. La velocità di deflusso è piuttosto modesta. Le riserve



Sistema delle sorgenti del Malra: idrogramma delle portate mostrante, in particolare, il picco di piena invernale relativo ad un anomalo innalzamento termico.

Civita M., Manzone L., Vigna B., 1992)

regolatrici sono assai abbondanti. Le portate presentano variazioni assai limitate ed i loro incrementi non sono direttamente correlabili con i singoli apporti infiltrativi. I valori dei parametri idrochimici sono notevolmente costanti nel tempo.

Tali reti di drenaggio presentano di norma buone caratteristiche per la captazione delle risorgive in acquedotti urbani.

A questo modello di rete di drenaggio è riferibile l'acquifero carsico delle Sorgenti del Maira (Alpi Cozie) che drena un vasto massiccio carbonatico molto fratturato, costituito in primo luogo dal complesso di conche e depressioni carsiche del Vallone di Visaisa e dai rilievi circostanti.

Le Sorgenti scaturiscono a quota 1645, a monte degli abitati di Acceglio e Saretto di cui riforniscono i rispettivi acquedotti. Sono utilizzate in buona parte per scopi idroelettrici e solo in parte minoritaria per uso idropotabile. La risorgenza è articolata nel suo complesso in numerose polle emergenti da coperture moreniche sovrastanti i calcari, con portata media complessiva di 600 l/s ed una escursione annua compresa, al massimo, fra 100 l/s e 1000 l/s, pertanto decisamente inferiore rispetto a quella delle sorgenti carsiche citate in precedenza. Una parte notevole del flusso ipogeo raggiunge inoltre, per travasi sotterranei, direttamente il subalveo del sottostante Torrente Maira e non è pertanto misurabile.

La risposta agli eventi infiltrativi è più graduale rispetto alle emergenze citate precedentemente: in particolare, dopo lunghi periodi di assenza di apporti esterni, si possono verificare incrementi di portata progressivi e costanti protratti per più settimane fino al raggiungimento del valore massimo, come accade ad esempio, alla fusione del manto nevoso; dopo periodi di intense piogge si possono invece avere risposte relativamente più veloci, ma sempre abbastanza dilazionate, con raggiungimento del picco di piena ad una settimana di distanza dall'evento infiltrativo, sempre per pistonaggio delle acque già presenti nel sistema.

La circolazione idrica ha luogo in una rete di drenaggio molto complessa, costituita da un fitto reticolo di fratture poco carsificate, ed è caratterizzata da grande lentezza con periodi molto lunghi di permanenza sotterranea delle acque (diversi anni secondo analisi

isotopiche recentemente effettuate; vedi Civita et al., 1993). Ciò consente una adeguata autodepurazione biologica delle acque provenienti dalle infiltrazioni in quota; diversa è la situazione delle acque che si infiltrano più in vicinanza della risorgenza, con più rapido arrivo alle diverse emergenze. Per tali ragioni anche per questo tipo di sorgenti si presenta la necessità della protezione dagli inquinamenti, almeno della zona a monte più prossima.

L'analisi chimica delle acque in oggetto, complessivamente, definibili di discreta qualità, evidenzia un eccesso di magnesio e di solfati (derivanti dalla presenza di livelli gessosi alla base delle falde tettoniche). Questi ultimi raggiungono addirittura i massimi limiti ammessi per le condizioni di potabilità; tuttavia questi valori elevati possono essere facilmente ridimensionati tramite adeguati trattamenti delle acque dopo il riaffioramento.

Le Sorgenti del Maira, con la portata media assai elevata che le caratterizza ed una erogazione annua complessiva che si aggira mediamente sui 25.000.000 mc, costituiscono una risorsa idrica di importanza primaria nell'area del Piemonte occidentale, in gran parte ancora inutilizzata per usi potabili. Per le suddette ragioni ed anche per la loro posizione dominante sulle valli e sulla pianura, queste emergenze sono considerate una risorsa strategica utilizzabile in caso di necessità (inquinamenti temporanei o prolungati, periodi siccitosi di anomala durata, ecc.) a fini integrativi o sostitutivi delle fonti di approvvigionamento attualmente in uso, per una vasta area delle provincie di Cuneo e di Torino (Civita et al., 1993).

LA RISORGENZA

Le acque di un sistema carsico riaffiorano alla luce tramite una o più risorgenze. Diffuenze in prossimità della superficie, dovute in particolare a cause tettoniche possono infatti suddividere l'emergenza in più affioramenti anche abbastanza distanziati.

Altre volte l'emergenza principale, sempre attiva, è sovrastata da una o più sorgenti temporanee, denominate sfioratori di piena, che rientrano in attività solo quando la sorgente perenne non è in grado



*una tipica emergenza
carsica nell'ambito della
gola della fascette (Upega,
Alpi Liguri)*

di smaltire tutta la portata del sistema e si verifica un rialzo della superficie piezometrica locale. Ancora più in alto possono trovarsi delle emergenze fossili, ormai completamente inattive. Una situazione di tale genere riflette l'evoluzione nel tempo del sistema carsico, con successivi approfondimenti della rete di deflusso legati all'abbassamento del livello di base esterno delle acque.

L'ACCESSO AI SISTEMI CARSICI

I sistemi carsici sono in diversi casi penetrabili dall'uomo. Le vie di ingresso più comuni sono costituite dalle risorgenze fossili o semiattive e talora da quelle perenni, dagli inghiottitoi e dai pozzi a

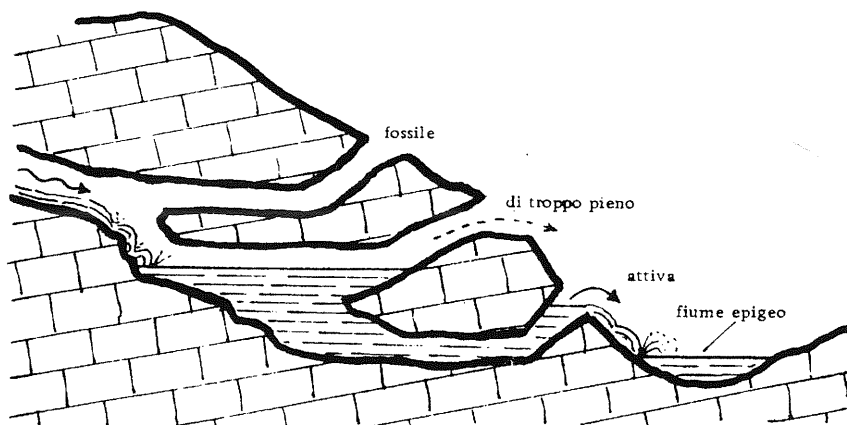
neve delle zone di assorbimento, o da accessi in parete ad antiche gallerie freatiche ormai inattivate dall'abbassamento della falda freatica e tagliate dall'erosione esterna.

L'UTILIZZAZIONE DELLE ACQUE CARSICHE

Come accennato precedentemente la grande diffusione delle emergenze carsiche in numerose regioni d'Italia e l'abbondante gettito di molte di esse ne renderebbero assai appetibile la captazione negli acquedotti urbani.

Esistono tuttavia alcuni inconvenienti nell'impiego di queste acque ad uso potabile, fra cui in primis la facilità di inquinamento. Tali inconvenienti, che saranno esaminati in dettaglio nel proseguo, ne hanno fino a ieri circoscritto l'utilizzazione a determinate aree del paese. Fa queste riveste importanza assai rilevante quella delle Alpi Sud-Occidentali interessante il Piemonte Meridionale e la Liguria,

SISTEMA DI SORGENTI



Vanin A., 1972

ove esistono numerosi ed importanti acquedotti alimentati da sistemi carsici. In tale ambito riveste un ruolo di primo piano l'Acquedotto delle Langhe, caratterizzato da grande estensione geografica, che rifornisce la vasta area omonima tramite la captazione di più emergenze carsiche ubicate nelle Valli Corsaglia e Vermenagna.

In altre aree si è preferito ricorrere, soprattutto in passato, allo sfruttamento delle falde idriche presenti nelle rocce porose o nei terreni alluvionali delle aree pianeggianti, spesso più facilmente utilizzabili e ritenute un tempo più sicure dal punto di vista sanitario.

L'enorme incremento dei consumi idrici verificatosi in questi ultimi decenni, con drastica riduzione delle risorse tradizionali ancora disponibili ed il progressivo inquinamento, anche o soprattutto di origine chimica, delle falde freatiche e perfino artesiane delle zone pianeggianti, hanno tuttavia portato anche in queste aree, in presenza di una domanda idrica sempre sostenuta, una rivalutazione del ruolo delle acque carsiche. Queste ultime infatti sono ancora disponibili in rilevante quantità, hanno spesso migliori qualità organolettiche, sono scarsamente soggette ad inquinamenti chimici e probabilmente sono oggi meglio difendibili dagli inquinamenti batterici rispetto a quelle provenienti da altri tipi di falde, grazie al forte aumento delle conoscenze sui sistemi carsici ed alla maggiore possibilità di adozione di adeguati provvedimenti di tutela a monte degli acquiferi.

Tale riconsiderazione ha prodotto un grande sviluppo degli studi e ricerche sulle circolazioni idriche nelle rocce carbonatiche, discussi in seminari e congressi di livello internazionale, ed ha ultimamente determinato una significativa ripresa della utilizzazione razionale di queste acque.

FATTORI LIMITANTI

Come suaccennato esistono fattori limitanti la possibilità di utilizzazione delle acque carsiche, prevalentemente di carattere idrodinamico e biologico. I più significativi parametri idrochimici di tali acque (durezza, alcalinità, ione calcio, ione magnesio, solfati, nitrati, ecc.), nella situazione naturale, sono invece compresi nella

gran maggioranza dei casi in un largo intervallo di valori compatibili con la condizione di potabilità e solo in caso di mineralizzazioni elevatissime può divenirne sconsigliabile ed inopportuno l'impiego. Il discorso cambia radicalmente in caso di contaminazione della falda ad opera di inquinanti chimici, inorganici od organici, provenienti dalla superficie che possono rendere le acque altamente tossiche e dannose alla salute. Questa eventualità è tuttavia abbastanza rara per le acque carsiche provenienti da bacini di assorbimento situati nelle zone alpine o prealpine, ove ha luogo la maggior parte delle captazioni.

Fattori idrodinamici - Dal punto di vista idrodinamico non tutti i sistemi carsici si prestano, come già anticipato, ad una captazione. Nel caso di sistemi impostati prevalentemente su di una rete di drenaggio del primo tipo descritto (rete a dreno dominante), si potrebbe giungere in certi periodi dell'anno ad una quasi estinzione del gettito o ad una portata troppo esigua per consentirne l'utilizzazione. Nel caso di sistemi impostati prevalentemente su di una rete drenante del secondo tipo (rete a dreni interdipendenti) si potrà invece contare, anche nelle stagioni più asciutte, su di un gettito minimo ancora consistente. La captazione sarà pertanto realizzabile previa preventiva e prolungata verifica del minimo di portata effettivamente garantito e il dimensionamento della rete idrica urbana su questo gettito.

Nei sistemi carsici impostati su una rete di drenaggio del terzo tipo (rete a circolazione dispersiva) la presenza di abbondanti riserve regolatrici e la notevole uniformità della portata in ogni periodo dell'anno determinano condizioni idrodinamiche ottimali per la captazione delle risorgive.

Fattori biologici - Costituiscono spesso l'ostacolo più importante all'utilizzazione delle acque carsiche per uso potabile. Gli inquinamenti batterici sono legati agli insediamenti antropici in quota a fini di villeggiatura, ricreazione e turismo, con frequenti presenze massive di breve o medio periodo ed a forti concentramenti di animali nelle stalle degli alpeggi.

La permeabilità del suolo consente una facile penetrazione degli inquinamenti e la quasi totale assenza di filtrazione all'interno dei

condotti esclude una depurazione naturale delle acque per questa via, come invece può verificarsi nell'attraversamento di rocce porose (arenarie, ghiaia, sabbie, limi, ecc.), mentre il loro periodo di permanenza nell'acquifero, soprattutto nei grandi dreni, spesso non consente un'autodepurazione biologica tramite processi ossidativi delle sostanze organiche, durante il percorso sotterraneo.

Tale situazione, insieme con le predette ragioni di ordine idrodinamico, rende decisamente sconsigliabile, in linea generale, la captazione di sorgive alimentate da reti di deflusso del tipo a dreno dominante, che, in presenza di inquinamenti nel bacino di alimentazione, richiederebbe complessi e continuativi trattamenti di depurazione delle acque (letti filtranti, clorazione, ozonizzazione), alquanto costosi e giustificabili solo in assenza di ogni altra fonte alternativa di approvvigionamento idrico.

Negli acquiferi carsici del tipo rete a dreni interdipendenti si ha una più lunga permanenza delle acque all'interno del sistema con l'arrivo degli apporti idrici di neo-infiltrazione alla risorgenza procrastinata anche di più settimane, in condizioni di bassa o media portata. Ciò può consentire, almeno nelle condizioni suddette, una apprezzabile autodepurazione delle acque in caso di inquinamento, con eventuale ricorso solo temporaneo a trattamenti artificiali. Acquiferi di questo tipo potranno, sotto attento monitoraggio e con la tempestiva adozione degli opportuni provvedimenti, essere utilizzati con maggiore facilità per l'alimentazione di acquedotti urbani.

Le emergenze idriche alimentate da acquiferi carsici del tipo rete a circolazione dispersiva, in rapporto alle caratteristiche già descritte sono le più adatte, anche sotto il profilo biologico, alla captazione per uso potabile. Infatti i lunghi tempi di permanenza delle acque all'interno del sistema ne consentono, nella maggioranza dei casi, una efficace autodepurazione dagli inquinamenti batterici ed una sicura utilizzazione.

LA TUTELA DEI BACINI DI ALIMENTAZIONE

A monte di ogni provvedimento di depurazione si situa in primissimo piano, nell'ambito degli interventi effettuabili dall'uomo, l'efficace tutela del bacino di alimentazione dei sistemi carsici. Ciò è realizzabile solo in base ad una conoscenza dettagliata di tutti gli apporti infiltrativi di un determinato acquifero, derivante a sua volta da uno studio approfondito del sistema ipogeo.

Questo potrà consentire la prevenzione o la rimozione, almeno parziale di inquinamenti potenziali o già in atto. Si renderanno necessarie, a tal fine, la limitazione o l'esclusione di nuovi insediamenti antropici e/o la captazione di tutti gli scarichi di acque reflue in reti adducenti a depuratori, per gli insediamenti già presenti. Sarà parimenti necessaria l'esclusione o la rimozione di stalle di alpeggio comportanti forti concentramenti di animali in punti idrologicamente vulnerabili.

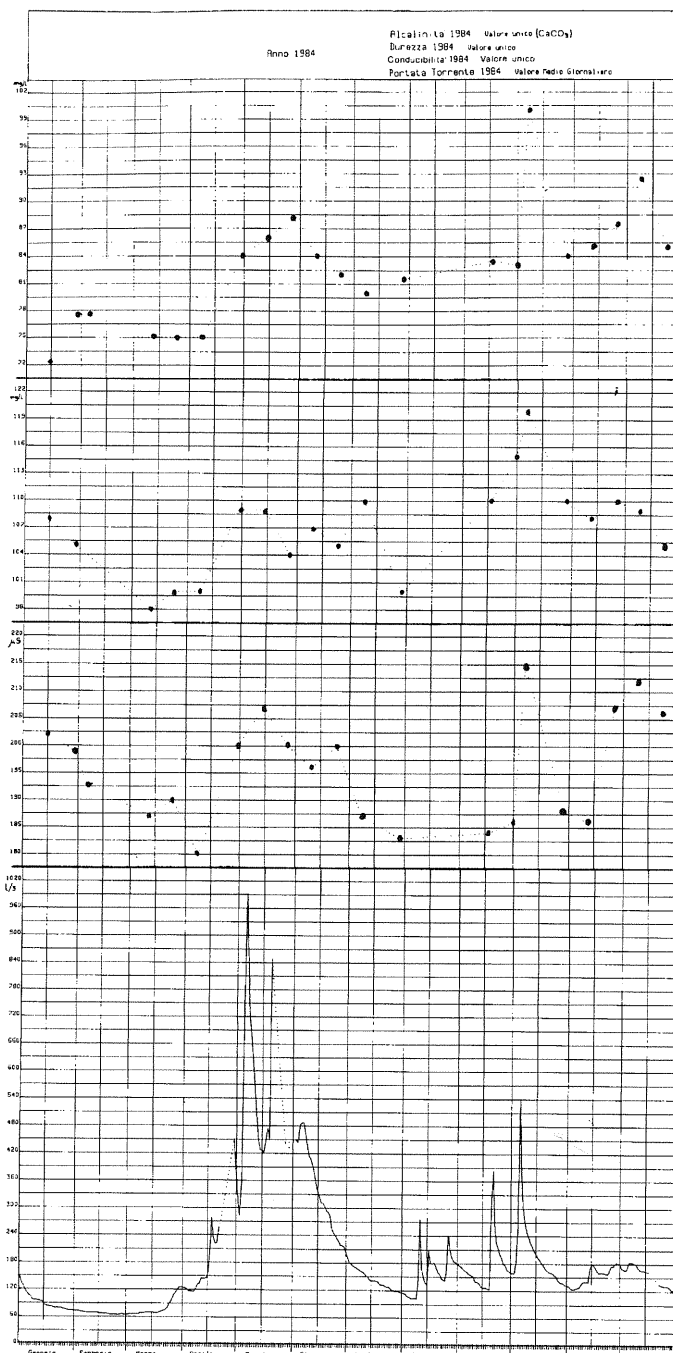
Nell'ambito di questa opera di tutela dovranno essere applicate particolari attenzioni nei confronti di zone di assorbimento concentrato e massivo, con presenza di conche carsiche, doline, inghiottitoi e perdite alveari.

In molti casi una azione continuativa di prevenzione e di salvaguardia nei confronti dei bacini di alimentazione, potrà pertanto evitare all'origine il sorgere di problemi di difficile od impossibile soluzione dopo il ritorno in superficie delle acque.

LO STUDIO DELLE ACQUE CARSICHE

Lo studio degli acquiferi carsici viene effettuato, nella maggior parte dei casi, da operatori scientifici appartenenti alle organizzazioni speleologiche, all'università, o ad enti deputati alla tutela ambientale.

Per varie ragioni buona parte della ricerca in oggetto viene effettuata nelle grotte turistiche. Tali cavità non raramente sono infatti attrezzate con strumentazione di monitoraggio dei principali parametri idrogeologici e meteorologici dell'ambiente sotterraneo, a fini di tutela dei siti e dei visitatori. In questo ambito le grotte di Frasassi,



Correlazione dei diagrammi dei parametri idrochimici con la portata nel sistema carsico di Bossea, anno 1984.

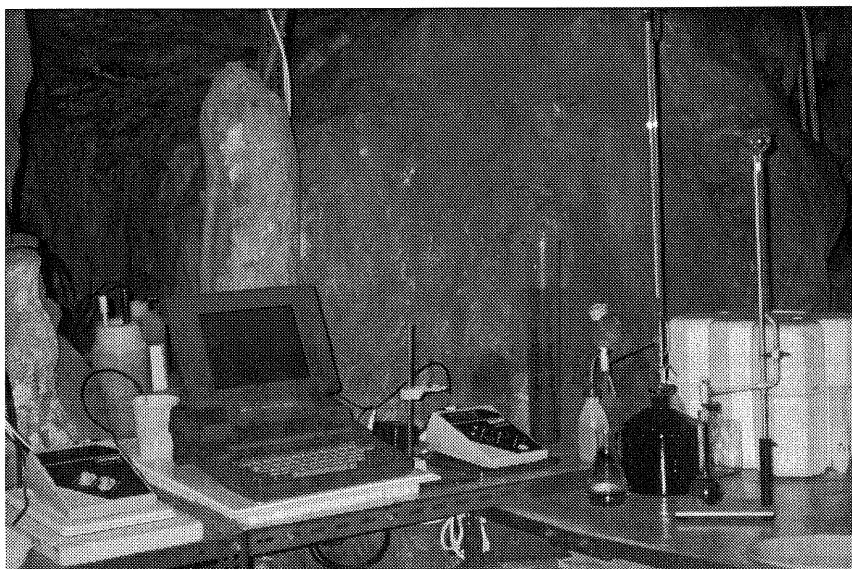
Gregoretti F., Peano G., Villavecchia E., 1990

di Toirano, di Stiffe e di Bossea costituiscono realtà particolarmente avanzate.

Nelle grotte di Stiffe (S. Demetrio nei Vestini, AQ) e di Bossea (Frabosa Soprana, CN) esistono in particolare due laboratori sotterranei per lo studio dell'ambiente carsico. Nel primo, gestito dal Gruppo Speleologico Aquilano, sono oggetto d'indagine, tramite un sistema di rilevamento computerizzato molto progredito, i parametri inerenti la circolazione idrica e le caratteristiche atmosferiche della cavità.

Il secondo, gestito dalla Stazione Scientifica del CAI di Cuneo in collaborazione con altri enti di ricerca, è destinato allo studio degli aspetti idrogeologici, morfologici, meteorologici e biologici dell'ambiente carsico. Costituisce oggi, in Italia, la maggiore installazione scientifica sotterranea in questo settore.

Nei laboratori di Bossea sono in atto da tempo lo studio delle circolazioni idriche nelle rocce carbonatiche, condotto in collaborazione con il Dipartimento Georisorse e Territorio del Politecnico di



Il laboratorio idrogeologico sotterraneo ubicato nella grotta di Bossea: particolare della sezione analisi elettrometriche.

Torino, e del popolamento faunistico delle cavità sotterranee, oggi condotto in collaborazione con il Museo Regionale di Scienze Naturali. E' inoltre iniziato in periodo più recente lo studio meteorologico dell'ambiente ipogeo, effettuato in collaborazione con l'Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale (A.R.P.A.) del Piemonte.

Le ricerche sono state particolarmente approfondite nel settore idrogeologico, tramite il supporto di una strumentazione molto completa e tecnologicamente avanzata e dei laboratori del Politecnico di Torino. Lo studio è stato indirizzato sia alle circolazioni nei grandi dreni, sia a quelle nei piccoli dreni e nei microdreni della zona insatura degli acquiferi, con il conseguimento di un rilevante complesso di acquisizioni presentate sulla stampa specializzata e tramite le monografie della Stazione Scientifica.

BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

- CIVITA M., PEANO G., & VIGNA B., 1982 - *"La stazione sperimentale della Grotta di Bossea nel quadro delle ricerche idrogeologiche sui sistemi carsici del Monregalese, Alpi Marittime"* - Mem. Soc. Geol. It., 29: 187-207.
- CIVITA M., GREGORETTI F., MORISI A., OLIVERO G., PEANO G., VIGNA B., VILLAVECCHIA E. & VITTONI F., 1990 - *"Atti della Stazione scientifica della Grotta di Bossea"* - Gr. Spel. Alpi Marittime CAI Cuneo - Dip. Georisorse e Territorio del Politecnico di Torino, Savigliano: 1-36.
- Civita M., Manzone L. & Vigna B., 1991- *"Rilevamenti strutturali e idrodinamica dei sistemi acquiferi carbonatici"* - Atti I° Conv. Naz. dei giovani ricercatori in geologia applicata, Gargnano sul Garda (Bs).
- PEANO G., VIGNA B., 1996 - *"Le cavità naturali come via privilegiata per lo studio delle acque sotterranee: i rilevamenti effettuati nella stazione scientifica della Grotta di Bossea"* - "Atti del Simposio Internazionale Grotte Turistiche e Monitoraggio Ambientale", Cigna A.A. Ed., Stazione Scientifica di Bossea CAI Cuneo, p. 333.
- CIVITA M., PEANO G., VIGNA B., 1999 - *"Primi risultati dello studio dell'insaturo carbonatico nel sistema di Bossea (Alpi Liguri, Piemonte Meridionale)"* - Pubblicazione n. 2006 del Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche del CNR U.0.4.1. (Dipartimento Georisorse e Territorio del Politecnico di Torino).
- CIVITA M., MANZONE L., VIGNA B., 1992 - *"Idrogeologia degli acquiferi carbonatici di alta quota: due sistemi a confronto"* - Convegno "Alpine Caves: Alpine Karst Systems and their environmental context" - Asiago, giugno 1992.
- PEANO G., 1990 - *"L'acquifero carsico di Bossea"* Mondo Ipogeo, n. 13, anno 1990, G.S.A.M. CAI Cuneo, p. 52.
- CIVITA M., MANZONE L., OLIVERO G., VIGNA B., 1995 *"Le sorgenti del Maira studio di una risorsa idrica di importanza strategica"* - Quaderni di Geologia Applicata - 2° Convegno Nazionale sulla protezione e gestione delle acque sotterranee, Nonantola (Modena) 1995.