

PIER LUIGI VERCESI*

ASPETTI QUALI-QUANTITATIVI DELLE RISORSE IDRICHE SOTTERRANEE DEL BRESCIANO**

RIASSUNTO - Vengono compendiati gli aspetti idrogeologici della provincia di Brescia attraverso l'analisi sintetica delle sue principali caratteristiche geologiche e idrogeomorfologiche.

Il quadro geologico tratteggiato definisce i lineamenti della regione in studio nei suoi aspetti orografici, descrivendo i vari ambiti: montani, dei conoidi, vallivi, morenici e di pianura, evidenziando i tipi litologici presenti nelle varie zone che fungono da serbatoi e da mezzi trasmissivi della risorsa idrica sotterranea. Di detti corpi vengono riportate valutazioni sui principali parametri idrogeologici al fine di caratterizzare le modalità della circolazione idrica al loro interno e di definirne il grado di vulnerabilità.

La caratterizzazione generale che viene fornita compendia pertanto gli elementi salienti della zona esaminata, utilizzando peraltro valori e informazioni di carattere puntuale desunti da aree campione rappresentative, attraverso l'acquisizione di dati locali mediante specifici e dettagliati studi.

Dal complesso degli elementi conoscitivi di carattere generale che sono forniti, e che rappresentano un preliminare momento fondamentale della ricerca, si evince la necessità di acquisire dati puntuali (informazioni sui circuiti idrici, sul quadro di fratturazione e fessurazione, sulla distribuzione spaziale della permeabilità e porosità delle rocce, ecc.) che costituiscono i pilastri su cui basare modelli matematici di simulazione, al fine di arrivare ad una completa ed esaurente conoscenza degli acuíferi.

Di conseguenza le caratteristiche litologiche e tectoniche di un'area sono gli elementi che rendono possibile la ricostruzione idrogeologica di una determinata zona e che permettono, attraverso opportune elaborazioni quali modelli ed integrazioni (localizzazione dei punti d'acqua, dei centri di pericolo ecc.), di definire la potenzialità idrica, il quadro di vulnerabilità delle risorse, l'evoluzione dei fenomeni di eventuali inquinamenti.

SUMMARY - *Qualitative and quantitative aspects of water resources in the area of Brescia.* The hydrogeologic aspects of the province of Brescia are briefly discussed, through the concise analysis of its main geological and hydrogeologic morphologic characteristics.

The geological structure defines the orographic aspects of the area, characterizing the different environments: mountains, alluvial fans, valleys, moraines and plain. This highlights the lithologic types which act as tanks and transmission media of the underground water resources in the various area.

The above mentioned structures are evaluated relative to the main hydrogeologic parameters in order to characterize the patterns of water circulation inside them and their degree of vulnerability.

The resulting general characterization sums up the main components of the area. It is based on detailed values and information gathered from representative sample areas where specific researches were carried out. From the preliminary knowledge gathered, it becomes evident that it will be necessary to collect more detailed data (information concerning water circulation, breaking and cracking patterns, permeability and porosity of rocks) which are the basis of mathematical models of simulation for a complete knowledge of the aquifers.

Consequently the lithologic and tectonic features of an area are the components that allow the hydrogeologic reconstruction of a certain area and that permit, through opportune elaborations like models and integrations (localization of water points, of danger centres, etc.) to define the water capacity, the picture of vulnerability of the resources and the evolution of possible pollutions.

* Dipartimento di Scienza della Terra dell'Università degli Studi di Pavia.

** Hanno collaborato alla stesura del lavoro: il Dr. Genio Bissolati (Azienda Servizi Municipalizzati, via Lamarmora 230 - Brescia); Dr. Fabrizio Finatelli (Studio Geologico Geotecnico Padano, via Vittadini 1 - Pavia); Dr. Laura Ziliani (Studio Geologia Ambiente, viale Rebuffone 230 - Brescia).

1. PREMESSA

Gli aspetti idrogeologici di una regione risultano principalmente caratterizzati e condizionati dai tipi litologici presenti che fungono da serbatoi e da mezzi trasmisivi della risorsa idrica sotterranea. Sia che questi siano costituiti da rocce coerenti o incoerenti, per la definizione delle modalità di circolazione idrica, risulta indispensabile conoscere la distribuzione dei parametri idrogeologici specifici dei corpi.

Le suddette informazioni possono essere acquisite a vari livelli a seconda della finalità prefissa: si passa così dalla scala regionale a quella locale con approfondimento e puntualizzazione degli elementi conoscitivi attraverso prove finalizzate e specifiche. Se a piccola scala può essere sufficiente una caratterizzazione generale che compendi gli elementi salienti di una certa zona utilizzando valori desunti da aree campione rappresentative, alla grande scala si deve necessariamente ricorrere all'acquisizione di dati locali mediante specifici e dettagliati studi di tipo climatologico, strutturale, con traccianti (nel caso di rocce coerenti) o prove di portata, di ricostruzione minuziosa della litostratigrafia ecc. (in presenza di rocce incoerenti).

Questo complesso di elementi conoscitivi rappresenta il momento fondamentale della ricerca in quanto i dati puntuali costituiscono i pilastri su cui basare il modello matematico di simulazione. In altri termini risultano fondamentali le informazioni sui circuiti idrici, sul quadro di fratturazione e fessurazione, sulla distribuzione spaziale della permeabilità e porosità delle rocce, ecc.

Di conseguenza le caratteristiche litologiche e tettoniche di un'area sono gli elementi che rendono possibile la ricostruzione idrogeologica di una determinata area e che permettono, attraverso opportune elaborazioni quali modelli ed integrazioni (localizzazione dei punti d'acqua, dei centri di pericolo ecc.), di definire la potenzialità idrica, il quadro di vulnerabilità delle risorse, l'evoluzione dei fenomeni di eventuali inquinamenti.

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

La provincia di Brescia si caratterizza per la presenza di tutti gli elementi geologici salienti del sudalpino. Questo vale per la successione stratigrafica, l'assetto strutturale e il complesso degli elementi morfologici caratteristici del paesaggio delle Alpi calcaree meridionali.

Le successioni rocciose sono rappresentate dal basamento cristallino (a nord), su cui si appoggiano le successioni sedimentarie permo-mesozoiche. Queste ultime costituiscono il substrato dei depositi marini cenozoici, ben rappresentati soprattutto verso l'area benacense.

L'edificio sedimentario prequaternario, circa lungo la congiungente Brescia-Peschiera del Garda, si inflette proseguendo il suo sviluppo al di sotto dei depositi quaternari che, dal margine prealpino, si ispessiscono verso il centro della pianura formando un cuneo con la zona apicale a N.

Un'ulteriore peculiarità è inoltre rappresentata dall'intrusione terziaria delle plutoniti dell'Adamello che occupano buona parte del settore settentrionale della provincia.

La composizione litologica delle formazioni presenti, come si vedrà in seguito, è estremamente varia passando da rocce di natura prevalentemente terrigena a rocce di franca genesi chimica.

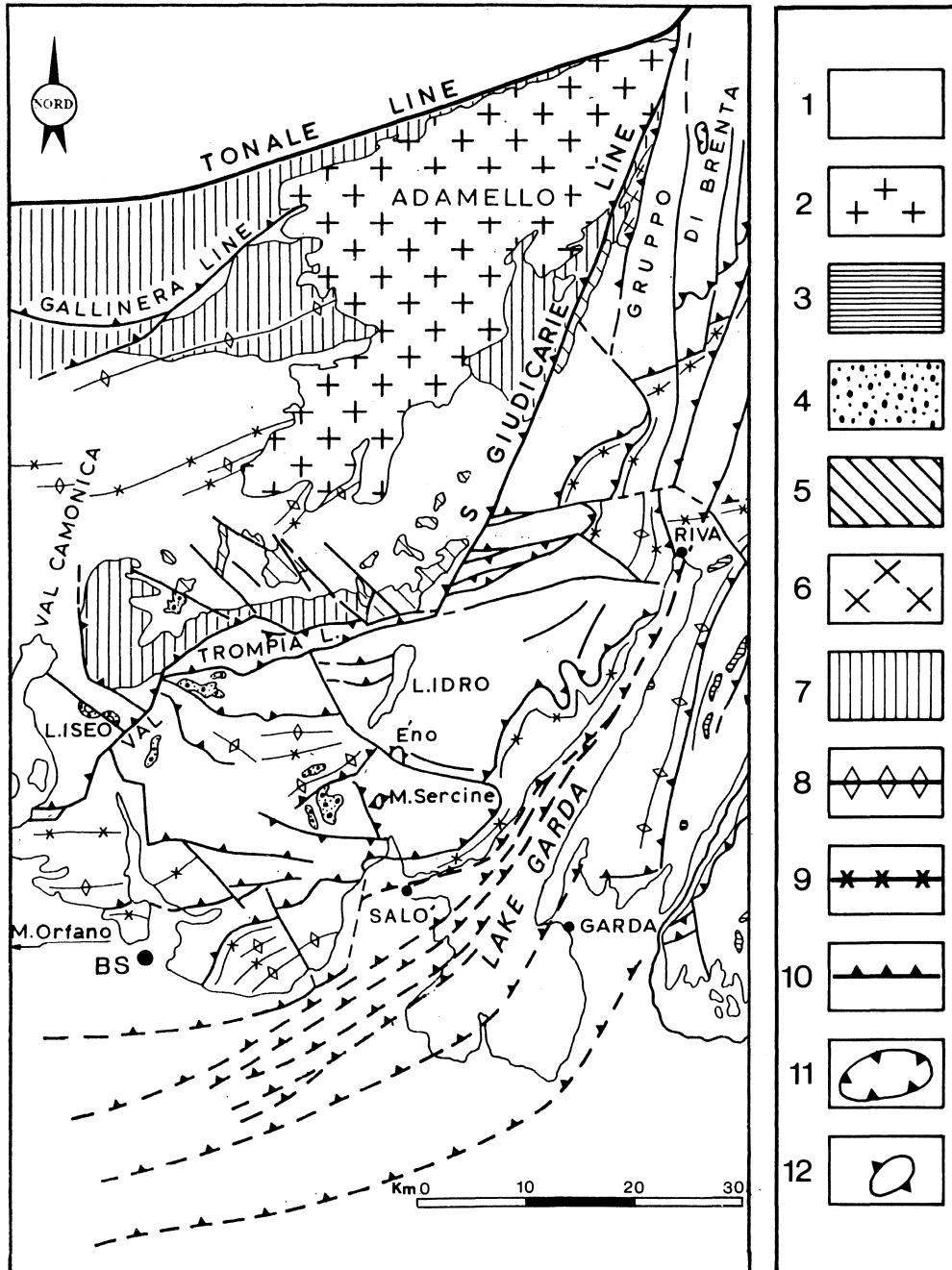


Fig. 1 - Schema tettonico della regione montana bresciana tra il lago di Garda e il lago d'Iseo.
 1 = copertura sedimentaria; 2 = plutoniti alpine dell'Adamello; 3 = basalti paleogenici; 4 = rocce effusive
 medio triassiche; 5 = plateau vulcanico del Permiano inferiore; 6 = granitoidi post erciniici; 7 = basamento
 ercincico; 8 = asse di anticlinale; 9 = asse di sinclinale; 10 = sovrascorrimento; 11 = klippe; 12 = finestra tetto-
 nica. (Tratto da C.N.R., 1991 e da CASTELLARIN *et al.*, 1992).

A seconda della composizione, della tessitura e della struttura, le rocce evidenziano un differente comportamento idrogeologico, risultando più o meno porose o più o meno permeabili (per fratturazione o carsismo).

L'assetto strutturale generale (fig. 1) delle successioni prequaternarie è condizionato dalla presenza di una serie di superfici tettoniche vergenti verso S e SE che comportano generalmente la sovrapposizione dei termini più antichi (più profondi) su quelli più recenti.

Direttive strutturali di primaria importanza sono le numerose pieghe, con andamento analogo e con marcata assimetria verso S, ed il grande gruppo di strutture fragili con direzione NNE-SSW. Queste ultime vengono raggruppate e definite come «sistema giudicariese». A queste principali strutture se ne associa una folta schiera di minori che comportano una deformazione e una minuta frammentazione delle assise rocciose conferendo loro specifiche caratteristiche idrogeologiche.

Si assiste, in pratica, a comportamenti idrogeologici marcatamente diversi nell'ambito della stessa formazione a seconda che questa risulti più o meno intensamente interessata dalla tettonizzazione e da fenomeni di tipo carsico.

Il substrato marino affiorante si prolunga al di sotto della pianura alluvionale ricoperto in discordanza dai depositi pliocenico-quaternari (marini) e villafranchiani. La sua presenza è di primaria importanza rappresentando, in generale, il passaggio acque dolci-acque salse. Inoltre, laddove strutture locali portano il substrato marino in prossimità della superficie vengono individuati compatti idrogeologici specifici.

L'esempio più evidente è dato dalla differente potenzialità idrica dei settori presenti rispettivamente a N e a S dell'allineamento Castenedolo-Montirone-Capriano del Colle. Infatti questi rilievi, costituiscono una sorta di soglia naturale, delimitando a settentrione acquiferi ben distinti da quelli posti a meridione.

I depositi alluvionali quaternari, dotati di buona permeabilità per porosità e ospitanti le principali falde idriche, sono andati a colmare le irregolarità morfologiche del substrato e hanno costituito, specialmente nel corso delle fasi deposizionali connesse con gli eventi glaciali, il ripiano generale della pianura bresciana (fig. 2).

All'interno delle alluvioni, in funzione della loro posizione (più o meno prossima al margine pedealpino), delle caratteristiche tessiturali, dei rapporti tra i corpi permeabili, semipermeabili e impermeabili, si rinvengono falde idriche di differente grado di importanza e con varie condizioni di vulnerabilità.

Settori peculiari sono infine rappresentati dagli apparati morenici che, proprio per le caratteristiche genetiche che li contraddistinguono, evidenziano situazioni e condizioni idrogeologiche particolarmente complesse e articolate. I depositi morenici si sovrappongono interdigitandosi a quelli fluvio-glaciali e fluvio-lacustri delle cerchie intermoreniche formando sistemi poroso-permeabili alternati a sistemi semipermeabili e/o impermeabili, con sviluppo laterale più o meno discontinuo.

3. ZONE IDROGEOLOGICHE

In questo capitolo vengono descritte, sia pure in modo sintetico, le caratteristiche idrogeologiche dei settori più significativi dell'area bresciana secondo il seguente ordine:

- la zona montana;
- i conoidi;

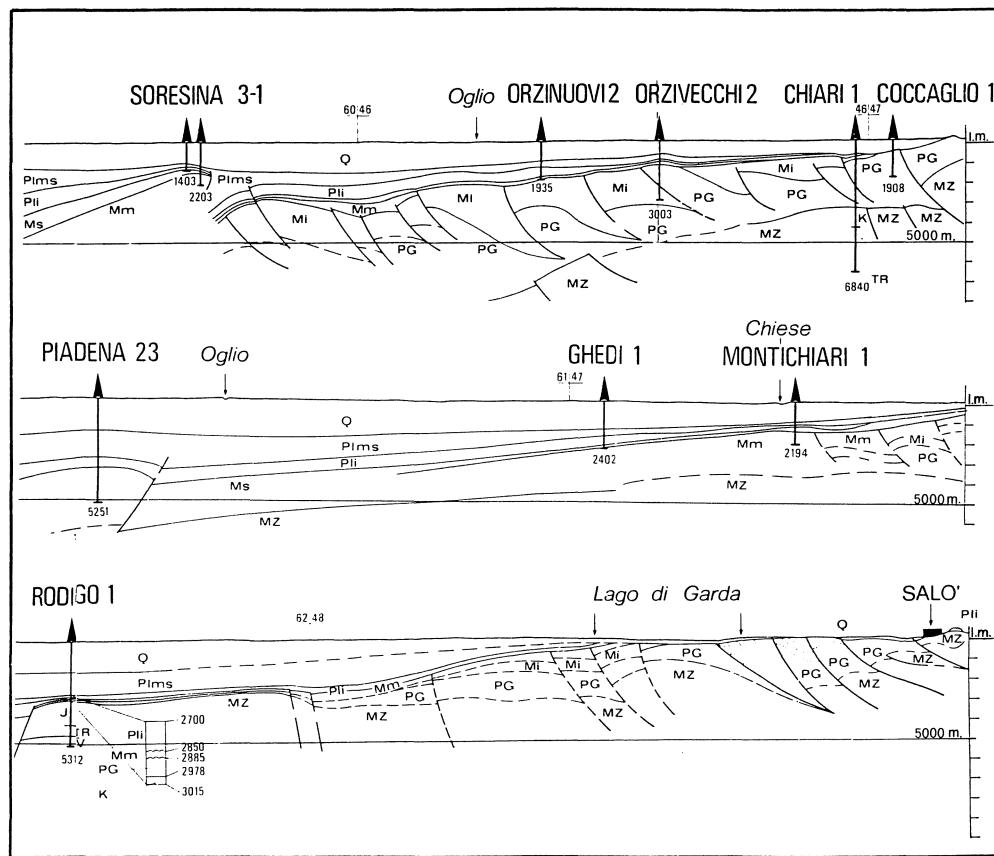


Fig. 2 - Profili strutturali della pianura. Q = depositi quaternari; Plms e Pli = depositi pliocenici; Mm e Mi = depositi miocenici; PG = depositi paleogenici; MZ = substrato mesozoico (K = Cretaceo; J = Giurassico; TR = Trias) (da PIERI & GROPPI, 1981).

- le depressioni vallive;
- gli apparati morenici;
- la pianura.

Per ognuno di questi ambiti verranno fornite indicazioni relative alle disponibilità idriche, alla loro vulnerabilità e al grado di inquinamento conosciuto.

3.1. Zona montana

Le formazioni rocciose presenti sul territorio bresciano sono estremamente diversificate sia per composizione litologica che per le caratteristiche geologiche e, di conseguenza, per il grado di fratturazione e fessurazione presente.

Anche nell'ambito della stessa formazione si evidenziano condizioni molto va-

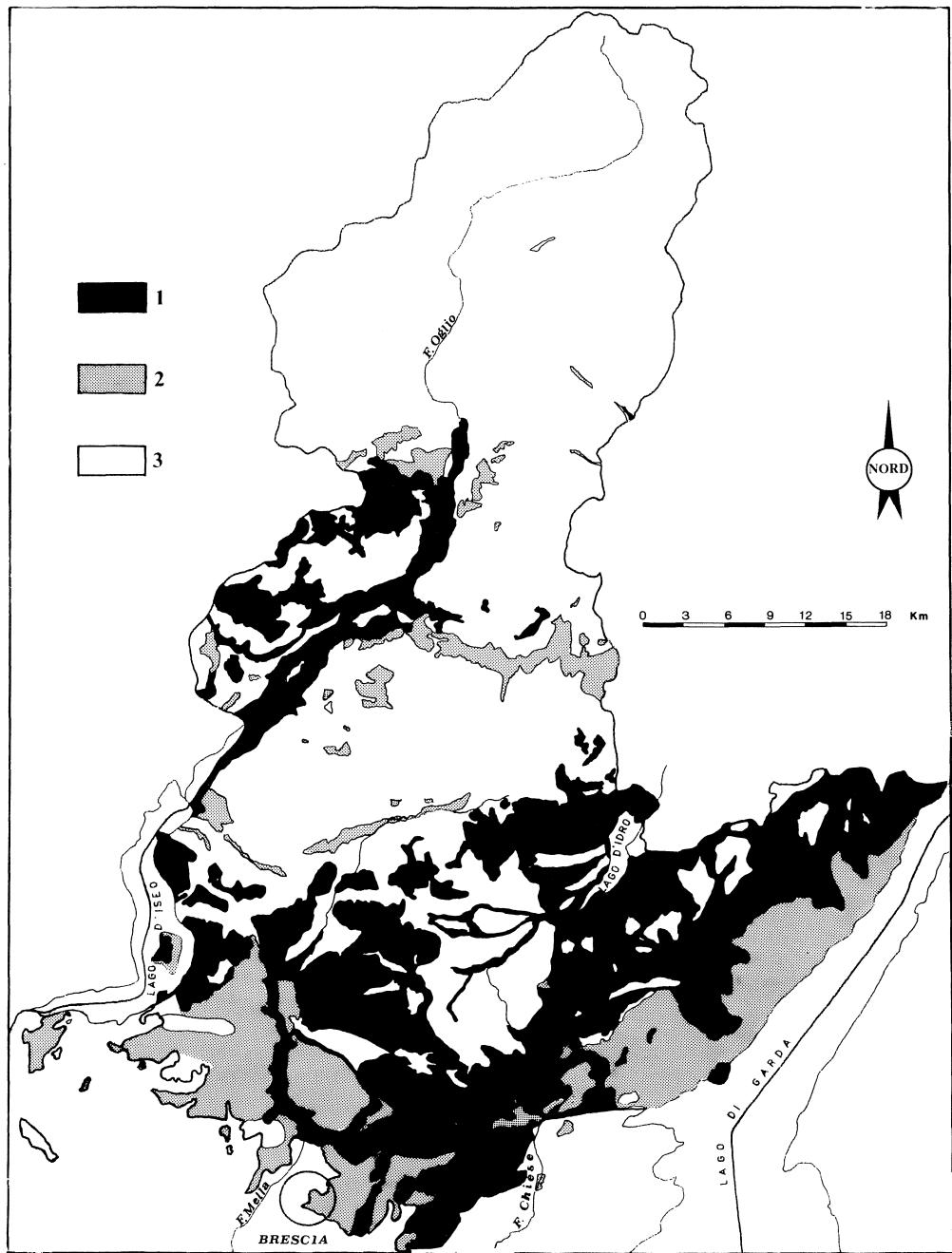


Fig. 3 - Carta della permeabilità. 1 = formazioni ad alto grado di permeabilità ($K > 10^{-3}$ cm/sec.); 2 = formazioni a medio grado di permeabilità ($10^{-3} < K < 10^{-5}$ cm/sec.); 3 = formazioni a basso grado di permeabilità ($K < 10^{-5}$ cm/sec.).

riabili da luogo a luogo (quali grado di fratturazione, variazioni di facies ecc.), per cui volendo definire le caratteristiche idrogeologiche di un ammasso roccioso si deve necessariamente giungere, in modo corretto, ad una estrema puntualizzazione.

È opportuno comunque comunque sottolineare che, per fornire un quadro generale, si debbono necessariamente estrapolare dati derivati da situazioni locali anche molto significative; pertanto, nel compiere tale generalizzazione, comunque indispensabile in un lavoro di sintesi, si devono presentare zonazioni che possono anche non rispecchiare correttamente situazioni specifiche.

Pur con questa premessa e con tutte le cautele del caso, il territorio montano è stato suddiviso in 3 grandi aree, rappresentate nelle figg. 3 e 4, che raggruppano zone con caratteristiche e condizioni idrogeologiche confrontabili.

Sono stati considerati gli ammassi rocciosi raggruppando le unità litologiche secondo il loro grado di permeabilità.

Le principali formazioni classificate (con dati indicativi in merito all'ordine di grandezza della permeabilità dell'ammasso roccioso) sono le seguenti:

- A - Depositi continentali quaternari, Calcare di Esino, Dolomia Principale, Dolomia a Conchodon, Calcare di Zu (facies carbonatica), Corna (coefficiente di permeabilità $K > 10^{-3}$ cm/sec.);
- B - Servino, Carniola di Bovegno, Calcare di Gardone Val Trompia, Calcare di Domaro, Medolo, Formazione di Concesio, Selcifero Lombardo, Maiolica, Marna di Bruntino, Sass de la Lüna (coefficiente di permeabilità $10^{-3} < K < 10^{-5}$ cm/sec.);
- C - Complessi metamorfici e cristallini, conglomerati plio-quaternari, molasse oligoceniche e tardo-erciniche, Calcare di Angolo, Calcare di Prezzo, Formazione di Buchenstein, Formazione di Wengen, Formazione di S. Giovanni Bianco, Arenarie di Val Sabbia, Membro di Lumezzane, Argilliti di Riva di Solto, Calcare di Zu (facies marnosa), Arenarie di Sarnico, Scaglia (varie facies), (coefficiente di permeabilità $K < 10^{-5}$ cm/sec.).

3.1.1. *Potenzialità idrica*

La disponibilità idrica nella zona montana è influenzata da diversi fattori quali: la quantità di precipitazioni, i tempi di corrievole, l'infiltrazione efficace, la capacità delle rocce di fungere da serbatoio e da mezzo trasmissivo, la presenza di soglie impermeabili, ecc.

Nella zona montana bresciana le precipitazioni variano annualmente nell'intervallo compreso tra i 1.000 e i 1.600 mm e, di conseguenza, forniscono un apprezzabile apporto idrico.

La conformazione orografica e strutturale dei rilievi è tale da facilitare, solo localmente, un buon apporto all'infiltrazione efficace nelle masse rocciose, infatti, come raffigurato nella Carta della potenzialità idrica, sulla base dei dati disponibili (P.R.A., Assessorato all'Ecologia) si vede che solo il 25-30% della zona montana evidenzia buone caratteristiche di permeabilità principalmente per fessurazione e fratturazione.

La restante parte del territorio è invece caratterizzata da permeabilità limitata.

La disponibilità idrica fornita dalle sorgenti è la diretta risposta al complesso delle situazioni esistenti. Le sorgenti, in funzione del tipo di circolazione che avviene nelle rocce, possono variare dal tipo superficiale a quello profondo. Le superficiali

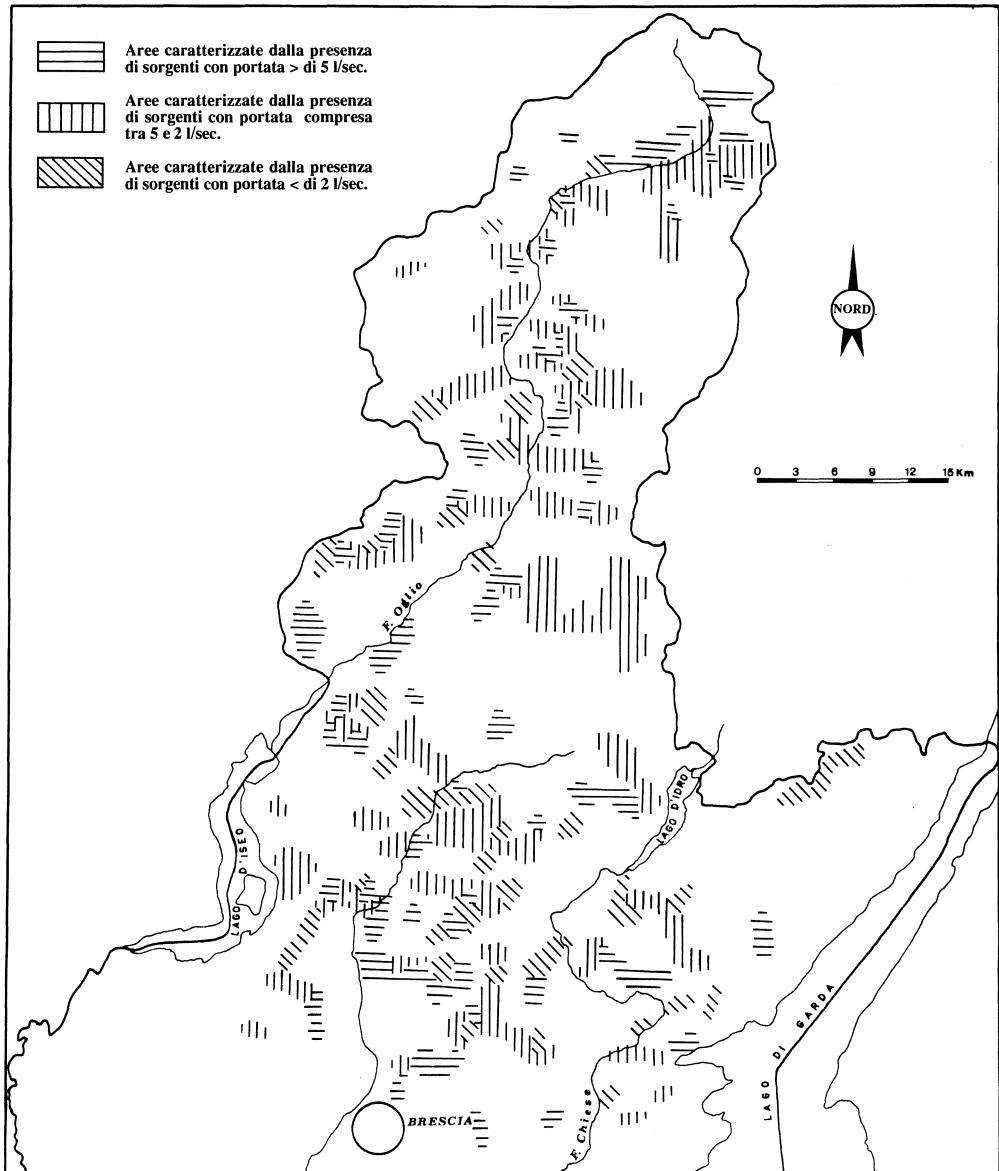


Fig. 4 - Carta della potenzialità idrica nella zona montana.

sono soprattutto presenti in corrispondenza di un substrato integro, a bassa permeabilità, ricoperto da coltri eluviali e/o morenico-colluviali. Le portate di queste sorgenti sono in genere alquanto ridotte (ordine massimo di 1 l/sec.), anche se localmente possono raggiungere valori apprezzabili, grazie alla presenza di potenti ed estese coltri detritiche alimentate sia direttamente per infiltrazione che indirettamente da apporti da circuiti carsici del substrato roccioso.

Più interessanti sono gli acquiferi caratterizzati da una permeabilità per scistosità cui si associa un reticolato di fratture anche se non particolarmente intenso. Queste zone sono in grado di fornire sorgenti con portata che si aggira anche sui 5 l/sec. e, in molti casi, anche abbondantemente superiore.

I valori di portata più significativi delle sorgenti si riscontrano in corrispondenza di sistemi carsici ben sviluppati, che, a parte le diffuse sorgenti con portata ridotta, possono in alcuni casi garantire rilevanti emissioni continue, con picchi elevati specie dopo intensi eventi meteorici.

3.1.2. Vulnerabilità delle risorse idriche

Le aree ove sono direttamente affioranti o subaffioranti litotipi permeabili per fratturazione e con circolazione di tipo carsico sono contraddistinte da un grado di vulnerabilità generalmente medio-alto, che diventa molto elevato in corrispondenza di estesi sistemi di fratturazione, di inghiottiti carsici, ecc., coincidenti con particolari situazioni morfologiche (altipiani, zone a deflusso superficiale centripeto ecc.).

Si sottolinea, in ogni caso, che le aree di affioramento delle situazioni sopra menzionate sono tuttavia contraddistinte da un grado di urbanizzazione bassissimo od addirittura assente, con conseguente mancanza o scarsa presenza di centri di pericolo. Tuttavia, la locale esistenza di nuclei sparsi (alcuni dei quali abitati saltuariamente) non dotati di impianti di fognatura e di impianti zootecnici di dimensioni modeste risultano responsabili di manifestazioni di un diffuso inquinamento microbiologico.

Spesso tale inquinamento è connesso con la tipologia stessa delle opere di captazione; queste sono per lo più obsolete, in cattivo stato di conservazione e, di conseguenza, inadatte a proteggere il bottino di presa da infiltrazioni superficiali.

Inoltre, nella maggior parte dei casi, risultano del tutto assenti recinzioni che delimitino zone di tutela assoluta della sorgente.

Localizzati episodi di inquinamento da ferro (Tavernole sul Mella) e solfati (Odo-lo) sono imputabili rispettivamente alle caratteristiche della rete di distribuzione e a cause geologiche (acquifero con rocce gessose).

Sono infine noti sporadici fenomeni di inquinamento di sorgenti da nitrati (Mura).

3.2. I conoidi

I conoidi di monte sono forme di deposizione che si sviluppano lungo i versanti dei principali fondovalle, in corrispondenza dello sbocco dei corsi d'acqua secondari verso il collettore principale.

Il meccanismo di deposizione è legato alla repentina diminuzione di velocità subita dal corso d'acqua al passaggio tra la vallata laterale e il fondovalle principale.

Si formano in tal modo i caratteristici corpi deposizionali a forma di semicono, generalmente a pianta circa triangolare con apice che si insinua verso monte direttamente nell'incisione valliva corrispondente (fig. 5).

Derivano, in pratica, dal continuo spostamento «a ventaglio» dell'asta principale del corso d'acqua, con il progressivo accumulo dei depositi lungo il filone principale della corrente.

Tale accumulo risulta così dotato di una più o meno marcata convessità verso l'alto che produce generalmente la pensilità del corso d'acqua nella porzione intermedia e terminale del conoide stesso.

La pendenza longitudinale è generalmente piuttosto accentuata in quanto dipen-

de dal regime dei corsi d'acqua cui sono connessi (caratterizzati da portate irregolari), nonché dalle dimensioni dei depositi da cui sono formati.

Questi ultimi sono generalmente costituiti da materiali grossolani, con una frazione fine in percentuale variabile ma generalmente limitata.

Si possono pertanto considerare come corpi deposizionali sostanzialmente omogenei, dotati di una permeabilità medio-elevata per porosità, che si vanno ad appoggiare e a interdigitare con gli adiacenti depositi alluvionali di fondovalle.

3.2.1. Potenzialità idrica dei conoidi di monte

I conoidi di monte per la loro genesi e collocazione topografica e per la loro stessa natura litologica e tessiturale, rivestono un ruolo rilevante per ciò che concerne la disponibilità di risorse idriche. Infatti, costituendo in pratica il termine di transizione tra le incisioni vallive laterali e il fondovalle principale, rappresentano la via preferenziale di accumulo e di distribuzione delle acque sotterranee provenienti dai rilievi montuosi verso gli adiacenti depositi di fondovalle. Detti materiali, dotati di elevata permeabilità, sono infatti sede di un'attiva circolazione idrica connessa, oltre che con l'infiltrazione delle acque meteoriche, con l'alimentazione diretta da parte del corso d'acqua secondario ed anche dagli apporti delle acque presenti nelle stesse formazioni rocciose (permeabili per porosità o per fessurazione) in cui sono impostati i versanti vallivi cui questi conoidi si appoggiano. Costituiscono pertanto importanti serbatoi naturali, con caratteristiche quali-quantitative buone, che contribuiscono in maniera spicua all'alimentazione dei depositi del fondovalle principale cui si interconnettono.

La loro potenzialità è quindi generalmente elevata ed è in rapporto diretto oltre che alle dimensioni degli accumuli (intesi sia come estensione areale dei conoidi di versante, che come potenza complessiva dei depositi che li costituiscono) anche all'estensione e potenzialità idrica del relativo bacino di alimentazione (riconducibile in pratica all'ampiezza del solco vallivo al cui sbocco detti conoidi sono ubicati).

3.2.1. Vulnerabilità delle risorse idriche dei conoidi di monte

Trattandosi, come visto, di corpi deposizionali dotati di permeabilità medio-alta, i conoidi possono essere considerati caratterizzati da una vulnerabilità intrinseca elevata.

Tuttavia, l'effettivo rischio di diffusione di inquinanti in questi corpi risulta variabile in funzione del loro grado di «sfruttamento» antropico, principalmente riconducibile all'urbanizzazione.

Infatti, laddove questi conoidi assumono una maggiore estensione e una penenza meno accentuata, si sono, già nel corso dei secoli, con una certa frequenza, sviluppati gli insediamenti abitativi, sovente accompagnati, in questi ultimi decenni, anche da espansione di tipo produttivo (industriale e/o artigianale).

Viceversa in corrispondenza delle fasce dei conoidi più acclivi e più prossime ai versanti vallivi, lo sfruttamento antropico è per lo più limitato al semplice utilizzo agricolo e/o forestale.

Risulta quindi evidente che le aree di maggior rischio si localizzano in corrispondenza delle porzioni urbanizzate verso le quali si deve necessariamente porre una meticolosa attenzione per proteggere l'integrità di questi settori, così delicati e importanti sotto l'aspetto della circolazione idrica sotterranea.

I conoidi di pianura sono corpi deposizionali di genesi analoga a quella dei precedenti conoidi di monte dai quali si differenziano per la maggior estensione areale e per una struttura nel complesso più articolata. Si tratta infatti di accumuli rilasciati

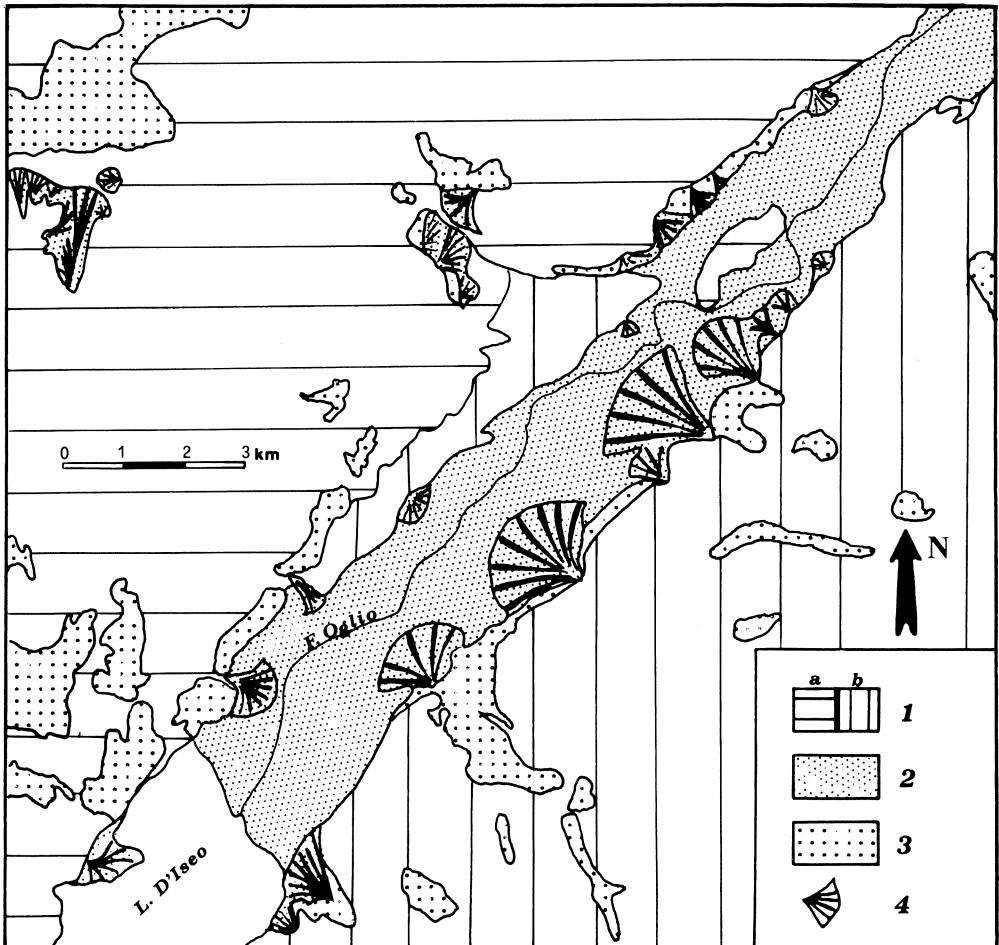


Fig. 5 - Raffigurazione del tratto meridionale della Val Camonica e del settore nord del Lago d'Iseo.
 1 = substrato marino (a = prevalenti rocce calcaree; b = micascisti e arenarie); 2 = alluvioni post-glaciali;
 3 = principali depositi morenici e detrito di versante; 4 = conoidi.

dai principali corsi d'acqua (F. Oglio, F. Mella, F. Chiese ecc.) al loro sbocco nella pianura vera e propria.

Anche in questo caso, la variazione di gradiente idraulico combinata all'aumento della sezione del corso d'acqua, comporta una diminuzione della velocità e quindi della capacità di trasporto delle acque; di conseguenza si verifica il rilascio dei materiali trasportati, dai più grossolani progressivamente ai più fini.

I depositi vanno a costituire pertanto strutture coalescenti che pur non risultando decisamente marcate come quelle di monte, tuttavia sono ancora individuabili sulla base di elementi morfologici e sedimentologici.

Si riconoscono, quindi, ancora le tipiche forme «a ventaglio» dei depositi. Queste risultano allungate all'interno della pianura alluvionale nella direzione dell'asse

vallivo di provenienza e sono costituite da più corpi lentiformi (principalmente piano-concavi) sovrapposti dovuti al susseguirsi delle diverse fasi deposizionali.

Dal punto di vista granulometrico si tratta di depositi prevalentemente grossolani, nelle zone apicali (prossime cioè ai rilievi montuosi di provenienza), che nelle porzioni intermedie e distali si arricchiscono progressivamente delle frazioni più fini (principalmente sabbiose) specie in corrispondenza delle facies di intercanale e delle zone di tracimazione. Si tratta pertanto di depositi prevalentemente poroso-permeabili, cui si intercalano solo localmente lenti di materiale limoso-argilloso a bassa permeabilità.

3.2.2. Potenzialità idrica dei conoidi di pianura

I conoidi di pianura rivestono un ruolo fondamentale e di primaria importanza sia come serbatoi idrici che come aree di alimentazione delle principali falde della Pianura Padana in generale e di quella bresciana in particolare.

Infatti questi corpi sedimentari ricevono abbondanti apporti idrici direttamente dalle falde di subalveo contenute nei depositi di fondovalle, di cui rappresentano le terminazioni, e dagli stessi corsi d'acqua cui sono connessi.

Proprio per la loro peculiare situazione queste aree sono state da sempre sfruttate per l'emungimento di acque per gli usi più differenziati.

Inoltre, poiché questi depositi si vanno ad interdigitare con le assise alluvionali costituenti la pianura principale, è proprio in corrispondenza di questi conoidi che si individuano le aree di ricarica degli acquiferi profondi della pianura.

3.2.2. Vulnerabilità delle risorse idriche dei conoidi di pianura

I depositi che costituiscono i conoidi in esame sono caratterizzati da un grado di vulnerabilità generalmente elevato riconducibile in primo luogo alla loro tessitura grossolana nonché alla pressoché totale assenza di orizzonti impermeabili. A tale condizione primaria si va a sommare la presenza di numerosi elementi di rischio che potrebbero rappresentare potenziali fonti di inquinamento, quali i numerosi insediamenti industriali e zootecnici, la presenza di cave e discariche, oltre all'alta concentrazione abitativa che caratterizza la fascia pedemontana bresciana.

Inoltre, in questa porzione di territorio, la stretta connessione con le acque di alveo e di subalveo dei corsi d'acqua risulta essere un ulteriore elemento di rischio poiché questi collettori si sono trasformati nel recapito degli scarichi sia urbani che industriali.

Appare evidente, per quanto esposto in precedenza, come tali fattori di pericolo vadano valutati nell'ottica di una corretta pianificazione finalizzata alla tutela e allo sfruttamento della risorsa idrica in queste aree che sono e devono essere considerate cruciali sotto questo punto di vista.

3.3. I fondovalle

Nel territorio bresciano si individuano alcune importanti incisioni vallive, connesse con l'attività dei fiumi Oglio, Mella e Chiese, il cui fondo risulta parzialmente colmato dai depositi terrazzati di origine fluvioglaciale (pleistocenici) e dalle alluvioni pur esse terrazzate di età olocenica.

Si tratta di materiali di natura prevalentemente ghiaiosa e ghiaioso-sabbiosa, anche se localmente si rinvengono intercalazioni lentiformi più fini, limoso-argillose.

Queste associazioni di facies sono infatti caratteristiche degli ambienti sedimentari di piane alluvionali a canali intrecciati (tipo «*braided*»), tipici dei tratti di fondo-valle che si collocano in posizione intermedia tra parti ad elevato gradiente delle zone di testata e quelli a più blanda pendenza delle piane alluvionali terminali (sovente caratterizzate da ambienti con corsi d'acqua meandreggianti).

I corpi lenticolari e discontinui che si individuano nei settori in esame sono ascrivibili principalmente ai depositi di barra e di fondo canale (materiali più grossolani) e subordinatamente di canale abbandonato (depositi più fini, generalmente di più ridotta estensione). Si tratta di depositi a permeabilità da media ad elevata, la cui potenza è ovviamente variabile in senso trasversale rispetto ai fondo-valle, raggiungendo i valori massimi in corrispondenza dell'asse centrale dell'incisione valliva.

Anche in senso longitudinale si possono registrare spessori variabili a causa della presenza di soglie prodotte dal substrato roccioso talora sub-affiorante.

3.3.1. *Potenzialità idrica*

I depositi vallivi risultano ospitare un'unica falda, a carattere eminentemente freatico, in diretta connessione con le acque di alveo e di subalveo del collettoore principale.

Queste risultano essere il recapito sia delle acque infiltratesi nei depositi detritici di versante che di quelle circolanti negli stessi rilievi rocciosi, permeabili principalmente per effetto di fessurazioni o per fenomeni di tipo carsico. La falda è alimentata soprattutto dai conoidi di deiezione delle vallate secondarie, i cui accumuli sono in diretta continuità con i depositi di fondo-valle, che, come visto, convogliano le acque raccolte nei bacini idrogeologici laterali.

La potenzialità di tali falde è generalmente elevata, come testimoniato dalla presenza di numerosi pozzi ad uso acquedottistico, oltre che industriale. Essa è comunque legata da un lato alle condizioni di alimentazione degli acquiferi, dall'altra alla potenza e alla tessitura dei depositi ospitanti gli acquiferi stessi, fattori questi che condizionano i principali parametri idrodinamici.

3.3.2. *Vulnerabilità delle risorse idriche*

La vulnerabilità intrinseca dei depositi di fondo-valle è ovviamente elevata, in considerazione del loro grado di permeabilità che è generalmente alto.

Inoltre occorre ricordare come proprio in corrispondenza di tali fondo-valle siano generalmente concentrati molti elementi potenzialmente inquinanti quali: insediamenti urbani, insediamenti produttivi (industriali e artigianali), insediamenti zootecnici, cave in attività o dismesse, ecc.

A ciò va aggiunto come potenziale elemento di rischio per la risorsa idrica, il fatto che gli stessi corsi d'acqua, le cui acque hanno caratteristiche qualitative in genere scadenti per i motivi sopra citati, possono esercitare in alcuni tratti di fondo-valle un'azione alimentante nei confronti delle falde.

3.4. **Apparati morenici**

La zona posta a meridione dei rilievi montuosi bresciani si caratterizza per la presenza di una vasta e regolare pianura marginata nei settori nord-occidentale e nord-orientale dagli apparati morenici sebino-benacensi. Le unità idrogeologiche fondamentali presenti in queste aree sono raffigurate nella fig. 6.

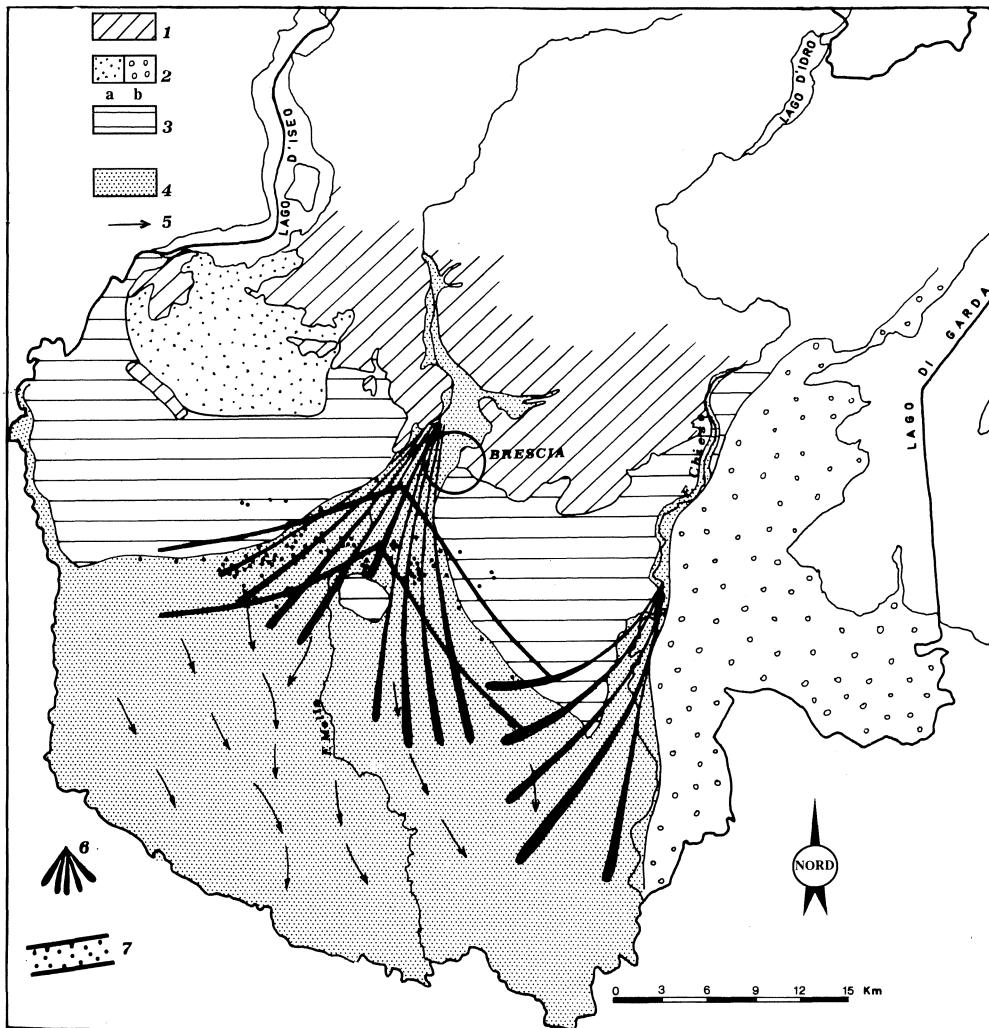


Fig. 6 - Carta delle unità idrogeologiche della pianura. 1 = substrato roccioso prequaternario; 2 = unità idrogeologica degli apparati morenici (a = del lago d'Iseo; b = del lago di Garda); 3 = unità idrogeologica impostata nei depositi fluvio-glaciali mindelliani e rissiani; 4 = unità idrogeologica impostata nei depositi fluvio-glaciali würmiani e fluviali olocenici; 5 = traccia di paleoalveo; 6 = conoidi; 7 = fontanili e relativa fascia di affioramento delle acque.

I depositi morenici che si rinvengono nel territorio in esame sono attribuibili al grande apparato del lago di Garda e a quello, di minore estensione, del lago d'Iseo. Questi apparati, disposti caratteristicamente ad anfiteatro, risultano alquanto articolati, evidenziando rilievi collinari anche elevati cui si interpongono zone vallive più o meno estese e subpianeggianti.

Si è in pratica in corrispondenza delle cerchie moreniche formatesi a seguito dell'alterno avanzamento e ritiro dei ghiacciai; in tal modo si sono infatti creati

gli attuali rilievi e le zone subpianeggianti intermoreniche, entrambi interessati profondamente dall'azione svolta dalle acque superficiali che hanno portato al modellamento dei cordoni morenici più rilevati, distribuendo i materiali asportati nelle adiacenti piane.

In funzione dei diversi meccanismi di accumulo dei materiali (da parte dei ghiacciai nei rilievi morenici veri e propri, ad opera degli scaricatori fluvioglaciali nelle piane intermoreniche) si possono individuare settori caratterizzati da differenti granulometrie e tessiture dei depositi (fig. 7). Infatti i cordoni morenici sono costituiti da un insieme caotico di materiali: ghiaia, sabbia, limo e argilla in percentuali variabili.

Al contrario, i materiali depositati dagli scaricatori fluvioglaciali risultano generalmente meglio stratificati e classati. Si tratta in prevalenza di ghiaie e sabbie; tuttavia, laddove le condizioni morfologiche locali avevano portato alla formazione di zone di ristagno, si sono depositati materiali più fini, argilloso-limosi e torba. Livelli argillosi e limosi possono essere anche ascrivibili a morene di fondo o a paleosuoli formatisi in periodi interglaciali o interstadiali.

In superficie, sui depositi glaciali e fluvioglaciali, si è impostata un'alterazione piuttosto intensa che ha portato alla costituzione di una coltre pedogenizzata più o meno profonda.

Il quadro litostratigrafico sopra tracciato, alquanto articolato, porta alla definizione di una struttura idrogeologica piuttosto complessa, per le notevoli variazioni latero-verticali dei depositi morenici e fluvioglaciali e per le stesse frequenti interdigazioni tra gli stessi, dovute alle caratteristiche dinamiche e temporali che hanno portato alla formazione degli apparati morenici in esame.

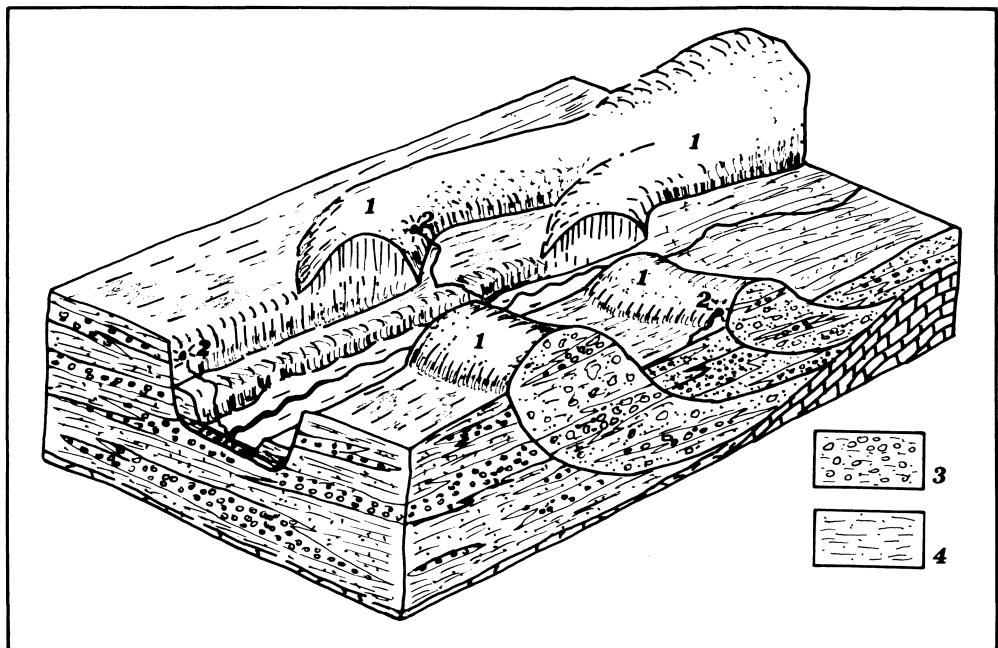


Fig. 7 - Schema della struttura litologica e idrogeomorfologica dell'apparato morenico. 1 = cordoni morenici; 2 = sorgente; 3 = orizzonti poroso-permeabili; 4 = orizzonti a bassa permeabilità.

3.4.1. Potenzialità idrica

Sulla base di quanto espresso in precedenza, gli apparati morenici risultano corrispondere, come detto, ad una struttura idrogeologica complessa che vede la sovrapposizione e l'alternarsi di orizzonti poroso-permeabili a livelli con permeabilità bassa o nulla.

Per ciò che concerne i depositi morenici veri e propri, si rileva come all'interno delle successioni più permeabili si verifichi in genere la formazione di falde idriche superficiali, indipendenti tra loro, legate alle condizioni litologiche e morfologiche locali, in prevalenza di limitata potenzialità, anche in ragione di un'alimentazione principalmente connessa agli eventi meteorici.

Data la particolare struttura morfologica e stratigrafica, si verifica localmente l'emergenza di diverse sorgenti intermoreniche, per altro di portata esigua.

Di maggiore interesse produttivo risultano le falde in pressione contenute nei livelli ghiaioso-sabbiosi più profondi, compresi tra limi e argille, ascrivibili a vecchi ripiani intermorenici successivamente ricoperti dall'avanzata dei più recenti depositi morenici.

Data la più volte accennata complessità strutturale degli apparati, di tali acquiferi risultano di difficile determinazione sia l'andamento spaziale che gli stessi meccanismi di alimentazione.

Ugualmente significativi risultano gli acquiferi contenuti all'interno della vasta pianura intermorenica riconducibile specificatamente all'anfiteatro morenico del Garda, compresa tra le cerchie moreniche più esterne di Carpenedolo (di età mindelliana) e quelle più interne di età rissiana, per la quale si è prodotta una situazione idrogeologica molto simile a quella dell'alta pianura alluvionale bresciana.

3.4.2. Vulnerabilità delle risorse idriche

Il grado di vulnerabilità degli acquiferi appartenenti al sistema idrogeologico degli apparati morenici risulta alquanto diversificato in funzione sia della notevole variabilità granulometrica dei depositi (in particolare di quelli costituenti i cordoni morenici), sia della diversa profondità della coltre pedologica limoso-argillosa di copertura dei depositi intermorenici.

Va rilevato infatti come la vulnerabilità risulti particolarmente elevata nei ripiani intermorenici laddove questa copertura è stata dilavata o asportata antropicamente, così come in corrispondenza dei corsi d'acqua naturali e dei canali artificiali, che fungono frequentemente da recapito degli scarichi civili, industriali ed agricoli.

Questo aspetto riguarda principalmente le falde idriche più superficiali, maggiormente esposte al pericolo di contaminazioni da parte di sostanze inquinanti diffuse in superficie, il cui grado di protezione dipende quindi dalla presenza, soprattutto nei primi metri della successione stratigrafica, di litologie a ridotta permeabilità in quanto caratterizzate da una abbondante frazione limosa e limoso-argillosa (costituente anche la matrice dei depositi morenici).

Un maggiore grado di protezione complessivo è ipotizzabile per le falde più profonde, in pressione, anche se non sono da escludere a priori le possibilità di un loro collegamento, e quindi di contaminazione, con gli acquiferi superficiali, a causa della discontinuità dei livelli impermeabili di separazione.

Un altro aspetto cruciale per la corretta futura valutazione della vulnerabilità di tali acquiferi consiste nella comprensione delle effettive modalità di alimentazione e quindi nell'individuazione delle possibili aree di ricarica, da sottoporre a particolari tutele.

3.5. La pianura

La pianura bresciana, sviluppandosi dal margine meridionale dei contrafforti rocciosi mesozoici e terziari, è delimitata per la maggior parte, a occidente ed a meridione, dal percorso del fiume Oglio.

Essa degrada verso S, in modo blando, con acclività decrescente; la monotonia morfologica è rotta in corrispondenza di alcuni rilievi isolati, qui citati da E verso W: Colle di Cilivergne, di Castenedolo, di Capriano del Colle e di Pievedizio.

La morfologia della zona è movimentata da una serie di corsi d'acqua ad andamento prevalente N-S che hanno dato origine a terrazzamenti più o meno pronunciati. Procedendo da W verso E si ricordano:

- Fiume Oglio, emissario del Lago d'Iseo;
- Fosso Longherone, antico scaricatore glaciale Sebino;
- Fiume Strone, affluente dell'Oglio presso Pontevico;
- Fiume Mella, proveniente dalla Val Trompia, confluisce nell'Oglio a S di Pralboino;
- Torrente Garza, con alveo attuale quasi interamente artificiale, lambisce la porzione occidentale del Colle di Castenedolo, per poi spagliare liberamente senza confluire in alcun ricettore;
- Fiume Chiese, percorsa la Val Sabbia, dopo lo sbocco in pianura, costeggia a ponente i rilievi morenici mindelliani dell'apparato benacense.

Facendo riferimento alla fig. 6, in cui vengono accorpate unità litostratigrafiche che presentano comportamento idrogeologico simile per omogeneità di alcuni parametri fondamentali, quali permeabilità, trasmissività e porosità, si possono notare tre aree ben distinte:

- area settentrionale e orientale p.p., dominata dagli affioramenti del substrato roccioso e dai depositi glaciali dell'apparato morenico sebino e dal margine dell'apparato morenico benacense di cui si è già trattato diffusamente;
- area centrale, occupata dagli estesi terrazzi fluvioglaciali del Pleistocene medio e dall'allineamento dei colli attribuiti ai fluvio-glaciali Riss e Würm;
- area meridionale, nella quale si rinvengono i depositi fluvioglaciali würmiani.

È inoltre conosciuta una serie idrogeologica definita dalle seguenti principali quattro unità sovrapposte:

substrato roccioso indifferenziato: è costituito dalle rocce mesozoiche e terzarie, oggetto di più approfondita analisi nei paragrafi precedenti; trattando della pianura si può aggiungere che in prossimità delle aree settentrionali di affioramento questa unità si rinviene a profondità variabile tra i 30 e i 150 m anche se, localmente, in corrispondenza dei principali solchi vallivi, tale profondità può superare i 250 m. Procedendo verso S scompare ricoperta dalla potente coltre quaternaria. Il substrato, se fratturato, può contenere falde idriche limitate ma di buona qualità;

unità «Villafranchiana Auct.»: risulta costituita da limi, limi sabbiosi e argillosi, con intercalazioni di sabbia e rare ghiaie, di origine generalmente continentale, anche se per finalità operative e pratiche, è ormai consuetudine definire «villafranchiani»

anche i sedimenti marini del Pleistocene inf. in quanto hanno comportamento idrogeologico analogo. I terreni di questa unità non fanno parte delle unità affioranti, ma sono presenti spesso nelle documentazioni stratigrafiche dei pozzi terebrati per ricerche d'acqua, costituendo il substrato degli acquiferi superficiali più produttivi. Le acque contenute nelle rare lenti permeabili sono di qualità scadente per presenza diffusa di ferro, idrogeno solforato e ammoniacata. Essendo però confinate in strati praticamente impermeabili, hanno tuttavia il pregio di essere protette da infiltrazioni superficiali spesso contaminate da attività antropiche;

unità a conglomerati e Fluvioglaciale Mindel-Riss: si tratta di una successione di conglomerati, sabbia, arenaria e rare ghiaie, che si rinviene a varie profondità ma che rappresenta un orizzonte abbastanza continuo nella fascia pedemontana e in corrispondenza dello sbocco dei fiumi nella pianura (apici delle conoidi fluviali). Tale litozona è relativamente produttiva specie in livelli in cui il conglomerato si presenta fratturato;

unità ghiaioso-sabbiosa: costituita da ghiaie e sabbie dei sedimenti alluvionali recenti e di quelli fluvioglaciali würmiani, l'unità in questione è sede della prima falda che generalmente risulta abbondante anche a causa dell'infiltrazione dalla superficie ma che, in funzione della provenienza delle acque, è pure la più vulnerabile, specie se la soggiacenza è ridotta, come avviene in prossimità della fascia dei fontanili (appena a monte), ossia la zona con falda subaffiorante.

Nell'ambito delle unità poroso-permeabili corrispondenti ai depositi fluvio-glaciali würmiani particolare rilevanza viene assunta dalle caratteristiche tessiturali degli orizzonti superficiali, in grado di costituire una protezione «superficiale» della falde sottostanti. Questa garanzia è fornita dalla presenza di litologie a bassa permeabilità (limi e argille), affioranti in varie zone della pianura bresciana (fig. 8).

3.5.1. Disponibilità idrica

La struttura idrogeologica della pianura è stata generata essenzialmente dagli apporti collegati agli eventi glaciali e fluvio-glaciali connessi con gli apparati dei Laghi d'Iseo e del Garda nonché dagli eventi alluvionali, prevalentemente olocenici, legati ai corsi d'acqua principali (F. Oglio, F. Mella, F. Chiese).

Notevole importanza riveste anche l'andamento irregolare del substrato roccioso non escludendo peraltro una componente connessa a movimenti neotettonici che hanno permesso (secondo alcuni Autori) la strutturazione del rilievo di Pievedizio, Capriano del Colle, Castenedolo e Cilivergne.

La pianura alluvionale è costituita da sedimenti prevalentemente ghiaioso-sabbiosi e conglomeratici, nella porzione settentrionale dell'area (parte apicale delle conoidi allo sbocco delle valli maggiori) che fanno transizione progressivamente a sedimenti più fini, sabbiosi e limoso-argillosi, nel settore centro-meridionale (figg. 9 e 10, Sezioni idrogeologiche).

Le variazioni litologiche che si riscontrano in questo schema generale sono dovute principalmente alla deposizione fluviale. In particolare si nota come le strutture idrogeologiche più rilevanti siano legate agli antichi alvei dei corsi d'acqua (paleoalvei), condizionate dalla morfologia del substrato e dall'evoluzione neotettonica dell'area.

I corsi d'acqua che apportavano i materiali alla pianura dovevano risultare caratterizzati da un andamento a rami intrecciati, costituendo variazioni laterali con marcate interdigitazioni (canali riempiti da elementi a tessitura grossolana, fenomeni di tracimazione laterale di costituenti sabbioso-limosi). Queste variazioni laterali diminuiscono progressivamente verso il centro della pianura dove le litologie diventano

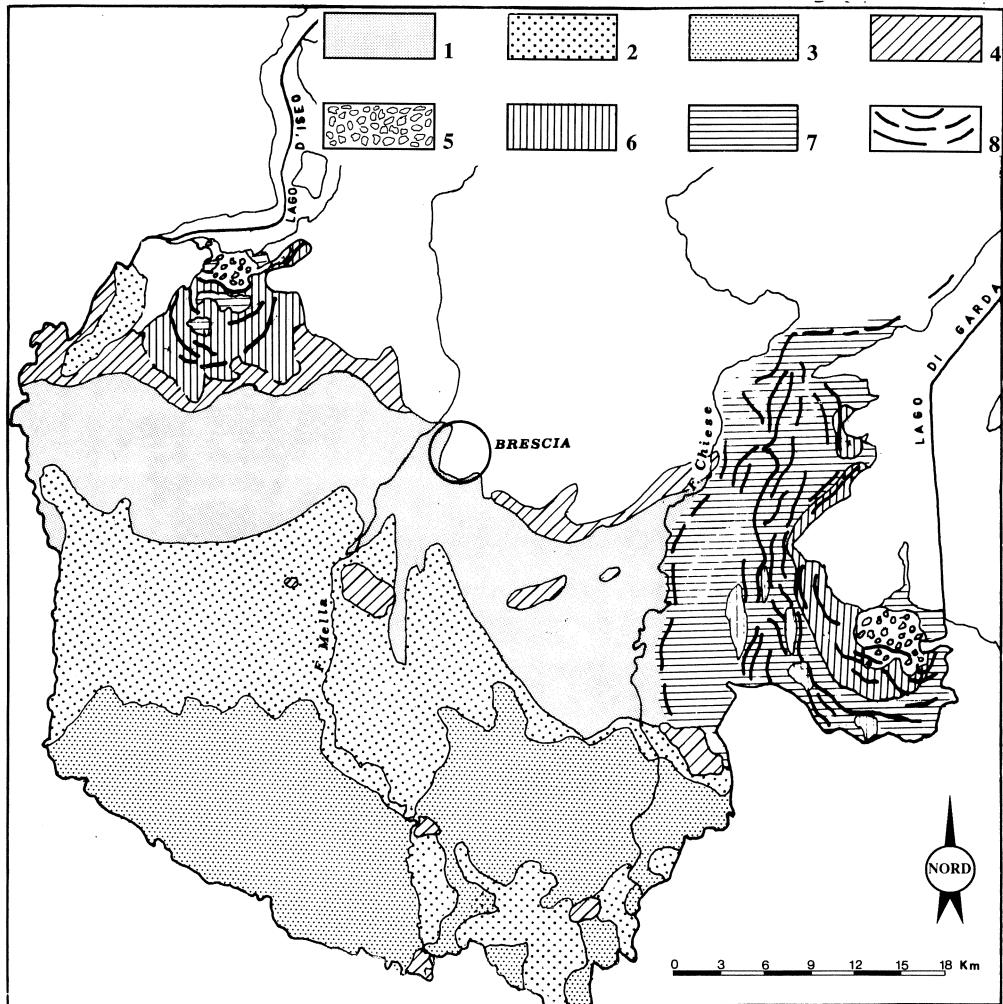


Fig. 8 - Carta della litologia di superficie. Pianura: 1 = depositi prevalentemente ghiaiosi e ghiaioso-sabbiosi; 2 = depositi a dominante tessitura sabbiosa; 3 = depositi limosi; 4 = zona con suolo fersiallitico lisciviato a tessitura argillosa («ferretto»); Apparato morenico: 5 = depositi ghiaiosi e sabbiosi (zona ad elevata permeabilità); 6 = depositi limosi e limoso-sabbiosi con ciottoli (zona a media permeabilità); 7 = depositi a prevalente componente limoso-argillosa (zona a bassa permeabilità); 8 = principali cordoni morenici.

man mano più fini, obliterando praticamente, per amalgamazione, le strutture erosive e deposizionali.

Di particolare significato risultano i paleoalvei dei quali rimangono evidenti tracce nella fascia compresa tra i paralleli passanti per Bagnolo Mella e Pontevico, vale a dire la zona centro-meridionale della pianura bresciana. Questi dovrebbero rappresentare verosimilmente vecchi percorsi di scaricatori degli apparati morenici e di corsi d'acqua provenienti dal pedemonte che, nella loro normale evoluzione, hanno successivamente migrato verso E e SE.

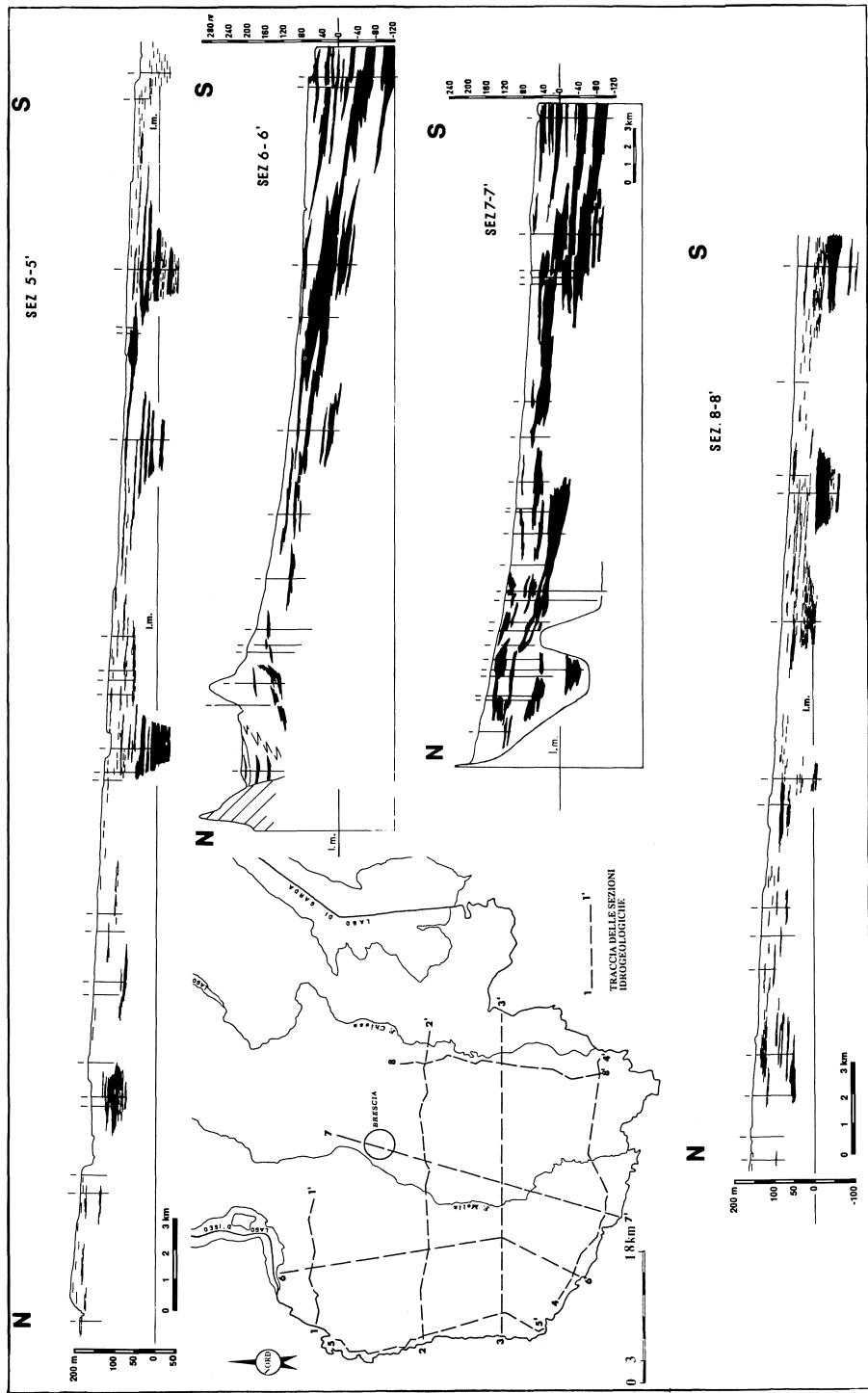


Fig. 9 - Sezione idrogeologica.

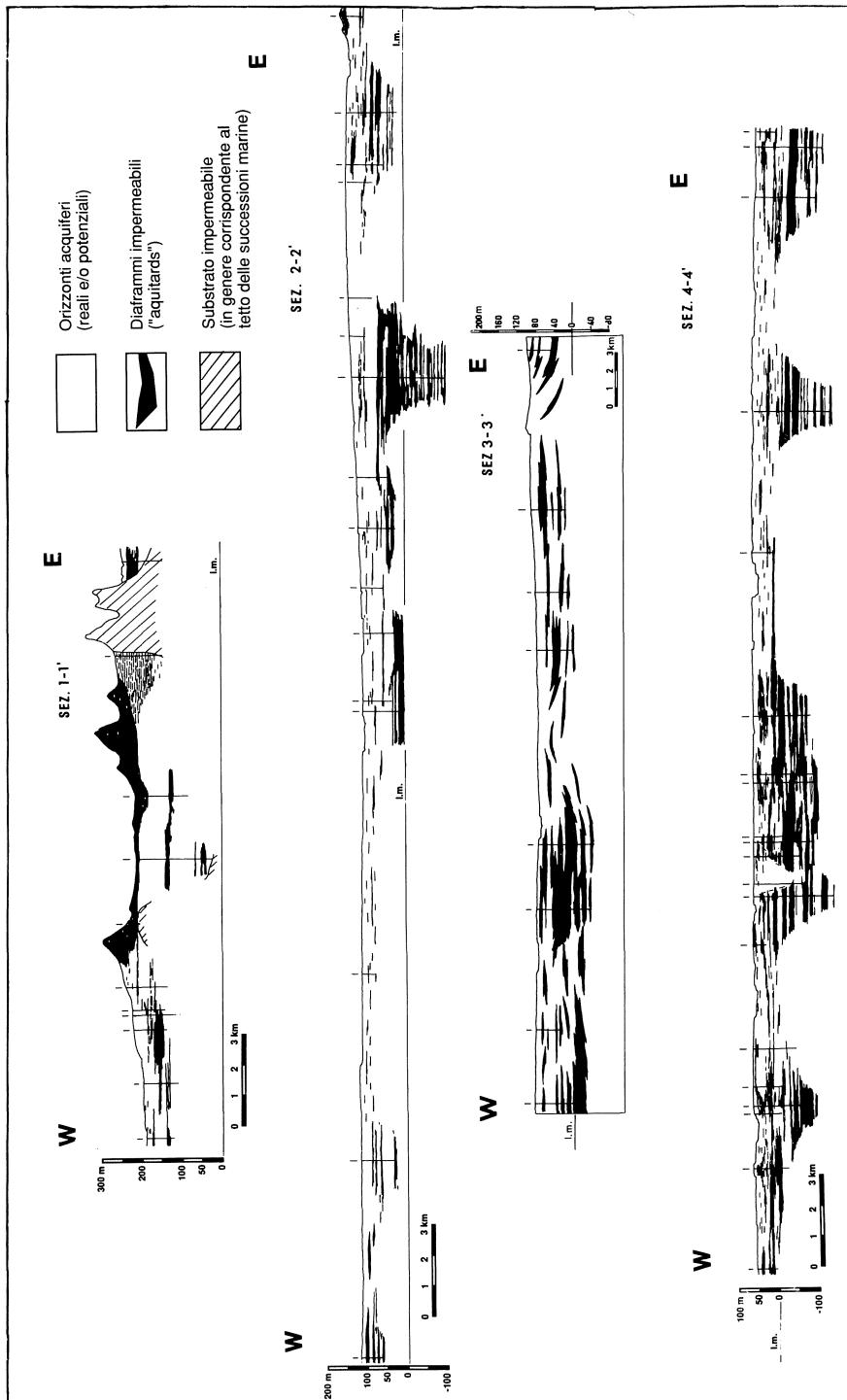


Fig. 10 - Sezione idrogeologica.

Si ricorda che queste strutture assumono notevole rilevanza in quanto, proprio per le loro caratteristiche tessiturale grossolane, risultano frequentemente sedi di acquiferi significativi, soprattutto se confrontati con le zone laterali in cui predominano litotipi a granulometria prevalentemente fine.

La loro importanza dipende dalle caratteristiche geometriche che assumono: a maggiori incisioni corrispondono acquiferi più produttivi (paleoalveo del F. Mella) mentre ampie divagazioni comportano minori possibilità di immagazzinamento di acque, risultando i depositi psefitico-psamitici distribuiti su un'area più ampia e con minor spessore verticale.

Il complesso litostratigrafico della pianura risulta quindi, come già precisato, costituito da una progressiva diminuzione della taglia dei depositi alluvionali, da monte verso valle.

Nelle zone centro-meridionali della pianura bresciana la granulometria diminuisce progressivamente evidenziando successioni costituite da corpi lenticolari sabbiosolimosi o limoso-argillosi che diventano frequenti soprattutto nelle porzioni più superficiali.

Esiste, di conseguenza, una stretta connessione tra l'assetto litostratigrafico e quello idrogeologico. Infatti, in corrispondenza di litozone grossolane (zona pedemontana compresa tra il margine pedealpino e i rilievi della pianura) si ha la presenza di una falda di tipo indifferenziato o, meglio, «compartimentata». Si verifica pertanto la possibilità di scambi tra orizzonti acquiferi contigui, trattandosi di un sistema di corpi canalizzati frequentemente interdigitati e comunque connessi fra loro.

Verso il centro e la parte meridionale della pianura («Bassa Bresciana»), si passa ad acquiferi del tipo «multifalda» in quanto detti acquiferi risultano sostanzialmente separati da livelli a permeabilità bassa o nulla.

In funzione della distribuzione e della geometria dei corpi alluvionali ne deriva una disponibilità idrica nella pianura bresciana generalmente buona: molto elevata nella zona settentrionale, più limitata ma pur sempre interessante in quella meridionale. Questa situazione è evidenziata nella fig. 11 (nella «Carta delle portate specifiche» si mette in risalto come si passi da valori superiori ai 50 l/m a valori dell'ordine dei 5 l/m). Detto parametro, espresso in l/sec. per metro di abbassamento, costituisce una buona misura della resa dei pozzi e di conseguenza può indicare le zone a maggiore o minore produttività. Nell'area studiata la distribuzione delle portate specifiche è stata valutata utilizzando i dati disponibili che hanno permesso di definire una panoramica generale.

In particolare, relativamente ai parametri di permeabilità (K) e di trasmissività (T), si è osservato che:

- a) nelle aree pedemontane, in cui si rinvengono i terreni fluvio-glaciali, i valori di K e T sono molto alti e si aggirano, rispettivamente, intorno a 10^{-1} cm/sec. e $0.01 \text{ m}^2/\text{sec.}$;
- b) nelle zone centro-meridionali si osservano invece valori ridotti di K (10^{-3} cm/sec.) e T ($5 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{sec.}$).

Fanno eccezione le aree in cui sono presenti i paleoalvei dove i valori di permeabilità e trasmissività ritornano prossimi a quelli delle zone pedemontane. Questa caratterizzazione trova tuttavia dei limiti nella tipologia stessa della captazione delle acque sotterranee, infatti non tutti i pozzi hanno le stesse caratteristiche costruttive in quanto attingono a falde diverse o ad un numero differente di falde.

Ne consegue che anche pozzi sostanzialmente limitrofi, in situazioni idrogeologi-

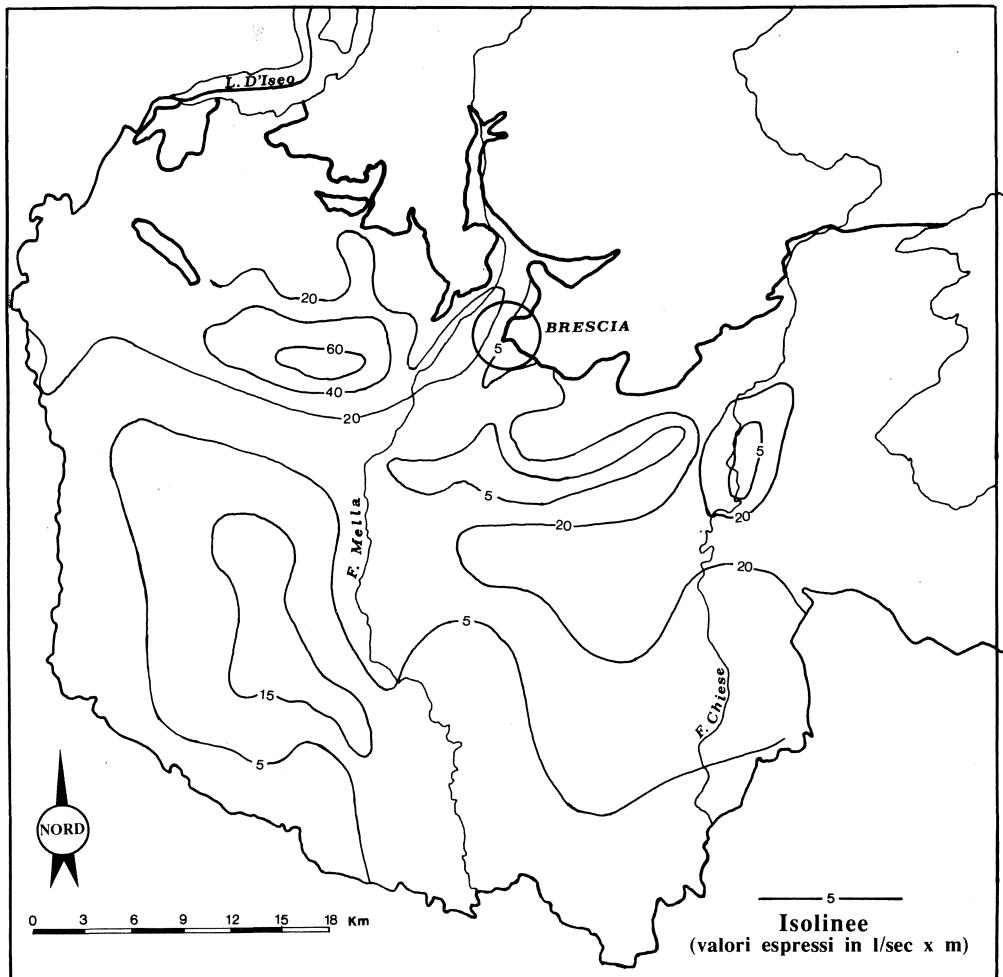


Fig. 11 - Carta delle portate specifiche.

che identiche, evidenziano rese nettamente differenti, inducendo a valutazioni non propriamente corrette.

I valori di permeabilità e trasmissività degli acquiferi ricalcano sostanzialmente quelli delle portate specifiche.

3.5.2. Idrochimica e inquinamento

La definizione delle caratteristiche idrochimiche globali nelle acque sotterranee è stata basata su dati elaborati da analisi chimiche eseguite dalle U.S.S.L. competenti per territorio sulle acque dei pozzi, da informazioni bibliografiche e da elementi conoscitivi diretti.

Va innanzitutto sottolineato che, in genere, i dati relativi alle caratteristiche chimiche delle acque fanno riferimento a campioni provenienti da diverse falde e che pertanto risultano miscelati.

Per poter giungere ad una corretta ed omogenea valutazione si dovrebbe operare sugli stessi orizzonti acquiferi o quanto meno acquisire le informazioni direttamente nel corso della terebrazione dei nuovi pozzi analizzando progressivamente i vari acquiferi intercettati.

Pertanto le indicazioni riportate riguardano solo alcuni aspetti relativi alla situazione di diffusione degli inquinanti e delle condizioni idrochimiche delle acque.

Facendo riferimento al D.P.R. 236 del 24/5/1988 inerente alle normative vigenti per le acque destinate al consumo umano sono stati redatti i seguenti elaborati cartografici:

- Carta della durezza delle acque
- Carta della conducibilità
- Carta dei nitrati
- Carta dei Comuni in deroga

Carta della durezza: l'elaborato prodotto (fig. 12) è stato desunto dalla pubblicazione di DENTI *et al.* (1988) con parziali modifiche.

Esso evidenzia come, in genere, i valori siano complessivamente elevati a causa della mineralizzazione prodotta dalle acque circolanti all'interno dei massicci carbonatici e delle alluvioni, anch'esse costituite prevalentemente da elementi a composizione carbonatica.

Diminuzioni dei valori di durezza si riscontrano nella zona di S. Zeno Naviglio e in corrispondenza di quei settori in cui i corsi d'acqua (F. Oglio e F. Chiese) alimentano le falde.

Carta della conducibilità: questa carta (fig. 13), che rappresenta le elaborazioni effettuate da DENTI *et al.* (1988), evidenzia una buona simmetria con la carta della durezza.

I valori più elevati di conducibilità ($> 500 - 600$ microS/cm) ricalcano le distribuzioni della durezza comprese tra 30 e 35 dF.

La zona in cui si verifica una certa difformità è quella settentrionale compresa tra Rovato-Ospitaletto e Travagliato, dove i suddetti Autori ritengono che l'elevata conducibilità sia dovuta principalmente a fenomeni di contaminazione.

Carta dei nitrati: questa carta (fig. 14) è stata costruita integrando le conoscenze già note in bibliografia con altri dati acquisiti specificatamente per l'allestimento delle presenti note.

Sulla base dei dati disponibili si evidenziano alcuni ampi settori posti lateralmente agli apparati morenici e nel comune montano di Mura, in cui si sono riscontrati valori superiori alla CMA (> 50 mg/l).

Altre zone con valori prossimi alla CMA si riscontrano nelle zone di Dello e (per altro con valori leggermente inferiori) a SW di Brescia.

In generale si assiste ad una buona coincidenza di alte concentrazioni di NO₃ in corrispondenza di zone caratterizzate da tessiture granulometriche prevalentemente grossolane (depositi alluvionali recenti ghiaiosi e paleoalvei).

Le pratiche di fertirrigazione in queste aree richiedono il massiccio impiego di sostanze organiche e di rilevanti quantitativi di acque proprio in funzione della scar-

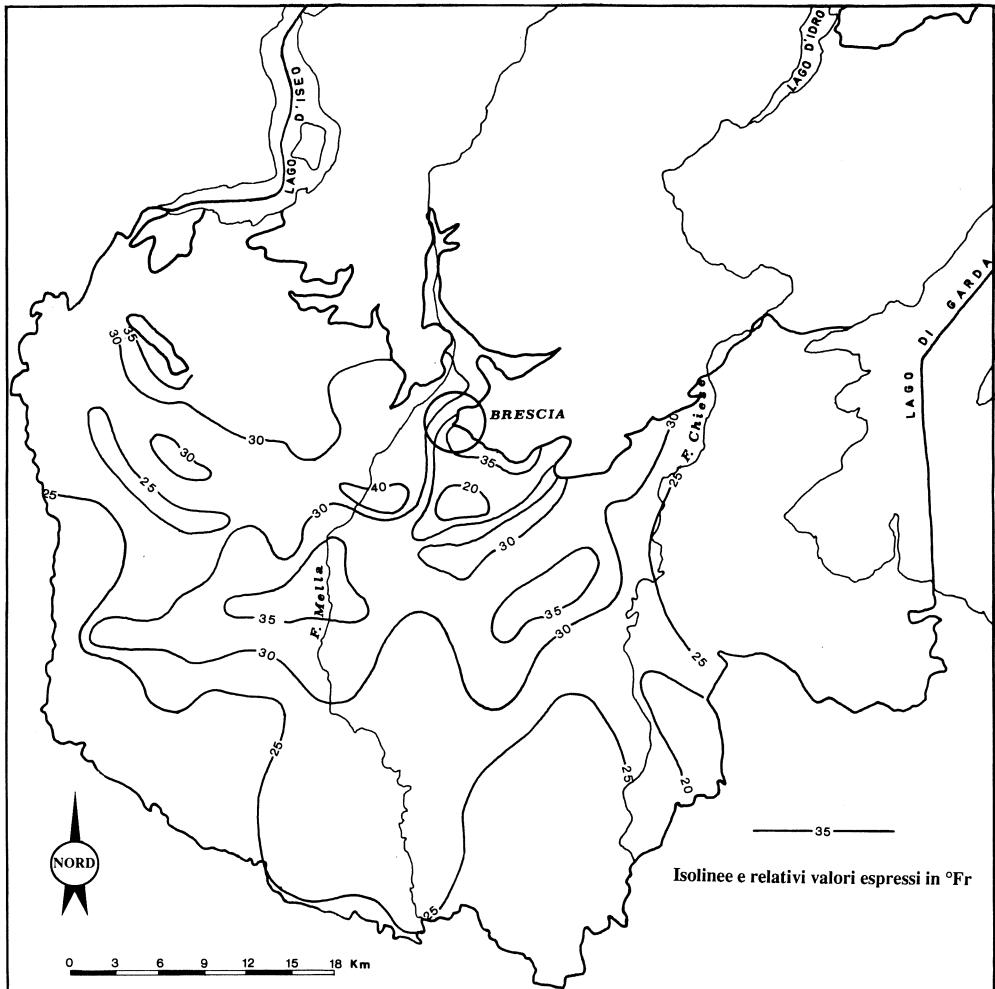


Fig. 12 - Carta della durezza.

sa ritenzione dei terreni a scheletro ghiaioso-sabbioso.

Distribuzioni sui terreni, anche conspicue, di liquami provenienti da allevamenti suinicoli soprattutto nella «Bassa Bresciana» (zona di Manerbio, Pavone del Mella, ecc.) non sortiscono gli stessi effetti negativi in quanto le coperture alluvionali superficiali sono di natura prevalentemente limosa e limoso-argillosa.

Bisogna comunque ricordare che nella «Bassa Bresciana» sono molto scarsi i dati relativi alla qualità della falda superficiale in quanto i pozzi raggiungono generalmente le falde più profonde e più protette.

Le acque profonde captate dai pozzi nella bassa pianura bresciana e nel settore meridionale dell'anfiteatro morenico benacense presentano frequentemente un chimismo caratterizzato dalla presenza di ammoniaca, ferro e manganese. La presenza

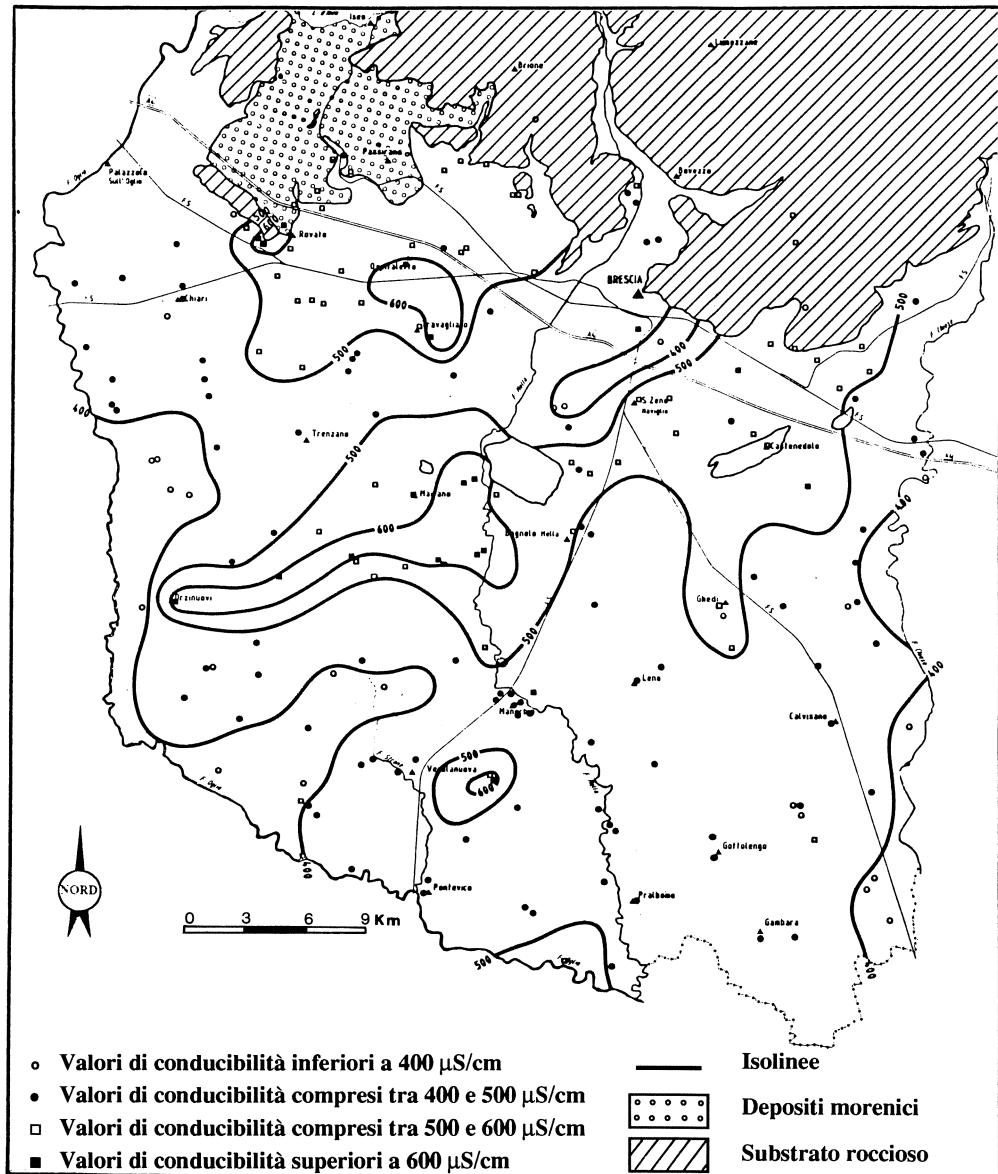


Fig. 13 - Carta della conducibilità (da DENTI *et al.*, 1988).

di tali parametri è legata all'ambiente riducente creatosi nei livelli acquiferi captati, a causa della scarsa ossigenazione delle acque e dell'azione di sostanze riducenti. La distribuzione di queste sostanze nelle acque sotterranee all'interno dell'area interessata è in relazione con la presenza di paleoalvei, di dorsali sommerse e con l'azione alimentante di corsi d'acqua.

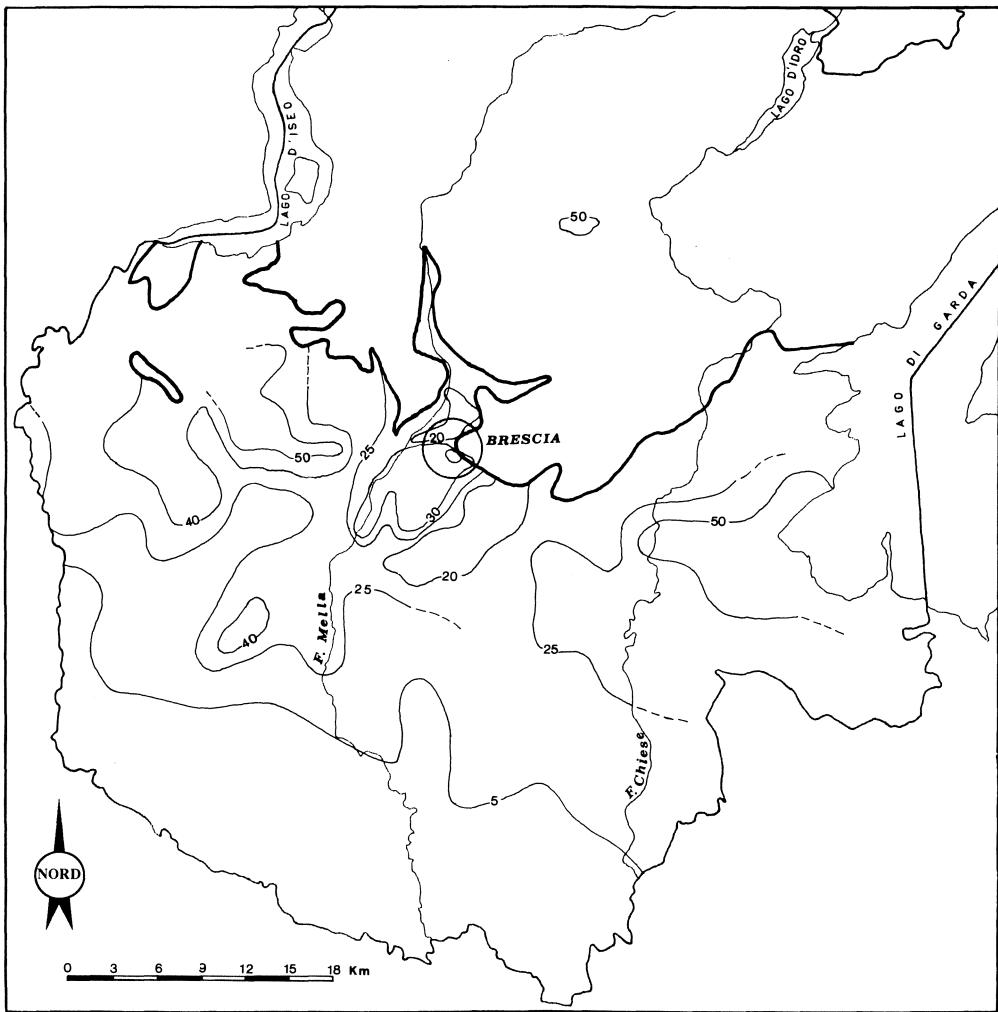


Fig. 14 - Carta dei nitrati.

Carta dei Comuni in deroga: per evidenziare la distribuzione areale delle sostanze che degradano le caratteristiche qualitative delle acque è stata allestita una specifica rappresentazione di riferimento.

Nell'elaborato cartografico, integrato da un elenco riepilogativo, sono raffigurati alcuni parametri che hanno comportato la richiesta di deroga all'uso idropotabile da parte dei Comuni interessati alla Regione.

Da rilevare che i dati riportati si riferiscono al superamento dei limiti di legge nelle acque distribuite dai pubblici servizi di acquedotto e non nelle acque di falda. Di conseguenza non vengono evidenziate quelle aree nelle quali le acque emunte dai pozzi, pur superando i limiti di legge, subiscono un trattamento tale da abbattere il carico inquinante e far rientrare i valori dei parametri nei limiti di legge. Così

COMUNI DEROGATI AI SENSI DEGLI ARTT. 17 E 18 D.P.R. 236/1988 CON DELIBERE DI G. R. LOMBARDIA

1 Tavernole sul Mella	16 Padenghe sul Garda	31 Carpenedolo	46 Fiesse
2 Gardone V. T.	17 Borgosatollo	32 Verolavecchia	47 Villachiara
3 Casto	18 Castenedolo	33 Quinzano d'Oaklio	48 Borgo San Giacomo
4 Mura	19 Lonato	34 Verolanuova	49 San Paolo
5 Vestone	20 Desenzano del Garda	35 Bassano Bresciano	50 Coccaglio
6 Iseo	21 Azzano Mella	36 S. Gervasio Bresciano	51 Cazzago San Martino
7 Sarezzo	22 Poncarale	37 Cigole	52 Ospitaletto
8 Lumezzane	23 Dello	38 Pavone del Mella	53 Paderno Franciacorta
9 Preseglie	24 Bagnolo Mella	39 Gottolengo	54 Corte Franca
10 Odolo	25 Montichiari	40 Pontevico	55 Pisogne
11 Villa Carcina	26 Orzinuovi	41 Alfanello	56 Polpenazze del Garda
12 Vallio	27 Barbariga	42 Milzano	57 Soiano del Garda
13 Manerba del Garda	28 Offlaga	43 Pralboino	
14 Castrezzato	29 Manerbio	44 Gambara	
15 Bedizzole	30 Leno	45 Seniga	

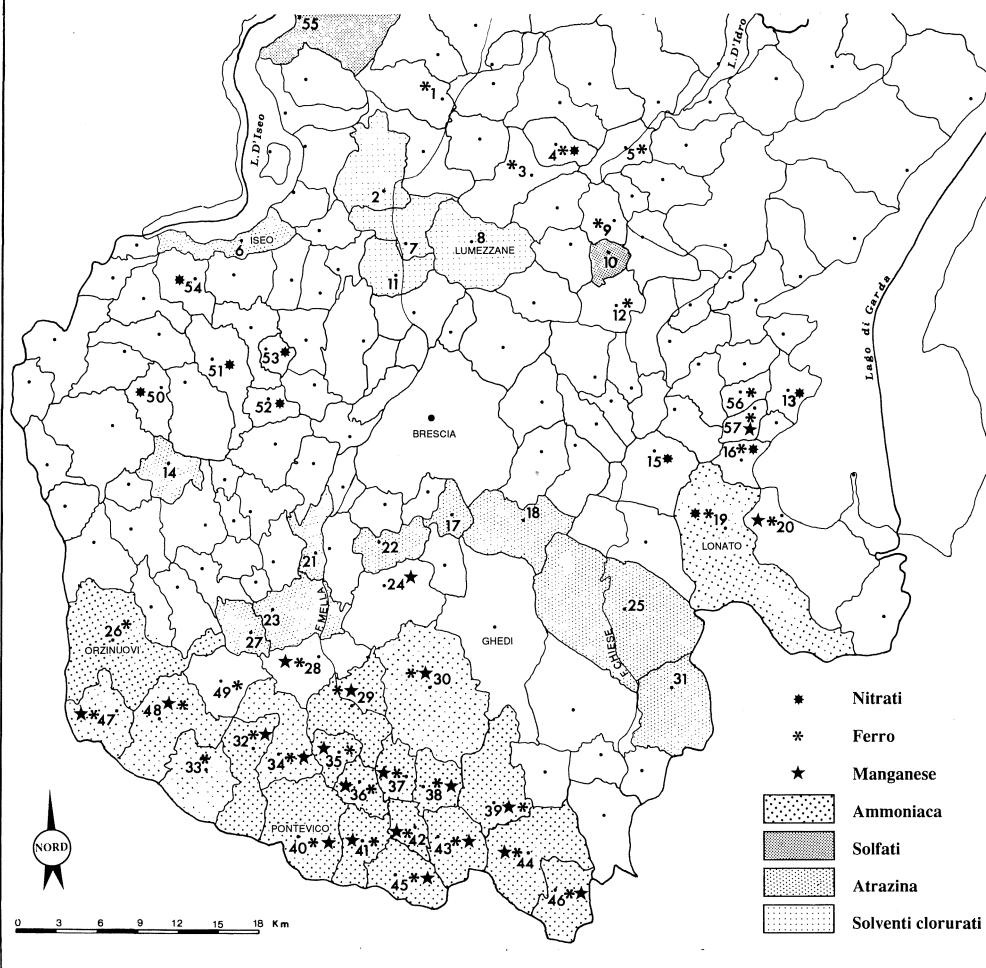


Fig. 15 - Carta dei Comuni in deroga.

pure non vengono evidenziate le aree nelle quali il superamento dei limiti di legge interessa i pozzi privati.

È ovvio inoltre che le aree cartografate seguono i limiti amministrativi e non corrispondono quindi alle aree effettivamente interessate dal superamento dei limiti di legge nelle acque sotterranee.

Relativamente all'inquinamento indotto dall'attività industriale ed artigianale che comporta l'uso di svariate sostanze chimiche, alcune delle quali pericolose per la salute dell'uomo, i marker più significativi risultano essere il cromo e i solventi clorurati. Le zone più colpite da queste due sostanze rispecchiano evidentemente la distribuzione territoriale di quei particolari insediamenti produttivi i cui cicli di lavorazione prevedono l'uso di determinati prodotti che, se non correttamente utilizzati e smaltiti provocano accumuli pericolosi nell'ambiente ricettore.

Esiste quindi una perfetta correlazione fra l'utilizzo dei composti chimici e la loro presenza nelle falde acquifere.

Le zone più colpite dagli inquinanti citati risultano la medio-bassa Val Trompia e, di conseguenza, in quanto territorio posto immediatamente a valle di questa, la città di Brescia.

Negli anni '60 e '70 l'inquinante più diffuso era il cromo esavalente, anche se dagli inizi degli anni '80 il fenomeno è in fase di diminuzione, grazie all'entrata in funzione di appositi depuratori che hanno progressivamente sostituito i pericolosissimi pozzi perdenti che immettevano direttamente nel sottosuolo le acque di scarico. Tale inquinamento comportò per i gestori degli acquedotti interessati dal fenomeno, impegnati a far fronte alle esigenze di approvvigionamento idropotabile, l'abbandono di numerosi pozzi e la ricerca di nuove aree indenni.

Oggi sono soprattutto i solventi clorurati, largamente diffusi in tutti i paesi industrializzati, a creare pesanti situazioni nel servizio di distribuzione di acque per il consumo umano.

Si tratta di sostanze chimiche utilizzate soprattutto per sciogliere e rimuovere i grassi e le resine. Non c'è industria metalmeccanica che non ne faccia uso per le operazioni di decappaggio, vale a dire per la pulitura delle superfici metalliche che devono essere sottoposte a successive lavorazioni come saldatura o verniciatura. Anche le lavanderie a secco ne fanno un uso massiccio, anche se per quanto riguarda il controllo dello smaltimento, tali attività hanno un impatto decisamente minore che in passato in seguito alla obbligatorietà di compilare i registri di carico-scarico.

I più diffusi sono: il cloroformio, la trielina, il percloro, il tricloroetano e il tetracloruro di carbonio; tutte sostanze più o meno tossiche che, se ingerite in piccole dosi non provocano danni immediati, ma che a lungo termine, per effetto di accumulo nell'organismo umano, possono provocare azioni anche cancerogene.

La produzione, la distribuzione e soprattutto l'utilizzo di alcuni tipi di essi rappresenta un problema rilevante non solo per l'impatto dei medesimi sulle condizioni degli ambienti di lavoro, ma anche per gli effetti negativi riscontrati nelle diverse matrici ambientali.

La presenza dei solventi clorurati (come pure del cromo) nelle acque sotterranee è legata in misura limitata allo scarico più o meno occasionale di effluenti o di rifiuti nelle acque superficiali o sul suolo ed in misura maggiore alla presenza di focolai puntuali continui nel tempo, più raramente periodici.

La soluzione ai problemi di bonifica legati a questi focolai si presenta estremamente difficile e onerosa.

Negli anni '80, anche in seguito all'emanaione di specifiche normative sugli standard di qualità delle acque destinate al consumo umano, diversi Enti e Amministrazioni competenti, quali U.S.S.L., Comuni, Aziende acquedottistiche, sono state

chiamate a risolvere determinate problematiche connesse allo studio del fenomeno, all'individuazione delle cause, alla valutazione degli effetti e, soprattutto, all'indicazione delle vie e dei mezzi per eliminarli.

Relativamente alla città di Brescia, il cui acquedotto è gestito dall'Azienda Servizi Municipalizzati, si sono adottate sostanzialmente due linee di intervento.

La prima, di tipo passivo, è stata quella di trattare l'acqua grezza mediante impianti a carbone attivo. Tale soluzione, che ha comportato l'installazione di impianti di trattamento presso quasi tutti i principali punti di approvvigionamento idrico, ha permesso un progressivo miglioramento della qualità dell'acqua distribuita, tant'è che già nel 1990 il 100% di essa era conforme ai limiti di legge stabiliti dal D.P.R. 236/88 (CMA < a 30 µg/l).

La seconda linea, di tipo attivo, si è concretizzata nella ricerca di aree indenni dai solventi organoalogenati, in zone cioè la cui ricarica degli acquiferi non è condizionata dalla presenza massiccia di determinate attività industriali.

3.5.3. Considerazioni sulle variazioni della falda acquifera

Negli ultimi 30 anni in gran parte del territorio bresciano di pianura e in corrispondenza dei principali fondovalle si è verificato un progressivo abbassamento del livello delle falde libere ed una diminuzione del grado di artesianità delle falde in pressione.

Il fenomeno è particolarmente accentuato allo sbocco della Val Trompia in pianura (comune di Concesio e zona nord del comune di Brescia), dove l'abbassamento ha raggiunto i 20-30 m.

Ad occidente del centro storico di Brescia le carte piezometriche, redatte periodicamente dall'Azienda Servizi Municipalizzati, evidenziano la presenza costante di un'ampia depressione piezometrica a forma di imbuto, causata dai forti prelievi dei pozzi presenti nella zona.

L'abbassamento della superficie piezometrica delle falde acquifere dimostra inequivocabilmente che i prelievi idrici superano la possibilità di ricarica della falda.

È necessario quindi che le acque sotterranee vengano tutelate dal punto di vista non solo qualitativo, ma anche quantitativo, privilegiandone l'utilizzo a scopo idropotabile.

Per gli usi industriali e agricoli si deve necessariamente incentivare il massimo recupero e riutilizzo delle acque usate e degli scarichi di lavorazione, nonché la derivazione diretta e lo sfruttamento delle acque superficiali non escludendo, peraltro, che queste possano, in alcune circostanze, essere utilizzate direttamente anche per uso idropotabile.

4. CAMPO DI APPLICAZIONE DELLA MODELLISTICA

Sulla base delle conoscenze generali di carattere geologico e idrogeologico dell'area esaminata è possibile effettuare alcune considerazioni circa l'applicabilità di modelli matematici di simulazione, finalizzati sia allo studio del comportamento del flusso idrico nell'acquifero (modalità di circolazione e deflusso delle acque sotterranee) che del trasporto e della propagazione degli inquinanti.

Si ricorda a tal proposito che le capacità di previsione nei riguardi del trasporto di agenti inquinanti nelle falde sono generalmente limitate dalla scarsa conoscenza di alcuni parametri (velocità effettiva di filtrazione nella zona aerata e nei diversi

livelli dell'acquifero, parametri dispersivi dell'inquinante, effetti dovuti all'interazione tra sostanze inquinanti e terreno, ecc.). Si registrano pertanto notevoli difficoltà nella taratura dei modelli soprattutto a causa della scarsa possibilità di effettuare appropriati controlli sulla validità delle simulazioni.

Nonostante tali limitazioni i modelli applicati allo studio di fenomeni di inquinamento possono costituire un efficace metodo di previsione e prevenzione, specie se applicati ad acquiferi di cui sono noti, almeno nelle linee generali, le caratteristiche idrodinamiche ed idrochimiche (relazioni che condizionano il movimento delle acque sotterranee e quindi di eventuali agenti inquinanti idroportati).

Necessita in altre parole una opportuna e preliminare fase di caratterizzazione dell'acquifero; tale caratterizzazione risulta d'altra parte indispensabile per rispondere ai problemi sia di ordine qualitativo che quantitativo posti allo sfruttamento delle stesse risorse idriche.

Nel caso specifico del territorio bresciano si possono considerare complessivamente importanti le possibilità di simulazioni modellistiche nelle aree di pianura, laddove si rende possibile una conoscenza sufficientemente dettagliata degli acquiferi sfruttati.

Quest'ultima richiede, in particolare, una corretta acquisizione di tutti i dati litostratigrafici disponibili, con particolare attenzione a quelli desumibili dalle perforazioni dei pozzi idrici.

Nei riguardi delle captazioni esistenti si rende necessario la conoscenza non solo degli orizzonti sfruttati, ma anche del loro andamento spaziale (con particolare attenzione al grado di differenziazione, da un punto di vista idrogeologico, dei singoli livelli ospitanti falde idriche) e delle caratteristiche di permeabilità (e quindi di trasmissività) dei depositi che li costituiscono.

Appare evidente che le conoscenze necessarie non possono essere acquisite esclusivamente introducendo i dati disponibili (purtroppo sovente lacunosi o carenti) ma richiedono specifiche indagini puntuali con perforazione di pozzi pilota. Tali pozzi, da realizzare in numero sufficiente alla caratterizzazione delle aree studiate (tenendo conto anche dell'importanza ai fini dell'approvvigionamento idrico delle zone esaminate, con particolare attenzione alle zone di ricarica degli acquiferi, alle zone maggiormente vulnerabili, ecc.), dovrebbero consentire la determinazione della litostratigrafia di dettaglio, l'effettuazione di opportune prove di pompaggio sulle singole falde al fine di determinarne i parametri idrogeologici (portata specifica, trasmissività, coefficiente di immagazzinamento) ed il tipo di flusso (libero o confinato), nonché il prelievo di campioni di acque sotterranee da utilizzare per una caratterizzazione idrochimica delle falde.

L'esame del complesso dei dati disponibili, unito alle conoscenze idrogeologiche generali dell'area (in particolare condizioni ai limiti del sistema, scambi fiumi-falda, prelievi, ricariche, ecc.), costituisce la base essenziale per effettuare rappresentazioni di tipo matematico del comportamento degli acquiferi studiati.

Maggiori riserve, in generale, sono da esprimere nei riguardi della possibilità di utilizzare modelli matematici nei confronti delle falde presenti nella zona montana. Come esposto in precedenza, entro tale area la circolazione idrica assume in genere un carattere locale e risulta fortemente condizionata da fenomeni di tettonizzazione e di carsismo.

La conoscenza preliminare da acquisire riguarderà in questo caso soprattutto l'assetto strutturale (disposizione delle fratture, loro grado di apertura, interconnessioni tra famiglie di fratture orientate in modo differente, estensione in profondità delle zone fessurate, ecc.) e le sue modificazioni secondarie (fenomeni di carsismo, presenza di depositi di alterazione in grado di ostruire le fessure, ecc.).

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia l'Assessorato all'Ecologia della Provincia di Brescia ed i tecnici ad esso afferenti per aver messo a disposizione i dati relativi alle portate delle sorgenti (P.R.A.).

B I B L I O G R A F I A

- CASTELLARIN A., CANTELLI L., FESCE A. M., MERCIER J. L., PICOTTI V., PINI G. A., PROSSER G. & SELLI L., 1992 - *Alpine compressional tectonics in the Southern Alps. Relationship with the N-Apennines*. Annales Tectonicae, 6 (1): 62-94.
- C.N.R., 1991 - *Structural model of Italy. Scale 1:1.500.000*. Selca, Firenze.
- PIERI M. & GROPPI G., 1981 - *Subsurface geological structure of the Po plain, Italy*. Pubbl. 414, P.F.G., (Sottogetto 'Modello Strutturale').
- DENTI E., LAUZI S., SALA P. & SCESI L., 1988 - *Studio idrogeologico della pianura bresciana compresa tra i fiumi Oglio e Chiese*. In: «*Studi idrogeologici sulla pianura padana*» 4. Litotipografia Grafiche Somalia Snc, Cormano.

Indirizzo dell'Autore:

PIER LUIGI VERCESI, Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Pavia, via Abbiategrasso 209 - 27100 PAVIA.