# Lo sfruttamento di acqua potabile nel dominio idrogeologico centrale della pianura alluvionale veneta.

### Proposte e prospettive per una rete di monitoraggio avanzata

### Renzo Antonelli\*, Gianluigi Maria Mari\*\*

\*Dipartimento di Geologia, Paleontologia e Geofisica dell'Università degli Studi di Padova, renzo.antonelli@unipd.it \*\*APAT, Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i servizi Tecnici, gianni.mari@apat.it

The exploitation of drinkable groundwater in the central Venetian alluvial plain. Some suggestions and perspectives for an advanced monitoring project

ABSTRACT: Few years ago the National Geologic Survey in collaboration with the Department of Geology of Padova University, supported a methodological research to keep under control the idrodynamic and qualitative characteristics of groundwater in the central-eastern Veneto Plain by means of stabilized monitoring networks. An unconfined aquifer system gradually changes from high plain southwards to multi-layered confined or semi-confined aquifers where the groundwater resources are considerable. The regional hydrostructure systems is now better defined thanks to the last hydrogeological data which have been selected, organized and stored in a suitable GIS. Starting from these recent studies, the objective of the present paper is to test a generally applicable methodology to achieve a well balanced management and control of a zone particularly exploited for drinkable water supply in central Veneto Plain; the main focus is to give at the decision support level some operational conditions which are indispensable for a modern monitoring plan, they are: standard operations, anticipated system failure, emergency operations.

Key terms: Groudwaters resources management, monitoring network, control strategy, Veneto alluvial plain *Termini chiave*: Gestione delle risorse idriche sotterranee, rete di monitoraggio, strategia di controllo, pianura alluvionale veneta

#### Riassunto

Il Servizio Geologico Nazionale in collaborazione con il Dipartimento di Geologia, Paleontologia e Geofisica dell'Università di Padova hanno svolto una ricerca volta a definire e mettere a punto una rete di monitoraggio in grado di controllare le caratteristiche dinamiche e qualitative delle risorse idriche sotterranee nella pianura alluvionale veneta. E' stata presa in considerazione un'area di oltre 3000 Km² che si estende dal fiume Astico ad ovest fino al fiume Monticano ad est, essa é delimitata a nord dai rilievi prealpini e a sud dal fiume Bacchiglione e dalla costa adriatica. Il sistema acquifero indifferenziato di alta pianura evolve verso sud in un sistema multi-strato confinato o semiconfinato attraverso una zona di emergenza naturale delle acque sotterranee detta fascia delle risorgive. Nell'area di studio sono disponibili considerevoli risorse idriche sotterranee ampiamente sfruttate per la distribuzione pubblica e per le attività agricole e industriali. Fin dal 1999 l'assetto idrostrutturale dell'intera area selezionata è stato sottoposto ad un'analisi e revisione critica dei dati con lo scopo di interpretare e identificare le principali unità idrogeologiche sottoposte a sfruttamento. La conoscenza del sistema idrico sotterraneo si può oggi avvalere di una notevole mole di dati idrogeologici che sono stati selezionati, organizzati e immagazzinati in un GIS in continuo aggiornamento. Muovendosi da questa importante ricognizione generale delle conoscenze, questo studio propone di applicare in via sperimentale una metodologia valida per una gestione ed un controllo ben bilanciato delle risorse idriche in una zona particolarmente sensibile della pianura veneta. Nel perseguire tale obiettivo viene messa in evidenza l'importanza dei processi idrodinamici del flusso sotterraneo nel sistema e la costante consapevolezza delle varie esigenze idriche di interessi spesso contrastanti che insistono sul territorio. Tra il fiume Brenta e il fiume Piave sono posizionati oltre 70 pozzi per l'estrazione e la distribuzione di acqua potabile a città come Venezia, Treviso, Mestre e molte altre città minori. Le principali stazioni di produzione sono distribuite lungo una cinquantina di chilometri all'interno della fascia di transizione tra alta e media pianura. Poiché tale sottosistema di transizione è strettamente dipendente, in termini di quantità e qualità, dal sistema acquifero indifferenziato, qualsiasi elemento di crisi si manifesti nel settore di alta pianura produce prima o poi i suoi effetti nelle aree di massima concentrazione dei prelievi. L'area prescelta appare favorevole per sperimentare una strategia di controllo in grado di fornire a livello decisionale alcune condizioni operative di base, quali: le operazioni standard di controllo, la prevenzione delle fasi critiche del sistema, gli interventi in condizione di emergenza.

#### 1 - Premessa

Non vi possono essere dubbi sul fatto che le risorse idriche di una regione devono essere gestite in un sistema

integrato e strettamente interconnesso con il territorio, dove convergono i più svariati interessi ponendo vincoli specifici associati ad una domanda in continua espansione. E' parimenti essenziale per una moderna gestione delle risorse idriche la capacità di considerare in un quadro unitario sia le varie esigenze ad esse correlate, sia le loro inevitabili interazioni.

Appare superfluo ad esempio ricordare che tra le varie esigenze considerate irrinunciabili, la domanda d'acqua appare uno degli aspetti amministrativi più critici e sensibili, a fronte della quale i sistemi di produzione e distribuzione non sempre sono in grado di soddisfare in modo adeguato.

L'unica via percorribile sembra dunque quella di mirare ad un nuovo equilibrio ponderato tra risorsa idrica disponibile, un numero sempre maggiore di interessi ad essa correlabili ed un ambiente in continua crescita urbanistica e industriale.

Molte sono le proposte più o meno realizzabili o economicamente possibili provenienti dalla bibliografia internazionale. La tendenza ad esempio a ricollocare sul territorio quelle attività in chiaro conflitto di interessi in termini di quantità e qualità della risorsa idrica, se a volte può contribuire alla soluzione di problematiche locali, non può rappresentare una prospettiva alla scala regionale.

Un'alternativa possibile, purché fondata su un piano politico-amministrativo forte, può essere quella di selezionare quelle porzioni di territorio che per le loro specifiche qualità idrostrutturali necessitano di interventi tecnico-amministrativi di particolare attenzione. A tale scopo è necessario non solo mantenere per quanto possibile inalterato l'ambiente, ma anche applicare a tali insiemi territoriali dei metodi di gestione e controllo adeguati a realizzare e mantenere una concreta prospettiva futura.

Un tale approccio sembra il più ovvio e scontato, ma appare subito indispensabile una ragionevole flessibilità di interventi nei confronti non solo delle esigenze delle infrastrutture già esistenti all'interno dei territori prescelti, ma anche delle loro caratteristiche geologico-strutturali e dei loro confini idrogeologici e idrodinamici. Di conseguenza non si possono definire a priori interventi di gestione e controllo su sistemi idrogeologici di "salvaguardia prioritaria", bensì di volta in volta si devono ricercare gli adattamenti specifici alle circostanze dei siti e alla loro possibile variabilità nel tempo. Un progetto di questo tipo è sicuramente impegnativo, ma sembra dare migliori prospettive di realizzazione almeno alla scala regionale.

La parte centrale della Regione Veneto che si definirà meglio in seguito nei suoi confini idrogeologici e idrodinamici, si può considerare un'interessante area campione. Ad essa si possono applicare e sviluppare schemi di gestione della risorsa idrica sotterranea tendenti a realizzare una *routine* di controllo sempre più integrata tra gli insiemi e sottoinsiemi idrogeologici ben definiti e studiati (area di ricarica d'alta pianura, zone di interazione tra acque superficiali e sotterranee, la fascia delle risorgive, ecc.) e la domanda volta a sostenere le esigenze urbane, industriali e rurali.

In sostanza l'esigenza è quella di trasformare il tradizionale modello di controllo in un sistema più avanzato.

Come è schematizzato in Fig.1 uno dei più evidenti svantaggi nella forma tradizionale di controllo è quella di focalizzare tendenzialmente l'attenzione su un solo sottosistema, sottovalutando tutti gli altri che compongono il dominio territoriale di interesse.

Nel modello di controllo moderno l'intero dominio idrogeologico è organizzato in un quadro informativo unitario, dove ad esempio sia le variabili di quantità che di qualità (variabili di stato) sono monitorate in continuo in una ben predisposta maglia geografica.

In tale quadro l'operatore centrale riceve e ricompone tutte le informazioni sui processi in atto che coinvolgono tutto il sistema. Esso quindi valuta le varie opzioni di controllo periferico e di intervento sul territorio in funzione degli interessi che devono essere soddisfatti con le risorse disponibili. A questo livello di acquisizione ed elaborazione dei dati lo strumento di supporto più efficace è rappresentato dalla modellazione numerica.

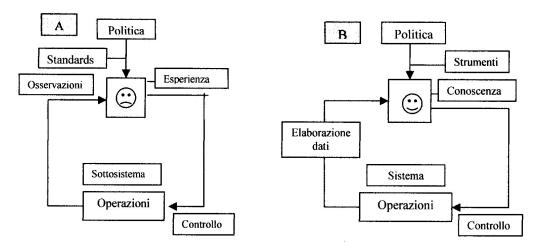


Fig. 1 - Schema di controllo tradizionale (A) e moderno (B) di un sistema idrico. Traditional (A) and modern (B) control scheme of a hydrogeological system.

#### 2 - Obbiettivi dello studio

L'unità idrogeologica indifferenziata nell'alta e media pianura alluvionale veneta costituisce un bacino sotterraneo di rilevanza primaria in quanto questa alimenta tutti i sistemi e sottosistemi dell'intera pianura. Lo studio in questa fase vuole innanzi tutto ricomporre un quadro unitario fra le numerose e disorganiche iniziative di settore, stabilizzando e strutturando su base GIS una rete di punti per la verifica e il controllo della risorsa idrica sotterranea.

La realizzazione del progetto tende ad integrarsi in modo particolare con le numerose centrali di produzione di acqua potabile dislocate tra il fiume Brenta e il fiume Piave che rappresentano una componente importante della domanda complessiva.

In sintesi gli obbiettivi delle indagini possono essere così schematizzati:

- realizzare una base conoscitiva informatizzata di tipo stratigrafico e idrogeologico;
- definire criteri e metodologie volte alla definizione di reti di monitoraggio dedicate sia all'unità acquifera indifferenziata di alta e media pianura, sia ai sistemi o sottosistemi acquiferi di bassa pianura;
- sperimentare su un'area campione la funzionalità e la flessibilità della rete di monitoraggio in vista della necessaria evoluzione da un sistema di controllo più settoriale ai vari tipi di controllo globale automatizzato (fig. 1).

In prospettiva questa prima fase conoscitiva e propositiva può consentire di raggiungere un controllo ponderato sulle varie esigenze correlabili ai sistemi idrici della Regione (superficiali e sotterranei), in cui l'elaborazione centralizzata dei dati dovrebbe giocare un ruolo fondamentale nei piani di intervento sul territorio.

Sono tre essenzialmente gli stadi attraverso cui si dovrebbe sviluppare un progetto avanzato.

- Il controllo locale organizzato, in base agli standards forniti dalle strategie amministrative, nella raccolta di ogni tipo di informazione sul territorio assegnato: sondaggi stratigrafici derivanti da perforazioni idriche e volumi di estrazione previsti, variazioni d'uso del suolo e del sottosuolo, stazioni metereologiche o di altro tipo di monitoraggio, impianti fognari e di depurazione,ecc.
- Il controllo centrale che opera sulla base delle informazioni provenienti da vari settori territoriali con possibilità di ridurre e ottimizzare le azioni del controllo locale. Spesso infatti l'individuazione di regole logiche o *standards* derivanti dalla elaborazione centralizzata dei dati è appesantita da informazioni sovrabbondanti o contraddittorie.
- Il controllo dinamico rappresenta l'obiettivo verso cui dovrebbe necessariamente tendere una strategia così impostata sul territorio veneto. Mediante il controllo dinamico si è in grado di valutare le variazioni nel tempo della domanda prodotta dai vari interessi collegati ad un determinato dominio idrogeologico, a fronte dei processi idrodinamici o idrochimici in atto: fasi di piena o di magra, episodi di contaminazione, andamento stagionale pluviometrico,ecc.

In sostanza l'elemento innovativo in questa strategia di controllo consiste nella possibilità di mettere a punto un meccanismo in grado di confrontare in continuo le diverse esigenze spesso contrastanti, stabilendo delle priorità in modo da assicurare una fruibilità accettabile delle risorse disponibili nel tempo reale, sia in condizioni normali che eccezionali (Lobbrecht, 1997).

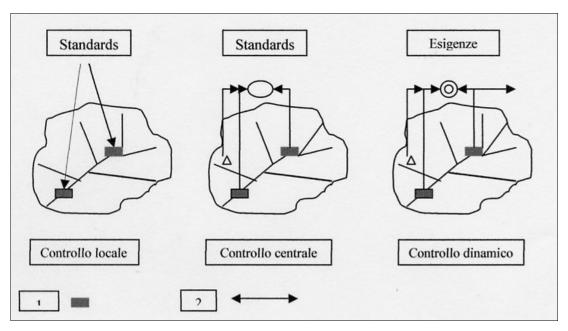


Fig. 2- I tre gradi di evoluzione per un controllo dinamico di un sistema idrico. Struttura di un controllo locale (1). Scambio e interazione dei dati (2).

Three evolution steps to a dynamic control of a hydrogeological system.

#### 3 - L'area campione prescelta

Tralasciando la pianura veronese e una parte di quella vicentina, la restante pianura alluvionale veneta può essere suddivisa in modo funzionale ai suoi sistemi e sottosistemi idrogeologici grazie ai suoi principali fiumi che l'hanno formata e la percorrono longitudinalmente e trasversalmente.

I circa 3000 Km<sup>2</sup> della porzione centrale della pianura, costituiti in prevalenza dai conoidi alluvionali dei fiumi Brenta e Piave e secondariamente da depositi marini, lagunari e di delta,sono delimitati ad Ovest dal fiume Astico e ad Est dal fiume Piave. A Sud si è assunto un

limite all'incirca coincidente con il basso corso dei fiumi Bacchiglione e Brenta.

L'area presa in considerazione comprende dunque buona parte del territorio provinciale di Padova, una parte del territorio provinciale di Vicenza, buona parte dei territori di pianura di Treviso e Venezia. Essa dunque possiede tutti i requisiti geologico-strutturali, economici e ambientali che ne fanno un'area di particolare interesse per la messa a punto di un progetto unitario di controllo e gestione delle sue cospicue risorse idriche sotterranee (Fig.3).

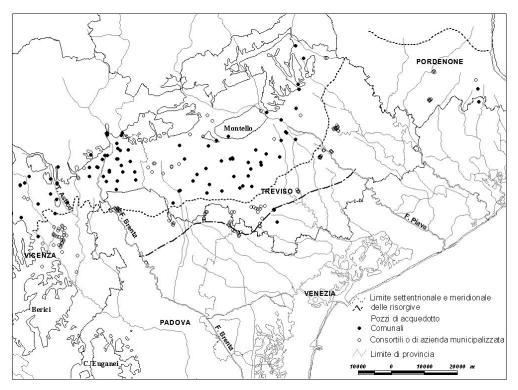


Fig. 3- Distribuzione dei pozzi pubblici tra i fiumi Brenta e Piave. *Pubblic wells distribution between the Brenta and the Piave rivers.* 

## 4 - I principali elementi che compongono il sistema di flusso regionale

Un sistema di flusso regionale consiste in più componenti idrologiche e unità geoidrologiche che interagiscono sia per via artificiale che naturale nell'assetto generale del flusso.

Questi elementi generatori di flusso idrico possono essere suddivisi in elementi di flusso idrico controllabile mediante strutture regolatrici, ed elementi di flusso naturale. Tra i primi possono rientrare le stazioni di pompaggio di acqua sotterranea o le paratoie di un canale di derivazione, mentre elementi di flusso naturale sono i corsi d'acqua e il deflusso idrico sotterraneo.

In funzione del maggiore o minore dettaglio con cui si vuole descrivere un sistema regionale gli elementi del flusso possono essere a loro volta ulteriormente suddivisi in aree contenenti uno o più sottosistemi o elementi di flusso. Tuttavia la ricerca di un elevato dettaglio descrittivo, almeno nella fase di impostazione come nel caso in esame, non sempre contribuisce alla efficacia di un progetto di controllo.

Si deve inoltre ricordare che la definizione spaziale di un sistema regionale non può prescindere completamente dai sistemi adiacenti, le eventuali interazioni con questi dovrebbero sempre essere note ed incluse in qualsiasi progetto di indagine.

La figura 3 mostra schematicamente alcuni fattori del flusso idrico che interagiscono tra loro sia per via naturale che artificiale: l'idrografia principale, i punti di estrazione di acqua potabile (comunali e consortili), il limite nord e sud dell'area delle risorgive.

Il confine settentrionale del sottosistema denominato fascia delle risorgive delimita il dominio di alta pianura alluvionale che costituisce un serbatoio geologicamente indifferenziato dove ha luogo il più massiccio

immagazzinamento di acqua sotterranea.

In tale unità idrogeologica i processi idrodinamici sono controllati dall'equazione generalizzata che descrive l'afflusso delle acque superficiali verso quelle sotterranee e viceversa (Lobbrecht,1997) (Domenico, Schwartz,1998), del tipo

$$q = Dh / Sr$$

dove:

q = portata unitaria entrante o uscente dal sottosuolo (m/s) Dh = differenza tra quota piezometrica e idrometrica (m) Sr = resistenza del suolo all'infiltrazione o al drenaggio (s)

#### 4.1 - Elementi generatori del flusso idrico sotterraneo

Di seguito si espongono in sintesi gli agenti più rilevanti della ricarica di questo settore chiave della pianura.

Nell'estremo settore Ovest dell'area in esame il fiume Brenta, lungo un percorso di circa 13 Km a partire dal suo sbocco in pianura, cede all'acquifero libero una portata media di circa 12-13 m<sup>3</sup>/s (Dal Prà, Veronese 1972).

A Est il fiume Piave apporta un contributo medio di oltre 20 m³/s su una lunghezza d'alveo paragonabile a quella del Brenta (D'Alpaos, Dal Prà 1978).

Tra gli afflussi secondari dalla superficie al sottosuolo dell'unità d'alta pianura si devono citare le precipitazioni efficaci e le irrigazioni.

Non è semplice convertire un valore di precipitazione in portata media annua di infiltrazione efficace su un territorio vasto e soprattutto pesantemente urbanizzato. Si possono tuttavia citare delle stime dedotte dalla bibliografia disponibile abbastanza concordanti tra loro di 4.4 – 4.2 m³/s, con punte mensili di 8 -10 m³/s (Bixio 1972) e (D'Alpaos, Dal Prà 1978).

Per quanto riguarda il contributo proveniente dalle irrigazioni non sono disponibili analisi sistematiche su tutta l'area d'alta pianura. Anche in questo caso si possono avanzare alcune stime dedotte dai dati forniti dai due principali consorzi di bonifica, utilizzando le seguenti relazioni adattate al settore di territorio considerato (Tonini, 1959).

$$q_{irr} = q_t \cdot Q_{irr} / Q_t$$
  
 $q_{eff} = q_{irr} \cdot S_R$ 

dove:

 $q_{irr}$  = portata irrigua specifica (l/s.h)

 $Q_t$  = portata totale media derivata (1/s)

 $q_t$  = portata specifica media derivata (l/s.h)

 $q_{eff}$  = portata specifica di surplus (l/s.h)

Q<sub>irr</sub> = portata irrigua totale distribuita (l/s)

 $S_R$  = coefficiente di ritenuta stimato (%)

Su buona parte dell'alta pianura del Piave si può valutare un apporto all'acquifero libero di circa 3-4 m³/s, mentre nell'alto bacino di pianura del fiume Brenta tale contributo può essere valutato tra 4-6m³/s, tenendo conto anche delle dispersioni che si verificano lungo la rete di rogge e canali irrigui (Vorlicek et Al. 2004).

#### 4.2 - Elementi regolatori della capacità di flusso

L'assetto idrodinamico regionale è controllato non solo dai così detti elementi di flusso libero, o elementi che concorrono a generare il flusso idrico sotterraneo, ma anche dagli elementi regolatori della capacità di flusso che generalizzando si possono considerare agenti sul drenaggio delle risorse idriche, questi possono operare sia per via naturale che forzata.

Nell'area in esame un tipico esempio di idrostruttura naturale regolatrice è rappresentato dalla fascia delle risorgive che si estende in continuità con un'ampiezza variabile (5-7 Km) su tutta la pianura veneta (Fig.3). Si tratta di una successione di punti di sfioro o di intersezione tra la superficie freatica del grande sistema acquifero indifferenziato d'alta pianura e il piano topografico che dà origine ad una vera e propria rete idrografica di proporzioni notevoli.

Con riferimento al settore di pianura considerato, da una campagna di misure effettuata su 22 sistemi idrografici (Dal Prà, Antonelli 1980) si giunse ad una stima del deflusso netto di risorgiva di circa 30 m³/s. Trattandosi di un'unica campagna rappresentativa di una fase di piena dell'acquifero, il risultato ottenuto va ridimensionato di almeno il 30-40% come valore medio, ma anche per il generalizzato decremento piezometrico nell'ultimo ventennio.

Il sistema acquifero indifferenziato di alta pianura a Sud del limite superiore delle risorgive gradualmente evolve in un sottosistema *multifalde* in pressione, che occupa tutta la porzione meridionale della pianura e buona parte di quella centrale.

Questo dominio idrogeologico si pone in continuità al contorno meridionale del sistema indifferenziato di alta pianura ed é con questo in stretta interazione idraulica; in esso cioè avviene il trasferimento del flusso idrico sotterraneo di alta pianura a meno delle portate sfiorate dall'area di risorgiva. I volumi idrici si distribuiscono su 5-6 livelli confinati, su uno spessore complessivo mediamente superiore ai 400 m, dove il relativo grado di pressione tende sempre più a differenziarsi procedendo verso la bassa pianura.

Se si assume una superficie di separazione tra i due domini ed un gradiente normale ad essa dh/dn, questo in accordo con Darcy assegna un valore di flusso attraverso tale interfaccia verso le singole unità confinate (condizione di Neumann o di flusso assegnato) (de Marsily, 1986).

$$\int_{\Sigma} \mathbf{K}_{e} \frac{\delta h}{\delta n} \cdot d\sigma = Q$$

dove:

K<sub>e</sub> = conduttività equivalente

 $d\sigma$  = superficie filtrante elementare

Se dunque si considera il sottosistema *multifalde* come un recapito naturale, si può ammettere che esso rappresenti un elemento di regolazione del flusso.

#### 5 - Lo sfruttamento dell'acqua sotterranea

I pozzi per la produzione di acqua sotterranea rappresentano l'elemento di regolazione forzata del flusso regionale in assoluto più rilevante.

Nel territorio che comprende il bacino di pianura del fiume Brenta e quello del fiume Piave non è mai stata realizzata una stima , sia pure indicativa, del numero dei pozzi idrici attivi: industriali, agricoli e domestici e tanto meno una stima delle portate medie annue estratte. Si possono solo azzardare delle cifre: 30.000 ?, 40.000 ?, o forse solo alcune migliaia ?, il range proposto appare provocatorio nella sua indeterminatezza, tuttavia da studi condotti in alcuni settori specifici della pianura, la densità specifica più probabile sembra approssimarsi ai primi valori proposti.

Quello che si può dire con certezza è che per il momento il consumo privato di acqua sotterranea risulta nel complesso pressoché incontrollato, non è infatti operativa una struttura centrale in grado di applicare una strategia di soluzione a livello tattico o di controllo in tempo reale nei punti più critici del territorio.

La carenza di un livello centrale di controllo espressamente dedicato e aggiornato sullo sviluppo della richiesta idrica proveniente dai diversi e spesso contrastanti interessi, quasi sempre si riflette negativamente sul buon funzionamento e sulla affidabilità di qualsiasi progetto di monitoraggio destinato alle acque di consumo pubblico.

Le opzioni di un moderno controllo dovrebbero includere una gestione flessibile delle risorse idriche; questa pertanto deve necessariamente incorporare le principali variabili temporali di un sistema idrico, come lo sviluppo della domanda sul territorio, la previsione del carico complessivo su un determinato sistema, il comportamento dinamico del sistema stesso e, più specificatamente, le fluttuazioni ammissibili dei livelli piezometrici e qualitativi delle acque sotterranee.

Basti pensare ad esempio ai ricorrenti allarmi di declino piezometrico nei campi pozzi degli acquedotti, spesso da attribuire ad un sovrasfruttamento di determinati livelli acquiferi, talora diversi da quelli intercettati dai pozzi pubblici; anche la salvaguardia qualitativa delle risorse o quantomeno la predisposizione di un sistema efficiente di allarme e le relative opzioni di emergenza risulta assai meno affidabile quando le condizioni al contorno dell'area di approvvigionamento pubblico sono incerte o totalmente sconosciute.

La pianura veneta costituisce un esempio tipico a tale riguardo, dove, a fronte di una disponibilità ancora soddisfacente, emergono sempre più pressanti esigenze e vincoli prodotti da una vasta gamma di interessi che convergono o in qualche modo coinvolgono il sistema idrico. L'incremento di tali interessi raramente si inquadra all'interno di una strategia di soluzione basata su serie storiche di dati e tanto meno su un modulo previsionale di rischio sul tipo ad esempio di quello proposto da Lobbrecht (1997).

$$R_{D} = \sum_{t=1}^{T} \left[ P(Q_{a}(t)/Q_{f}(t)) \sum_{j=1}^{n} D_{j}(t) \right]$$

con.

 $R_D$  = rischio di danno t = scala del tempo T = periodo di osservazione P = probabilità  $Q_a$  = portata considerata  $Q_f$  = portata prevista

n = numero degli interessi nel sistema

D = danneggiamento arrecato al singolo interesse

#### 6 - Acquedotti e Consorzi pubblici

La stragrande maggioranza dei prelievi idrici destinati al consumo pubblico di una parte rilevante del veneto centro-orientale é localizzata nella zona di transizione tra l'alta e la bassa pianura larga mediamente una decina di chilometri, i cui caratteri idrostrutturali, esposti in precedenza, ne fanno un dominio idrogeologico unitario e ben noto nei suoi confini stratigrafici e idrodinamici (Fig. 3).

I principali acquedotti o consorzi pubblici presenti storicamente sul territorio, trascurando eventuali recenti fusioni e nuove ragioni sociali, sono complessivamente 8 distribuiti tra il bacino di pianura del f. Brenta e quello del f.Piave . Ogni Ente in genere dispone di più campi pozzi generalmente estesi su aree modeste (qualche migliaio di m²), dove sono attivi, ad eccezione dell'Acquedotto di Venezia e Mestre, al massimo una ventina di pozzi, con una produzione media stimata per singolo acquedotto, sempre ad eccezione del caso citato, di alcune centinaia di litri al secondo, mentre il prelievo da corpi idrici superficiali è pressoché irrilevante. Pochi altri piccoli acquedotti a livello comunale o inter-comunale sono dislocati in zone pedemontane o di alta pianura (Bullo, 1995).

Si deve inoltre ricordare che i territori di media pianura delle province di Vicenza, Padova, Treviso e Venezia dove insistono le aree di produzione pubblica, sono caratterizzati da una urbanizzazione residenziale e industriale tra le più elevate in Europa.

Tralasciando un'analisi di dettaglio dei rischi potenziali a cui le risorse idriche sotterranee sono costantemente esposte in un ambito di sviluppo insediativo non reversibile, basta solo considerare la densità del prelievo privato al contorno delle aree di sfruttamento pubblico. Si tratta di vecchi censimenti eseguiti su piccole aree campione che attendono una sistematicità di indagine ed un aggiornamento più adeguati.

Nel occidentale dell'area considerata settore (Consorzio del Cittadellese e Acquedotto Euganeo-Berico) su un'area di poco più di 100 Km<sup>2</sup> sono stati censiti circa 850 pozzi (1978-79). Nel settore centrale (Consorzio del Tergola, Consorzio del Mirese, Acquedotto di Venezia), su due aree campione di circa 90 km<sup>2</sup> sono stati censiti rispettivamente 1800 e 1100 pozzi idrici con un prelievo stimato di 700 l/s e 800 l/s (1990-92). Nella zona più orientale (Consorzio del Basso Piave e Consorzio Sile-Piave) sempre da censimenti campione eseguiti agli inizi degli anni 90', è risultata una densità di pozzi privati ben superiore: 250 su 15 Km<sup>2</sup> per un consumo medio stimato di 300 l/s, fino a 2270 pozzi su un'estensione di 75 Km<sup>2</sup> con un consumo medio di 1500

Si deve far rilevare che questi vecchi censimenti prendevano in considerazione esclusivamente le perforazioni idriche regolarmente denunciate e per quanto riguarda i consumi le dichiarazioni dei singoli proprietari (Dal Prà, Fabbri, Bellenghi, 1989) (Dal Prà, Fabbri, Bortoletto, 1992).

#### 7 - L'identificazione e la codifica delle principali unità idrogeologiche della pianura

Prima di impostare e sviluppare un qualsiasi progetto di controllo dinamico di un sistema idrogeologico è prioritario procedere ad una stima di sufficiente attendibilità della richiesta privata e ad una previsione del suo incremento a cui le risorse disponibili sono inevitabilmente vincolate. In un arco temporale anche

modesto tale richiesta può assumere proporzioni inaspettate nei confronti di quella pubblica come nel caso in esame. Questo obiettivo dovrebbe essere prioritario almeno in corrispondenza di quelle aree della pianura dove, sia pure attraverso censimenti parziali, sono già noti addensamenti particolari di perforazioni idriche. Per dare una percezione solo visiva e certamente solo parziale degli incrementi della domanda che si verificano in alcuni settori della pianura veneta, in figura 4 si pongono a confronto le distribuzioni delle perforazioni idriche relative ad un *database* aggiornato rispettivamente al 2000 e al 2006.

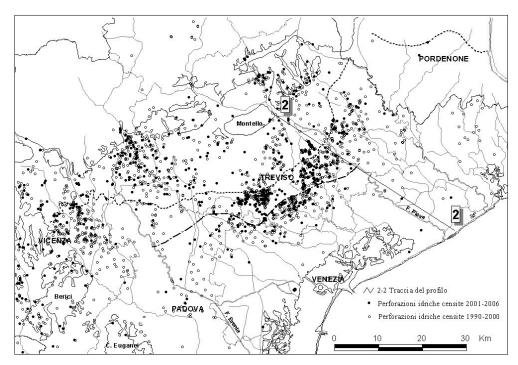


Fig. 4- L'incremento delle perforazioni idriche sul territorio (2001-2006). The bore-hole increase (2001-2006) in the studied area.

Il confronto riportato in Fig. 4 evidenzia in modo eloquente la fondamentale operazione di aggiornamento del carico sulle risorse idriche sotterranee e possibilmente di previsione del suo sviluppo, che può essere svolta in modo completo ed efficace e in tempi relativamente brevi solo da un centro di gestione espressamente dedicato.

Con lo scopo di fornire un contributo alla fase conoscitiva di base, in collaborazione con il Dipartimento per i Servizi Tecnici Nazionali (SGI) e successivamente con l'APAT, si è avviata in questi ultimi anni una procedura di informatizzazione in ambiente ArcWiew dei dati stratigrafici e idrogeologici disponibili che comprende tutta la pianura veneta.

Nell'impegnativa operazione di individuazione ed acquisizione delle informazioni ambientali è apparso subito evidente il decisivo supporto che può essere fornito da una banca dati istituzionalizzata e centralizzata. Da questa ad esempio è possibile elaborare rapidamente un numero elevato di sezioni del tipo di quella riportata in Fig.5 che facilitano l'operazione di aggiornamento quindi di omologazione dei livelli produttivi e in particolare di quelli utilizzati per la distribuzione idrica pubblica.

Una parte rilevante dei dati utilizzati proviene dagli archivi del Servizio Geologico dove si stanno riorganizzando ed elaborando in modo sistematico e a livello nazionale, tutte le denuncie di perforazioni idriche con relativa ubicazione, stratigrafia, posizione dei filtri ecc. Sempre da questo archivio proviene il censimento pressoché completo dei pozzi idrici comunali e consortili del Veneto centro-occidentale.

La consistenza del catasto stratigrafico che si può considerare rilevante almeno per ampi settori della pianura, ha consentito dunque una prima proposta di omologazione dei principali acquiferi sottoposti a sfruttamento.

L'indagine per le esigenze di confronto ed elaborazione statistica di un numero di dati più elevato

possibile, è stata estesa ai domini di pianura adiacenti a quello centrale di interesse compreso tra i fiumi Brenta e

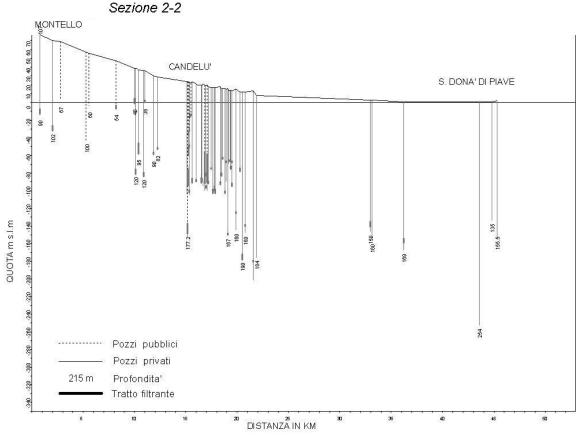


Fig. 5- Sezione (cfr. fig.4). *Cross section (cfr. fig.4)*.

Tab. 1- Le principali unità acquifere della pianura veneta centro – orientale.

The main aquifer units of the central-eastern Venetian Plain.

Unità	Dominio di	Dominio	Dominio	Dominio
acquifera	bassa	occidentale	centrale	orientale
	pianura	(m da p.c.)	(m da p.c.)	(m da p.c.)
	(m da p.c.)			
A	p.c 90	p.c 70	p.c 80	p.c 70
I	100 - 140	120 -150	90 - 140	80 - 130
II	150 - 230	180 - 200	150 - 220	140 - 180
III	250 - 270	220 - 250	220 - 250	200 - 240
IV	280 - 300		260 - 280	260 - 280
V	300 - 330		300 - 330	300 - 340
VI	360 - 400		360 - 380	360 - 400
Sistemi			> 400	> 400
profondi				

La tabella 1, che deve essere intesa come uno schema semplificato delle unità acquifere espresse in intervalli di profondità, è il risultato dell'interpretazione ed elaborazione delle successioni litostratigrafiche a cui si è aggiunto il riscontro,quando disponibile, delle segnalazioni di posizione ed estensione dei tratti filtranti.

In sostanza la realizzazione della codifica riportata in Tab.1 rappresenta un compromesso tra un modello fisico-

concettuale ottenuto nei limiti di una correlazione stratigrafica alla scala regionale e l'esigenza di impostare su di esso un sistema di controllo che deve innanzi tutto fornire misure significative, correlabili e ripetibili.

I domini adiacenti a quello centrale possono essere così sommariamente delimitati.

Il dominio di bassa pianura si considera esteso da alcuni chilometri a sud del limite inferiore delle risorgive fino alla costa adriatica; il dominio occidentale comprende la pianura vicentina ad ovest del torrente Astico; il dominio orientale si estende dalla sinistra Piave fino al fiume Livenza.

L'unità acquifera più superficiale indicata con la lettera "A" può essere anche definita come complesso acquifero prevalentemente di tipo libero, ma all'interno del quale possono coesistere più livelli acquiferi di tipo semiconfinato. Tale complesso che interessa in prevalenza la fascia delle risorgive, è stato definito di transizione tra l'area a massima ricarica di alta pianura e i sistemi di media e bassa pianura.

Sono state inoltre individuate 6 principali unità acquifere confinate, più propriamente riferibili ai sistemi di media e bassa pianura e indicate con numero romano, fino ad una profondità massima di 400 m. Oltre tale limite sono segnalati da alcune perforazioni idriche su tutta

l'area di interesse tratti fenestrati a 600 – 700 m, a conferma della presenza di livelli acquiferi ad elevata continuità spaziale per i quali la densità dell'informazione attuale non ne supporta una compiuta definizione geologica.

Pur non trascurando l'inevitabile esigenza di semplificazione nell'attribuire alle varie unità acquifere gli intervalli di profondità, si ritiene che i risultati ottenuti, messi a confronto propongano un modello geometrico spaziale in grado di esprimere una discreta corrispondenza anche tra domini non contigui.

#### 8 - Il Dominio idrogeologico centrale

Appare evidente la particolare densità di perforazioni idriche nel settore di pianura compreso tra i fiumi Brenta e Piave dove convergono in parziale sovrapposizione e interconnessione, le direttrici deposizionali più attive dei rispettivi conoidi (Fig. 4). Queste hanno favorito la formazione di potenti corpi acquiferi ad elevata continuità

verticale e laterale, particolarmente produttivi (Dal Prà et al., 1976) (Antonelli, 1986).

Si deve inoltre far presente che la grande maggioranza dei prelievi idrici sotterranei per uso privato e la quasi totalità di quelli pubblici gestiti dai principali Enti e Consorzi si concentrano in particolare su una ristretta fascia di territorio di media pianura (Fig. 3 e Fig. 5).

Un'analisi generale delle caratteristiche stratigrafiche e del condizionamento della maggior parte delle perforazioni idriche pubbliche, ha portato ad una sintesi significativa di alcuni elementi che si riportano in Tab.2. Questa fornisce un quadro per quanto possibile aggiornato, anche se probabilmente non esaustivo, sulla produzione di acqua potabile nell'area di interesse che per un maggior dettaglio è stata suddivisa in tre ambiti territoriali o sottobacini; per ciascuno di questi è riportato: il numero complessivo dei pozzi pubblici attivi, il loro posizionamento in percentuale nei vari livelli produttivi ed un valore indicativo di produzione media.

Tab.2- Quadro generale dei pozzi pubblici attivi nell'area di interesse. *Active public wells in the studied area*.

Settore centrale della pianura	Numero dei pozzi	Complesso A semiconfinato	I° e II° acquifero	III° e IV° acquifero	V° e VI° acquifero	Portata media annua	
	pubblici	m da p.c.	m da p.c.	m da p.c.	m da p.c.	1/s	
Bacino di pianura del Brenta	•	0-90	100-140 150-230			220	
	28	92	8	0	0	330	
La pianura tra		0-80	90-140 150-220	220-250 260-280	300-330 360-380	2000	
Brenta e Piave	79	40	22	5	24	3000	
Bacino di pianura del Piave		0-70	80-130 140-180	200-240			
	47	23	64	12	0	940	

E' interessante notare che la parte preponderante del fabbisogno idrico pubblico proviene dal complesso di transizione denominato "A", quindi da una profondità compresa tra 70-80 m e secondariamente dalla I<sup>a</sup> e II<sup>a</sup> unità acquifera confinata quindi da una profondità compresa tra 90 e 220 m (Tab.1 e Fig.5)

La rilevanza economica e ambientale, il lavoro di acquisizione e riorganizzazione sistematica dei dati e delle serie storiche delle misure estese anche su tutta l'area contermine di alta pianura (cfr. p. 4), fanno di questo territorio ed in particolare la sua fascia mediana,un campo sperimentale prioritario per l'impostazione di un sistema di controllo moderno.

# 9 - La scelta di una rete di punti come soluzione preliminare del problema del controllo

L'attività di archiviazione dei dati su base GIS svolta in questi ultimi anni in collaborazione con il Servizio Geologico ha compreso, come già ricordato, serie di misure piezometriche sia storiche che recenti alla scala regionale. E' bene far presente che tutti i punti utilizzati rientrano nella categoria dei piezometri espressamente dedicati (pozzi idrici); questo se da un lato comporta un relativo incremento del numero dei vincoli di sito, dall'altro produce un decisivo e irrinunciabile abbattimento dei costi. Tutti i punti sono stati controllati per l'accessibilità alle misure, opportunamente quotati e referenziati al modello idrostratigrafico (Tab. 1). Questo indispensabile lavoro preliminare ha già portato ad una discreta stabilizzazione, sia pure in alcuni casi non completata, di sette distinte reti sperimentali di monitoraggio dedicate alle altrettante unità acquifere codificate, esclusa la vecchia rete sul dominio indifferenziato di alta pianura.

Il primo risultato che emerge dal confronto delle carte piezometriche già elaborate è quello di una sostanziale regolarità e stabilità nella distribuzione dei potenziali. Questi descrivono campi di flusso che si sviluppano in assetto pressoché costante, nelle componenti direzionali principali, in tutte le unità acquifere in cui si è suddiviso il complesso di media e bassa pianura, a partire dalle zone della ricarica di alta pianura. Gli esempi riportati nelle figure 6 e 7 evidenziano bene la peculiarità di tale assetto idrodinamico nel mezzo poroso alluvionale.

In Fig.6 si osserva che la rete di misura utilizzata per il

complesso di alta pianura, a nord del limite superiore delle risorgive, e quella relativa al complesso "A" si possono in realtà considerare un unico osservatorio. In questo caso un centro di controllo decisionale ha ampie possibilità di variazione, sostituzione, e integrazione sia nella fase di verifica e stabilizzazione degli *standards* del controllo locale (Fig.2), sia in una eventuale fase di emergenza.

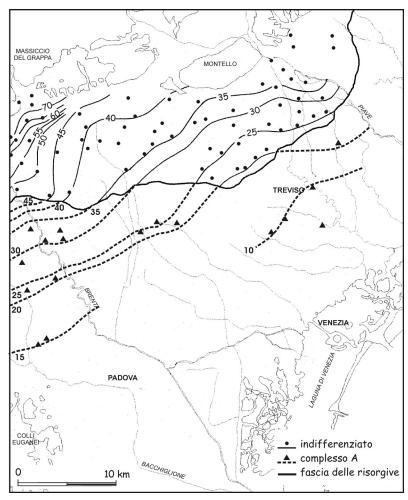


Fig. 6- Reti di misura nell'acquifero indifferenziato e nel complesso "A" semiconfinato. I rilievi piezometrici sono del novembredicembre 2001.

Monitoring nets in the free aquifer and in the semiconfined one "A". The piezometric values refer to November-December 2001.

Nell'esempio di Fig.7 il campo di flusso del primo acquifero confinato, mantiene sostanzialmente invariate le sue principali direttrici su tutto il settore di pianura considerato. Le stesse osservazioni si possono fare per tutte le altre unità acquifere individuate (Tab.1).

Le carte piezometriche, ma anche del chimismo o di iso-oscillazione o altro dedicate ai singoli livelli acquiferi codificati, sono state realizzate o si possono realizzare con costi relativamente modesti, grazie al supporto di un archivio funzionale e aggiornato; questo tuttavia è bene ricordare è costituito quasi esclusivamente dai dati desunti da perforazioni idriche che andrebbero adeguatamente

verificati mediante l'esecuzione di alcune perforazioni geognostiche nei punti più problematici.

Attraverso un codice numerico, come riportato dalle carte tematiche di esempio, si possono ottenere tutte le informazioni disponibili, tra cui si ricorda: la quota topografica, le coordinate UTM, la profondità totale della perforazione idrica, la sua accessibilità, la profondità ed estensione dei filtri, le serie storiche delle misure piezometriche effettuate, una possibilità di integrazione o sostituzione di ogni singolo punto della rete. In Tab.3 si riporta un esempio di foglio elettronico parziale derivabile dalla banca dati relativo ad alcuni punti di misura utilizzati nel primo livello acquifero confinato.

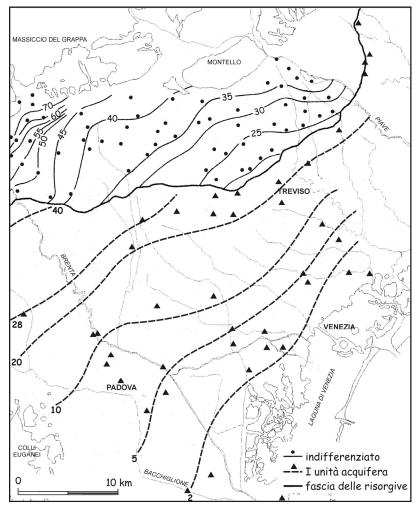


Fig. 7- Reti di misura nell'acquifero indifferenziato e nel Iº acquifero confinato. I rilievi piezometrici sono del novembre-dicembre 2001.

Monitoring nets in the free aquifer and in the first confined unit. The piezometric values refer to November-December 2001.

Lo stato attuale delle ricerche consente la predisposizione, con un buon completamento delle informazioni, di tre reti di osservazione dedicate alle tre unità acquifere che sono state identificate come quelle sottoposte al massimo sfruttamento nel settore centrale della pianura (Tab.2).

Si ritiene pertanto che le proposte avanzate alla scala regionale rappresentino già una base concreta per l'organizzazione di un controllo locale che, è bene ricordarlo, rappresenta la prima fondamentale fase evolutiva verso lo sviluppo di una gestione moderna delle risorse idriche.

Ciò detto si devono anche fare alcune considerazioni di carattere funzionale e operativo.

La scelta definitiva delle reti di monitoraggio che attualmente sono costituite da circa 18 nodi dedicati al complesso "A", 35 dedicati al primo acquifero confinato ,20 al secondo acquifero, 13 al terzo e 15 al quarto,con opzione per ciascun sistema di punti alternativi, si deve ancora confrontare con le modalità e la frequenza delle misure, con la loro rappresentatività e ripetitività, nonché con la fattibilità del progetto in termini di tempo e costi.

La gran parte dei punti di osservazione individuati sono pozzi idrici privati, di conseguenza nella prospettiva di una stabilizzazione delle reti si devono considerare gli inevitabili vincoli posti dalle esigenze dei proprietari. Tuttavia il contesto emerso dalle indagini non dovrebbe lasciare dubbi sull'esigenza prioritaria di un controllo centralizzato delle risorse idriche, si ritiene quindi che questo problema possa essere agevolmente superato programmando una sostituzione anche parziale dei pozzi privati con delle perforazioni specializzate.

Nelle operazioni volte a perseguire una strategia ottimale di controllo rientra l'esigenza di un'adeguata riduzione dei punti della rete. A tale scopo nell'ambito del progetto sono già state applicate in via sperimentale i metodi geostatistici, basati su un algoritmo di stima a minima varianza (Kriging), che consente di valutare, ove si disponga di serie di misure storiche consistenti, il peggioramento percentuale, in termini di varianza dell'errore di stima, qualora si scelga una rete di monitoraggio ridotta.

N° Codice	Quota	Profondà	Serie delle misure		Filtri	N° Codice	
	m s.l.m	m	m s.l.m.		m	Integra o sostituisce	
			01/96	09/00	02/01		
793	13.30	141.00	8.30	9.75	10.65	128/140	319
			03/94	09/00	02/01		
696	24.64	126.00	25.70	25.21	26.88	126	318
			12/93	09/00	02/01		
655	27.30	92.00	28.10	27.80	28.20	92	316
					02/01		
573	9.27	140.00			10.66	140	750
				07/99	02/01		
571	5.28	137.00		3.84	4.84	129/137	867
			08/93	07/99	02/01		
578	3.86	117.00	3.05	3.37	3.68	117	780
			09/93	07/99	02/01		
577	2.77	104.20	2.32	2.47	2.72	104	481
			08/93	07/99	02/01		
581	2.13	121.00	1.15	1.85	2.43	110/121	485

Tab.3- Quadro parziale della rete di osservazione del  $I^{\circ}$  acquifero confinato. Partial data-base arrangement of the first confined aquifer

L'applicazione del metodo alla rete dedicata al primo acquifero confinato, ha indicato un peggioramento percentuale di stima del 5,8 % per una riduzione di punti di misura del 28%.

#### Considerazioni conclusive

Da numerosi anni nella pianura alluvionale veneta ed in particolare nel suo settore centrale, vengono utilizzate da vari Enti pubblici reti di pozzi idrici per il controllo, per lo più di tipo qualitativo, dei sistemi idrici sotterranei. Tuttavia la scelta dei punti da porre sotto osservazione, la cadenza e l'arco temporale dei controlli, nonché la scelta dei parametri da controllare, per citare solo alcuni degli aspetti operativi, rappresentano spesso dei problemi in quanto si pongono in condizioni di emergenza.

Così come è ormai ampiamente dimostrato, l'applicazione di una strategia di controllo non coordinata da una struttura centrale dove convergono e vengono continuamente elaborate tutte le informazioni periferiche, porta ad una imprecisa valutazione dei parametri che compongono il rischio, incompatibile con una gestione avanzata delle risorse idriche che si impone alle autorità preposte (Fetter C.W., 1993), (Fetter C.W., 1994), (Aller L. et Al. 1989), (Giuliano G. 1996).

Questo studio ha in particolare affrontato la fase di identificazione del sistema idrogeologico sia nella sua complessa globalità, sia nelle singole parti che lo compongono; tale operazione rappresenta la base conoscitiva di ogni moderno sistema di controllo che si intenda far evolvere verso un sistema di gestione dinamica delle informazioni (cfr. p.2).

L'individuazione e la codifica delle principali unità acquifere sottoposte a sfruttamento apporta un contributo non trascurabile all'impostazione di un progetto di questo tipo, in quanto la predisposizione e la stabilizzazione di reti di monitoraggio specializzate per ciascuno degli orizzonti acquiferi identificati, ne evidenzia, con il grado di precisione e tempestività necessari, i diversi gradi di sensibilità allo sfruttamento e alla contaminazione. Ad esempio, a fronte di interessi contrastanti che insistono su determinati livelli acquiferi, può risultare necessaria l'assegnazione di priorità nella fase di gestione dinamica delle risorse.

E' stato dimostrato come le condizioni al contorno del dominio centrale della pianura instaurino nei sistemi acquiferi dei due conoidi di Brenta e Piave, tra loro in stretta interazione idraulica, un campo di moto sostanzialmente unitario. Questa particolare uniformità e costanza nelle direttrici di flusso in tutte le unità acquifere, come in particolare al passaggio tra il dominio di alta pianura e il complesso "A", si rivela una circostanza favorevole ad un ridimensionamento delle operazioni di sito e delle strutture di monitoraggio su tutti i sistemi acquiferi individuati.

Ad esempio il completamento delle 3 reti di monitoraggio quelle predisposte per i livelli acquiferi soggetti al massimo sfruttamento per la distribuzione pubblica, potrebbe essere operativo, alla scala regionale realizzando di un numero modesto di perforazioni specializzate dedicate in particolare al I° e II° acquifero confinato.

#### Bibliografia

Aller L. et Al., 1989. Handbook of suggested practices for the design and istallation of groundwater monitoring wells. National Water Well Ass. Dublin, Ohio, 398.

Antonelli R., 1986. Primi risultati di ricerche idrogeologiche sulla ricarica naturale delle falde nell'alta pianura alluvionale del fiume Piave. Mem. di Sc. Geol.,38, 393-413.

Antonelli R. & Dal Prà A., 1980. Carta dei deflussi freatici dell'alta pianura veneta con note illustrative. Quad. Ist. Ric. sulle Acque, 51,(1), 185-197.

Bixio V., 1972. Apporti meteorici efficaci agli acquiferi tra Brenta e Piave, linea costiera e spartiacque pedemontano. Ist. Veneto di Sc. Lett. ed Arti, 5, .....

Bullo P., 1995. Lo sfruttamento delle acque sotterranee nella pianura veneta ad opera degli acquedotti pubblici. Tesi di Dottorato in Geologia Appl., VII ciclo, Ferrara.

D'Alpaos L., Dal Prà A., 1978. Indagini sperimentali sull'alimentazione delle falde idriche nell'alta pianura alluvionale del Piave. Atti XVI Congr. di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, 1-18.

Dal Prà A. e Veronese F., 1972. Gli acquiferi dell'alta pianura alluvionale del fiume Brenta e i loro rapporti con il corso d'acqua. Ricerche preliminari. Ist. Veneto di Sc. Lett. ed Arti, 5, 189-222.

Dal Prà A., Bellati R., Costacurta R., Sbettega G., 1976. Distribuzione delle ghiaie nel sottosuolo della pianura veneta. Quad. Ist. Ric. sulle Acque 28, (12), 337-343.

Dal Prà A:, Antonelli R., 1980. Restituzione freatica ai fontanili nell'alta pianura veneta, tra il fiume Piave e i Monti Lessini. Quad. Ist. Ric. sulle Acque, 51,(1), 7-25.

Dal Prà A., Fabbri P., Bellenghi G., 1989. Esempi di sfruttamento delle falde artesiane nella media pianura veneta, in aree non servite da acquedotti pubblici. Mem. di Sc. Geol., 41, 115-130.

Dal Prà A., Fabbri P., Bortoletto C., 1992. Il sistema idrogeologico artesiano e il suo sfruttamento nell'area tra Treviso e il fiume Piave. Mem. di Sc. Geol., 44, 151-170.

De Marsily G., 1986. Quantitative Hydrogeology. Academic Press. Inc., 440.

Domenico P.A., Schwartz F.W., 1997. Physical and Chemical Hydrogeology. John Wiley & Sons, Inc, II<sup>a</sup> Ed., 506.

Fetter C.W., 1993. Contaminant Hydrogeology. Prentice-Hall, Inc., 458.

Fetter C.W., 1994. Applied Hydrogeology.

Prentice-Hall, Inc., IIIa Ed., 691.

Giuliano G., 1996. Quad. Geol. Applicata, 4, 153-160.

Gruppo di studio sulle falde acquifere profonde della Pianura Padana, (1979). Lineamenti idrogeologici della Pianura Padana. Quad. Ist. di Ric. sulle Acque, 28,(2), 9-77.

Lobbrecht A.H., 1997. Dynamic water system control. Design and operation of regional water-resources systems. A.A. Balkema, 315.

Marsily G., 1986. Quantitative Hydrogeology. Academic Press.Inc.,440.

Tonini D., 1959. Elementi di Idrografia e Idrologia. Libreria Universitaria, I, 603.

Vorlicek P.A., Antonelli R., Fabbri P., Rausch R., 2004. Quantitative hydrogeological studies of the Treviso alluvial plain, NE Italy. Quart. Journ. of Engineering Geology and Hydrogeology, 37,23-29.