

*CNR CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE*

*GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DALLE  
CATASTOFI IDROGEOLOGICHE*

**VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITA' DEGLI  
ACQUIFERI**

**RAPPORTO TRIENNALE**

**1996-1998**

Prof. Dott. Massimo Civita

## 1. PREMESSA

---

L'attività di ricerca e collaborazione con il Dipartimento della Protezione Civile si è svolta, nel triennio di riferimento, molto al di là delle aspettative.

Tutte le UU.OO. afferenti alla Linea di Ricerca hanno portato avanti le ricerche previste, ottenendo successi lusinghieri non soltanto nel campo dell'operatività ma anche in quello metodologico. Sono stati messi a punto e sperimentate su aree - campione metodologie importanti, sia per quanto concerne la cartografia parametrica della vulnerabilità degli acquiferi, sia per le nuove metodiche per la valutazione del rischio di degrado qualitativo e quantitativo.

Altro elemento di discussione scientifica è tecnica è derivato dalle molteplici esperienze che discendono da diversi eventi calamitosi, in primo luogo alluvioni e frane che, oltre a colpire direttamente le popolazioni, finiscono per impattarle anche in modo derivato e coniugato per la distruzione dei riduttori d'inquinamento e dei punti di prelievo delle risorse idriche sotterranee.

Applicazioni dell'*analisi di sito* hanno permesso di valutare il rischio potenziale ed il rischio relativo di impianti e attività impattanti. Ma solo l'applicazione dell'alta tecnologia informatica ha permesso di fare un primo sostanziale passo verso la valutazione e la cartografia del rischio globale. I sistemi GIS di ultima generazione hanno permesso di trattare una grandissima mole di dati per livelli stratificati di aggregazione, realizzando ciò che non sembrava possibile nel campo della prevenzione e della protezione delle acque sotterranee.

Sostanziali azioni di monitoraggio e di approfondimento sono state realizzate dalle UU.OO. del Friuli, del Veneto, dell'Emilia Romagna, delle Marche, dell'Umbria, della Campania e della Sicilia.

E' stato completato un programma pluriennale di censimento su tutto il territorio nazionale dei fenomeni d'inquinamento delle acque sotterranee. L'U.O. 4.13 (IRSA-CNR Roma) ha prodotto una Carta a grande denominatore di scala che rappresenta la somma delle conoscenze acquisite dal Modulo BIAS, uno degli assi portanti del Progetto Speciale IDAV. L'altro modulo di questo P.S., il Modulo DAV ha proposto metodologie e casistiche per il disinquinamento degli acquiferi vulnerati.

Una completa trattazione, seppure sintetica, delle attività svolte dalle singole U.O. possono essere lette nel seguente capitolo di questo Rapporto.

## **2.RAPPORTO DI ATTIVITÀ DELLE UU.OO.**

---

### **U.O. 4.1**

## **RISORSE IDRICHE SOTTERRANEE DEL CUNEESE: CONSISTENZA E VULNERABILITÀ. RISCHIO DI INQUINAMENTO DELLE DISCARICHE ABUSIVE DELL'ALESSANDRINO.**

Prof. Massimo Civita<sup>1</sup>

### **1. INTRODUZIONE**

L'Unità Operativa ha svolto, durante il triennio 1996 - 98, ricerche che possono essere sintetizzate nel modo seguente:

- Studio della consistenza e della vulnerabilità all'inquinamento degli acquiferi ubicati nella pianura cuneese e nelle valli delle Alpi. Nel corso dello studio l'area di ricerca è stata progressivamente ingrandita ed allo stesso tempo sono state perfezionate ed ampliate le metodologie sinergiche di indagine. Dalla pianura cuneese lo studio degli acquiferi è stato esteso alle zone di Asti ed Alessandria, dove sono iniziate le operazioni di raccolta e catalogazione dei dati di base;
- studio delle discariche abusive, spesso occultate, presenti nell'alessandrino. Dopo l'identificazione delle discariche stesse, si è proceduto col valutarne la pericolosità ed il loro potenziale impatto sugli acquiferi presenti nell'area, valutando le modificazioni geochimiche osservabili lungo una serie di direzioni di flusso sotterraneo;
- ricostruzione geo-stratigrafica dell'assetto della pianura cuneese alla luce dei nuovi dati ottenuti dalla geofisica profonda e dai rilievi appositamente effettuati dal personale dell'U.O.;
- valutazione della vulnerabilità intrinseca degli acquiferi con comparazione di diverse metodologie in parte acquisite ed in parte in fase di sperimentazione;
- edizione definitiva del Manuale completo del Modello parametrico a punteggi e pesi SINTACS, per la valutazione della vulnerabilità intrinseca degli acquiferi (Civita, 1990; 1993; 1994);
- esecuzione di una bozza della carta della qualità di base della pianura cuneese relativa ai parametri chimico-fisici del gruppo 1 (conducibilità, durezza in gradi francesi, cloruri, solfati, nitrati);
- rilievi geologici ed idrogeologici dei rilievi langaroli in prossimità della pianura cuneese;
- censimento dei centri di pericolo relativi ad alcuni settori delle pianure cuneese, astigiana ed alessandrina, finalizzato alla stesura della carta della vulnerabilità delle risorse idriche sotterranee;

---

<sup>1</sup> Dipartimento di Georisorse e Territorio Politecnico di Torino, C.so Duca degli Abruzzi, 24 10129 Torino

- valutazione di primo livello della tipologia e dello spessore dei suoli nella medesima area finalizzati al tracciamento di una carta della vulnerabilità;
- preparazione della banca-dati relativa alla qualità di base dei territori cuneesi, astigiani e alessandrini, con l'allestimento di appositi diagrammi per la valutazione rapida ed il confronto della qualità delle acque sotterranee per gli utilizzi potabili e irrigui.

## 2. CONCLUSIONI

Durante l'intero triennio si è proceduto nelle ricerche effettuate nell'ambito della convenzione stipulata tra il Politecnico di Torino e la Regione Piemonte che sta tuttora impegnando l'U.O. Lo studio dei possibili fenomeni di inquinamento conseguenti ad un evento alluvionale, come quello del Tanaro del 1994, sugli acquiferi superficiali, per le problematiche sviluppate, ricade entro i moduli RISE, VAZAR e QUAS, riguarda tutta la Valle del Tanaro e quindi buona parte delle pianure di Cuneo, Asti ed Alessandria. In particolare è stato terminato il censimento dei centri di pericolo della pianura cuneese, astigiana ed alessandrina che ha condotto alla realizzazione di un database relativo alle maggiori concentrazioni industriali, alla tipologia ed alle modalità di utilizzo di vari tipi di concimi e diserbanti a supporto chimico, alla litologia, spessore, capacità di attenuazione ed all'utilizzo dei suoli e, non ultimo, alla stratigrafia rilevata ed alla tipologia costruttiva dei pozzi per scopi idropotabile od irrigui presenti nella zona.

Nell'ambito del Modulo RISE, è stato terminato uno studio relativo ad una porzione ristretta della pianura cuneese (zona dei cosiddetti Sagnassi di Centallo) la quale è stata individuata come zona di reperimento di risorse idriche integrative e di emergenza. In questo studio è stato anche progettato e dimensionato un ipotetico impianto di prelievo delle acque. È stato completato anche lo studio sulla quantità e sulla qualità delle risorse idriche sotterranee legate al massiccio carbonatico del Maira, con particolare riferimento alle modificazioni temporali del chimismo dell'acqua.

Lo studio idrogeologico della pianura cuneese ha subito un notevole impulso dallo studio sedimentologico e stratigrafico-granulometrico condotto sulle varie unità deposizionali individuate nell'area. In particolare sono stati evidenziati i rapporti fra acquiferi potenzialmente molto produttivi presenti nei livelli ghiaiosi dilavati, e fra acquicludes costituiti da serie ghiaiose intensamente alterate e ferrettizzate. Utilizzando questa impostazione si sta ora estendendo tale studio anche agli acquiferi presenti nell'intervallo Pliocene inferiore - Olocene delle pianure di Alessandria ed Asti le quali costituiscono il prolungamento verso nord della pianura cuneese.

La ricerca relativa al modulo VAZAR è stata condotta terminando lo studio relativo al censimento ed all'identificazione di una parte delle discariche abusive presenti in Provincia di Alessandria. In particolare sono state studiate con metodi di *Site Analysis* e *Site Evaluation* le discariche abusive presenti nelle zone di Sezzadio, Alessandria, Serravalle Scrivia e Castellazzo Bormida, tutte messe in sicurezza ad opera del Dipartimento Protezione Civile in collaborazione con la Regione Piemonte negli ultimi anni. Le metodologie impiegate, tra le quali il Metodo HRS (*Hazard Ranking System*) che è stato inserito nella legge americana CERCLA dall'EPA, hanno permesso di comparare le diverse possibilità di valutazione a seconda dei dati disponibili in fase di emergenza e, successivamente, nella fase decisionale per la messa in sicurezza e la bonifica definitiva dei siti. I risultati sono stati sintetizzati in un lavoro di tipo metodologico e operativo che ha comportato la valutazione e la cartografia del rischio d'inquinamento potenziale e relativo delle principali discariche, permettendo di validare la metodologia che sarà al più presto trasmessa agli utilizzatori istituzionali, prima tra tutte la Provincia di Livorno che ne ha fatto esplicita richiesta.

Per quanto riguarda gli acquiferi della pianura cuneese è stata realizzata una carta di vulnerabilità degli acquiferi superficiali, realizzata utilizzando la metodologia SINTACS, ed una carta di vulnerabilità degli acquiferi profondi, realizzata con una metodologia di nuova concezione anche se derivante dalla struttura madre di SINTACS. Tali carte verranno analogamente realizzate per le pianure di Alessandria ed Asti.

Lo studio della vulnerabilità intrinseca degli acquiferi ha condotto alla realizzazione di un manuale relativo all'applicazione della metodologia SINTACS nella determinazione della vulnerabilità degli acquiferi.

Nella redazione della bozza della qualità di base della pianura cuneese relativa ai parametri del gruppo 1 si sono riscontrate le seguenti problematiche:

- variazioni stagionali del contenuto in nitrati delle acque della falda freatica legate all'irrigazione ed alla rimobilizzazione dei fertilizzanti azotati solidi,
- modeste variazioni della conducibilità e della durezza procedendo lungo la direzione di flusso delle acque sotterranee, ad eccezione dei margini delle Langhe,
- aumenti nella concentrazione dei solfati e dei nitrati, ricollegabili ad acque in risalita nei terreni messiniani (rilievi delle Langhe) con forti e locali declassamenti della qualità delle acque.

Con il rilievo geologico ed idrogeologico dei rilievi langaroli sono stati individuati e separati i vari acquiferi presenti; è stato inoltre effettuato un controllo geochimico della validità delle suddivisioni effettuate.

La ricostruzione stratigrafica dell'assetto della pianura cuneese ha portato all'individuazione di numerosi *thrusts* sepolti capaci di veicolare acque a chimismo anomalo, anche a poca profondità, in settori distali della pianura.

Sempre nell'ambito del modulo QUAS, è stata redatta la carta della qualità di base della bassa val Scrivia e di parte della pianura alessandrina. Lo studio ha fornito interessanti dati preliminari sul chimismo delle acque sotterranee che, in questa zona, alimentano i corsi d'acqua presenti (il T. Scrivia e il T. Orba), ricevendo apporti differenziati in cloruri e solfati dal dilavamento delle formazioni oligo-mio-plioceniche circostanti, ed apporti variabili di nitrati legati all'impiego stagionale di fertilizzanti a base azotata.

### 3. COLLABORATORI ALLA RICERCA

Hanno collaborato alla ricerca nel corso del triennio 1996 - 1998:

- Civita Massimo
- Vigna Bartolomeo
- Olivero Gianfranco
- De Maio Marina
- Manzone Livia
- Cavalli Carlo
- De Regibus Claudio
- Ballesio Franco
- Borgogno Walter
- Marabotto Massimiliano
- Persicani Danilo
- Miè Roberta
- Scarato Paola
- Papa Gabriele
- Castellana Giovanni

- Tabasso Sabina
- Algarotti Paolo
- David Jean Pierre
- Machiorlatti Margherita
- Pizzo Salvatore
- Fiorucci Adriano.

#### 4. BIBLIOGRAFIA

Civita M., Dragone C., Uggeri A., Vigna B. (1996) - Il processo di formazione e differenziazione del chimismo delle acque di un acquifero carbonatico prealpino - Boll. GEAM - Torino (Pubbl. GNDCI n. 1340)

Civita M. (1996) - La cartografia della vulnerabilità degli acquiferi nei progetti del GNDCI-CNR - Atti giornata di Studio, 16/1/1996 - Milano - Quaderni IRSA n. 101 (Pubbl. GNDCI n. 1344)

Civita M. (1996) - Previsione e prevenzione dell'inquinamento delle acque sotterranee - Atti Conv SEP-POLLUTION "Acque e Protezione Civile: come prevenire i disastri, come proteggere dagli inquinamenti", Padova 21/4/1996 (Pubbl. GNDCI n. 1358)

Civita M., Persicani D. (1996) - Approccio teorico alla definizione e stima della capacità di attenuazione del suolo nei modelli parametrici di valutazione della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento - GEAM Dicembre 1996 (Pubbl. GNDCI n. 1541)

Civita M. (1997) - Ricerca finalizzata e Protezione Civile: la filosofia del "livello di base" - DPC informa (in preparazione) (Pubbl. GNDCI n. 1621)

Uggeri A., Vigna B. (1997) - Use of Optical Brighteners in Applied Hydrogeology - Atti del Convegno "7th International Symposium on water tracing" (Pubbl. GNDCI n. 1632)

Civita M., De Maio M. - 1997 - SINTACS: un sistema parametrico per la valutazione e la cartografia della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento. Metodologie ed automatizzazione. - Quaderni di Tecniche di Protezione Ambientale - Pitagora Editrice Bologna. (Pubbl. GNDCI n. 1636).

Civita M., De Maio M. - 1997 - Assessing groundwater contamination risk using ARC/INFO via GRID function - International ESRI USER Conference S. Diego, California, USA 8/11 luglio 1997 - Testo fornito su CD-ROM. (Pubbl. GNDCI n. 1797).

## U.O. 4.2

# STUDIO DELLA EVOLUZIONE DELLA FALDA PER LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI DEGRADO DELLE ACQUE SOTTERRANEE NELL'AREA MILANESE

Prof. Angelo CAVALLIN<sup>2</sup>

L'attività è stata svolta nell'ambito del progetto di ricerca concernente: *"Studio della evoluzione della falda per la valutazione del rischio di degrado delle acque sotterranee nell'area milanese"*.

## 1. PROGRAMMA SCIENTIFICO

Il grande sfruttamento della risorsa idrica sotterranea avvenuto nei decenni scorsi, ad uso potabile ed industriale, ha contribuito ad una evoluzione negativa della qualità delle acque sotterranee nell'area milanese con conseguente degrado della risorsa idrica per uso potabile ed un forte depauperamento della sua disponibilità. Contemporaneamente si è assistito ad una utilizzazione della zona non satura a profondità sempre maggiori per lo sviluppo di sistemi di trasporto, parcheggi ed anche attività sociali e commerciali, senza la previsione progettuale di adeguate opere di protezione. Le recenti evoluzioni socioeconomiche dell'area hanno prodotto una inversione di tendenza del trend della falda che ha comportato effetti positivi sulla ricostituzione della risorsa, ma effetti negativi sulle infrastrutture ormai presenti, anche legate a servizi primari, quali la metropolitana o gli ospedali.

In tale contesto lo studio del sistema idrogeologico in un'area significativa, comune di Milano e provincia, ha permesso di valutare l'oscillazione della falda, come distribuzione e entità, in rapporto alla variazione dei fattori di bilancio. Tale studio è stato sviluppato con l'applicazione di un modello di flusso distribuito, la cui applicazione necessita della definizione delle caratteristiche tessiturali, idrogeologiche, geometriche ed i fattori di bilancio del sistema.

## 2. OBIETTIVI

L'unità di ricerca ha messo a punto metodologie e tecnologie, mediante l'uso dei Sistemi Informativi Territoriali, per la applicazione di modelli distribuiti per la valutazione del bilancio di massa delle acque sotterranee. Sono inoltre utilizzati programmi originali per la elaborazione di dati georeferenziati, precedentemente archiviati in data base di pozzi (TANGRAM), al fine di ricostruire le geometrie dei corpi idrici e di valutare, con metodi statistici, la parametrizzazione dei sistemi idrogeologici, input per il modello

---

<sup>2</sup> Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e del Territorio, via Emanuelli 15, 20126 Milano

### 3. ATTIVITA' DEL TRIENNIO

Sono stati raccolti ed elaborati tutti i dati relativi alla caratterizzazione del sistema idrogeologico nonché quelli degli elementi (variazione del numero di abitanti, dismissione delle aree industriali, diminuzione del numero di aziende attive) e dei fattori (strutture del sistema, aree di infiltrazione, precipitazioni, irrigazioni, prelievi pubblici e privati) che influenzano direttamente il bilancio di massa. E' stato valutato il grado di correlazione fra gli elementi ed i fattori considerati e la loro influenza con l'evoluzione della falda. La fase di raccolta dati relativa ai pozzi per acqua ha portato al censimento ed archiviazione di 1102 pozzi di cui 691 pubblici e 411 privati, per un totale di 745 stratigrafie, per quanto riguarda il solo comune di Milano. Nell'ambito provinciale, in precedenti ricerche della unità operativa, erano stati archiviati e codificati circa 1300 pozzi pubblici e 3000 privati, sull'intera area provinciale. I pozzi codificati e georeferenziati, sia del comune che della provincia, ed i relativi dati sono stati archiviati in un'apposita banca dati idrogeologica per pozzi (TANGRAM) messa a punto presso il Centro di Studio per la Geodinamica Alpina e Quaternaria del CNR. Dalla banca dati le informazioni relative a ciascun modulo possono essere estratte in file ASCII ed esportate in qualsiasi altro software presente all'interno di un SIT. L'estrazione dei dati può essere effettuata con criteri diversi in funzione delle applicazioni.

In base ai dati dei pozzi sono state effettuate alcune valutazioni sulle caratteristiche tessiturali dei corpi costituenti il sottosuolo dell'area milanese. Queste variazioni sono valutate nelle porzioni di sottosuolo comprese tra le superfici che le delimitano (per es., per la zona non satura, tra la superficie topografica e la superficie freatica o, per la zona non satura, tra la superficie freatica e la base dell'acquifero). In base ai dati idraulici disponibili è stata valutata la distribuzione della permeabilità, in relazione con le caratteristiche tessiturali dei depositi. Tali elaborazioni sono effettuate mediante opportuni programmi di elaborazione che sono stati messi a punto presso l'unità operativa.

Sono state effettuate elaborazioni statistiche e modellistiche. Le prime volte alla realizzazione di alcune analisi relative all'evoluzione della falda, nel territorio comunale di Milano, in rapporto alle variazioni dei fattori di natura antropica e socio-economica; in particolare l'oscillazione della falda è stata analizzata, come distribuzione ed entità, in rapporto alla variazione dei fattori di bilancio connessi all'evoluzione socioeconomica del territorio, a partire dal 1900 ad oggi.

Le seconde rivolte all'applicazione di un modello numerico distribuito di flusso delle acque sotterranee, tridimensionale a differenze finite,. Sono state utilizzate due diverse scale, provinciale e comunale, per la valutazione del bilancio di massa e la simulazione dell'andamento della superficie piezometrica. La raccolta dati e le elaborazioni effettuate hanno permesso di definire la parametrizzazione idrogeologica e le geometrie dell'acquifero in modo molto dettagliato, con densità diversa di informazioni tra le due differenti scale, provinciale e comunale. La prima, su un'area di 1989 km<sup>2</sup>, interessa il territorio di 189 comuni compreso quello di Milano, la seconda è riferita alla città di Milano e ad una porzione dell'hinterland, per un totale di 323 km<sup>2</sup>.

Nel primo caso, per l'inserimento dei dati nel modello, sono state messe a punto diverse tecniche informatiche che permettono di interfacciare tra loro i numerosi sistemi utilizzati. I dati reali sono stati georeferenziati ed interpolati per tutta l'area previa discretizzazione con una griglia a maglie quadrate di 500 m di lato, costituita da 136 colonne e 104 righe pari a 14144 celle, per poterli importare direttamente nel modello. In base alle elaborazioni effettuate ed alla conseguente calibratura del modello, sono state simulate le piezometrie nell'arco di tempo di un anno il 1990, con passi di tempo

mensili. Le piezometrie così ottenute sono risultate essere analoghe con quelle reali, sia per le oscillazioni mensili che per la loro distribuzione areale. Il modello ha simulato le direzioni di flusso, il gradiente piezometrico e le quote della falda con una variazione complessiva, dopo un intero anno, riferita alle differenze tra piezometrie reali e quelle simulate del mese di dicembre sull'ordine di 2 m al massimo per l'80% dell'area.

A scala comunale, la discretizzazione spaziale è stata di 190 colonne e 170 righe, con celle di 100 m di lato. Alla scala comunale, i parametri idrogeologici quali permeabilità e porosità sono stati ricalcolati in funzione dei nuovi dati acquisiti con densità maggiore. Allo stesso modo, in base alle 745 stratigrafie archiviate e codificate nel database, sono state rielaborate: la distribuzione delle tessiture all'interno della zona satura e le geometrie dell'acquifero, intese come base e tetto dell'acquifero freatico, captato dalla maggior parte dei pozzi presenti nel territorio comunale. Le simulazioni di taratura del modello sono state riferite al 1990, per analogia con il modello a scala provinciale, in regime stazionario. Numerose simulazioni sono state prodotte per tarare le voci del bilancio in entrata. Stimare la ricarica risulta, infatti, difficile, non avendo misure dirette sul campo ed essendo le aree quasi totalmente urbanizzate.

I risultati dell'attività di ricerca del triennio hanno permesso di mettere a punto metodologie e tecnologie, mediante l'uso dei Sistemi Informativi Territoriali, per la gestione delle acque sotterranee, con l'utilizzo integrato di banche dati, modelli e di numerosi software per la valutazione del bilancio di massa delle acque sotterranee; inoltre consente di aggiornare, integrare, omogeneizzare i dati in qualunque momento e, conseguentemente, le relative elaborazioni. Completata la fase di taratura il modello può essere applicato, simulando eventuali effetti legati a situazioni meteorologiche estreme, sia positive che negative, e diversi scenari d'uso del territorio e delle attività umane. Nell'ambito dell'attività, la produzione di cartografia tematica idrogeologica consente di offrire ai gestori del territorio una visione sistemica del territorio fornendo elementi operativi di valutazione. L'unità operativa ha partecipato a numerosi congressi nazionali ed internazionali, con la presentazione della propria attività. Alcune tappe del lavoro sono state pubblicate su riviste italiane e straniere e sono tuttora in fase di divulgazione.

## 4. COLLABORATORI ALLA RICERCA

Hanno collaborato alla ricerca nel corso del triennio 1996 - 98:

- Angelo Cavallin
- Pompeo Casati
- Bruno Floris
- Mattia De Amicis
- Tullia Bonomi
- Federica Facchino
- Salvatore Mazzarella
- Giuseppe Rotondaro

## 5. BIBLIOGRAFIA

Giuliano G. (ED) (1996): Vulnerabilità naturale e rischio di inquinamento delle acque sotterranee nella pianura padana. Esempi di cartografia sperimentale a scala regionale. IRSA, Rapporti tecnici 145, 14 Tavv., Roma.

## U.0.4.3

# CRISI IDRICA E PROTEZIONE DALL'INQUINAMENTO DELLE ACQUE SOTTERRANEE IN LOMBARDIA

Prof. Vincenzo FRANCANI<sup>3</sup>

## 1. Obiettivi della ricerca

Sono stati perseguiti i seguenti obiettivi:

a) nel campo della prevenzione degli inquinamenti:

- miglioramento della gestione delle acque sotterranee in termini qualitativi e quantitativi
- archivi informatizzati per la prevenzione del rischio di inquinamento

b) nel campo del contenimento degli inquinanti:

- studi per il contenimento degli inquinamenti diffusi
- determinazione delle aree di provenienza degli inquinamenti
- perseguimento di nuove tecniche per il risanamento dei suoli e delle acque
- supporti idrogeologici per le scelte in materia di provvedimenti e progetti di disinquinamento.

-

c) nel campo dell'analisi del rischi nelle aree industriali:

- normative per il *risk assessment*

## 2. Situazione esistente e risultati attesi

Nonostante la diffusa conoscenza sull'argomento e le numerose discipline universitarie attivate per lo studio e la prevenzione degli inquinamenti, sono ancora oggi inferiori alle necessità i risultati raggiunti in materia, in quanto le attività di ricerca richiedono investimenti strumentali e di supporto estremamente onerosi.

Gli studi finora compiuti comprendono comunque testi di sintesi, indagini statistiche e metodologie applicative di notevole interesse. Nonostante che l'attività svolta dalla linea 4 del GNDICI abbia in questi anni sopperito alla carenza di informazioni e dati sul territorio nazionale, dove le Autorità sanitarie non hanno la possibilità divenire a conoscenza in modo esauriente dello stato di degrado qualitativo delle acque, rimangono notevoli lacune da colmare sia nei dati disponibili, sia nelle metodiche da porre a disposizione delle Autorità sanitarie per garantirne l'efficace intervento.

La ricerca svolta tendeva a colmare almeno in parte queste lacune portando un contributo relativo ai settori colpiti dalle contaminazioni più gravi dell'Italia settentrionale nel campo della prevenzione degli inquinamenti, in quello del loro controllo e

---

<sup>3</sup> Sezione di Geologia Applicata del Dipartimento di Sistemi di Trasporto e Movimentazione del Politecnico, P.za L. da Vinci 32, 20133 Milano

contenimento, fornendo alle Autorità sanitarie i mezzi per intervenire nella progettazione del disinquinamento, e nel campo della identificazione e risanamento delle aree di provenienza dei contaminanti industriali.

Nel campo della *prevenzione degli inquinamenti* sono stati raggiunti gli scopi di indicare alle Autorità regionali le modalità per gli interventi più urgenti nelle aree sottoposte a maggiore degrado, dapprima con l'identificazione su tutta la pianura lombarda, dei Comuni nei quali esistono i maggiori problemi d'inquinamento, e successivamente con la predisposizione di un archivio informatizzato dei dati sulla qualità delle acque. Lo studio è stato portato a termine attraverso un censimento dei dati analitici forniti dalle USSL della regione, e una disamina a livello generale del grado di contaminazione delle acque sotterranee per ogni comune. Ciò ha consentito una prima classificazione del livello di inquinamento, in quanto ha permesso di distinguere le situazioni irreversibilmente compromesse a meno di interventi di bonifica e recupero delle falde, da quelle che lasciano ancora spazio alla ricerca e allo sfruttamento delle acque sotterranee. I dati raccolti sono stati georeferenziati e raccolti in un archivio informatizzato disponibile presso la Regione.

Sono state inoltre affrontate le situazioni nelle quali la carenza idrica o il sovrasfruttamento delle riserve rappresenta, nel contesto urbano e industriale e nelle condizioni di elevata vulnerabilità degli acquiferi, la causa determinante del qualitativo. Sono stati pertanto affrontate e risolti i problemi del riequilibrio del bilancio idrico, scegliendo come area-campione la pianura varesina fra Ticino e Olona e utilizzando ai fini di identificare i più idonei interventi una modellazione matematica di trasporto e di flusso.

Nel settore *del contenimento degli inquinanti* sono stati svolti studi per studi per il contenimento degli inquinamenti diffusi, in modo particolare dei nitrati, per la determinazione delle aree di provenienza degli inquinamenti, e infine per la messa a punto di nuove tecniche per il risanamento dei suoli e delle acque. Sono stati infine predisposti e descritti i supporti idrogeologici per le scelte in materia di provvedimenti e progetti di disinquinamento che le ASL possono utilizzare per la valutazione dei progetti che sono in grado di influenzare la qualità delle acque e la disponibilità idrica. Per quanto riguarda l'inquinamento da nitrati sono state proposte come strumento operativo le carte del carico inquinante, che sulla base della conoscenza dei parametri idrogeologici e delle concentrazioni degli inquinanti nei diversi acquiferi colpiti, permettono di identificare le fonti di provenienza delle contaminazioni, che si sono rivelate per la maggior parte corrispondenti alle fognature perdenti, i corsi d'acqua nei quali avvengono gli scarichi urbani e più raramente gli spandimenti agricoli. Sono state per queste finalità messe a punto tecniche dirette alla identificazione delle aree di provenienza dei contaminanti, anche tramite la valutazione con metodi semplici e poco costosi dei parametri idrogeologici e idrodispersivi che governano il trasporto delle sostanze alle quali è dovuto il degrado della qualità delle acque. Queste tecniche sono state sperimentate con successo, e permettono già alcune conclusioni relative soprattutto alle modalità di avanzamento del fronte delle contaminazioni che oggi tende a spostarsi con velocità rilevante da monte a valle in tutta la pianura lombarda investendo le maggiori aree urbane con rilevanti aggravii dei costi di gestione degli acquedotti. Si è potuto ad esempio evidenziare come la velocità media di spostamento delle contaminazioni sia di circa 500 m/anno nella pianura lombarda; il danno annualmente prodotto corrisponde a circa 10 miliardi, corrispondente al costo dei pozzi per acque che devono essere disattivati e sostituiti e a quello della depurazione delle acque estratte.

Nel campo della sperimentazione di nuove tecniche di disinquinamento è in atto uno studio diretto a valutare l'applicabilità di interventi che prevedono la combinazione di

iniezione d'acqua e biodegradazione a inquinamenti da idrocarburi in acquiferi di bassa permeabilità, che presentano particolari difficoltà di trattamento in condizioni ordinarie. Nella soluzione dei problemi affrontati ha trovato particolare impiego l'abbinamento di GIS e modellazione matematica, che ha consentito di predisporre uno strumento di impiego relativamente agevole anche da parte delle ASL, utile a verificare la fattibilità dei progetti di decontaminazione e la loro efficacia. Questo strumento è stato studiato in modo che possa essere direttamente impiegato dalle ASL, eventualmente con il supporto dei dipartimenti universitari interessati. Gli studi sulle aree industriali sono stati concentrati nella ricerca di metodologie dirette alla identificazione dei nuclei inquinanti e nel miglioramento delle tecniche di risk assessment al fine di stabilire le scale di priorità negli interventi e di delimitare le aree da recuperare con strumenti affidabili e criteri più oggettivi di quelli proposti dai codici abitualmente utilizzati dagli operatori di questo settore.

### 3. BIBLIOGRAFIA

- V. Francani - *L'archivio informatizzato dei dati idrogeologici della pianura lombarda*. atti del convegno IAGM di Ischia, ottobre 1998.
- V. Francani, G. Bardazza - *Sstudi geologici per la prevenzione del pericolo di inquinamento nelle aree industriali dismesse*. Atti del convegno IAGM di Ischia, ottobre 1998.
- L.Guadagnini - *Applicability of multivariate statistical data analysis techniques to investigate ground water pollutant sources*. Atti del convegno IAGM di Ischia, ottobre 1998.
- S. Morandi (1998) – *Teoria della percolazione e calcolo della conducibilita' idraulica in ammassi rocciosi fratturati*. Quaderni di geologia applicata, vol.1, Pitagora Ed., Bologna.
- V. FRANCANI (1998) - *STUDI IDROGEOLOGICI PER LA DELIMITAZIONE DELLE AREE DI PROVENIENZA DI INQUINAMENTI NELLE ZONE INDUSTRIALI DISMESSE*.
- V.Francani (1999) – *Risultati sperimentali della cartografia del rischio derivante da inquinamenti esistenti*. Le acque sotterranee, Milano ( in corso di stampa).

### 4. COLLABORATORI ALLA RICERCA

Hanno collaborato alla ricerca nel corso del 1996 - 98:

Vincenzo Francani  
Scesi Laura  
Monica Maria Chiara Avanzini  
Mirella Nardo  
Giovanni Pietro Beretta  
Monica Papini  
Maria Letizia Fumagalli  
Laura Guadagnini  
Marco Masetti  
Claudia Sorlini  
Domenico De Luca  
Fabio Colombo  
Anna Lucia Grignetti  
Daniele Daffonchio  
Guido Rosti

Luca Raffaelli  
Emilio Annibale Denti  
Luigi Saibene  
Paolo Sala

## U.O. 4.4

# TELERILEVAMENTO E RISORSE IDRICHE IN AREE DI MEDIA PIANURA ALLUVIONALE. INDIVIDUAZIONE DEI "FUOCHI" DI INQUINAMENTO CON L'USO INTEGRATO DI TELERILEVAMENTO E G.I.S.

Dott. Bruno Marcolongo<sup>4</sup>

## 1. OBIETTIVO DELLA RICERCA

L'attività di ricerca della Unità Operativa 4.4 è stata improntata durante il triennio 1996-'98 dalla continuità e conclusione dello studio integrato su condizioni idrodinamiche, processi di dispersione degli inquinanti e vulnerabilità nella pianura alluvionale a Sud di Verona, svolto in collaborazione con il Dip. di Geologia, Paleontologia e Fisica Terrestre /Università di Padova, come pure dall'apertura e dall'approfondimento di una nuova tematica metodologica tesa a produrre carte di vulnerabilità, di carico e rischio da inquinamento in ambito GIS (integrazione di dati telerilevati e rilievi diretti), proposta di concerto con il Dip. di Scienze della Terra/Università di Pisa.

In particolare, per quanto attiene l'area veronese, dopo una prima fase (1996 e prima metà del'97) che ha visto un notevole impegno dedicato alla stesura di carte tematiche alla scala 1 :50.000 ("*carta della soggiacenza della falda*", ricavata in modo automatico dall'incrocio di elementi topografico-altimetrici e piezometrici ; "*carta dell'uso del suolo*", ottenuta mediante procedura di classificazione controllata di immagini telerilevate ; "*carta del rischio industriale*", generata dall'intersezione della vulnerabilità con i dati raccolti dall'ISTAT nell'ambito delle attività di censimento) e alla ricostruzione di dettaglio delle forme paleofluviali in connessione con l'attività estrattiva di materiali sciolti da costruzione ("*carta della paleoidrografia e delle cave*" alla scala 1 :25.000), durante la seconda parte (1997/'98) si è soprattutto adottato un approccio di maggior dettaglio nelle ricerche idrogeologiche e geofisiche di campagna. Il passaggio ad una scala locale si è reso necessario per evitare un'eccessiva dispersione dei dati su un'area troppo vasta e per di più molto sensibile a qualsiasi tipo di impatto antropico (basti pensare alla sempre maggiore diffusione degli impianti di bonifica agraria destinati alle colture di elevata specializzazione). Queste elaborazioni e osservazioni sono infine confluite in fase conclusiva (1998) nella definizione di un modello di diffusione dell'inquinamento, in grado di giustificare le anomalie del tenore degli inquinanti (soprattutto solventi organo-clorurati) lungo specifiche fasce poste a cavallo della linea delle risorgive. Su invito dell'Accademia Nazionale dei Lincei, i relativi risultati sono stati esposti in ottobre '98 al convegno di Roma "Il Rischio Idrogeologico e la Difesa del Suolo" (Antonelli R., Marcolongo B., Pilli A., Zaja A., Zambrano R. – *Diffusione dell'inquinamento e rischio di contaminazione della falda nella pianura alluvionale a sud di Verona.*).

Per quanto attiene al filone di ricerca sulla produzione di carte di vulnerabilità, di carico e rischio da inquinamento, ottenibili dall'incrocio di dati telerilevati con vari rilievi

---

<sup>4</sup>C.N.R. I.R.P.I., C.so Stati Uniti, 4, 35020 Padova

idrogeologici e idrochimici di campagna, durante il biennio 1996-'97 nella piana della Val di Cornia e nel bacino del lago di Massaciucoli si è effettuata, in collaborazione con il Dipartimento di Scienze della Terra/Università di Pisa, una raccolta di elementi puntuali di carattere idrogeologico e geochimico volti a costituire una banca dati, indispensabile per focalizzare le problematiche ambientali derivanti da un tenore rilevante di "boro" in acque superficiali e sotterranee del Cornia e da una eccessiva presenza di nutrienti e carico solido, proveniente dalle aree di bonifica limitrofe, nelle acque lacustri (eutrofizzazione del lago). In questo caso l'analisi di immagini telerilevate di dettaglio ha permesso di espandere e correlare i dati discreti raccolti sul terreno e ad orientare le campagne di rilievo stesse.

Durante il 1998 è proseguita quindi la raccolta, l'elaborazione e la classificazione di dati sulle condizioni idrodinamiche e chimiche delle principali falde, sfruttate a vari livelli con pozzi profondi nella piana del Fiume Cornia. L'intersezione di tali informazioni con gli elementi dedotti dall'interpretazione di varie immagini telerilevate ha quindi permesso di realizzare una serie di carte tematiche sulle condizioni dell'uso del suolo e in particolare sulla vulnerabilità delle risorse idriche della zona.

I risultati dello studio sono stati pubblicati sulla rivista "Quaderni di Geologia Applicata" (Marcolongo B., Spandre R., Caratto L. – *Vulnerabilità della pianura del fiume Cornia. Integrazione di dati telerilevati e rilievi diretti*. "Quaderni di Geologia Applicata", 5/1, 1998). La ricerca, condotta con metodi tradizionali di rilievo in campagna (censimento pozzi, misure piezometriche, prelievo di campioni, rilevamento geologico, ecc..) inseriti in un contesto di uso avanzato del telerilevamento (immagini multispettrali e multitemporali Landsat), ha messo in luce la situazione delicata e l'equilibrio instabile del sistema idrogeologico in generale e delle risorse idropotabili in particolare. I risultati finora conseguiti permettono un'analisi più dettagliata del territorio e una individuazione ponderata dei "nodi" più significativi di gravitazione del sistema geo-idrologico.

Infine nel corso degli ultimi mesi del 1998, al fine di valutare in pieno le possibilità di definizione della vulnerabilità di un acquifero sedimentario multistrato come quello del F. Cornia, si è iniziato a lavorare attorno ad un modello di stima che propone l'integrazione del metodo SINTACS con un nuovo metodo. Quest'ultimo, denominato PRIS, tiene in conto anche la presenza di più orizzonti acquiferi e la possibilità di una loro contaminazione lungo il rivestimento dei pozzi medesimi. Nuovi parametri di PRIS risultano essere il numero dei pozzi (P), il numero di orizzonti captati (R), il gradiente idraulico (I) e lo spessore di copertura argillosa (S). Le variazioni dei parametri, o meglio dei dati di base, saranno valutate per la stessa griglia adottata nell'applicazione del metodo SINTACS (maglie di 125m × 125m).

## 2. COLLABORATORI ALLA RICERCA

Hanno collaborato alla ricerca nel corso del triennio 1996 - 98:

- Marcolongo Bruno
- Antonelli Renzo
- Dal Prà Antonio
- Zambrano Rodolfo
- Vangelista Fabio
- Spandre Roberto

## 3. BIBLIOGRAFIA

Antonelli R., Campagnoni A., Marcolongo B., Surian N., Zambrano R., Una ricerca integrata tra l'alta pianura veronese e l'anfiteatro morenico del Garda per il riconoscimento di risorse idriche alternative e della loro vulnerabilità, Quaderni di Geologia Applicata, 2, Pitagora Ed., Bologna (in stampa).

Altissimo L., Arca F., Dal Prà A., Ferronato A., Fumagalli F., Marangoni L., Mussato A., Zangheri P., Processi di inquinamento chimico-industriale delle acque sotterranee nella media e alta pianura veneta, Memorie dell'Istituto di Geologia, Università di Padova (in stampa).

## U.O. 4.6

# RISCHIO DI DEFICIENZA IDRICA, PREVISIONE E PREVENZIONE DALL'INQUINAMENTO DELLE ACQUE SOTTERRANEE (MODULO VAZAR).

## RIFLESSI NEGATIVI SULL'AMBIENTE DERIVANTI DALL'ESTRAZIONE DI IDROCARBURI GASSOSI DALL'ALTO ADRIATICO

Dott. Giuseppe Mozzi<sup>5</sup>

### 1. PREMESSA

La Pianura Veneta racchiude, come noto, un sistema idrico sotterraneo che, per vastità e produttività, si configura come il più importante d'Europa.

Da alcuni anni è, peraltro, attivo un veloce decadimento della qualità delle acque. Preoccupa anche l'aspetto quantitativo: oltre ai danni economici ed ambientali che interessano l'Alta Pianura, la depressurizzazione degli acquiferi artesiani può, infatti, innescare nuovamente la subsidenza lungo i litorali.

### 2. LE INDAGINI CONDOTTE

#### 1 - Indagini a carattere idrogeologico

L' U.O. 4.6, che da anni è interessata alla salvaguardia delle acque del sottosuolo, nel passato triennio ha studiato, anche in ristrette aree campione, il degrado qualitativo e quantitativo che interessa il sistema idrico sotterraneo dell'Alta Pianura Veneta al fine di individuare gli interventi da attuare per prevedere e prevenire ogni possibile scompenso.

Sono stati, in particolare, curati i seguenti aspetti:

- messa a punto di metodologie di misura a carattere idrogeologico: in un campo sperimentale appositamente attrezzato sono state definite le capacità risolutive delle principali metodologie in uso per determinare, in modo speditivo, la dinamica delle acque sotterranee in conseguenza del tipo di inquinante utilizzato, della sua concentrazione, della tipologia dei terreni attraversati e delle variazioni di regime della falda.

- indagini quali-quantitative delle acque sotterranee del Bacino di Pianura del Brenta: a seguito di un episodio di contaminazione dell'acqua di falda da parte di composti organo-alogenati, su invito dell'ULSS n. 3 è stata condotta una campagna di campionamento nel bassanese che ha permesso di individuare la sorgente dell'inquinamento e di evidenziare un altro episodio non ancora noto; successivamente, con la collaborazione della Regione del Veneto, della Provincia di Vicenza e delle ULSS n.

---

<sup>5</sup> C.N.R. Istituto per lo Studio della Dinamica delle Grandi Masse, CàPapadopoli, S.Polo 1364, 30125 Venezia

3 di Bassano e n. 15 di Cittadella, è stato controllato l'aspetto qualitativo e quantitativo delle acque sotterranee dell'intero Bacino di pianura del Brenta,

- individuazione delle cause che determinano il decadimento qualitativo ed il depauperamento del sistema idrico sotterraneo del Veneto; è stata, in particolare, realizzata la raccolta dei dati meteorologici, idraulici e idrogeologici necessari per poter individuare, con certezza, le cause del depauperamento delle riserve idriche sotterranee, in atto da alcuni decenni;

- rimpinguamento artificiale degli acquiferi sotterranei: in collaborazione con il Consorzio Pedemontano Brenta è stato presentato al Programma "LIFE", un progetto esecutivo finalizzato al rimpinguamento del sistema idrico sotterraneo nell'Alta Pianura Veneta;

- modello idrogeologico del bacino sotterraneo del Piave: è stato ricostruito il modello strutturale, lito-stratigrafico e idrogeologico del Bacino di pianura del Piave, raccolte tutte le notizie tecniche esistenti e studiate le modalità di alimentazione delle riserve idriche sotterranee di tale bacino.

- controllo idrogeologico degli acquiferi dell'Altopiano dei Sette Comuni e del Massiccio del Grappa: sono state attivate le opportune indagini per definire la geometria e l'importanza degli acquiferi compresi nell'Altopiano dei Sette Comuni e nel Massiccio del Grappa quali riserve idriche per le emergenze e per le necessità delle future generazioni. Presso la sorgente Ollero (valle del Brenta), che in periodo di piena ha una portata valutata oltre 100 m<sup>3</sup>/sec, è stata istituita una stazione che rileva in continuo alcuni parametri chimico-fisici (conduttività, pH, temperatura, livello) ed attivato un controllo chimico a cadenza mensile. Per le sorgenti Cismon (valle del Cismon) e Schievenin (valle del Piave) è stato ottenuto l'accesso ai risultati dei controlli periodici chimici e batterici, ai dati in continuo della portata e di alcuni parametri chimico-fisici ed, infine, allestita, sulla sommità del Grappa, una stazione pluviometrica.

- intrusione salina negli acquiferi artesiani sottostanti i litorali veneziani: l'indagine ha evidenziato il richiamo salino sotto i litorali provocato dagli emungimenti praticati soprattutto nella Zona Industriale di Porto Marghera. Tale richiamo, oltre a spingere all'abbandono di alcuni importanti acquedotti (Pellestrina e S. Pietro in Volta), con l'aumento di salinità nelle acque interstiziali delle argille presenti ha contribuito ad aggravare la subsidenza. L'indagine ha pure messo in luce i tempi lunghissimi richiesti dal sistema idrogeologico lagunare per respingere nel loro dominio le citate acque saline.

## 2 - Rischio di subsidenza in aree di pianura

- Progetto "Alto Adriatico" redatto dall'AGIP S.p.A: con riferimento al "Progetto Alto Adriatico - Studio di Impatto Ambientale", l'*Unità Speciale Interlinea per il Rischio di Subsidenza in Aree di Pianura* ha analizzato le contro-deduzioni formulate dai Tecnici dell'AGIP sul parere espresso dalle Autorità locali. Tale analisi ha portato a riconfermare la grave carenza di informazioni basate su misure in campo, carenza che non permette la formulazione di una previsione seria ed attendibile.

- salvaguardia dei litorali veneziani: l'U.O. è stata impegnata a definire, tramite livellazioni di alta precisione, eventuali scompensi altimetrici del suolo verificatisi lungo i litorali veneziani a seguito degli emungimenti autorizzati dalla Legge 31-5-1995, n. 206. E' stata, inoltre, istituita una rete di monitoraggio, con registratori in continuo, delle variazioni piezometriche che intervengono nelle principali falde sotterranee.

## 3 - Attività di formazione

Aderendo alle richieste formulate da varie Università, sono stati affidati due incarichi professionali a giovani laureati in Scienze Geologiche ed attivato l'internato per quattro laureandi in Scienze Geologiche e in Scienze Ambientali che, partecipando alle ricerche dell'U.O., realizzano sulle tematiche in precedenza descritte le rispettive Tesi di Laurea.

#### 4 - Interventi per situazioni di emergenza

A seguito di esplicito invito delle Autorità locali (Prefetture e Amministrazioni Provinciali), l'U.O. è intervenuta in numerosi casi di gravi incidenti stradali con sversamento di sostanze tossico-nocive (1.2-Dicloropropano, gasolio, trielina, ecc.), in alcuni inquinamenti gravi delle acque di falda (composti organo-alogenati sversati a seguito dell'incendio di una industria chimica a Marostica; inquinamento da trielina che ha interessato l'acquedotto del Comune di Rossano Veneto; inquinamento da metilcloroformio, che ha messo fuori uso i pozzi dell'acquedotto del Comune di Pianezze); ha, inoltre, reperito nuove risorse idriche a carattere potabile per due Amministrazioni Comunali (Romano degli Ezzelini e Marostica) in grave difficoltà; ha, infine, individuato i luoghi più idonei per una discarica di R.S.U. al servizio di 21 Comuni dell'Alto Vicentino. A seguito della fuoriuscita di abbondante gas metano da una discarica di *materiale inerte ed assimilati*, l'U.O. ha, infine, definito con misure dirette la dinamica delle acque sotterranee da sottoporre a monitoraggio e partecipato alla programmazione degli interventi volti a limitare i danni conseguenti a tale fuoriuscita.

### 3. BIBLIOGRAFIA

- 1 - BEINAT A., DAZZI R., GATTO G., MARCHESINI C., MOZZI G., ZAMBON G.: "Definizione della quota della stazione GPS permanente istituita presso la sede del CNR di Venezia" - ISDGM, TN 167, Venezia, 1996
- 2 - DAZZI R., GATTO G., MOZZI G., ZAMBON G.: "Variazioni altimetriche misurate in corrispondenza del giacimento di idrocarburi denominato *Collalto*" - Periodo 1985-1995 - ISDGM, TN 173, Venezia, 1996
- 3 - BALESTRI L., GATTO G., MAGNONI G., MOZZI G., SANTANGELO R., ZAMBON G.: "Altimetria del territorio veneziano nell'ultimo secolo da livellazioni di precisione". Progetto Sistema Lagunare Veneziano - Linea di Ricerca 2.8 - Istit. Ven. Sc., Lett. ed Arti, Venezia, 1996
- 4 - MOZZI G.: "Sversamento accidentale di 1.2-dicloropropano in Comune di Cassola (Prov. di Vicenza) - Aspetti Idrogeologici" - CNR, ISDGM, TN, Venezia, 1996
- 5 - DAZZI R., GATTO G., MOZZI G., ZAMBON G.: "Possibilità di utilizzo delle acque sotterranee per l'approvvigionamento igienico-potabile del Comune di Romano d'Ezzelino (Prov. di Vicenza) - Relazione idrogeologica". CNR, ISDGM, TN, Venezia, 1996
- 6 - MOZZI G.: "Castello degli Ezzelini di Bassano del Grappa - Indagine preliminare sulle condizioni statiche delle vecchie mura e sul loro stato di conservazione" . CNR, ISDGM, TN, Venezia, 1996
- 7 - DAZZI R., GATTO G., MOZZI G., ZAMBON G.: "Possibilità di utilizzo delle acque sotterranee per l'approvvigionamento igienico-potabile del Comune di Marostica (Prov. di Vicenza) - Relazione idrogeologica". CNR, ISDGM, TN, Venezia, 1996
- 8 - GUARAGLIA D., DAZZI R., GATTO G., MAZZOLDI A., MOZZI G., ZAMBON G., MINGILLO R.: "Medición de la velocidad local del agua subterránea: algunos resultados"

- experimentales de laboratorio". 3<sup>o</sup> Congreso Latinoamericano de Hidrologia subterranea, S. Luis Potosì (México), 1996
- 9 - DAZZI R., GATTO G., GUARAGLIA D., MATTICCHIO B., MAZZOLDI A., MOZZI G., ZAMBON G.: "Dinamica de las aguas subterraneas en terrenos sueltos: principales metodologias de medicion Y su comparacion". 3<sup>o</sup> Congreso Latinoamericano de Hidrologia subterranea, S. Luis Potosì (México), 1996
- 10 - DAZZI R., GATTO G., MOZZI G., ZAMBON G.: "Venezia, una città fragile". Amministrazione Comunale di Venezia, Assessorato all'Ambiente. Monografia, Pubbl. n. del GNDCI, Venezia, 1997
- 11 - DAZZI R., GATTO G., MOZZI G., ZAMBON G.: "Indagine finalizzata ad individuare i luoghi più idonei, dal punto di vista geologico ed ambientale, per una discarica di R.S.U. da realizzarsi nell'ambito del territorio di competenza dell'Autorità di Bacino VI 5 (Vicenza)". CNR, I.S.D.G.M., Pubbl. GNDCI n. 1807, Venezia, 1997
- 12 - GNDCI - CNR, REGIONE DEL VENETO, PROVINCIA DI VICENZA.: "Difesa degli acquiferi dell'Alta Pianura Veneta - Bassa Valle dei fiumi Agno-Guà e Chiampo e relative pianure: reti di controllo dei parametri idrogeologici e chimici e informazioni lito-stratigrafiche". Amm. Prov. di Vicenza, 2 Vol., Vicenza, 1997 ( Pubbl. GNDCI n. 1806
- 13 - Dazzi R., Gatto G., Mozzi G., Zambon G. "Sversamento, a seguito di incidente stradale, di un'autocisterna di gasolio sulla Statale 47 della Valsugana". TN n. 187 - CNR, I.S.D.G.M., Venezia, 1998
- 14 - Dazzi R., Gatto G., Mozzi G., Zambon G.: "Progetto Alto Adriatico - Studio d Impatto Ambientale. Sulle Osservazioni Tecniche formulate dall'Agip S.p.A.". (inedito)
- 15 - Dazzi R., Gatto G., Mazzoldi A., Mozzi G., Zambon G., Fumagalli F., Guaraglia D.: "Prevenzione dall'inquinamento del sistema idrico sotterraneo del Veneto (Italia nord-orientale)". C.N.R. - G.N.D.C.I., Pubbl. n. 1851, Venezia, 1998
- 16 - Dazzi R., Gatto G., Mozzi G., Zambon G., Bortoli A., Dell'Andrea E., Martini G., Menegus L., Conchetto E., Genovese, M.: "Effetti negativi determinati dall'intrusione salina negli acquiferi artesiani sottostanti i litorali veneziani". G. N.D.C.I. Pubbl. n. 1898, Venezia, 1998

#### 4. COLLABORATORI ALLA RICERCA

Hanno collaborato alla ricerca nel corso del triennio 1996 - 98:

- Dazzi Renzo
- Mozzi Giuseppe
- Dametto Loris
- Gatto Gino
- Zambon Giuseppe
- Dal Missier Giancarlo
- Fumagalli Flaminio

## U.O. 4.7

# VALUTAZIONE DELLA POTENZIALITÀ', DELLA VULNERABILITÀ E DELLA POSSIBILITÀ DI SFRUTTAMENTO QUALI RISERVE ALTERNATIVE, DELLE RISORSE IDRICHE ESISTENTI IN UN'AREA A NORD DI PORDENONE.

Prof. Francesco Giorgetti<sup>6</sup>

## 1. Premessa

Nel triennio 1996-1997-1998 l'attività dell'Unità Operativa 4.7 si è focalizzata sulle seguenti tematiche:

- a) ricerche sulle caratteristiche idrogeologiche degli acquiferi della Pianura friulana in generale e dell'Alta pianura friulana in particolare;
- b) ricerche sulle caratteristiche idrogeologiche degli acquiferi carsici regionali in generale e del Carso classico, del M. Canin e del Pian del Consiglio in particolare;
- c) elaborazione di Carte della vulnerabilità intrinseca secondo il metodo SINTACS con particolare riguardo a Carso triestino ed isontino, Pianura friulana e Prealpi bresciane.

## 2. Attività di ricerca

### 2a. Caratteristiche idrogeologiche della Pianura friulana (progetto VAZAR).

Sulla base di rilevamenti ed indagini eseguite ad hoc, grazie alla collaborazione dei Presidi Multizonali di Gorizia, Pordenone, Udine e Trieste e dell'ACEGA di Trieste è stato possibile:

- a1) definire geometria, dinamica e caratteristiche dell'acquifero nella pianura in sinistra del fiume Natisone ed a sud dell'abitato di Cividale del Friuli.
- a2) definire le aree di alimentazione e le otto "provincie" idrogeologiche in cui si può suddividere il complesso sistema falda freatica-falde artesiane nel sottosuolo della Pianura friulana. Questo risultato è stato raggiunto razionalizzando con la collaborazione dei PMP i prelievi di campioni d'acqua in 125 pozzi campione e analizzando i relativi dati (parametri chimici delle acque di falda freatica e artesiane fino a 200 metri di profondità, analizzati ogni 6 mesi) raccolti in due anni (1995 e 1996). I dati, assieme a quelli stratigrafici, sono stati impostati in GIS (ARCVIEW-GIS) allo scopo di ottenere, in tempo reale, la valutazione e la dispersione dei vari elementi analizzati.
- a3) quantificare il generale progressivo abbassamento della falda freatica contenuta nell'Alta pianura prendendo in considerazione l'andamento della superficie piezometrica nel tempo in 52 pozzi sotto osservazione dal 1967. I valori di abbassamento giungono a 35-40 cm/anno in corrispondenza dell'Alta pianura centrale e quindi dal 1967 ad oggi si hanno abbassamenti anche di 10-12 metri.

---

<sup>6</sup> Istituto di Geologia e Paleontologia, P.za Europa 1, 34127 Trieste

## 2b. Caratteristiche idrogeologiche degli acquiferi carsici (progetto RISE).

Sulla base di rilevamenti e misure eseguite ad hoc, anche grazie alla stretta collaborazione con l'Institut Za Raziskovanje Krasa di Postojna (Slovenia) e l'Azienda Comunale Elettricità, Gas, Acqua di Trieste:

b1) si è continuato con assiduità il monitoraggio delle acque del F. Timavo ipogeo in corrispondenza dell'inghiottitoio (Skocianske Jame, in Slovenia), di metà percorso ipogeo (Abisso di Trebiciano, Italia) e delle sorgenti (Pozzo dei Colombi e Risorgive di San Giovanni di Duino, Italia). Ciò in stretta: il confronto fra i valori, misurati in continuo (un valore ogni 40 minuti), di conducibilità, temperatura e altezza-portata delle acque ha consentito di ipotizzare alcune "regole" di comportamento della falda ipogea molto utili per la quantificazione dei parametri necessari alla definizione della vulnerabilità di questo importante acquifero che costituisce una delle principali fonti di approvvigionamento della città di Trieste e del suo circondario (più di 400.000 abitanti).

La complessità dell'acquifero carsico triestino ha trovato conferma nei risultati di una prova di movimento delle paratie che preservano l'acquifero dalle intrusioni saline: pochi decimetri di variazione di livello alle sorgenti trovano quasi immediate ripercussioni non solamente in cavità poste ad alcune centinaia di metri ma anche nel Lago di Doberdò, situato alcuni chilometri a monte e teoricamente alimentato da acque dell'Isonzo e non dal Timavo. Le misure in continuo di temperatura, conducibilità e altezza della falda misurate nei diversi siti sono in corso di analisi.

b2) adattati alcuni degli strumenti utilizzati per il monitoraggio dell'acquifero carsico triestino, sono state messe sotto osservazione le tre sorgenti principali del F. Livenza (Gorgazzo, Molinetto, Santissima), risorgive di parte delle acque contenute nell'acquifero carsico del Piancavallo. Risulta che le sorgenti del Livenza sono alimentate da tre bacini semi-indipendenti in quanto hanno regime e chimismo differenti. Le portate medie complessive, misurate per la prima volta in continuo e nell'arco di tre anni risultano essere per la sorgente di Gorgazzo 2.13 m<sup>3</sup>/s, per la sorgente Santissima 6.35 m<sup>3</sup>/s, per la sorgente Molinetto 3.04 m<sup>3</sup>/s.

b3) sono state effettuate prove con traccianti nel massiccio del M.Canin (Friuli nordorientale) tenendo sotto controllo le principali sorgenti in Italia ed in Slovenia: i dati risultanti consentono di dare inizio allo studio di questo importante acquifero carsico regionale.

b4) iniziando da un'area campione come quella della Val Rosandra (Carso triestino, settore sudorientale), sono state studiate le caratteristiche geologiche ed idrologiche di alcune estese cavità allo scopo precipuo di comprendere i condizionamenti geologico-strutturali sull'evolversi della carsificazione ipogea.

## 2c. Vulnerabilità delle falde (progetto VAZAR).

Allo scopo di acquisire informazioni quantitative sui parametri necessari alla corretta elaborazione delle carte della vulnerabilità intrinseca secondo il metodo SINTACS e di individuare le aree sensibili all'inquinamento ed alla antropizzazione:

d1) si è riordinato e rielaborato il materiale raccolto durante due campagne di analisi chimiche di acque di gocciolio eseguite negli anni 1980-82 e 1989 nella Grotta Gigante (Carso triestino) al fine di "mappare" le caratteristiche chimico-fisiche delle acque di percolazione in funzione dell'attività antropica in superficie.

c2) sono state definite le aree soggette ad eventuali inquinamenti dovuti alla perdita di percolati della falda freatica dell'Alta Pianura friulana in corrispondenza delle 119 discariche presenti, determinando, per le fasi di massimo e di minimo impinguamento

della falda, le direzioni di scorrimento ed i relativi ventagli di migrazione delle circolazioni.

Inoltre:

c3) sono state predisposte la "Carta della vulnerabilità intrinseca secondo il Metodo SINTACS dell'acquifero carsico isontino" e la "Carta della vulnerabilità intrinseca secondo il Metodo SINTACS del Carso triestino". La prima utilizzando il software dedicato, la seconda utilizzando il software GIS IDRISI. Sarà ora possibile redarre la carta della vulnerabilità intrinseca di tutta la regione carsica triestino-monfalconese unendo i risultati di questi studi. Tutti i dati sono georeferenziati su base informatica 1:5.000.

c4) nell'ambito di una ricerca sulle acque profonde dei bacini dei fiumi Isonzo, Tagliamento e Livenza che l'unità triestina sta effettuando per l'Autorità di Bacino dei tre fiumi, si è redatta una "Carta della vulnerabilità intrinseca secondo il Metodo SINTACS dell'intera Pianura friulana" sulla base dei dati stratigrafici e idrogeologici editi finora. La carta è georeferenziata su base informatica 1:25.000 ed è, per il momento, relativa a unità areali di 1 km<sup>2</sup>. E' iniziata un'opera di raffittimento, con nuove ricerche in campagna, che porterà a definire la vulnerabilità di elementi areali di 250 metri di lato.

c5) si è avviata una collaborazione con l'U.O. 4.9 (Bologna, resp. il prof. P. Forti) per la redazione della carta della vulnerabilità intrinseca e dei punti di pressione antropica di un settore delle Prealpi bresciane da cui si alimentano alcune importanti sorgenti carsiche.

c6) è stata avviata una collaborazione, al momento a titolo gratuito, con la Direzione scientifica del Servizio regionale della Protezione Civile della Regione Aut. Friuli-Venezia Giulia allo scopo di predisporre il programma di lavoro per la realizzazione (prevista dalla legge istitutiva del Servizio già alcuni anni fa) di una "Carta della pericolosità idrogeologica" a grande scala della regione Friuli-Venezia Giulia. La collaborazione è stata estesa anche all'analisi idrogeologica delle problematiche innescate dalla presenza di atrazina e nitrati nelle acque sotterranee regionali.

c7) è stata avviata una ricerca in collaborazione con il Dipartimento di Produzione Vegetale e Tecnologie Agrarie di Udine sulle modalità di trasferimento alle falde dei composti fertilizzanti, con particolare riguardo all'Alta pianura udinese, ove non sempre si verifica un veloce ricambio ed una buona diluizione delle acque della falda freatica dalla quale alcuni abitati si alimentano.

### 3. Diffusione dei dati raccolti

I dati raccolti e i risultati degli studi sono stati in parte presentati a Congressi, in parte illustrati in articoli proposti a varie Riviste.

3a) pubblicazioni edite nel triennio dai collaboratori dell'U.O.4.7:

GIORGETTI F., PETRONIO L., PALMIERI F. (1996): *Ricostruzione della geometria dell'acquifero del Tagliamento ad Osoppo (Udine) con diverse metodologie di prospezione geofisica*. Quad. Geol. Appl., Pitagora editrice, Bologna. **Pubblicazione n° 1190 GNDICI-CNR, LR4.**

BENEDETTI G., CUCCHI F. (1996): *Cavità del Monte Pal Piccolo (Alpi Carniche - Italia)*. In Alpine Caves: alpine karst systems and their environmental context, 61-69.

CUCCHI F., PUGLIESE N. (1996): *Karst of Trieste*. In K.Drobne, S.Gorica, B.Kotnik eds. The role of impact processes in the geological and biological evolution of planet earth: 133-136.

CUCCHI F., FORTI F., MARINETTI E. (1996): *Surface degradation of carbonate rocks in the karst of Trieste (Classical karst, Italy)*. Karren landforms, Fornos & Gines (ed.), Universitat de les Iles Balears, 41-51.

- CUCCHI F., GIACOMICH R., COSLOVICH C., GIACOMICH P., VASCOTTO M. (1996): *Il Radon nei calcari e nelle cavità del carso triestino. Stato delle conoscenze*. Boll. Soc. Adriatica di Scienze, vol. LXXVII (1996), 31-47, **Pubblicazione n° 1595 GNDCI-CNR, LR4.**
- BRANDOLIN D., GORGETTI F. (1996): *Idrogeologia dell'estremo lembo orientale della Pianura friulana*. Boll. Soc. Adriatica di Scienze. Vol. LXXVII, 19-29, **Pubblicazione n° 1595 GNDCI-CNR, LR4.**
- STEFANINI S., GORGETTI F. (1996): *I potenziali inquinamenti delle acque freatiche dell'alta pianura friulana ad opera delle discariche*. Ed. R.A. F.-V.G., **Pubblicazione n° 1376 GNDCI-CNR, LR4.**
- CUCCHI F., GORGETTI F., MARINETTI E., KRANIC A. (1997): *Experiences in monitoring Timavo River*. In: *Tracer Hydrogeology*, a cura di A.Kranic 1997 Balkema, Rotterdam, ISBN 90 5410 875 4, 213-218. **Pubblicazione n° 1633 GNDCI-CNR, LR4.**
- ZANOLLA C., COREN F., CUCCHI F., GORGETTI F., LOVO M. (1997): *Elaborazione dei dati gravimetrici in corrispondenza della Grotta gigante (Carso classico, Trieste, Italia)*. Atti e Memorie Comm. Grotte "E.Boegan", Vol. XXXIII (1995), 17-24. **Pubblicazione n° 1779 GNDCI-CNR, LR4.**
- CUCCHI F., GIACOMICH R., COSLOVICH C., GIACOMICH P., VASCOTTO M. (1997): *Il Radon nei calcari e nelle cavità del carso triestino. Stato delle conoscenze*. Boll. Soc. Adriatica di Scienze, vol. LXXVII (1996), 31-47. **Pubblicazione n° 1781 GNDCI-CNR, LR4.**
- KLIMCHOUK A., CUCCHI F., CALAFORRA J.M., AKSEM S., FINOCCHIARO F., FORTI P. (1997): *Dissolution of gypsum from field observations*. Int. j. Speleol. 25 (3-4), 1996, 37-48.
- CUCCHI F., MIHEVC A., FERRARESE F., SAURO U. (1997): *Guide for the excursion Classical karst (Meeting IUS 1997)*. Suppl. Geogr. Fis. Dinam. Quat., III T.2, 167-180, 19 figg.
- CUCCHI F., GEMITI F., MANCA P., SEMERARO R. (1998): *Underground water tracing in the east part of the karst of Canin massif (Western Julian Alps)*. Ipogea, n.2 (1997), 141-150.
- VASCOTTO M., CUCCHI F., GIACOMICH R., GIACOMICH P. (1998): *Radioattività naturale sul Carso triestino*. Alpi Giulie, 92/1, 39-54.
- CUCCHI F., FINOCCHIARO F., FORTI P. (1998): *Gypsum degradation in Italy with respect to climatic, textural and erosional condition*. Suppl. Geogr. Fis. Dinam. Quat., suppl. III - t. 4, 41-49, 7 figg, 3 tabb.
- CUCCHI F. (1998): *Le pietre utilizzate per le sculture*. In: *Restauro delle sculture lapidee nel Parco di Villa Manin di Passariano* (a cura di: E. Accornero). R.A. F.V.G. - Campanotto ed.
- CUCCHI F., FORTI P., GORGETTI F., GIACONI M.: *Note idrogeologiche sulle sorgenti del fiume Livenza*. Atti Convegno "Giornata Mondiale dell'Acqua", Roma marzo 1998. Sito INTERNET [www.opereti.regione.lazio.it](http://www.opereti.regione.lazio.it) **Pubblicazione n° 1831 GNDCI-CNR, LR4.**
- CUCCHI F., GORGETTI F., GEMITI F., MASSARI G., OBERTI S.: *Caratterizzazione geochimica delle falde acquifere della Pianura friulana*. Atti Convegno "Giornata Mondiale dell'Acqua", Roma marzo 1998. Sito INTERNET [www.opereti.regione.lazio.it](http://www.opereti.regione.lazio.it) **Pubblicazione n° 1832 GNDCI-CNR, LR4.**
- COVELLI S., CUCCHI F., MOSCA R. (1998): *Monitoring of percolation water to discriminate surficial inputs in a karst aquifer*. Environmental geology 36, (3-4) december 1998, 296-304. **Pubblicazione n° 1666 GNDCI-CNR, LR4.**
- CREVATIN G., CUCCHI F., MARINETTI E., ZUPPIN C. (1998). *Strumentazione per il monitoraggio in continuo di acque carsiche*. Mondo Sottterraneo., n.s. anno xxi, n. 1-2, 1997), 13-23. **Pubblicazione n° 1878 GNDCI-CNR, LR4.**

3b) e le seguenti pubblicazioni in corso di stampa al 30 dicembre 1998:

CUCCHI F., MASSARI G., OBERTI S.: *Fluttuazioni della falda freatica nell'Alta Pianura friulana*. Gortania, Udine. **Pubblicazione n° 1895 del GNDCI-CNR, LR4.**

CUCCHI F., MARINETTI E., POTLECA M., ZINI L.: *Influence of geostructural conditions on the speleogenesis of Trieste Classical Karst (Italy)*. Geodinamica Acta.

CUCCHI F., POTLECA M., ZINI L.: *Origin and development of cave system in the Rosandra Valley (Classical Karst, Italy)*. Acta Carsologica, vol. XXVII/2 (1988), Ljubljana.

CASAGRANDE G., CUCCHI F., MANCA P., ZINI L.: *Sintesi sulle conoscenze del carsismo profondo del M.Canin (Alpi Giulie Occidentali)*. Atti “6° Int. Karstological School - Classical Karst”, Planina, June 1998.

#### 4. COLLABORATORI ALLA RICERCA

Hanno collaborato alla ricerca nel corso del 1998:

Giorgetti Francesco  
Cucchi Franco  
Bensi Sara  
Berlasso Guglielmo  
Cargnel Angelo  
Gemiti Fabio  
Gubertini Pierpaolo  
Kranic Andrej  
Massari Giancarlo  
Marinetti Enrico  
Mattioni Renzo  
Oberti Sara  
Potleca Michele  
Zini Luca  
Massimiliano Righi  
Sergio Stefanini  
Furio Ulcigrai  
Claudio Zuppin

## U.O. 4.8

# VULNERABILITÀ DEGLI ACQUIFERI NELLA PIANURA EMILIANO-ROMAGNOLA

Dott. Adriano Zavatti<sup>7</sup>

## 1. Premessa

Con il 1996 è entrata in attività l’Agenzia Regione Prevenzione e Ambiente dell’Emilia-Romagna, nella quale è confluito il PMP di Modena, il cui direttore, responsabile dell’U.O. 4.8 del GNDCI-CNR, ne è divenuto direttore tecnico.

Da questa trasformazione istituzionale l’U.O. ha potuto trarre l’opportunità di un miglior coinvolgimento con la regione e, pur con una prima riduzione delle attività promozionali ed operative, dovute alla riorganizzazione in atto, ha potuto sviluppare sinergie di maggior respiro.

La responsabilità dell’U.O. è stata mantenuta presso la Direzione Tecnica dell’Agenzia, che nel frattempo si è andata strutturando in 9 sezioni provinciali, nelle quali, come per il PMP di Modena, sono confluiti i preesistenti PPMMP e parte dei Servizi di Igiene Pubblica delle USL. In ARPA sono altresì confluite strutture regionali (motonave Daphne, Servizio Meteorologico, Struttura di Ingegneria Ambientale) divenute altrettante strutture tematiche.

L’Agenzia si è venuta configurando come “azienda a rete”, procedendo ad una differenziazione dei vari “nodi” provinciali: ciascuna sezione è infatti orientata ad una particolare “eccellenza” a presidio di ecosistemi ambientali (e.g.: ecosistemi naturali, bacini idrografici; agroecosistemi etc.) e “specializzazioni” prevalentemente laboratoristiche (e.g.: tossicologia industriale; acqua; mutagenesi ambientale; etc.).

Le attività dell’U.O. sono pertanto integrate in questo quadro, assai più ricco rispetto al recente passato. Si potranno infatti convogliare e coordinare molte attività di ricerca applicata in corso presso alcune sezioni provinciali, così come diffondere a livello provinciale e regionale i prodotti della ricerca finanziata dal Gruppo, come è sempre stato nello spirito dell’U.O.

ARPA inoltre ha attivato numerose collaborazioni con uffici e servizi della regione, attraverso le quali sarà possibile arricchire i prodotti della ricerca.

## 2. Attività e prodotti nel triennio

Carta di vulnerabilità all’inquinamento degli acquiferi dell’anfiteatro morenico del Garda. Provincia di Mantova (scala 1:50.000).

La carta e le relative note esplicative sono pubblicate (Pubbl. n. 1379 e 1381 GNDCI-CNR) nel vol. 12 degli “Studi sulla vulnerabilità degli acquiferi”. Pitagora Ed. Bologna.

La ricerca ha consentito di porre in evidenza la vulnerabilità degli acquiferi dell’Anfiteatro morenico del Garda, che, potenzialmente potrebbero presentare interessanti utilizzazioni, ma che la stessa conformazione geomorfologica espone al possibile

---

<sup>7</sup> Agenzia Regionale Protezione e Ambiente (ARPA), Via Po 5, 40139 Bologna

degrado. Il metodo di classificazione della vulnerabilità, inserendo tra i parametri la “capacità di attenuazione del suolo”, ha consentito di proporre un prodotto decisamente più evoluto e più affidabile, basato sui dati esistenti: relativamente abbondanti per i soli parametri scelti.

I prodotti della ricerca hanno trovato l'interesse dell'Amministrazione Provinciale di Mantova e del Comune di Monzambano, che hanno sponsorizzato l'iniziativa.

Carta di vulnerabilità all'inquinamento degli acquiferi da pesticidi (scala 1:100.000).

In collaborazione con l'Unità Operativa dell'Università Cattolica del S. Cuore (resp. Prof. Del Re) e l'Ufficio cartografico della Provincia di Modena, sono state realizzate 6 carte, relative a tutta la pianura modenese, nelle quali è sintetizzata la capacità di attenuazione dei suoli, in funzione di vari parametri chimico-fisici, pedologici e idrologici, nei confronti di altre 200 principi attivi di fitofarmaci. Attualmente è in corso la sovrapposizione di questi tematismi con la carta di vulnerabilità, già informatizzata (Arcinfo).

Parallelamente sono avanzati gli studi di implementazione di modelli gestionali per 8 aree di dettaglio (4 per la Provincia di Modena, 4 per quella di Piacenza) al fine della minimizzazione della diffusione dei principi attivi.

Carta di vulnerabilità all'inquinamento degli acquiferi della pianura modenese (scala 1:100.000) con suolo come fattore di attenuazione.

La carta a stampa è disponibile (Pubbl. n. 1373 GNDCI-CNR).

Questa carta è stata inserita dall'Amministrazione Provinciale di Modena tra i documenti base di riferimento per la redazione del Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale. L'U.O. ha contribuito alla redazione di norme tecniche di attuazione, che hanno posto il problema della protezione dell'acquifero al centro della pianificazione sia nell'area di pianura sia in quella montana, con l'utilizzo di altri prodotti della ricerca da parte dell'U.O. nel triennio precedente.

Valutazione delle risorse idriche, utilizza e protezione nell'appennino reggiano.

E' stato sviluppato il progetto per la definizione dei “Lineamenti idrogeologici dell'alto Bacino del torrente Secchiello (Appen. Settent. Prov. RE)” “La carta idrogeologica dell'alto Bacino del Torrente Secchiello” con le note relative (Pubbl. n. 1626 GNDCI-CNR), con la quale si sono potute individuare risorse idriche integrative e sostitutive di notevole interesse per l'area e, più in generale come metodologia da applicare all'appennino emiliano.

La carta, a stampa realizzata in modo informatico, è disponibile (Pubbl. n. 1322 GNDCI-CNR).

Le note di accompagnamento costituiscono il volume n. 13 degli “Studi sulla vulnerabilità degli acquiferi” – Pitagora Ed. Bologna.

Risorse idriche nell'Appennino modenese: a seguito dei positivi riscontri della ricerca sulle risorse idriche e sulla relativa vulnerabilità nell'Appennino reggiano in un bacino campione, analoghe ricerche sono state attivate nell'Appennino modenese. Le misure sulle portate del deflusso di fondo di alcuni corsi d'acqua e sulla qualità delle acque hanno coperto tutto il periodo dalla primavera all'autunno 1997 ed i dati sono stati pubblicati.

Presenza di Arsenico nella pianura padana.

I dati raccolti da tutti i Presidi Multizonali di Prevenzione dei capoluoghi di provincia padano-veneti sono stati riportati su una cartografia schematica, già disponibile.

Normazione d'uso del territorio a scala provinciale per la tutela quali-quantitativa degli acquiferi.

Sono stati individuati i criteri guida ora adottati negli elaborati del Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale di Modena, che, a questa scala, rappresenta il livello di pianificazione operativa di riferimento, così come indicato dagli indirizzi del Piano Territoriale Regionale, che indicano nel controllo della vulnerabilità il cardine della programmazione regionale, orientata all'applicazione del principio dello sviluppo sostenibile.

In questo senso le attività dell'U.O. sono perfettamente coerenti con il mandato istituzionale che la Regione ha affidato ad ARPA, così come descritto in una nota presentata al 2° convegno di Cartografia geologica regionale di Barcellona (Spagna) tenutosi nel giugno 1997.

Carta della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento della pianura romagnola a scala 1:100.000.

Prosegue e si avvia a conclusione l'informatizzazione dei dati utilizzando le banche-dati disponibili presso vari Enti. Si sono peraltro acquisite le nuove informazioni sulla struttura degli acquiferi, rese disponibili dall'Ufficio Cartografico della Regione Emilia-Romagna, che hanno consentito di meglio precisare le aree di alimentazione dei vari orizzonti sovrapposti, soprattutto nella delicata fascia collinare-pedecollinare.

Il primo elaborato in bozza sarà pronto entro fine estate 1999 e la carta disponibile entro l'anno 1999.

Carta del rischio di inquinamento degli acquiferi

E' in corso di predisposizione lo schema di valutazione di rischio della varie sorgenti inquinanti potenziali che potrà essere utilizzato nella metodologia messa a punto dall'U.O.4.1. Sarà quindi possibile provare la validità su aree già studiate in precedenza.

Nitrati negli acquiferi emiliani.

E' stato organizzato nel 1998 un workshop interno per l'approfondimento del problema, raccogliendo le più recenti acquisizioni prodotte da vari Enti. Il confronto tra vari esperti operanti in diversi settori ha permesso di avviare un circuito informativo che produrrà un incremento delle conoscenze complessive, consentendo di mettere a sistema le varie esperienze in corso.

Carta della vulnerabilità degli acquiferi emiliano-romagnoli all'inquinamento - Scala 1:250.000.

E' iniziata l'attività di raccolta delle informazioni e la sistemazione e georeferenziazione dei dati per la redazione della carta, utilizzando il metodo SINTIACS, così come indicato nella bozza di Testo unico di tutela delle acque dall'inquinamento, allegato 7.

Testo Unico di tutela delle acque dall'inquinamento (c.d)

Durante l'anno 1998 l'unità operativa è stata coinvolta nella elaborazione dell'allegato 1 al testo unico con la messa a punto della metodologia di classificazione delle quali-quantitative delle acque sotterranee. Sono state operate anche alcune simulazioni

operative, in via di pubblicazione, che hanno consentito di confermare la coerenza della metodologia.

3° convegno nazionale sulla protezione e gestione delle acque sotterranee

E' stata avviata l'organizzazione del convegno che si terrà il 13-15 Ottobre 1999.

### 3. COLLABORATORI ALLA RICERCA

Hanno collaborato alla ricerca nel corso del 1998:

- Zavatti Adriano
- Pellegrini Maurizio
- Tagliavini Sergio
- Tacconi Enzo
- Baraldi Fulvio
- Scialoja Maria Grazia
- Baraldi Vittorio
- Bertoni Daniele
- Pagotto Adelio
- Zanini Annalisa
- Vitali Maurizio
- Paltrinieri Nadia
- Grana Marco
- Piacentini Daniele
- Alifracco Gabriele
- Donatelli Marcello
- Spallacci Pasquale
- Barazzuoli Piero
- Salleolini Massimo
- 

### 4. BIBLIOGRAFIA

D.Bertoni, V. Boraldi, S.Righi, N.Paltrinieri, E.Tacconi, A.Zavatti. Evoluzione idrochimica degli acquiferi dell'alta e media pianura di Modena: nuove evidenze del monitoraggio. (Pubbl. n.1233)

Zavatti A., Attramini P., Bonazzi A., Boraldi V., Malagò R., Martinelli G., Naldi S., Patrizi G., Pezzerà G., Vandini N., Venturini L., Zuppi G.M. La presenza di Arsenico nelle acque sotterranee della Pianura Padana: evidenze ambientali e ipotesi geochimiche. (Pubbl. n.1234)

Barbieri L., Boraldi V., Carta G.P., Curti G.M., Giovanardi G.L., Mozzanica E., Pelsio A., Pizzarotti A., Sorghia G., Tagliavini S., Zavatti A., Zilioli F. Ipotesi di bonifica di un sito industriale con terreni inquinati da solventi aromatici (Fidenza-Parma). (Pubbl. n.1235)

Boraldi V., Pollacci G., Righi S., Tacconi E., Zavatti A. Presenza di 1,1,1 tricloroetano nelle acque sotterranee a Castelvetro (Modena). (Pubbl. n.1236)

L.Barbieri, D.Bartoni, G.L.Fogliani, E.Passaglia, A.Pirondini, C.Santini, E.Tacconi, A.Zavatti. L'infiltrazione dei liquami zootecnici nel suolo: primi risultati di prove preliminari in pieno campo su terreni corretti con rocce zeolitiche. (Pubbl. n.1237)

L.Barbieri, P.Corsinotti, A.Zavatti. Il monitoraggio qualitativo dei suoli nella pianura della provincia di Modena. (Pubbl. n.1238)

G.Alifraco, A.Pelosio, S.Tagliavini, A.Zavatti. La carta di vulnerabilità all'inquinamento degli acquiferi della pianura di Fidenza (PR), come primo esempio di cartografia informatizzata a scala provinciale.(Pubbl. n.1239)

Baraldi F., Campana G., Castaldini D., Paltrinieri N., Spallacci P., Zavatti A.. La capacità di attenuazione del suolo tra i fattori di valutazione della vulnerabilità all'inquinamento degli acquiferi. Due esempi: area morenica mantovana e alta pianura modenese (Italia Settentrionale).(Pubbl. n.1240)

M. Civita, G. Filippini, G. Marchetti, N. Paltrinieri, A. Zavatti. Uso della carte di vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento nella pianificazione e gestione del territorio.(Pubbl. n.1241)

E.Coltelli, F.Canavese, C.Maltoni, A.Antoniazzi, B.Spalla, A.Valentini, C.Valentini, A.Zavatti. Un caso di inquinamento del suolo e delle acque sotterranee da solventi organoalogenati: monitoraggio e programma di bonifica (S.Giovanni in Marignano-Rimini).(Pubbl. n.1242)

L.Barbieri, G.L.Fogliani, A.Lambertini, G.Rossi, A.Zavatti. Bonifica del suolo contaminato da rifiuti ceramici eterogenei, mediante processo di inertizzazione in situ.(Pubbl. n.1243)

F.Baraldi, G.Barzoni, E.Camerlenghi, G.Schivardi, A.Zavatti. Campi acquiferi in zone rurali e urbane in provincia di Mantova: problematiche inerenti la definizione delle zone di protezione e aspetti economici collegati.(Pubbl. n.1244)

## U.O. 4.9

# VALUTAZIONE DELLE RISORSE IDRICHE SOSTITUTIVE E DI EMERGENZA NELLE PREALPI BRESCIANE, MONTAGNOLA SENESE E BACINO DEL FRIGIDO

Prof. Paolo FORTI<sup>8</sup>

Nel triennio 1996-1998 l'U.O. 4.9 ha continuato nella sua attività di studio e monitoraggio di acquiferi carsici e fessurati al fine di reperire Risorse Idriche Alternative e di Emergenza (programma RISE) e valutarne la vulnerabilità per permetterne una adeguata protezione dall'inquinamento.

Le principali aree in cui si sono svolte le ricerche sono state: le Alpi Apuane, l'alto Appennino tosco-emiliano, le Prealpi bresciane, le Alpi Giulie.

Nelle Alpi Apuane si è concluso nel 1997 il ciclo di studi e ricerche iniziato da oltre un decennio: la ricerca finale, che ha impiegato l'U.O. dal 1996 al 1997, ha riguardato la stesura di una carta globale relativa alla valutazione delle risorse idriche immagazzinate negli acquiferi carbonatici del comprensorio apuo-versigliese: in pratica tutta l'area carsica delle Alpi Apuane.

Nel 1998 si è anche ripreso lo studio della principale sorgente carsica delle Alpi Apuane (Figido) attualmente utilizzata come parte integrante del complesso acquedottistico dell'area, al fine di redigere una carta del rischio di degrado delle sue risorse idriche con il metodo messo a punto dal Prof. Civita. La raccolta dei dati di campagna sarà ultimata nel 1999.

Nell'area di Lizzano (alto appennino Tosco Emiliano) nel 1997 si è conclusa la ricerca, iniziata nel 1995, che ha comportato la monitoraggio per oltre un anno di una sorgente (quella dei Bagnadori) le cui caratteristiche sono risultate essere ideali (basso rischio di inquinamento ottima qualità elevata portata) come risorsa alternativa e di emergenza per tutta la vallata. Inoltre hanno messo in luce come attualmente la potenzialità di detta sorgente sia assolutamente sottoimpiegata (pubbl. 1583, 1671).

Nel 1997 ha avuto inizio lo studio delle due grandi sorgenti carsiche del Bresciano, con il supporto logistico e tecnico dell'Azienda Servizi Municipalizzati di Brescia. Tale studio sarà completato nel 1999 con la realizzazione di una carta di Vulnerabilità 1:10.000 elaborata con il metodo SINTACS.

Rapporti intermedi sono già stati presentati, durante il 1998 a Congressi e Convegni internazionali e nazionali.

Sempre nel 1998 si è iniziata una collaborazione con l'U.O. di Trieste al fine di ottimizzare gli studi sugli acquiferi carsici delle due rispettive zone di lavoro. Tale collaborazione ha già permesso di ottenere alcuni risultati pratici: è stato infatti effettuato un primo studio delle caratteristiche idrochimiche e idrodinamiche delle sorgenti del Fiume Livenza (v. Bibliografia), nonché impostata la carta di Vulnerabilità delle sorgenti delle Prealpi Bresciane, che verrà pubblicata nel 1999.

A fianco dell'attività di ricerca i componenti della U.O. 4.9, nel periodo 1996-1998, hanno partecipato a tutte le riunioni operative della Linea 4 del GNDICI e ai maggiori Congressi e Convegni, sia italiani che stranieri presentando spesso memorie e posters.

---

<sup>8</sup> Università degli Studi di Bologna Dip. di Scienze Geologiche, via Zamboni 67, 40127 Bologna

L'attività divulgativa si è estrinsecata in una serie di conferenze e dibattiti in collaborazione con gli Enti territoriali cui spetta il controllo e la gestione delle acque.

A questo proposito particolarmente importante è stata la collaborazione con l'Azienda Acquedottistica Bolognese (SEABO), che nel 1997 ha portato anche alla realizzazione di una monografia sulle acque montane del comprensorio bolognese; e la collaborazione con l'Assessorato all'Ecologia della Provincia di Udine per lo studio delle caratteristiche geochimiche delle acque carsiche del Natisone.

Dal punto di vista didattico oltre a seminari tenuti all'Università di Tehran (Iran), Almeria (Spagna), Tirana (Albania), Nairobi (Kenya), particolarmente rilevante è stata la partecipazione del Prof. Forti in qualità di docente al Seminario "Magreb's Water Resources Management", organizzato a Bertinoro il 7-12 Dicembre 1998 dall'Università di Bologna e dal College des Hautes Etudes Europeennes di Parigi, cui hanno partecipato 20 persone dell'area del Magreb.

## **Pubblicazioni apparse nel periodo 1996 -1998, o in corso di stampa**

CUCCHI F., FORTI P., GIACONI M., GIORGETTI F. 1998 *Note idrogeologiche sulle sorgenti del fiume Livenza* Atti Giornata Mondiale dell'Acqua, Roma. Publ.GNDCI n.1831. In stampa

FORTI P. 1998 *Study of the Intrinsic Vulnerability for the Catchment Areas of two Large Springs in the Brescia Pre-Alps (Italy)*. Book of Abstract, 2<sup>nd</sup> Int. Symp. On Karst Water Resources, Theran, p. 2

FORTI P. 1998 *Gli acquiferi carsici: problematiche per il loro studio ed utilizzo*. Convegno Padova 26-27/09/98. Publ. GNDCI n. 1908. In stampa

FORTI P., CUCCHI F. 1998 *Study of the intrinsic vulnerability for the catchment areas of two large karst springs in the Brescia pre-Alps (Italy)* Proceedings 2<sup>nd</sup> International Symposium on Karst Water Resources, Theran Publ. GNDCI n. 1882. In stampa

**FORTI P., CUCCHI F., MARINETTI E., MASSARI G. 1998 *Studio di due grandi sorgenti carsiche del Bresciano da utilizzarsi ad uso idropotabile* Accademia dei Lincei, Roma 1-2/10/98 In stampa**

FORTI P., FRANCAVILLA F., MARTINI M., PINI G:A: 1997 *Le sorgenti dei Bagnadori a Pianaccio, risorsa idrica di emergenza per l'acquedotto di Lizzano in B. (Alto Appennino Bolognese)*. Quaderni di Geologia Applicata, Pitagora, Bologna 4,1, p.58-73. GNDCI Pubbl. n.1583

FORTI P., FRANCAVILLA F., MARTINI M., 1997 *Le acque delle sorgenti dei Bagnadori a Pianaccio di Lizzano in Belvedere : una risorsa da valorizzare*. In FRANCAVILLA F., RAFFAELLI G., 1997 : *Le acque sotterranee del territorio montano e collinare della Provincia di Bologna*. Quaderni di Tecniche di Protezione Ambientale- Protezione delle Acque Sotterranee, Pitagora, Bologna, n.61, GNDCI Pubbl. 1671, pp.123 146

FORTI P., PICCINI L., PRANZINI G. 1998 *Acquiferi carsici e fratturati del centro-nord Italia*. In GNDCI del CNR "Linea 4 rapporto 1986/1995", pp.20

FRANCAVILLA F., RAFFAELLI G., 1997 : *Le acque sotterranee del territorio montano e collinare della Provincia di Bologna*. Quaderni di Tecniche di Protezione Ambientale- Protezione delle Acque Sotterranee, Pitagora, Bologna, n.61, GNDCI Pubbl. 1671, 146 pp

**GALDENZI S., FORTI P., MENICHETTI M. 1998 *L'acquifero sulfureo di Frassasi. Aspetti idrogeologici e naturalistici* Padova 26-27/9/98. In stampa**

MUSCIO G. & FORTI P., 1997 : *Caratteristiche delle acque sotterranee dei sistemi carsici delle valli del Natisone*. Mem. Ist. Ital. Speleol., s.2, n. 9 p.161-168 GNDCI pubbl. 1750

PICCINI L., PRANZINI G., TEDICI G., FORTI P. 1997 *Le risorse idriche degli acquiferi carbonatici del comprensorio apuo-versigliese*. Carta 1:50.000. Arca Firenze. Pubbl. GNDCI n. 1584

## **COLLABORATORI ALLA RICERCA**

Hanno collaborato alla ricerca nel corso del 1998:

- Forti Paolo
- Rabbi Ernesto
- Francavilla Franco
- Pranzini Giovanni
- Civita Massimo
- Piccini Leonardo

## U.O. 4.10N

# VULNERABILITÀ DEGLI ACQUIFERI DELLE MARCHE ED INDIVIDUAZIONE DI RISORSE IDRICHE INTEGRATIVE, SOSTITUTIVE E DI EMERGENZA PRESENTI NELLA REGIONE

Ing. Libero Principi<sup>9</sup>

Le ricerche condotte nel triennio 96/98 sono state finalizzate alla caratterizzazione dell'idrogeologia dell'area adriatica centro settentrionale. Lo scopo degli studi è stato mirato all'analisi delle tematiche seguenti:

*caratterizzazione idrogeologica della regione marchigiana;*

*analisi della vulnerabilità, pericolosità e i rischi potenziali degli acquiferi regionali;*

*analisi della vulnerabilità, pericolosità e i rischi potenziali delle sorgenti emergenti dagli acquiferi carbonatici;*

*caratterizzazione idrogeologica degli acquiferi profondi delle dorsali carbonatiche e individuazione delle idrostrutture le cui acque possono essere utilizzate come risorse idriche integrative, sostitutive e come riserve strategiche;*

*studi sperimentali sulle modalità di diffusione e dispersione di contaminanti, immessi nella superficie del suolo o nelle acque, attraverso la zona insatura e modalità di propagazione dei medesimi dalla zona insatura a quella satura dell'acquifero;*

*applicazione dei Sistemi Informativi Geografici (G.I.S.) in idrogeologia.*

Lo studio di queste problematiche idrogeologiche è stato affrontato mediante:

*l'analisi di acquiferi del bacino idrografico del fiume Musone;*

*lo studio di sorgenti campione emergenti dagli acquiferi delle dorsali carbonatiche umbro-marchigiane;*

*l'analisi di acquiferi delle pianure alluvionali dei fiumi Esino, Musone, Potenza e Pescara;*

*l'analisi di acquiferi campione della dorsale carbonatica umbro-marchigiana (dorsale del M.te Catria - M.te Nerone);*

*l'analisi di acquiferi delle dorsali carbonatiche esterne di Cingoli e della Montagna dei Fiori;*

*lo studio dell'idrogeologia della zona insatura tramite indagini sperimentali di laboratorio (Pubbl. n.14);*

*l'utilizzazione di strumenti informatici (G.I.S) per la realizzazione di cartografia idrogeologica e cartografia tematica;*

I risultati delle ricerche condotte nel triennio, sugli acquiferi campione esaminati, hanno notevolmente incrementato le conoscenze sull'idrogeologia dell'area adriatica e in particolare sui seguenti aspetti:

*alimentazione e circolazione idrica negli acquiferi carbonatici (Pubbl. n. 2, 8, 9, 10, 14 e 15) e delle pianure alluvionali (Pubbl. n. 5 e 11);*

*caratteri idrochimici e qualità delle acque degli acquiferi carbonatici, delle pianure alluvionali e di quelle circolanti nei depositi terrigeni (Pubbl. n. 2, 6, 7, 8, 9, 10 e 15);*

*vulnerabilità, pericolosità e rischi potenziali degli acquiferi delle pianure e delle sorgenti carbonatiche e problematiche relative alla determinazione delle zone di tutela assoluta, di rispetto e di protezione delle sorgenti (Pubbl. n. 2, 9 e 14);*

---

<sup>9</sup> Dipartimento di Scienze dei Materiali e della Terra Università di Ancona Facoltà di Ingegneria, via Breccie Bianche 24, 60131 Ancona

potenzialità idriche degli acquiferi carbonatici e terrigeni utilizzabili sia come risorse idriche integrative o sostitutive, sia come riserve strategiche (Pubbl. n. 2, 8, 9, 10 e 15);  
applicazione di modelli matematici in idrogeologia per le problematiche relative alla gestione e tutela degli acquiferi (Pubbl. n. 4);  
metodologie per la misura sperimentale dei flussi idrici sotterranei della zona insatura (Pubbl. n. 13);

Sono state prodotte inoltre cartografie idrogeologiche (Pubbl. n.1) con elementi relativi al rischio potenziale di inquinamento degli acquiferi. Nell'ambito di queste ricerche sono state infine utilizzate metodologie informatiche (G.I.S.) e progettato un modello concettuale di database idrogeologico georeferenziato, per la produzione di cartografie idrogeologiche e cartografie tematiche relative alle condizioni di vulnerabilità, pericolosità e rischio potenziale degli acquiferi (Pubbl. n. 12).

I risultati degli studi condotti sono stati parzialmente pubblicati nei seguenti lavori:

1- NANNI T., COLTORTI M. & GARZONIO C.A. (1997) - *Il bacino idrografico del fiume Musone: geologia, geomorfologia e idrogeologia. Carta alla scala 1:50.000 allegata al volume "Il bacino del fiume Musone: Geologia, Geomorfologia e Idrogeologia" a cura di Torquato Nanni. Ed. S.E.L.C.A., Firenze*

2- NANNI T. (1997b)- *Gli acquiferi della dorsale carbonatica di Cingoli: idrogeologia, qualità delle acque e bilancio idrogeologico. In "Il bacino del fiume Musone: Geologia, Geomorfologia e Idrogeologia" a cura di Torquato Nanni. 101-136, 20ff., 3 tabb., 1 tav. f.t.. Pubbl. GNDICI del CNR n. 1625.*

3- NANNI T. (1997c)- *Le sorgenti mineralizzate del bacino del fiume Musone. In " Il bacino del fiume Musone: Geologia, Geomorfologia e Idrogeologia" a cura di Torquato Nanni. 157-175, 12ff., 3 tabb., 1 tav. f.t.. Pubbl. GNDICI del CNR n. 1622.*

4- NANNI T., PATRIZI G. & SPACCASASSI A. (1977d) - *Modello matematico agli elementi finiti dell'acquifero alluvionale della pianura del fiume Musone. In " Il bacino del fiume Musone: Geologia, Geomorfologia e Idrogeologia" a cura di Torquato Nanni. 177-189, 8ff., 3 tabb.. Pubbl. GNDICI del CNR n. 1630.*

5- NANNI T & GARZONIO C.A. (1997). *Idrogeologia della pianura alluvionale del fiume Musone. In " Il bacino del fiume Musone: Geologia, Geomorfologia e Idrogeologia" a cura di Torquato Nanni. 137-155, 11 ff., 4 tabb., 1 tav. f.t.. Pubbl. GNDICI del CNR n. 1624.*

6- NANNI T. & VIVALDA P. (1998)- *Salt springs and structural setting of the marchean adriatic foredeep (Central Italy). Symposium Water Rocks Interaction - WRI9, Taupo, New Zealand. Pubbl. GNDICI del CNR n. 1657*

7- NANNI T. & VIVALDA P. (1999) - *Le acque salate dell'avanfossa marchigiana: origine, chimismo e assetto strutturale delle zone di emergenza. Boll. Soc. Geol. It., 118, 30ff., 2 tabb.. Pubbl. GNDICI del CNR n. 1700.*

8- MONTIRONI C., NANNI T., VERLICCHI G. & VITA F. (1999) - *Idrogeologia della dorsale carbonatica della Montagna dei Fiori. Boll. Soc. Geol. It., 118, 14 ff., 2 tabb.. Pubbl. GNDICI del CNR n. 1935*

9- NANNI T. & VIVALDA P. (1999) - *Idrogeologia di acquiferi campione della regione marchigiana. Consiglio Nazionale Delle Ricerche. Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (G.N.D.C.I./C.N.R.). Linea Di Ricerca n°4 "Valutazione Della Vulnerabilità Degli Acquiferi" Rapporto 1986/95. C.N.R., 1-50.*

10- CONESE M., NANNI T., PEILA C., RUSI S., SALVATI R. (1999) - *Idrogeologia della struttura della Montagna del Morrone: dati preliminari (Abruzzo). Gruppo Nazionale*

*di Geologia Applicata. Convegno Giovani Ricercatori. Mem. Soc. Geol. It.. Pubbl. GNDCI n°.....( in stampa)*

11- *DESIDERIO G., FOLCHI VICI D'ARCEVIA C., NANNI T. & RUSI S. .(1999)- LA PIANURA ALLUVIONALE DEL FIUME PESCARA (ABRUZZO): IDROGEOLOGIA E VULNERABILITÀ DELL'ACQUIFERO. GRUPPO NAZIONALE DI GEOLOGIA APPLICATA. CONVEGNO GIOVANI RICERCATORI. MEM. SOC. GEOL. IT.. PUBBL. GNDCI N°.....(IN STAMPA)*

12- *FOLCHI VICI D'ARCEVIA C., NANNI T & VIVALDA P. (1999) - Cartografia idrogeologica del bacino del fiume Esino (Marche) tra la dorsale carbonatica marchigiana e la costa mediante l'uso di un GIS. Gruppo Nazionale di Geologia Applicata. Convegno Giovani Ricercatori. Mem. Soc. Geol. It.. Pubbl. GNDCI n°.....(in stampa)*

13- *NANNI T., PALPACELLI S. & TAZIOLI G.S.(1999)- Metodi di misura dei flussi idrici sotterranei della zona insatura. Gruppo Nazionale di Geologia Applicata. Convegno Giovani Ricercatori. Mem. Soc. Geol. It.. Pubbl. GNDCI n°.....(in stampa)*

14- *CAPRARI M., GALDENZI S., NANNI T., RAMAZZOTTI S. & VIVALDA P.(1999) - La sorgente di Gorgovivo: analisi idrogeologica finalizzata all'individuazione delle zone di tutela, rispetto e protezione. Dati preliminari. Gruppo Nazionale di Geologia Applicata. Convegno Giovani Ricercatori. Mem. Soc. Geol. It.. Pubbl. GNDCI n°.....(in stampa)*

15- *CAPRARI M. & NANNI T. - Idrogeologia della dorsale del M.te Catria-M.te Nerone (Marche settentrionali). Boll. Soc. Geol. It.. (in stampa)*

16- *NANNI T & VIVALDA P. – Le sorgenti solfuree dell'avanfossa marchigiana. Boll. Soc. Geol. It.. (in stampa)*

## **COLLABORATORI ALLA RICERCA**

Hanno collaborato alla ricerca nel corso del 1998:

- Principi Libero
- Mantica Ignazio
- Polonara Leonardo
- Marcellini Mirco
- Principi Marcelo
- Vivalda Paola
- Caprari Maurizio
- Cinti Renzo
- Diotallevi Luigi
- Palpacelli Stefano
- Smargiasso Mario
- Giacchetta Daniele

Folchi Vici D'Arcevia Clemente Stefano

## U.O. 4.11

# POTENZIALITÀ IDROGEOLOGICHE E VULNERABILITÀ DELLE ACQUE NEI MASSICCI CARBONATICI PERUGINI

Dott. Giancarlo Marchetti<sup>10</sup>

## 1. Prodotti realizzati

### Rapporti interni:

- Studio preliminare per la valutazione delle aree di ricarica della struttura calcarea dei Monti di Gubbio;
- Progetto esecutivo di un sondaggio esplorativo-piezometro in localita' Bottaccione, Comune di Gubbio;
- Assistenza geologica alla perforazione di un sondaggio esplorativo - piezometro in localita' Bottaccione: relazione tecnico-scientifica sui risultati.
- Carta della Vulnerabilità all'inquinamento degli acquiferi della Conca Eugubina: Rapporto finale
- Valutazione della vulnerabilità all'inquinamento degli acquiferi della Conca Eugubina: Analisi degli indicatori chimici di inquinamento.
- La Media Valle del Tevere: caratterizzazione degli acquiferi
- Indagini idrogeologiche ed idrogeochimiche preliminari allo studio della vulnerabilità degli acquiferi in Media Valle del Tevere.
- Il completamento dei reticoli preliminari di monitoraggio: la Media Valle del Tevere

## 2. Pubblicazioni

- AA.VV. (1998). **Vulnerabilità all'inquinamento degli acquiferi della Conca Eugubina: Note illustrative ed aspetti tematici.** Pubbl. n.1814 CNR-GNDCI. USLn.1 -Regione Umbria.
- Checucci R., Frondini F., Marchetti G., Martinelli A., Peruzzi L. (1998). **II monitoraggio degli acquiferi umbri nell'ambito del progetto interregionale Sorveglianza e monitoraggio acque sotterranee (PRISMAS): aspetti tecnologici e gestionali.** In: Atti del Convegno „ Nuove tecniche per l'acquisizione, il monitoraggio e l'elaborazione dei dati idrogeologici a fini ambientali“, Geofluid '98 Piacenza, 1° ottobre, organizzato dal Politecnico di Milano. In print su Acque Sotterranee.
- Marchetti G, Martinelli A. (1997). **Azioni di salvaguardia e costi di intervento per il risanamento di un'area di interesse strategico per l'approvvigionamento potabile.** Atti Convegno: "Aspetti economici relativi all'approvvigionamento ed alla gestione delle acque sotterranee". Sezione Italiana Acque Sotterranee, Associazione Georisorse e Ambiente. Politecnico di Torino. Milano, 10 dicembre 1997

---

<sup>10</sup> Regione Umbria Area Ambiente ed Infrastrutture, P.za Partigiani 1 06100 Perugia

In Print: Atti del Convegno "Carte di vulnerabilità all'inquinamento degli acquiferi: strumenti di salvaguardia e gestione delle risorse idriche", Gubbio 26 giugno 1998.

### 3. Convegno

Carte di vulnerabilità all'inquinamento degli acquiferi: strumenti di salvaguardia e gestione delle risorse idriche", Gubbio 26 giugno 1998. A cura di: USL n.1, Comune di Gubbio, Regione dell'Umbria-U.O.4.11 GNDCI.

### 4. Attività promosse e risultati

#### 1. VALUTAZIONE DELLE AREE DI RICARICA DELLA STRUTTURA CALCAREA DEI MONTI DI GUBBIO:

La valutazione della disponibilità delle risorse idriche a livello dei rilievi calcarei dei Monti di Gubbio, tanto in condizioni normali che estreme, ha permesso di stimare la ricarica media annua per l'intero rilievo calcareo. A livello dei dati meteorologici, negli ultimi 20 anni si è assistito con frequenza circa quinquennale ad anni estremamente negativi (tra cui il 1995) in cui i valori della ricarica meteorica possono quasi dimezzarsi producendo squilibri notevoli al sistema di approvvigionamento idropotabile con un graduale abbassamento dei livelli delle falde.

La ricostruzione del quadro idrogeologico con l'ausilio dei dati geologico-strutturali, idrochimici e della foto-interpretazione ha portato ad una suddivisione dei rilievi calcarei in 4 sottobacini aventi presumibilmente una circolazione idrica separata.

I prelievi idropotabili si concentrano nei primi due sottobacini emungendo quantità di risorsa superiore alle possibilità annue di ripristino.

Poiché la domanda idropotabile rappresenta oltre il 50% della disponibilità idrica media annua, al fine di riorganizzare il sistema gestione della risorsa, è stato ubicato e progettato un sondaggio esplorativo -piezometro.

#### 2. REDAZIONE DELLA CARTA DI VULNERABILITÀ ALL'INQUINAMENTO DEGLI ACQUIFERI DELLA CONCA EUGUBINA (VAZAR)

Nell'arco del 1996-97 si è svolto tutto il lavoro di completamento della raccolta dati, degli elaborati preliminari della redazione delle bozze finali della Carta di Vulnerabilità con la definizione della legenda e delle carte al margine, seguendo le scelte adottate in ambito regionale, passando poi alla realizzazione della cartografia finale ed alla stesura delle note illustrative, ampliato con degli approfondimenti tematici.

Il lavoro ha seguito il seguente schema:

Affinamento delle conoscenze idrogeologiche degli acquiferi calcareo, alluvionale, fluvio-lacustre.

Rielaborazione finalizzata e completamento dell'informazione idrogeochimica.

Completamento e rielaborazione dei dati sulle attività antropiche.

Elaborazione finalizzata di dati chimici, idrologici ed idrogeologici storici.

Redazione di carte politematiche specifiche

- Carta geolitologica, idrogeologica e della disponibilità idrica annua degli acquiferi
- Carta del non-saturo e dell'efficacia della copertura
- Carta piezometrica, della velocità di deflusso e dell'evoluzione dei livelli di falda
- Carta della qualità delle acque di falda

- Carta dello scenario antropico e dell'uso del suolo
- Carta della vulnerabilità intrinseca degli acquiferi, delle caratteristiche idrogeologiche e dei tempi di rinnovamento delle acque di falda
- Carta di zonazione della pericolosità relativa (produttori potenziali o reali d'inquinamento) e dei principali soggetti a rischio (proposte Civita, 1995)

Carta finale della vulnerabilità degli acquiferi della Conca Eugubina

- impostazione legenda GNDCI
- parametrizzazione idrodinamica semiquantitativa degli acquiferi

Carta del rischio di inquinamento delle RIS

- interfacciamento della vulnerabilità degli acquiferi e della pericolosità relativa dei CDP
- zonazione del rischio

### 3. REALIZZAZIONE DI UN SONDAGGIO ESPLORATIVO -PIEZOMETRO NEI MONTI DI GUBBIO (RISE)

Al fine di riorganizzare il sistema gestione della risorsa, è stato realizzato un sondaggio esplorativo -piezometro di 180 m. di profondità e sono state effettuate livellazioni topografiche, che hanno fornito risposte sulla separazione idraulica verticale degli acquiferi sovrapposti e sulle relazioni laterali tra sottobacini, oltre a definire le condizioni idrodinamiche locali del settore meno noto dei rilievi.

### 4. REDAZIONE DELLA CARTA DI VULNERABILITÀ ALL'INQUINAMENTO DEGLI ACQUIFERI DELLA MEDIA VALLE DEL TEVERE (VAZAR), FASE INIZIALE

Sono stati avviati gli studi idrogeologici ed idrogeochimici per definire la vulnerabilità degli acquiferi dell'area alluvionale della Media Valle del F.Tevere. Nel periodo Agosto-Settembre 1997 sono state svolte in un'area di circa 140 Km<sup>2</sup>, indagini idrogeologiche ed idrochimiche con l'obiettivo di acquisire, preliminarmente, un quadro conoscitivo sulle caratteristiche del deflusso sotterraneo e su alcune peculiarità chimiche delle acque sotterranee e superficiali, con particolare riferimento allo ione nitrico.

I dati di terreno e le analisi di laboratorio relativi all'indagine idrogeologica nell'area della Media Valle del Tevere nel tratto compreso tra Umbertide e Todi (dati anagrafici dei pozzi, livello di falda, conducibilità el., nitrati, nitriti, ammoniaca, solfati, fosfati, cloruri ed alcalinità) sono stati elaborati nel corso del '98 e sono serviti ad evidenziare le relazioni falde - corsi d'acqua - acquiferi contigui, i caratteri idrogeochimici delle acque di falda e le distribuzioni areali dei parametri significativi.

I dati sono poi stati integrati con le informazioni sui sistemi di prelievo idropotabili e con la distribuzione delle principali attività antropiche: è stato infine predisposto un programma di completamento delle indagini e di realizzazione della carta di vulnerabilità in modalità informatizzata.

## 5. REALIZZAZIONE DI POZZI DI PROVA NELLE STRUTTURE CARBONATICHE E VULCANICHE UMBRE (RISE)

Al fine di riorganizzare il sistema gestione delle risorse idriche regionali e valutare la disponibilità di fonti sostitutive ed integrative di quelle attualmente precarie, sono stati realizzati 12 pozzi di prova, 9 nelle strutture carbonatiche e 3 nel complesso vulcanico vulsino.

Obiettivo principale la definizione delle caratteristiche idrogeologiche delle strutture carbonatiche e del complesso vulcanico Vulsino.

Le aree riguardava le principali strutture idrogeologiche (Valle del Topino, Valle del Menotre, Monti di Amelia, Valnerina, Monte Cucco, Area Vulcanica di Orvieto, Monti di Gubbio e di Calvi dell'Umbria).

Con i dati raccolti si vuole pervenire, in funzione della progettazione con l'analisi dei costi-benefici relativi alle reti di distribuzione ottimali, alla realizzazione, successivamente anche a valutazioni di impatto ambientale, dei sistemi di captazione più idonei per il prelievo delle risorse individuate.

A fine '98 sono disponibili i dati dei 10 pozzi di prova produzione completati, sui quali sono stati eseguiti i tests idraulici ed i seguenti logs geofisici: potenziale spontaneo, resistività 16"-64" e laterale, radiazioni gamma naturale, resistività e temperatura del fluido, caliper.

La produttività complessiva dei pozzi è di circa 400 l/s, di cui circa ¼ nei 3 pozzi del complesso vulcanico.

La messa in funzione di sonde di livello con registrazione in continuo permetterà di giungere ad una definizione delle risorse immagazzinate nei sistemi idrogeologici intercettati.

## 6. EDITING DEL LAVORO SULLA VULNERABILITA' DELLA CONCA EUGUBINA E REALIZZAZIONE DI UN CONVEGNO A GUBBIO

Nella prima parte del 1998 si è svolto il lavoro di editing della Carta di vulnerabilità della Conca Eugubina a cui si è associato un volume dal titolo "Note illustrative ed approfondimenti tematici", risultato del lavoro svolto, redatti con la collaborazione di tutto lo staff di studio (tra cui Università di Perugia e Università di Losanna-Svizzera) e dei rappresentanti degli enti locali.

In data 26 giugno è stato programmato un convegno a Gubbio per la presentazione del lavoro alla cittadinanza e l'approfondimento delle realtà scientifiche italiane nel settore.

Il convegno, dal titolo CARTE DI VULNERABILITA' ALL'INQUINAMENTO DEGLI ACQUIFERI: STRUMENTI DI SALVAGUARDIA E GESTIONE DELLE RISORSE IDRICHE, ha visto la partecipazione di autorità locali, tecnici del settore e opinione pubblica (oltre 150 presenti) e alle relazioni hanno contribuito vari responsabili ed operatori della Linea 4 del GNDICI.

Gli atti del convegno sono in corso di redazione.

## **COLLABORATORI ALLA RICERCA**

Hanno collaborato alla ricerca nel corso del 1998:

- Marchetti Giancarlo
- Giaquinto Stefano

- Martini Endro
- Boscherini Arnaldo
- Vacca Gaetano
- Passeri Sara
- Terenzi Angela
- Guidobaldi Filippo

## **BIBLIOGRAFIA**

Giuliano G., Marchetti G., La contaminazione da nitrati del campo pozzi di Petignano di Assisi: dagli studi conoscitivi ad un sistema integrato di interventi, presentato al 2° Convegno Naz. Protezione e Gestione Acque Sotterranee, Metodologie, Tecnologie, Obiettivi, Modena, 17-19 Maggio, 1995 (Pubbl. n. 1216 GNDCI)

Prof. Giovanni Barrocu<sup>11</sup>

## U.O. 4.12

### *Valutazione della vulnerabilità degli acquiferi di Oristano e del Campidano Sud-occidentale di Cagliari*

## 1. SOMMARIO

Nel corso del triennio 1996-1998 l'attività di ricerca sviluppata dalla U.O. 4.12 ha riguardato i seguenti programmi di ricerca della Linea 4:

Progetto Speciale Vulnerabilità degli Acquiferi in Zone ad Alto Rischio (VAZAR)  
Progetto Speciale Risorse Idriche Integrative (RISE)  
Progetto Valutazione della attuabilità della ricarica artificiale degli acquiferi (VARA)

## 2. OBIETTIVI, ATTIVITA' SVOLTE E RISULTATI CONSEGUITI

### Programma speciale VAZAR

#### Obiettivo e attività di ricerca

*Valutazione della vulnerabilità degli acquiferi di Oristano e del Campidano sud-occidentale di Cagliari*

Le ricerche hanno riguardato gli acquiferi delle pianure di Oristano, nella Sardegna centro-occidentale, e del Campidano sud-occidentale di Cagliari, un tempo sfruttati soprattutto per l'approvvigionamento idropotabile e negli ultimi anni sempre più per l'uso irriguo. Si è aggiornata la banca dati delle utenze, dei consumi delle acque sotterranee e delle fonti di inquinamento censite per l'identificazione delle aree a rischio.

Programma speciale RISE

Obiettivi e attività di ricerca

*Identificazione delle riserve idriche strategiche nei sistemi carsici del supramonte di Urzulei, Orgosolo ed Oliena (Nuoro).*

Lo studio ha riguardato l'analisi geostrutturale di dettaglio e la definizione delle idrostrutture e degli schemi di circolazione. Successivamente si è impostato il bilancio idrogeologico per la quantificazione della risorsa sotterranea. A fronte di una precipitazione, calcolata su 10 stazioni della zona, di circa 900 mm/anno si sono misurate fuoriuscite da emergenze sorgentizie per circa 25 Mm<sup>3</sup>/anno. Considerata

---

<sup>11</sup> Università degli Studi di Cagliari Dipartimento di Ingegneria del Territorio - Sezione Geologia Applicata e Geofisica Applicata, P.za d'Armi 16, 09123 Cagliari

l'estensione degli affioramenti carbonatici, maggiore di 100 km<sup>2</sup>, si ritiene che i volumi infiltrati risultino ben superiori a quelli riscontrati nelle stazioni di misura. Allo stato attuale si stanno pertanto valutando i rapporti con i domini idrogeologici adiacenti ed il mare, per la verifica delle quantificazioni fatte e si è avviata la predisposizione di un elaborato progettuale con l'indicazione delle modalità e delle tipologie delle opere di captazione da realizzare per la salvaguardia delle sorgenti e del sistema acquifero, esposto al pericolo di essere parzialmente sommerso dalle acque di massimo invaso del lago artificiale di recente costruito sul Fiume Cedrino.

### *Identificazione delle riserve idriche strategiche nel sistema acquifero della formazione arenacea miocenica del Parteolla, nel Campidano sud-orientale di Cagliari*

Alla fine del 1998 su sollecitazione dell'Amministrazione comunale di Dolianova si è iniziata la raccolta dei dati per la definizione delle caratteristiche del sistema acquifero della formazione sabbioso-arenacea miocenica e la valutazione delle risorse idriche sotterranee.

Programma speciale VARA  
Obiettivo e attività di ricerca

### *Sperimentazione di ricarica di un acquifero costiero per mitigare gli effetti dell'intrusione salina*

Nel sistema acquifero della piana deltizia costiera del Rio Santa Lucia, al margine sudoccidentale del Campidano di Cagliari, si sono identificate le aree dove effettuare esperimenti di ricarica concentrata in acquifero profondo, a mezzo di pozzi trivellati. Le ricerche si sono affiancate a quelle svolte nella zona di sperimentazione con un programma finanziato dalla CE, con il quale, è stato realizzato un vascone da 20 x 25 x 2 metri per la ricarica dell'acquifero superficiale utilizzando le acque derivate dall'antistante il depuratore del Consorzio Industriale di Cagliari.

Le prove di ricarica nell'acquifero superficiale freatico e nel sottostante acquifero confinato sono state effettuate in più riprese nel 1998 con il fine di sperimentare moduli di barriera idrodinamica atti a contenere l'intrusione dell'acqua di mare in entrambi gli acquiferi. Nei pozzi della rete di monitoraggio stabilita nella piana si sono ripetute le analisi idrochimiche per una migliore definizione dei diversi orizzonti del sistema acquifero e si è altresì effettuato il rilievo geofisico di diverse sezioni con applicazione del metodo TDEM (Time Domain Electromagnetic Method).

### **Azioni per la diffusione e il trasferimento dei dati**

Attività di consulenza per la Regione Autonoma della Sardegna

*A partire dal 1997, su richiesta dell'Assessorato della Difesa dell'Ambiente, si è predisposto un programma per lo schema di Piano regionale pluriennale di protezione civile, sulla base del quale si è poi stipulata apposita convenzione fra lo stesso Assessorato e il Dipartimento di Ingegneria del Territorio. La convenzione stipulata è divenuta operativa alla fine del 1997.*

Il programma di lavoro riguarda, per quanto di particolare competenza dell'U.O.4.12, la definizione dei rischi cui sono soggette le risorse idriche sotterranee, quali i rischi di

impoverimento per mancati apporti (siccità), di degrado quantitativo (sovrasfruttamento) e qualitativo (inquinamento), nonché i rischi composti (combinazione di alcuni o tutti quelli di cui ai punti precedenti) e derivati (ad es. degrado quantitativo e qualitativo come conseguenza di impatti di alluvioni, frane, terremoti, eruzioni vulcaniche, etc.).

L'U.O.4.12 svolge infatti il ruolo di coordinamento per le attività svolte dalle Sezioni di Geologia Applicata, di Idraulica e Costruzioni Idrauliche e di Ingegneria dei Trasporti, in particolare per quanto riguarda la creazione di un apposito sistema GIS per la rappresentazione di tutte le informazioni di settore concernenti i rischi di frane, i rischi di inondazione, i rischi connessi a opere di ritenuta, i rischi di tempeste e mareggiate, e i rischi connessi al sistema dei trasporti.

*La ricerca dei primi moduli si è quindi estesa a tutta la Sardegna, per la quale si è predisposta la cartografia automatica della vulnerabilità intrinseca alla scala 1:250.000.*

Cura dell'edizione del volume del decennale 1986-1995 della Linea 4 del GNDCI

Nel 1998 è stata ultimata l'edizione in mille esemplari del volume con i contributi ricevuti dalle U.O. della Linea di Ricerca 4.

### 3. RISULTATI CONSEGUITI

Gli studi effettuati per la valutazione della vulnerabilità degli acquiferi di Oristano e del Campidano sud-occidentale di Cagliari, l'identificazione di risorse idriche integrative e di emergenza nei sistemi carsici del Supramonte della provincia di Nuoro e la sperimentazione di metodologie di ricarica artificiale di un acquifero costiero interessato da fenomeni di intrusione marina hanno permesso di valutare l'entità di risorse e riserve idriche sotterranee che possono essere determinanti per la pianificazione di una vasta regione, dove ancora sussistono grossi problemi di approvvigionamento idrico.

*Le diverse ricerche svolte rappresentano moduli di indagini sistematiche che potrebbero essere estesa in modo coerente ad altre aree rappresentative, e come tali costituiscono un contributo sostanziale per una valutazione attendibile delle risorse idriche sotterranee della Sardegna e la definizione dei criteri per una loro gestione integrata.*

### 4. PUBBLICAZIONI

ARDAU F., BARBIERI G., BARROCU G., GHIGLIERI G (1997) - Application of isotope techniques to investigate groundwater pollution by seawater intrusion. Research Coordination Meeting, Techn. Rep., IAEA, Vienna.

BARROCU G. (1997) - Prospettive di uso delle acque sotterranee nella gestione delle risorse idriche integrate. Atti Simp. su "La Georisorsa acqua nel bacino del Mediterraneo", Ord. Region. dei Geologi di Sicilia, 2-4 Ottobre, Erice, in stampa.

BARROCU G., GHIGLIERI G., URAS G. (1998) – *Rapporto sull'attività scientifica svolta nel decennio 1986-1995. Unità Operativa 4.12.* Gruppo Nazionale per la Difesa Dalle Catastrofi Idrogeologiche, Linea di Ricerca n° 4, Valutazione della Vulnerabilità degli Acquiferi, Rapporto 1986-1995. Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento della Protezione Civile, pp. 1-26, Grafiche Ghiani, Monastir (CA).

BARROCU G. (1998) – I GIS e la definizione delle aree vulnerabili e vulnerate. Atti Conv. su " I sistemi Informativi territoriali per la pianificazione e la gestione del territorio", GIS Itinera 98, Cagliari, in press.

BARROCU G., SCIABICA M.G., URAS G. (1998) - Transport modelling of saltwater intrusion processes in the coastal aquifer system of Capoterra (Southern Sardinia, Italy), Proc. 15th SWIM, Ghent, May 25-29 1998, in press.

BARROCU G. (1998) – Strategies for groundwater resources management. Proc. IHP Scient. Meet. on "Water resources management in a vulnerable environment for sustainable development", Centro Studi Int. Villa La Colombella, Perugia, Nov. 24-27, in press.

## 5. COLLABORATORI ALLA RICERCA

Hanno collaborato alla ricerca nel corso del 1998:

- Barrocu Giovanni
- Vernier Antonio
- Barbieri Giulio
- Balia Roberto
- Sambuelli Luigi
- Uras Gabriele
- Deidda Gianpiero
- Sitzia Avellino Mario
- Lai Antonio
- Contu Giovanna
- Noli Luigi Michele
- Ardaù Federica
- Ghiglieri Giorgio
- Boi Francesca
- Sciabica Maria Grazia
- Sanna Francesco
- Pani Fausto
- Pittau Lucia
- Alemayehu Tamiru
- Sanna Roberta

## U.O. 4.13

# RISCHIO DI CONTAMINAZIONE DELLE ACQUE SOTTERRANEE E MODALITÀ DI INTERVENTO

Dott. Giuseppe Giuliano<sup>12</sup>

## 1. Obiettivi

Le attività della U.O. 4/13 ricadono soprattutto nei progetti di ricerca BIAS e QUAS. Le attività nel settore del progetto BIAS hanno riguardato la qualificazione e l'aggiornamento della Banca Dati dei casi di inquinamento delle acque sotterranee predisposta nel passato dall'IRSA e l'implementazione del collegamento con il Dipartimento della Protezione Civile.

Le attività nel settore del progetto QUAS hanno avuto come obiettivo la predisposizione di carte sperimentali a media scala della qualità di base delle acque sotterranee in differenti situazioni idrogeologiche rappresentative.

## 2. Risultati

E' stato implementato il progetto BIAS integrando i risultati dell'indagine conoscitiva di ampio respiro condotta nel periodo 1995-96 con quelli disponibili dalla fase precedente (1990-91). Il risultato consiste di una base dati di casi di inquinamento delle acque sotterranee utilizzate a scopo potabile a livello nazionale. Essa fornisce un quadro sufficiente rappresentativo delle condizioni di contaminazione delle acque sotterranee, delle sostanze inquinanti in gioco e delle modalità di intervento adottate per l'eliminazione o l'attenuazione degli effetti dell'evento inquinante.

Lo studio è stato svolto con procedure censuarie e documentali, d'intesa col Dipartimento della Protezione Civile e con la collaborazione delle Unità Operative del GNDICI e di numerosi Enti responsabili dell'approvvigionamento idropotabile.

Il quadro conoscitivo è ampio anche se ancora di carattere campionario in quanto per alcune regioni i dati sono sicuramente e carenti o addirittura assenti. Peraltro, la sua significatività è plausibilmente supportata dall'ampiezza della base conoscitiva e dallo spettro di situazioni considerate: sono stati censiti 674 casi di inquinamento che hanno interessato oltre 800 comuni.

La base dati, disponibile su Personal Computer equipaggiato con sistema operativo Microsoft Windows 95, è stata realizzata in linguaggio di programmazione visuale (Microsoft Visual Basic 4.0) al fine di offrire una interfaccia grafica di facile utilizzo. Pannelli grafici, opportunamente costruiti, permettono di gestire agevolmente l'inserimento e l'aggiornamento dei dati rendendo nel contempo possibili tutte le procedure di verifica e di conformità dei dati medesimi.

I risultati sono sintetizzati in una monografia descrittiva, in corso di redazione, e in una cartografia sinottica (1:1.200.00) a larga diffusione analoga a quella del progetto AVI, già disponibile.

---

<sup>12</sup> CNR Istituto di Ricerca sulle Acque (IRSA), via Reno 1, 00198 Roma

Per quanto riguarda il progetto QUAS la metodologia di classificazione e mappatura della qualità di base delle acque sotterranee messa a punto dall'IRSA e dal GNDCI è stata dapprima sperimentalmente applicata ad aree selezionate della pianura padana e poi a numerose altre situazioni italiane. Alcune di queste applicazioni hanno fatto riferimento a condizioni della falda assunte stazionarie, o comunque rappresentative delle caratteristiche medie di qualità. Altre applicazioni hanno considerato anche l'influenza della dinamica stagionale della falda sulla sua qualità.

La gran parte delle applicazioni hanno riguardato aree di estensione limitata con mappature a scala di dettagli (1:25.000 in media). Sono state effettuate anche due esperienze riferite ad ambiti regionali con relativa mappatura a piccola scala: in particolare la pianura padana e veneto friulana e la penisola salentina.

Inoltre, per la valutazione dell'andamento spazio temporale di un evento inquinante, in riferimento ad un punto di approvvigionamento idropotabile, sono stati sviluppati alcuni codici implementati su Personal Computer IBM compatibile, che si avvalgono di maschere video per gestire l'input e per visualizzare le risposte. L'utilizzazione è rivolta ad utenti che debbono ottenere valutazioni rapide delle possibilità di inquinamento delle acque sotterranee in condizioni di emergenza (incidenti, segnalazioni di un onda inquinante etc.).

La scelta del codice di calcolo più idoneo da utilizzare (monodimensionale, monobidimensionale) va fatta in relazione alle caratteristiche idrogeologiche del sito, della natura del tipo di evento e della sostanza inquinante. I codici permettono l'analisi in sequenza o separatamente della zona non satura e di quella satura.

Nella versione dei modelli in ambiente WINDOWS è inserita un'operazione per la visualizzazione animata dell'intero evento.

Infine sono stati sviluppati alcuni contributi metodologici di mappatura della vulnerabilità degli acquiferi a scala medio piccola che sono coordinati con una iniziativa di ricerca dell'IRSA sul sistema idrogeologico della pianura padana svolta in collaborazione col Servizio Geologico Nazionale.

Sono state applicate metodologie di valutazione differenti partendo sempre dagli stessi dati di base. Di queste metodologie, due sono noti sistemi parametrici (Drastic e Sintacs) mentre la terza è una modificazione a scala regionale del metodo di zonizzazione per aree omogenee proposto dal CNR-GNDCI.

L'applicazione delle tre metodologie allo stesso areale, ha messo in evidenza come i risultati ottenuti, dove i modelli concettuali di acquifero utilizzato è lo stesso, sono molto simili e che comunque i rapporti reciproci tra le aree ad alto grado di vulnerabilità e quelle a basso grado di vulnerabilità rimangono pressoché invariati.

Il carattere prevalentemente applicativo delle ricerche svolte ha favorito il processo di coinvolgimento delle strutture istituzionali, a livello sia dell'Amministrazione centrale che degli Enti locali, nonché il trasferimento ad esse dei prodotti sviluppati e l'utilizzazione dei risultati ottenuti.

Si possono individuare due categorie di utenti intrinsecamente interessati all'utilizzazione per scopi istituzionali dei prodotti sviluppati:

gli enti operanti nel settore della pianificazione di area vasta che sono interessati ai prodotti relativi alle ricerche sulla valutazione della vulnerabilità degli acquiferi e sulla mappatura e classificazione della qualità delle acque sotterranee;

gli enti operanti nel settore della gestione delle situazioni di emergenza che sono interessati ai prodotti sviluppati per la valutazione delle situazioni di rischio di contaminazione delle fonti idropotabili a seguito di incidenti e alla banca dati sui casi di inquinamento delle acque sotterranee.

Riguardo alla prima categoria si ricorda la ricaduta sulle attività istituzionali delle Autorità di Bacino soprattutto di rilevanza nazionale. Ad esempio l'autorità di Bacino del fiume Po sta utilizzando i prodotti sviluppati sulla Pianura padana, relativamente alla vulnerabilità e alla qualità di base delle acque sotterranee, quale quadro di riferimento tecnico-scientifico e come strumenti metodologici di valutazione per al predisposizione del Piano di Bacino (L. 183/89).

Per quanto afferisce alla seconda categoria, la base dati ed i prodotti modellistici hanno ottenuto ampio riconoscimento sia nella comunità degli operatori tecnici sia a livello degli organi di coordinamento della Protezione Civile (Commissione Grandi Rischi, comitati regionali etc.)

Sono state prodotte oltre 15 pubblicazioni scientifiche, contributi a convegni nazionali ed internazionali, nonché cartografie tematiche.

### **3. COLLABORATORI ALLA RICERCA**

Hanno collaborato alla ricerca nel corso del 1998:

- Giuliano Giuseppe
- Cicioni Giovanbattista
- Carone Giuseppe
- Caggiati Giuseppe
- Cavallin Angelo
- Piazza Domenico
- Zinelli Domenico

Prestininzi Alberto

### **4. BIBLIOGRAFIA**

Giuliano G., G. Carone, A. Corazza: Carta dei casi di inquinamento delle acque sotterranee utilizzate a scopo potabile. Progetto BIAS (scala 1:1.2.000.000) System Cart, Roma.

Giuliano G., Cicioni Gb., M. De Amicis, A. Cavallin: La criticità della qualità delle acque sotterranee. Sperimentazione di valutazione a scala sinottica in un grande sistema idrogeologico. IGEA-GEAM ( in corso di stampa)

G. Giuliano, A. Corazza. Lo stato di inquinamento delle acque sotterranee destinate ad uso potabile in Italia. Atti del Convegno di Gubbio sulla vulnerabilità degli acquiferi, 26.6.98

## U.O. 4.14

### **PROTEZIONE DELLE RISORSE IDRICHE SOTTERRANEE, PROBLEMATICHE DI INQUINAMENTO, VALUTAZIONE DI RISERVE STRATEGICHE**

Prof. Vincenzo Cotecchia

L'attività scientifica condotta nel triennio 1996-1998 ha riguardato sia gli acquiferi pugliesi che appenninici in particolare riferendosi alla vulnerabilità e al degrado delle dette risorse. Tale attività è stata svolta in conformità del patrimonio conoscitivo pregresso ed ha conseguito avanzamenti scientifici di rilievo.

L'attività svolta nel corso del 1996 ha risentito della cosiddetta "Emergenza Ambientale Puglia" che ha notoriamente assunto, a partire dall'anno '95, carattere di calamità nazionale, tanto da risvegliare l'attenzione dei ministeri interessati (Sanità e Ambiente in particolare), i quali hanno dato il via ad approfondimenti nella materia delle fonti inquinanti la "falda idrica profonda" della regione Puglia, operazione che per l'anno 1996 il CE.R.I.S.T. ha seguito molto da vicino, interpretando e sviluppando dati provenienti dagli accertamenti di vario ordine, idrogeologico e microbiologico, svolti su vasta scala per la soluzione dell'emergenza detta.

La tutela e la salvaguardia delle risorse idriche sotterranee presenti negli acquiferi carbonatici e carsici pugliesi rappresentano quindi il principale obiettivo degli studi che in materia di risorse idriche sotterranee il Centro ha condotto nel '96.

Le difficoltà connesse alla soluzione delle problematiche di tutela e salvaguardia derivano dal fatto che numerosi e diversi fattori di possibile degrado, legati alla forte antropizzazione del territorio (che generano inquinamento chimico e biologico delle risorse idriche sotterranee), si sovrappongono allo sfruttamento incontrollato delle risorse stesse, circostanza che determina peraltro, in acquiferi costieri, la salinizzazione delle acque dolci da parte dell'acqua marina intrusa nel continente. Gli acquiferi in questione, già di per sé hanno caratteristiche di grande complessità dal punto di vista idrogeologico, trattandosi di acquiferi fessurati, fortemente anisotropi e vulnerabili.

In relazione alle estese unità idrogeologiche pugliesi, in conseguenza dell'incremento spaventoso di prelievi di questi ultimi anni, è stato quindi dato impulso a uno studio unitario delle principali problematiche connesse alle esigenze di tutela e salvaguardia della falda idrica profonda, il cui equilibrio è molto fragile, in virtù dei rapporti che la stessa ha con l'intrusione marina nel continente e con tutte le fonti antropiche inquinanti dalla superficie. Lo sforzo di sintesi e d'integrazione delle conoscenze maturate per quanto attiene molteplici aree campione pugliesi, con studi di dettaglio e con le diverse metodologie, nel tempo sperimentate, sono progressivamente confluite in una visione unitaria, indispensabile per la definizione di strumenti cartografici, a scala d'unità idrogeologica, che rappresentino compiutamente la vulnerabilità degli acquiferi detti.

Negli studi sulle acque sotterranee atti a chiarire situazioni e modificazioni in atto, che presentano spesso situazioni di difficile interpretazione, si è reso necessario ricercare e sviluppare nuovi approcci metodologici e nel contempo approfondire quanto ad oggi già acquisito. In tale ottica il radon-222, gas radioattivo naturalmente presente nelle acque di falda, fornisce preziose indicazioni sui meccanismi che condizionano la circolazione idrica sotterranea in acquiferi carbonatici fessurati e carsici quale è quello pugliese in

particolare. Studi e indagini di laboratorio e di campagna hanno dimostrato che i quantitativi di radon-222 così rilasciati risultano strettamente correlati alla granulometria, alla superficie di contatto acqua-roccia, e all'intervallo di tempo in cui tale contatto si realizza mentre la diffusione in falda dipende principalmente dalle condizioni idrodinamiche delle acque circolanti (1). Osservazioni di cui ad esperimenti di laboratorio hanno evidenziato inoltre come i processi di dissoluzione, fattori dell'incarsimento delle rocce carbonatiche, non coinvolgono totalmente i sali di radio presenti nella roccia; per contro nei prodotti residuali si ritrovano concentrazioni variabili, anche elevate, di sali di radio in quanto legate al grado di dissoluzione raggiunto dalla roccia. Le caratteristiche radioisotopiche delle "terre rosse", largamente presenti nel "carbonatico pugliese", possono contribuire ad una maggiore comprensione dello stato di carsificazione di un ambiente carbonatico e trarre indicazioni sulla capacità di immagazzinamento e sulla mobilità naturale o indotta delle acque di falda. Con tali ricerche si è definito un particolare ciclo idroisotopico, così sintetizzabile: le acque di pioggia, defluendo sui terreni contenenti "terra rossa", si arricchiscono in radon; allorché queste acque diventano "acque di alimentazione" per la falda, veicolano in profondità il radon e, ove le condizioni geoambientali siano favorevoli, la stessa "terra rossa". Nell'acquifero le acque di falda, defluendo in fessure e cavità sotterranee, si arricchiscono sempre più di radon, in virtù del contatto più o meno esteso che realizzano con i prodotti residuali oltre che dei tempi di permanenza.

Le diverse concentrazioni in radon riscontrate sono fondamentalmente legate al fenomeno carsico e quindi alla presenza della "terra rossa" più o meno abbondante e variamente distribuita nell'acquifero con i suoi diversi contenuti in radon-222; a un maggior grado di incarsimento, grossi condotti carsici e ampie cavità, associato alla presenza di "terra rossa", corrispondono sovente importanti volumi di acque con più elevate concentrazioni in radon.

Altro argomento di particolare complessità, oggetto di specifiche indagini da parte della U.O. è stata la previsione quantitativa del flusso idrico e del trasporto di eventuale contaminante in ammassi rocciosi acquiferi sede di reti articolate di discontinuità. Tale previsione richiede la definizione di modelli fisico-matematici opportuni, che tengano conto della inerente anisotropia del mezzo e della collocazione erratica della discontinuità. Le indagini svolte sono sostanziate, da un lato, nella definizione, per un generico ammasso, dei criteri della equivalenza, dal punto di vista idraulico, fra la rete della discontinuità ed un ideale mezzo poroso, di caratteristiche confrontabili con quelle medie della rete stessa, e dall'altro, nella costruzione e messa a punto di un codice di calcolo in 2D per l'analisi del flusso in condizioni transitorie in un mezzo poroso solcato da bande discrete di maggior conduttività; a tale schema può infatti ricondursi un ammasso roccioso acquifero ove si associ al mezzo poroso il sistema della piccola e media fratturazione ed alle onde conduttive le grandi fratture dell'ammasso .

Già da tempo riconosciute di diversa età ed origine attraverso l'esame di campioni provenienti direttamente da pozzi-spia e/o profondi, le acque salate sotterranee sono state studiate anche con metodologie indirette, attraverso l'estrapolazione delle caratteristiche chimiche della componente d'acqua salata presente in miscelamento in acque salmastre campionate presso sorgenti costiere o pozzi appartenenti alle unità idrogeologiche del Gargano e della Murgia, nonché in acque rinvenute nel basamento carbonatico del Tavoliere.

Dalla comparazione delle caratteristiche chimiche delle matrici saline così riconosciute nelle acque salmastre con quelle delle acque salate direttamente campionate e

dell'acqua marina attuale, sono state evidenziate le possibili modificazioni subite a seguito di processi di interazione acqua-roccia: l'entità e la direzione dei fenomeni modificatori, evidentemente collegati ai tempi di contatto acqua-roccia e ai diversi tipi litologici, hanno suggerito, anche sulla base di alcune valutazioni dell'età assoluta al radiocarbonio, una scala di età relativa.

Sulla base della distribuzione delle acque salate sotterranee di diversa età (dall'attuale a molto antica) nell'ambito degli acquiferi, è stato così proposto un modello della circolazione regionale delle acque salate. Tale modello ipotizza che solo nelle aree più costiere la salinizzazione delle acque dolci possa essere messa in relazione ad intrusione laterale di acque marine attuali, mentre le acque salate presenti entroterra sarebbero per la maggior parte chimicamente modificate rispetto alle acque marine attuali e quindi di età diversa; in particolare, acque salate molto antiche provenienti dai sedimenti argillosi bordanti le unità carbonatiche, essendo da essi espulse per complessi fenomeni di consolidazione cui partecipano anche spinte neo-tettoniche, potrebbero raggiungere almeno quelle zone costiere delle unità carbonatiche che sono vicine ai confini idrogeologici con le contigue unità bradaniche.

Tali considerazioni comportano evidentemente una visione sufficientemente diversa rispetto a quella classica dei meccanismi di salinizzazione delle falde presenti negli acquiferi carbonatici della Murgia e del Gargano: il disturbo provocato dal sovrasfruttamento su una circolazione delle acque salate a carattere regionale potrà quindi essere valutato con nuova attenzione in relazione alla soluzione dei problemi già citati (4, 5, 6).

Il modello già proposto della circolazione idrica per l'acquifero murgiano, insieme alle valutazioni già operate relativamente all'inquinamento potenziale e reale (limitatamente al solo contenuto in  $\text{NO}_3^-$ ) per lo stesso acquifero in relazione al rilascio di scarichi dal comparto civile, sono stati alla base di alcune considerazioni proposte in merito al possibile trasferimento della contaminazione presente entroterra agli sbocchi sorgentizi costieri e quindi al mare. I dati derivanti dal campionamento delle sorgenti costiere hanno consentito di dimostrare come perlomeno l'inquinamento civile, prodotto entroterra in un acquifero quale quello murgiano, possa avere seri riflessi anche sull'ambiente costiero, dandosi che le stesse vie di flusso seguite dalle acque dolci rappresentano vie di veicolazione degli inquinanti anche a grande distanza dai luoghi di immissione.

L'attività svolta nell'anno 1997 ha riguardato essenzialmente le problematiche inerenti la protezione delle acque circolanti nell'acquifero carbonatico murgiano-salentino della Puglia, destinate sia agli usi irrigui sia agli approvvigionamenti idrico-potabili.

In particolare, è emerso che i prelievi di acque sotterranee destinati all'uso potabile sono in Puglia attualmente di circa 4.400 litri/secondo. Essi rappresentano, rispetto alla complessiva distribuzione di acqua potabile operata dall'Ente Autonomo Acquedotto Pugliese pari a circa 18.000 l/s, il 25% del totale. I carichi di inquinamento sono rappresentati sia dalla salsificazione della falda, conseguente dall'intrusione marina nel continente aggravata dagli attingimenti in atto, sia da circostanze legate allo stoccaggio generalizzato nel sottosuolo di reflui urbani inadeguatamente trattati, delle acque di vegetazione ed altri inquinanti dalla superficie.

Gran parte dei pozzi di captazione potabile trae alimentazione da un unico acquifero carbonatico, avente ovviamente caratteristiche peculiari variabili da zona a zona. Le falde circolano talora in pressione ad elevata profondità dal piano campagna, con zone di alimentazione che possono localizzarsi a notevoli distanze, come si verifica nell'Alta

Murgia; questa ultima circostanza rende assai difficile la difesa dal trasporto degli inquinanti.

In relazione alle estese unità idrogeologiche pugliesi, è stato dato dalla U.O. impulso ad uno studio unitario delle principali problematiche connesse alle esigenze di tutela e salvaguardia della falda idrica profonda, il cui equilibrio è molto fragile, proprio in virtù dei rapporti che la stessa ha con l'intrusione marina nel continente e con tutte le fonti antropiche inquinanti dalla superficie. In termini di nuove conoscenze sulle dinamiche interenti la qualità delle acque sotterranee e il degrado della stessa le maggiori novità studiate hanno riguardato il contributo alla definizione e allo studio dei dati rinvenuti dalla rete di monitoraggio idrogeologico che sta predisponendo l'Ente Irrigazione di Puglia e Lucania con fondi CEE. Si tratta di un complesso sistema, costituito da oltre 100 pozzi dotati di strumentazioni elettroniche che presto faranno riferimento ad un unico sistema informativo territoriale, in grado di rilevare le variazioni piezometriche e i parametri significativi per la qualità delle acque sotterranee, in particolare di quelle mirate alla irrigazione. (8,9)

Passando al campo degli approvvigionamenti potabili dal sottosuolo, al fine di definire le cosiddette "aree di salvaguardia" per la tutela e la protezione delle opere di captazione delle falde, gli studi intrapresi sono mirati a fornire le metodiche di indagine per le unità idrogeologiche interessate e a tarare un modello di gestione, riferito a quattro specifiche e più esposte «aree pilota», appositamente prescelte. (17)

In relazione alle attività intraprese nel 1997 per la definizione delle Aree di Salvaguardia di Corigliano, Valenzano, Galatone e Monopoli, sono state effettuate le seguenti attività:

predisposizione di cartografia informatizzata su base al 100.000, riportante i seguenti tematismi:

- a) distribuzione del contenuto in cloro-ione e altri composti chimici;
- b) morfologia della superficie piezometrica della falda;
- c) distribuzione dei valori della portate specifica unitaria;
- d) spessore dei terreni interposti tra il piano campagna e il livello statico;
- e) penetrazione in falda dei pozzi.

accertamenti in situ per la verifica dell'analisi dell'uso del territorio.

Le cartografie tematiche sono state predisposte con la finalità di realizzare un supporto di consultazione che assicurasse due essenziali caratteristiche: l'una di costituire uno strumento di sintesi dell'area di interesse, integrabile con altre informazioni a carattere idrogeologico e idraulico, l'altra di fornire informazioni dettagliate ed una localizzazione aggiornata.

Nel corso del 1997 è stata inoltre approvata dalla Comunità Europea l'Azione COST 620 "Vulnerability mapping for the protection of carbonate (karst) aquifers". Le azioni COST rappresentano un'importantissima occasione di aggregazione di studiosi di tutti i Paesi aderenti al trattato di Cooperazione Scientifica e Tecnologica, laddove è richiesto ai Paesi che aderiscono alle Azioni stesse un sostegno economico per lo sviluppo delle ricerche inerenti il tema dell'Azione.

L'EC Task Force Environment Eau nel 1996 tiene ben conto infatti che le proprietà e comportamento degli acquiferi carsici sono singolarmente complesse, onde meritano un approfondimento di ricerche ad orientamento multidisciplinare. Le peculiarità di funzionamento degli acquiferi carsici riguardano principalmente l'estrema variabilità dei rapporti tra apporti meteorici, deflussi superficiali e sotterranei, i rapporti tra volumi immagazzinati nel sistema secondario di fessurazione e volumi fluenti nei condotti carsici e variabilità spaziale delle capacità di trasporto e di rilascio differito degli inquinanti.

In ambiente carsico non è facile proporre una metodologia capace di definire l'impatto che il rilascio di inquinanti (accidentale o programmato, sulla superficie o nel sottosuolo) può avere sulla qualità delle acque carsiche in relazione alla capacità autodepurativa dell'acqua stessa, che, in molti casi, specialmente negli epikarst, è garantita solo dalla diluizione.

Sia il tema della vulnerabilità "intrinseca" degli acquiferi carsici e quindi delle conseguenti metodologie di rappresentazione per tali acquiferi del fattore di rischio antropico, che quello della "vulnerabilità specifica" (relativa ai potenziali impatti antropici sul sistema) risultano ad oggi di grande attualità. (21) La definizione stessa delle metodologie per la valutazione della vulnerabilità degli acquiferi carsici richiede una particolare attenzione ed un nuovo approccio interdisciplinare, cui appunto il CE.R.I.S.T. tende con le ricerche svolte e in corso.

Gli studi svolti nell'ambito della ricordata Azione promossa con la CEE sono motivati soprattutto dalla necessità, da parte della comunità scientifica internazionale, di standardizzare i criteri di rappresentazione del rischio indotto dalle attività umane: i parametri di base devono essere definiti quantitativamente, perché essi siano in grado di caratterizzare localmente il tipo ed il livello del rischio indotto da tutte le attività antropiche capaci di rilasciare inquinamento nell'ambiente. Così come per altri paesi, anche a livello nazionale il principale obiettivo dovrebbe essere quello di stabilire criteri più rigidi, da un punto di vista scientifico, standardizzati e quindi universalmente applicabili, in funzione del riconosciuto tipo di acquifero carsico che si considera.

Per la soluzione dei problemi coinvolti dallo sviluppo del tema, nell'anno decorso 1997 si è affrontato un lavoro preparatorio, in relazione al tema della vulnerabilità intrinseca, iniziando a definire i fattori principali e secondari necessari alla preparazione delle carte relative e tentando di determinare la generale sensibilità dei fattori stessi.

Contemporaneamente si è iniziata la preparazione del Sistema Informativo Geografico per la creazione e la gestione di banche dati finalizzate alla preparazione di carte sinottiche.

L'approccio al tema vede già definita un'area pilota nell'area delle sorgenti di Torre Canne, che rappresenta una sub-unità idrogeologica del sistema murgiano. L'area ha caratteristiche fisiche ideali per gli scopi del progetto: è inoltre area di grande interesse turistico e fortemente antropizzata da costituire interessante teatro operativo per gli studi sulla vulnerabilità specifica. Per tale area è stato completato il quadro geomorfologico da interpretazione delle coperture aerofotogrammetrica e da rilevamento di campagna ed è stata condotta una campagna di campionamento da pozzi e sorgenti costiere. I dati chimici saranno utilizzati attraverso metodologie multitraccianti nella ricostruzione delle caratteristiche della rete carsica, in questa zona molto sviluppata e caratterizzata da canalizzazioni importanti: basandosi sugli stessi dati si è proceduto ad una valutazione quantitativa della velocità di progressione del fenomeno carsico.

La definizione di un corretto modello della circolazione idrica sotterranea, che identifichi le principali aree di ricarica, di deflusso e di emergenza, è condizione necessaria per giungere alla comprensione dei meccanismi con i quali avviene il trasferimento e la propagazione in falda di sostanze inquinanti rilasciate alla superficie del terreno ed i meccanismi di autodepurazione possibili in tal tipo di acquifero, con particolare riferimento alla capacità di diluizione efficace nei condotti carsici ed alla capacità di rilascio differito di sostanze inquinanti accumulate nel sistema di immagazzinamento dell'acquifero, costituito dal complesso di fessure che rendono intercomunicanti i condotti carsici. Anche sotto il profilo metodologico si è ritenuto importante dare avvio

ad una sperimentazione che si propone di individuare traccianti innovativi, geochimici ed isotopici, utili per stabilire una cronologia relativa tra le acque sotterranee circolanti in diversi livelli e direttrici preferenziali, basata sull'intensità dei fenomeni di interazione acqua - roccia, intensità strettamente dipendente dai tempi di residenza.

Durante il 1997 è stata prelevata una prima serie di campioni da pozzi e da sorgenti salmastre costiere, sui quali è stata svolta la determinazione del rapporto isotopo  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ . Tali dati, che si devono considerare come preliminari, sembrano incoraggianti per la miglior comprensione di alcuni aspetti dei meccanismi chimici che intervengono nella modificazione che l'acqua subisce dal momento della sua infiltrazione sino all'emergenza. I complessi processi tra acqua sotterranea e roccia carbonatica hanno, tra l'altro, la conseguenza di modificare il rapporto isotopo  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  dell'acqua, in maniera tanto più evidente quanto maggiore è il tempo nel quale l'acqua interagisce con la roccia e quanto più la roccia possiede stronzio intercambiabile. Tale attività prevede nell'immediato futuro la verifica della possibilità di utilizzare altri rapporti isotopici riferiti a costituenti minori, quali traccianti di processo, di percorso o genetici. Questa attività è stata svolta in collaborazione con la sezione di Geochimica del Dipartimento di Scienze della terra dell'Università di Roma «La Sapienza» (Prof. M. Barbieri).

Venendo infine alla caratterizzazione idrogeologica intrinseca dei mezzi fessurati, la U.O. del CE.RI.S.T. ha intrapreso studi sulla caratterizzazione su base statistica dei sistemi di fratture in ammassi rocciosi.

Tali studi guidano alla definizione e realizzazione di reti a fratture discrete, ovvero rappresentazioni virtuali della fratturazione, costituite da poligoni di opportuna forma geometrica, che si intersecano tra di loro a costituire un reticolo spaziale di caratteristiche simili, dal punto di vista statistico, ai reticoli reali. (11-13)

Tali reticoli virtuali sono alla base di qualunque modello geomeccanico di previsione.

Nel corso dell'anno 1998, nell'ambito della gestione e della protezione delle risorse idriche sotterranee, ospitate negli acquiferi carbonatici mesozoici, rinvenibili in Puglia e nell'Appennino meridionale, generalmente interessati da fessurazione e carsismo, specie per quelle di maggiore pregio, utilizzabili anche nel comparto potabile, sono stati affrontati studi e ricerche volti ad individuare e definire i criteri ottimali di utilizzazione e per attuare la protezione attiva e passiva delle fonti idriche pregiate. (14,15,18,19,22,23)

Sono state sviluppate attività di campo in talune aree campione di peculiare interesse, consistenti nell'individuazione dei principali centri di pericolo produttori o possibili promotori di inquinamento e sono stati eseguiti accertamenti dettagliati, prevalentemente in pozzi esistenti. Sono stati condotti carotaggi verticali multiparametrici e determinazioni della velocità di filtrazione delle acque di falda intercettate. La raccolta di dati storici stratigrafici, sulla fratturazione sugli effetti del carsismo sui caratteri idrogeologici degli acquiferi, nonché sulla natura e spessore del suolo è stata integrata e "validata" mediante dati direttamente rilevati, al fine della stesura di carte di vulnerabilità intrinseca degli acquiferi per due aree campione della Murgia e del Salento. (17)

Il ricorso sistematico in tutte le unità idrogeologiche pugliesi ai carotaggi multiparametrici, eseguiti in più di cento pozzi, ha permesso di riconoscere sia carotaggi "tipo" delle diverse e naturali situazioni idrogeologiche sia, di conseguenza, di individuare le alterazioni delle caratteristiche chimico-fisiche delle acque di falda dovute a processi di inquinamento in atto.

Le determinazioni del  $Rn^{222}$  presente nelle acque sotterranee sono state finalizzate a individuare i livelli idrici preferenziali e definire le caratteristiche di permeabilità locali dell'acquifero, in funzione anche del suo grado di fessurazione, incarsimento e in relazione anche alla presenza di " terra rossa". L'analisi della concentrazione in  $Rn^{222}$  nelle acque di falda ha fornito chiare indicazioni sullo stato di fessurazione e di incarsimento delle rocce carbonatiche e sulla presenza della "terra rossa". Si sta provvedendo a verificare se i dati così acquisiti permettono di valutare il rischio che risorse idriche sotterranee di pregio possano essere interessate da fenomeni di inquinamento.

Tutti questi elementi contribuiranno alla definizione del tipo e del grado di rischio di un'aggressione da parte degli inquinanti alla falda e come questi possano interagire con le acque di pregio individuate. Infine i dati scaturenti dalle elaborazioni condotte saranno utili ed indispensabili per una possibile successiva simulazione numerica dei processi di inquinamento e degrado.

Essendo ben noto che la qualità delle acque sotterranee degli acquiferi costieri della Murgia e del Salento è fortemente condizionata dal rischio di inquinamento salino per il richiamo di acqua salata d'intrusione marina, è stato svolto uno studio storico sulla salinità delle acque sotterranee. Allo scopo di valutare l'evoluzione del fenomeno dell'intrusione marina e del conseguente inquinamento salino, sono stati confrontati gli andamenti dell'isoalina 0,5 g/l in tre orizzonti temporali, 1981, 1989 e 1997. (20) Assunto che, in prima approssimazione, le acque con salinità pari o inferiore a tale valore non hanno subito inquinamento salino, è emerso così che, in ampie porzioni di territorio, lungo la fascia costiera adriatica e ionica, la contaminazione salina delle acque di falda idrica è oramai un fenomeno duraturo. Solo le aree più interne della Murgia ed una ristretta fascia nella porzione centrale del Salento, non risentono, almeno per ora, di tale fenomenologia. Un'ulteriore conferma della progressione della contaminazione salina, soprattutto nella penisola salentina, si ottiene osservando l'evoluzione della concentrazione del ione cloro, parametro indice della presenza d'inquinamento di natura marina, rilevato, per circa un trentennio, in diciotto pozzi. Dall'analisi dei dati rilevati, emerge come l'evoluzione del fenomeno di contaminazione marina delle acque di falda, soprattutto per il Salento, deve necessariamente essere messo in relazione al sovrasfruttamento. In tutti i pozzi comunque si registra un trend lineare positivo, in altre parole una più o meno spiccata tendenza all'incremento della salinità negli ultimi 30 anni.

## BIBLIOGRAFIA

TADOLINI T., SPIZZICO M., 1996.  $^{222}Rn$  as a powerful tool for solving hydrogeological problems in karst areas. International Symposium Groundwater discharge in the coastal zone. Russian Academy of Science, Moscow, Russia.

C. FIDELIBUS, G.BARLA, M. CRAVERO. Alternative schemes for the assessment of the equivalent continuous hydraulic properties of rock masses. EUROCK 96. Torino, 2 settembre.

C. FIDELIBUS, G.BARLA, M. CRAVERO. A mixed solution for 2d transient flow in fractures porous media. Accettato per la stampa Dicembre 96 dall'Editorial Board International Journal on Numerical and Analytical Methods in Geomechanics.

FIDELIBUS M.D., TULIPANO L. Regional flow of intruding sea water in the carbonate aquifers of Apulia (Southern Italy), presentata al 14° SWIM tenutosi a Malmo (Svezia).

- FIDELIBUS M.D., TULIPANO L. Regional flow of intruding sea water in the carbonate aquifers of Apulia (Southern Italy). Proc. of 14th Salt Water Intrusion Meeting, Malmö (Sweden), 1996, in Rapport och meddelanden. n. 87, Geological Survey of Sweden, Uppsala, 1996.
- TULIPANO L., FIDELIBUS M.D. Multitracing approach for the identification of main hydrogeological pathways feeding coastal springs of a karstic aquifer. in R.W. Buddemeier (Ed). Groundwater Discharges to the Coastal Zone. Proceedings of an International Symposium. LOICZ (Land - Ocean Interaction in the Coastal Zone). Moscow (Russia), IOICZ Report & Studies no. 8, 1996, pp. 113.121.
- COTECCHIA V. (1996). Relazione riguardante le possibilità di smaltimento nel sottosuolo degli effluenti degli impianti di depurazione di reflui civili della regione Puglia. Prefettura di Bari, Emergenza ambientale Puglia, rapporto inedito.
- COTECCHIA V., POLEMIO M. (1997). L'inquinamento salino e la salvaguardia delle acque sotterranee pugliesi mediante il monitoraggio idrogeologico continuo. Dimensione Ricerca, Area di Ricerca CNR, Bari.
- COTECCHIA V., POLEMIO M. (1997). Salinization and pollution of main Apulian aquifers (southern Italy). Int. Conf. on "Water management, salinity and pollution control towards sustainable irrigation in the Mediterranean region", CIHEAM, Ist. Agronomico Mediterraneo, Valenzano (Bari), Italy.
- TULIPANO L. (1997). Il controllo della salinizzazione dei pozzi. Convegno di studi "L'acqua: una risorsa per il Meridione". Bari-Fiera del Levante (in corso di stampa).
- FIDELIBUS C., BARLA G., CRAVERO M. (1997). A mixed solution for two-dimensional unsteady flow in fractured porous media. International Journal Numerical and Analytical Methods in Geomechanics.
- BARLA G., CRAVERO M., C. FIDELIBUS (1997). Parametri sintetici del comportamento idraulico di un mezzo poroelastico equivalente ad un sistema di fratture. Riunione del Gruppo Nazionale per il coordinamento degli studi di ingegneria geotecnica del CNR, Attività di Ricerca 95-96, Roma.
- BARLA G., CRAVERO M., C. FIDELIBUS (1997). Characterization aspects of hydrologic parameters for groundwater flow analysis with continuous models of jointed rocks. Da sottoporre allo Editorial Board di Int. J. of Rock Mechanics, Min. Sci. and Geom. Abstracts.
- POLEMIO M., L. ROMANAZZI (1998). *Numerical simulation of groundwater protection works against industrial waste dump*. In stampa su Bulletin of Engineering Geology, IAEG.
- COTECCHIA V., POLEMIO M. (1998). *The hydrogeological survey of Apulian groundwater (Southern Italy): salinization, pollution and over-abstraction*. Proc. Int. Conf. on «Hydrology in a changing environment», British Hydrological Society, Exeter, 6-10 July, 1998 United Kingdom, John Wiley & Sons, II, 129-136.
- POLEMIO M., G. D'ECCLESII, SDAO F. (1998). *Le sorgenti dell'alta valle del F. Agri (Italia meridionale): caratteri idrogeologici e idrochimici*. Pubbl. GNDICI n. 1838, Acque sotterranee, GEO-GRAPH, Segrate (MI), 1998, XV, Settembre, 9-16.
- COTECCHIA V., DAURÙ M., LIMONI P., POLEMIO M., SPIZZICO M., TADOLINI T. (1998). *Il controllo idro-chimico-fisico della falda idrica carbonatica murgiano-salentina (Puglia)*. Pubbl. GNDICI n. 1861, Conv. "Acque sotterranee, risorsa invisibile", Giornata mondiale dell'acqua, ICID, CNR, Roma, 23 marzo 1998.
- COTECCHIA V., POLEMIO M. (1998). *Apulian groundwater (Southern Italy) salt pollution monitoring network*. 15<sup>th</sup> Salt Water Intrusion Meeting, Ghent, Belgium, 1998.

- POLEMIO M., MITOLO D. (1998). *L'uso dei traccianti nello studio delle acque sotterranee ed esperienze relative alla Puglia*. Acque Sotterranee, GEO-GRAPH, Segrate (MI), 1998, XV, Dicembre, 9-25.
- POLEMIO M., LIMONI P.P. (1998). *L'evoluzione dell'inquinamento salino delle acque sotterranee della Murgia e del Salento*. Atti del VI Conv. Naz. dei Giovani Ricercatori in Geologia Applicata, Ottobre 1998, Chieti, in stampa su Mem. della Società Geologica.
- POLEMIO M., MITOLO D. (1998). *La vulnerabilità dell'acquifero della piana costiera di Metaponto*. Conv. «Il rischio idrogeologico e la difesa del suolo», Accademia Nazionale dei Lincei, Roma, 1998.
- POLEMIO M., MITOLO D. (1998). *Metodologie di studio delle acque sotterranee ed esperienze scientifiche maturate in Puglia*. Rapp. Tecn. Int., CNR CERIST n. 57, 1-68, 1998.
- POLEMIO M. (1998). *Degradation risk owing to contamination and overdraft for Apulian groundwater resources (southern Italy)*. UNESCO-IHP scientific meeting "Water resources management in a vulnerable environment for sustainable development", Commissione Italiana per il Programma Idrologico Internazionale, Perugia, Nov. 23-25, 1998.
- Dershowitz W., Fidelibus C., Boundary element method calculation of pipe features for a fracture network, EUROBEM II, 2<sup>nd</sup> European Boundary Element Method Symposium, 19-21 May 98, Southampton, UK, 55-66
- M. Cravero, C. Fidelibus, Modelli previsionali del flusso negli ammassi rocciosi fratturati, *Atti del 6° Ciclo di Conferenze di Meccanica ed Ingegneria delle Rocce*, Torino, 25-26 Novembre 98
- Cravero M., Fidelibus C., A code for scaled flow simulations on generated fracture networks, *Computer and Geosciences*, 25(2), pp. 191-95, 1999
- Dershowitz W., Fidelibus C., Derivation of equivalent pipe network analogues for 3D discrete fracture networks by the boundary element method, accettato per la stampa su *Water Resources Research*
- Barla G., Cravero M., Fidelibus C., Assessment of the hydrological parameters for groundwater flow analysis by the continuum equivalent approach, sottoposto al giudizio dello Editorial Board di *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*
- Dershowitz W., Doe T., Shuttle D., Lee G., Foxford T., Cladouhoos T., Fidelibus C., PNC ZJ 1579-98-001, report to PNC Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation, Tokyo, Japan, Discrete Fracture Network Code Development, Heisei-9 Progress Report, Golder Associates Inc, Redmond, WA, 1998

## COLLABORATORI ALLA RICERCA

Hanno collaborato alla ricerca nel corso del 1998:

- Cotecchia Vincenzo
- Trizzino Rosamaria
- Daurù Marcellino
- Tadolini Tiziano
- Pagliarulo Rosa
- Spizzico Michele
- Dragone Mario
- Sciannamblo Donato
- Di Prima Antonio
- Tulipano Luigi

- Polemio Maurizio
- Cursoli Annabella
- Fidelibus Maria Dolores
- Amantonico Natale
- Corposanto Anna

U.O. 4.15N

## **DEFINIZIONE DI UNA PROCEDURA IDONEA AD INDIVIDUARE A SCALA REGIONALE AREE A RISCHIO DI INQUINAMENTO DA PESTICIDI E SVILUPPO DI INDICI PARAMETRICI VALUTATIVI PER DIFFERENZIARE L'IMPATTO AMBIENTALE DERIVANTE DAL DIVERSO USO DEL SUOLO AL FINE DI OTTENERE STRUMENTI DA IMPLEMENTARE NEL MODELLO SINTACS.**

Prof. Attilio A.M. Del Re<sup>13</sup>

### **1. INTRODUZIONE**

Il progetto rientra nella linea di ricerca 4 (Responsabile Prof. M. Civita) *Valutazione della vulnerabilità degli acquiferi*. In particolare la nostra unità operativa ha svolto attività di ricerca applicata alla valutazione e alla previsione degli inquinamenti derivanti da attività agricole. Le ricerche effettuate vogliono essere complemento degli degli obiettivi dell'intera linea di ricerca.

### **2. DESCRIZIONE DELLE RICERCHE EFFETTUATE NELL'AMBITO DEL PROGETTO**

#### *a - Vulnerabilità e rischio degli acquiferi da pesticidi nella Provincia di Modena.*

Sono stati applicati i fattori di attenuazione (LQ) del suolo alla vulnerabilità intrinseca degli acquiferi all'inquinamento da pesticidi nella Pianura della Provincia di Modena. La metodologia già validata per la Provincia di Piacenza è stata integrata alle carte di vulnerabilità degli acquiferi già prodotte dalla unità operativa diretta dal dott Zavatti. Da tale combinazione e utilizzando un sistema a punteggio si sono delimitate nuove aree vulnerabili all'inquinamento da pesticidi (mappe in scala 1:25000).

Questo lavoro è frutto di una collaborazione tra le unità operative 4.8 e 4.15.

#### *b - Vulnerabilità intrinseca del suolo all'inquinamento da pesticidi nella Lomellina nord settentrionale*

L'area geografica oggetto di indagine è la Lomellina, un'area campione di 90000 ha, coltivata a riso. Le caratteristiche idrologiche e pedologiche, associate alla peculiarità delle pratiche agricole legate alla coltivazione del riso, ne fanno una zona particolarmente vulnerabile all'inquinamento da agrochimici. All'interno dell'area sono state identificate e raccolte le fonti di dati disponibili (clima, pedologia, idrologia,

---

<sup>13</sup> Istituto di Chimica Agraria ed Ambientale Università Cattolica del Sacro Cuore, via Emilia Parmense 84, 29100 Piacenza

idrografia, base di dati sui residui di fitofarmaci ricavati da monitoraggio e prove sperimentali, statistiche sugli usi e tipi di prodotti fitosanitari, uso agricolo del suolo) e, partendo da una scala di Unità di mappa del suolo (Soil Map Unit, SMU: polipeton) estesa poi a scala regionale (Soil Landscape Unit, SLU: unità di paesaggio del suolo), per ogni SMU sono stati applicati modelli quantitativi per stimare i residui di prodotti fitosanitari che raggiungono l'acqua di falda o che permangono nel suolo in seguito alle normali pratiche agricole.

Le proprietà del suolo sono state derivate dagli orizzonti funzionali del tipo di terreno di ogni SMU mentre i valori di input mancanti sono stati stimati utilizzando funzioni di pedotrasferimento. La bontà delle simulazioni del modello è stata valutata mediante indici statistici e comparando i dati di residui di prodotti fitosanitari, misurati in prove di monitoraggio, con quelli simulati.

Dalla sovrapposizione delle concentrazioni di residui simulate, con i dati d'uso del suolo, sono state prodotte mappe provvisorie di vulnerabilità del suolo e di rischio da inquinamento da fitofarmaci a scala 1:25000.

#### [c - Nuove conoscenze e trasferimento/divulgazione dei risultati](#)

Le principali innovazioni nel campo della chimica ambientale e delle sue applicazioni sono state discusse durante i lavori di tre giorni di convegno internazionale organizzato dalla unità operativa con la collaborazione del responsabile della linea di ricerca n.4 Prof Massimo Civita. Le sessioni principali hanno riguardato: gli studi e risultati della ricerca sui processi di base che regolano la dinamica degli inquinanti nell'aria, nel suolo, e negli acquiferi; i livelli di contaminazione negli stessi comparti ambientali; i sistemi modellistici, i loro usi e loro applicazioni secondo normativa; i risultati dei progetti di ricerca della DGXII sulle tematiche ambientali. La raccolta di 80 memoria è riportata in un volume di atti.

#### [d - Applicazione di modelli deterministici per la previsione del potenziale di percolazione di antiparassitari e trattamento dei risultati in GIS](#)

Il potenziale di percolazione nei suoli della pianura piacentina di alcuni pesticidi (atrazina, metolachlor, alachlor e terbuthylazina) è stato calcolato utilizzando un sistema informativo territoriale (GIS, Geographic Information System) in combinazione con un modello matematico di simulazione.

Il modello di simulazione utilizzato è la versione modificata per i pesticidi di LEACHM (Leaching Estimation And Chemistry Model). Questo modello integra i principali processi che avvengono nel sistema suolo-pianta-atmosfera in suoli insaturi o parzialmente saturi fino alla profondità di 2 m. Il profilo del suolo è diviso in segmenti orizzontali di uguale spessore ed il periodo totale della simulazione viene suddiviso in intervalli temporali più piccoli. I flussi e le quantità d'acqua e dei soluti viene calcolata ad ogni orizzonte e ad ogni intervallo temporale. Il regime idrico ed il trasporto del soluto nel terreno vengono descritte mediante l'equazione di Richards e l'equazione di convezione-dispersione (CDE) rispettivamente. Le simulazioni effettuate da LEACHM considerano inoltre gli effetti della degradazione, della volatilizzazione e della traslocazione nelle piante. LEACHM è un modello che è stato ampiamente utilizzato in diverse applicazioni

L'organizzazione, la gestione e l'analisi dei dati territoriali e delle banche dati è stata realizzata mediante il GIS ArcView. La mappa digitalizzata dei suoli della pianura in provincia di Piacenza in scala 1:50000 è stata combinata con i valori analitici di 4674 campioni di suolo. Il risultato di questa sovrapposizione ha portato all'individuazione di 21

tipi di suolo rappresentati da 81 poligoni, per i quali sono disponibili 3307 analisi chimico-fisiche per i primi 30-40 cm. di profondità. Sono state selezionate 4 stazioni meteorologiche per rappresentare le diverse condizioni climatologiche della pianura piacentina. Nelle simulazioni con LEACHP sono stati utilizzati dati giornalieri di temperatura minima e massima, precipitazione e numero di giorni piovosi per il periodo 1992-1996. I valori di evapotraspirazione, richiesti dal modello, sono stati stimati con l'equazione di Linacre. Poichè non era disponibile una carta digitalizzata di uso del suolo, in tutte le simulazioni è stata considerata come unica copertura presente in tutta l'area la coltura di mais. I dati colturali (semina, emergenza, raccolta, etc.), periodo e quantità di pesticida distribuito e profondità di interrimento, date e quantità d'acqua fornita come irrigazione, sono state mantenute uguali in tutte le simulazioni e rispecchiano le tipiche pratiche agronomiche dell'area studio. Sono stati considerati anche i dati georeferenziati di profondità di falda richiesti come input dal modello. Utilizzando la tecnica di interpolazione IDW di ArcView sono state realizzate le seguenti cartografie (scala 1:50000): distribuzione della sostanza organica, sabbia, limo, argilla e pH, precipitazione totale annuale, temperatura media annuale e profondità di falda. ArcView ha consentito, inoltre, di calcolare i valori medi dei caratteri chimico-fisici di ogni tipo di suolo e contenuti nella banca dati dei suoli. In questo modo è stato possibile individuare 20 profili rappresentativi per ciascun tipo di suolo e per i quali sono state eseguite le simulazioni con LEACHP. Per quanto riguarda le caratteristiche chimico-fisiche degli orizzonti sottostanti i 30 cm di profondità sono stati utilizzati i dati dei profili descrittivi del tipo di suolo contenuti nel "Catalogo regionale dei tipi di suolo: pianura emiliano-romagnola".

I risultati definitivi e le conclusioni che emergono da questo studio sono in fase di pubblicazione.

#### [e -Definizione di indici di pericolo delle attività agricole](#)

E' stata messa a punto una metodologia per la valutazione del pericolo di contaminazione delle acque sotterranee da attività agricole utilizzando un approccio di tipo parametrico basato sulla definizione degli indici di pericolo potenziale (IPA). Vengono distinte due categorie di fattori che concorrono alla definizione degli IPA: i fattori di pericolo (FP) ed i fattori di controllo (FC). I fattori di pericolo rappresentano tutte le attività agricole che generano o possono generare un impatto sulle acque sotterranee (utilizzo di fertilizzanti organici e minerali, pesticidi e fitofarmaci, spargimento di liquami zootecnici, di letame, reflui di industria alimentare e fanghi di origine urbana). Ad ogni classe di uso del suolo viene attribuito un valore di FP tenendo conto delle modalità di inquinamento, dell'intensità dell'inquinamento sia per quantità immessa, sia per durata temporale, infine della probabilità che avvenga il fenomeno di inquinamento per fertilizzanti e/o ammendanti e pesticidi. La soggettività di queste misure ed eventuali errori di stima sono attenuati dalla successiva suddivisione in ampie classi di punteggio, in una scala da 0 a 5. I fattori di controllo (FC) sono legati essenzialmente alle caratteristiche del sito: localizzazione geografica, pendenza, pratiche agronomiche adottate e irrigazione. Gli FC possono aumentare o diminuire il pericolo rispetto alle condizioni normali di riferimento e devono essere calcolati di volta in volta dall'operatore. Moltiplicando tra loro i fattori di pericolosità e di controllo si calcolano, infine, gli indici di pericolosità ambientale, i quali vengono a loro volta parametrizzati in una scala da 1 a 10. L'attività di organizzazione, elaborazione e sovrapposizione dei diversi tematismi territoriali è stata realizzata mediante Arc View GIS. L'approccio presentato è stato applicato alla provincia di Cremona, per la quale è stata costruita una mappa di pericolo di contaminazione delle acque sotterranee da attività agricole; dai risultati è emerso che

il pericolo nella pianura cremonese è in quasi tutto il territorio molto basso.

Gli indici di pericolosità sono quindi calcolabili per tutte le classi di suolo presenti in una area e quando sovrapposti alla mappa di vulnerabilità permettono di costruire la mappa di rischio potenziale dell'area stessa.

### 3. RISULTATI RAGGIUNTI

Le ricerche effettuate e riportate nel paragrafo 2 hanno permesso l'elaborazione di cartografie tematiche e di pubblicazioni. Sono state pubblicate 3 monografie di cui una internazionale e un indice su supporto informatico.

### 4. ALTRE RICERCHE EFFETTUATE

Il nostro gruppo ha stipulato convenzioni con l'Amministrazione Provinciale di Cremona e di Piacenza per l'applicazione delle metodologie sviluppate. L'attività di ricerca svolta ha trovato anche supporto da altri progetti di ricerca commissionati dalla Commissione Europea (DGXII, DGVI).

### 5. COLLABORATORI ALLA RICERCA

Hanno collaborato alla ricerca nel corso del triennio:

Prof Marco Trevisan  
Dr Ettore Capri  
Dott Giuseppe Errera  
Dott Laura Padovani

### 6. BIBLIOGRAFIA

*Marco Trevisan, Laura Padovani, Giuseppe Errera, Ettore Capri, Attilio A.M. Del Re* (1998). Indici di pericolosità delle attività agricole per il calcolo del rischio di inquinamento delle acque sotterranee a scala regionale. Giornata Mondiale dell'acqua, Roma 23/3/98. Pubblica.n° 1869 GNDCI-CNR.

*Marco Trevisan, Laura Padovani, Ettore Capri* (1998). Valutazione del pericolo potenziale d'inquinamento delle falde da attività agricole nella Provincia di Cremona. In: *Impatto Ambientale di metalli pesanti ed elementi in tracce. Quaderni di tecniche di protezione ambientale, Suolo e Rifiuti n° 65.* Pitagora Editrice, Bologna. *In stampa.*

*Marco Trevisan, Laura Padovani, Ettore Capri* (1999). Pericolo di contaminazione delle acque sotterranee da attività agricole: definizione degli indici di pericolo ambientale. Pubblica.n° 1937 GNDCI-CNR.

## U.O. 4.16

# CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE E VULNERABILITÀ ALL'INQUINAMENTO DEGLI ACQUIFERI NELLA SICILIA CENTRALE

Prof. Vincenzo Ferrara<sup>14</sup>

## 1. OBIETTIVO DELLA RICERCA

L'attività di ricerca condotta nel triennio 1996-1998 è consistita nella caratterizzazione idrogeologica e nella definizione della vulnerabilità degli acquiferi del settore centro-orientale della Sicilia, comprendente la Piana di Catania ed il territorio della provincia di Enna.

In particolare, nell'anno 1996 sono stati ottenuti i seguenti risultati:

Stampa della "Carta della vulnerabilità all'inquinamento degli acquiferi dell'Area Peloritana (Sicilia NE)" alla scala 1:50.000;

Preparazione del volume contenente le note illustrative;

Completamento dello studio idrogeologico con definizione delle caratteristiche di vulnerabilità intrinseca degli acquiferi della Piana di Catania e impostazione della relativa carta;

Inquadramento delle caratteristiche idrogeologiche di un settore del territorio della provincia di Enna (Sicilia centrale);

Individuazione di aree dell'Etna e dei Peloritani favorevoli per la captazione o la realizzazione di sistemi per razionalizzare i prelievi di acque sotterranee da utilizzare nei casi di crisi idrica per siccità o per inquinamento delle fonti di approvvigionamento idropotabile.

Nell'anno 1997 sono stati ottenuti i seguenti risultati:

Stesura definitiva della "Carta della vulnerabilità all'inquinamento dell'acquifero alluvionale della Piana di Catania (Sicilia NE)" alla scala 1:50.000;

Studio degli acquiferi sabbioso-calcarenitici della zona meridionale della provincia di Enna e della relativa vulnerabilità, con definizione della geometria, delle caratteristiche idrodinamiche e della qualità di base delle acque. Le condizioni di pericolosità connesse all'esistenza di centri di pericolo integrano l'aspetto della vulnerabilità delle falde individuate nella loro estensione e potenzialità;

Analisi di cinque strutture idrogeologiche dell'area vulcanica etnea per lo studio di fattibilità di opere di captazione alternative per approvvigionamento idropotabile degli abitati in condizioni di emergenza determinate da calamità naturali o da attività antropiche.

Nell'anno 1998 sono stati ottenuti i seguenti risultati:

Stampa della "Carta della vulnerabilità all'inquinamento dell'acquifero alluvionale della Piana di Catania (Sicilia NE)" alla scala 1:50.000;

Studio idrogeologico e di vulnerabilità degli acquiferi della zona centro-settentrionale della provincia di Enna, a completamento del quadro di questo territorio della Sicilia centrale;

Definizione delle caratteristiche geometriche e idrodinamiche degli acquiferi, dell'estensione e potenzialità delle falde, della qualità di base delle acque, delle condizioni di vulnerabilità e dell'incidenza dei produttori di inquinamento;

---

<sup>14</sup> CSEI-CATANIA, via Cifali 27, 95123 Catania

Impostazione della carta di vulnerabilità integrata alla scala 1:50.000;  
Definizione delle modalità di captazione delle acque sotterranee di una struttura del versante nord-orientale dell'Etna, di particolare importanza per l'approvvigionamento idropotabile delle città di Messina e di Catania, da utilizzare nei casi di emergenza.

## 2. COLLABORATORI ALLA RICERCA

Hanno collaborato alla ricerca nel corso del 1998:

- Ferrara Vincenzo
- Amantia Andrea
- Barbagallo Matteo
- Bivona Carmelo
- Cubito Antonino
- Sciacca Anna Stefania

## 3. BIBLIOGRAFIA

FERRARA V., PENNISI A. e SCIACCA S. (1995) - *Valutazione del rischio di inquinamento delle acque sotterranee da discariche non controllate di RSU: i casi delle discariche di Catania e di Acireale*. 2° Conv. Naz. sulla Protezione e Gestione delle Acque Sotterranee: metodologie, tecnologie e obiettivi, Nonantola (Modena) 17-19 maggio 1995, - Quaderni di Geologia Applicata, 1, (2), 479-488, Suppl. 1 dei Quaderni di Tecniche di Protezione Ambientale, Pitagora Ed., Bologna.

AMANTIA A., BARBAGALLO M., BIVONA C., FERRARA V., PENNISI A. (1995) - *Carta della vulnerabilità all'inquinamento dell'area peloritana (Sicilia NE)*. 2° Conv. Naz. sulla Protezione e Gestione delle Acque Sotterranee: metodologie, tecnologie e obiettivi, Nonantola (Modena) 17-19 maggio 1995, - Quaderni di Geologia Applicata, 1, (3), 217-220, Suppl. 1 dei Quaderni di Tecniche di Protezione Ambientale, Pitagora Ed., Bologna.

FERRARA V. (1996) - *Carta della vulnerabilità all'inquinamento degli acquiferi dell'area peloritana (Sicilia NE) alla scala 1:50.000*. C.N.R. - Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche, S.EL.CA. - Firenze.

FERRARA V. (1998) - *Carta della vulnerabilità all'inquinamento dell'acquifero alluvionale della Piana di Catania (Sicilia NE) alla scala 1:50.000*. C.N.R. - Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche, S.EL.CA. - Firenze.

## U.O. 4.17

# VULNERABILITÀ DEL SETTORE NORD-OCCIDENTALE IBLEO

Prof. Aurelio Aureli<sup>15</sup>

## 1. OBIETTIVO DELLA RICERCA

Con i fondi dell'esercizio finanziario 1996, l'Unità Operativa 4/17 ha ottenuto, sinteticamente, i seguenti risultati:

Pubblicazione del volume "Il bacino termale di Sciacca. Idrogeologia e Vulnerabilità".

Pubblicazione della "Carta Geologica del territorio di Sciacca", scala 1:10.000.

Pubblicazione della "Carta della Vulnerabilità del Bacino Idrogeologico di Sciacca", scala 1:10.000.

Predisposizione e stampa del CD-ROM, multimediale ed informatico, sul Bacino Idrogeologico di Sciacca.

Redazione e presentazione sia a stampa tramite plotter che in database della Carta di Vulnerabilità degli acquiferi della Calabria - settore meridionale, a scala 1:50.000.

Trasmissione per la stampa della 4ª Carta di Vulnerabilità degli Iblei - settore Nord-occidentale, scala 1:50.000 (verrà distribuita verso marzo 1997).

Predisposizione per la stampa della Carta di Vulnerabilità delle Madonie, scala 1:50.000.

Redazione, circa il 75 %, della Carta Geologica del territorio della Provincia di Agrigento.

Esecuzione, al 90 %, del censimento delle sorgenti del territorio della Provincia di Agrigento.

Esecuzione, al 60 %, del censimento dei pozzi presenti in territorio della Provincia di Agrigento.

L'U.O. 4.17, con i fondi dell'esercizio finanziario del 1997, ha proseguito lo studio dell'Unità idrogeologica Sicana.

L'indagine è stata condotta su diverse direttrici:

Rilievo geologico di base a scala 1:10.000;

Censimento dei punti d'acqua – ne sono stati già censiti oltre 3.500 tra pozzi e sorgenti;

Censimento dei potenziali produttori di inquinamento;

Digitalizzazione, su G.I.S. (ArcInfo) di tutti gli elementi cartografici essenziali: limiti comunali, limiti di bacino, limiti litologici, limiti colturali, acquedotti, topoi; come base sono stati utilizzati i raster delle carte topografiche a scala 1:50.000 forniti dall'I.G.M.;

Implementazione, in database appositamente predisposti (B.D.A.A.), di tutti gli elementi censiti e per i quali sono state compilate apposite schede;

Digitalizzazione di tutti gli elementi puntuali (pozzi, sorgenti, prese, punti di campionamento, produttori potenziali di inquinamento, ecc.), per ognuno di questi

---

<sup>15</sup> Università di Catania Istituto di Geologia e Geofisica, P.za Università, 95125 Catania

sono stati anche indicati i rapporti con la litologia (stratigrafia pozzi) e le caratteristiche delle acque.

Durante l'anno 1998, pur essendo pervenute le somme del finanziamento con grande ritardo per questioni di rendicontazione precedente, l'Unità Operativa ha potuto conseguire i seguenti risultati:

Ha provveduto a completare i rilevamenti sull'unità idrogeologica dei Sicani pervenendo alla individuazione dei singoli bacini idrogeologici presenti e collegando gli stessi con le sorgenti alimentate e i pozzi di sfruttamento.

A questo proposito è da segnalare la particolare importanza che l'unità idrogeologica dei Sicani riveste per tutta la Sicilia centro-meridionale. Si tratta infatti della sola fonte per l'approvvigionamento idropotabile.

Trattasi di rilievi essenzialmente carbonatici, di età dal Trias all'Oligocene, che una tettonica compressiva ha portato a luce in strutture a scaglie, a duplex, a falda di ricoprimento, mantenendo, spesso, sul loro dorso il ricoprimento argilloso originario.

Ciò limita drasticamente la superficie di alimentazione e maschera, a volte con spessori notevoli, l'estensione dell'acquifero in sotterraneo.

Per ognuno di questi bacini è stato impiantato il bilancio pluriennale basato sulla metodologia "AURELI, 1983".

La scarsità di perforazioni profonde, in questo settore della Sicilia, condiziona non poco le possibilità di valutare le risorse idriche immagazzinate a lenta o lentissima circolazione. Si sta tentando, comunque, di ottenere questo risultato.

Si è anche completato il censimento delle discariche sul lato settentrionale dei Sicani (Provincia di Palermo).

Il problema dell'inquinamento prodotto dalle discariche incontrollate si è rivelato tragico per la assoluta mancanza di controlli, che solo ora iniziano a essere praticati.

Particolare interesse ha rivestito il censimento delle discariche dismesse la cui esistenza è spesso negata, nell'evidente tentativo di scarico di responsabilità.

Per quanto riguarda i pozzi, il rilievo eseguito in loco ne ha evidenziato oltre 6000. Il riscontrato abusivismo fa però presumere che molti altri siano sfuggiti al censimento. Anche le autodenunce previste dalla legge Galli non coprono che in parte l'entità reale del fenomeno.

Per l'insieme dei bacini che interessano il versante meridionale dei Sicani si sono realizzate, su base cartacea e su GIS, la carta litologica, la carta idrogeologica, la carta dei bacini, la carta idrografica, la carta dei pozzi e delle sorgenti, la carta degli acquedotti e degli invasi e si sta compilando la carta dei potenziali inquinanti.

E' da ricordare che questo lavoro riguarda la superficie di n.16 fogli a scala 1:50.000 della Carta d'Italia, e che per essere affrontato, ha richiesto il diverso rilevamento, per ogni tematismo, di ben 47 tavolette a scala 1:25.000.

Oltre quanto sopra descritto, a continuazione del lavoro svolto negli anni precedenti, l'Unità Operativa ha completato due indagini, in collaborazione con i dottorandi del Dottorato di Ricerca, che fanno parte dello staff.

Le due ricerche vertono sulla regione Iblea, quella stessa che l'Unità Operativa ha fatto oggetto delle quattro carte di vulnerabilità dalla stessa pubblicate.

La prima ricerca ha portato alla ricostruzione tridimensionale dell'intera unità idrogeologica, individuandone i singoli bacini idrogeologici e consentendo di valutare di questi il cubaggio e i volumi di immagazzinamento.

Circa 1700 stratigrafie sono state raccolte, interpretate, armonizzate, georeferenziate e collegate tramite GIS.

Un particolare aspetto dell'indagine è stato quello dell'interpretazione dell'entità dei rigetti del complesso sistema di faglie che interessa la regione, e la valutazione dell'influenza che dette faglie hanno nei rapporti tra gli acquiferi posti ai vari livelli.

La seconda ricerca ha avuto come oggetto il fenomeno carsogenico.

E' stato possibile valutare, con sufficiente attendibilità, l'entità e lo sviluppo della carsogenesi nei diversi termini calcarei presenti nell'area, risalire a datazioni approssimative dell'origine del fenomeno e prevederne l'evoluzione.

Resta evidente che si ignorano le caratteristiche climatiche verificatesi dal Pliocene ad oggi ma si è iniziato a intravedere un metodo di indagine che forse aiuterà ad ottenere risultati anche su questo aspetto.

## 2. COLLABORATORI ALLA RICERCA

Hanno collaborato alla ricerca nel corso del triennio 1996-1998:

- Aureli Aurelio
- Adorni Grazia
- Sciuto Lanfranco
- Pistorio Giuseppe
- Fazio Franco
- Silluzio Carmela
- Di Cara Antonino
- Cusimano Gioacchino
- Romano Michele
- Algeri Mario
- Caruso Carmelo

## 3. BIBLIOGRAFIA

Adorni G., Esempio di rappresentazione cartografica degli elementi geologici e geomorfologici cui possono essere associate condizioni di pericolosità nel corso dei terremoti (versante tirrenico dei M.ti Peloritani compreso tra C. Calavà e S.P. Patti Siciliano) (Pubbl. n. 1138 GNDCI)

Aureli A., Alcuni esempi di variazioni di livello piezometrico come precursori di fenomeni sismici, Atti 2° Convegno di Geoidrologia, 1993 (Pubbl. n. 1139 GNDCI)

Adorni G., Valutazione dell'infiltrazione efficace nell'alimentazione degli acquiferi del settore nord orientale Ibleo, Atti 2° Convegno Int. di Geoidrologia, 1993 (Pubbl. n. 1140 GNDCI)

## U.O. 4.18

# VULNERABILITÀ DEGLI ACQUIFERI DELLA PIANURA DI PISA

Prof. Panichi Costanzo<sup>16</sup>

## 1. ZONA DI STUDIO

La pianura di Pisa, cioè l'area compresa tra il fiume Era ad Est, le colline pisane-livornesi (direttrice Ponsacco-Collesalvetti-Livorno) a Sud ed il fiume Serchio a Nord.

## 2. PREMESSA

Durante gli anni 1996-1997, sono stati effettuati nell'ambito di un Progetto Coordinato del Comitato 05, campionamenti ed analisi ripetute delle acque dell'Arno, dei principali affluenti e di alcuni pozzi presenti nella parte centrale della pianura pisana. Queste hanno portato ad una prima valutazione delle caratteristiche idrodinamiche della zona e alla individuazione della presenza di elementi inquinanti trasportati dalle acque superficiali.

## 3. OBIETTIVI

L'obiettivo della ricerca è quello di perseguire il completamento del quadro descrittivo delle acque superficiali con lo studio del Bacino del fiume Serchio, attiguo a quello dell'Arno, e la valutazione dei meccanismi di interazione tra le acque superficiali e quelle degli acquiferi limitrofi, allo scopo di i) individuare e distinguere i differenti contributi idrici a questi ultimi, ii) valutare i potenziali apporti antropici ed iii) individuare e descrivere le principali fonti puntuali ed areali di inquinamento.

## 4. ATTIVITA' SVOLTA

Durante il 1998 sono stati effettuati:

1) una indagine conoscitiva mirata all'ampliamento della rete di monitoraggio dei pozzi della pianura di Pisa, allo scopo di completare l'area in studio, che nelle campagne precedenti era limitata ai pozzi freatici presenti nelle zone immediatamente adiacenti all'Arno nell'area urbana di Pisa. È stato eseguito il campionamento di 15 pozzi situati fra il Monte Pisano a Nord, le Colline pisano-livornesi a Sud, la via Emilia a Ovest e la direttrice Cascina-Cenaia a Est. Questi pozzi hanno profondità comprese fra 40 e 60 m ed erogano da acquiferi prevalentemente clastici costituiti da ghiaie, che possono ricevere contributi sia dai margini Nord e Sud dell'area, sia da circolazioni sotterranee provenienti dalla pianura dell'Arno.

La composizione isotopica delle acque di questi pozzi risulta compresa tra quella delle piogge che cadono a Pisa, l'acqua dell'Arno e l'acqua termale dei Monti Pisani (terme di San Giuliano). Le interazioni che possono intercorrere tra le tre potenziali alimentazioni

---

<sup>16</sup> IIRG – CNR, P.zza Solferino, 2 - 56100Pisa.

non sono facilmente distinguibili nel diagramma di Figura 1, che riporta i dati del campionamento di settembre 98. Successivi campionamenti saranno d'estrema utilità per la definizione, oltre che per la riconferma, dell'entità del mescolamento.

Anche la composizione chimica degli elementi maggiori disciolti nelle acque dei pozzi mostrano correlazioni positive tra TDS e soluti, come il Cl, Na, Mg Ca e HCO<sub>3</sub>, che sembrano indicare l'esistenza di fenomeni di mescolamento che sono responsabili di diluizioni e di aumenti di salinità delle acque dei pozzi a seguito del prevalere degli apporti meteorici (acque dolci) o di quelli delle acque termali e/o delle acque dell'Arno interessate dal cuneo salino (acque salate).

2) E' stata valutata l'entità e la forma del cuneo salino alla foce dell'Arno utilizzando una serie di campioni di acqua raccolti su numerosi profili verticali che hanno interessato gli ultimi 25 km del fiume.

Poiché l'acqua del mare è caratterizzata da elevate concentrazioni di Cl e da elevati contenuti in <sup>18</sup>O ed in <sup>2</sup>H rispetto a quella del fiume, l'utilizzazione di questi parametri geochimici (a carattere essenzialmente conservativo) si sono rivelati molto utili nella descrizione dell'interazione che esisteva nel fiume nel mese di settembre.

Nel mese di settembre le acque marine sono penetrate fino a 30 Km a monte della foce. Gli effetti sono molto evidenti sulla composizione chimica ed isotopica delle acque di fondo, mentre tende ad attenuarsi fino ad annullarsi nelle acque di superficie ad una distanza inferiore ai 20 km dal mare.

La conoscenza delle forme del cuneo, della sua capacità di penetrazione nelle varie stagioni, e quindi delle variazioni delle caratteristiche chimiche ed isotopiche che queste impartiscono alle acque dell'Arno rappresenta un fatto determinante per lo studio delle interazioni tra fiume e falda con metodologie geochimiche basate sulla misura di opportuni parametri chimico-isotopici.

Infatti le acque dell'Arno risultano fortemente "tracciate" dall'acqua di mare sia in termini di contenuto in Cl che in isotopi pesanti, al punto che eventuali infiltrazioni verso la falda possono essere più facilmente evidenziate nelle vicinanze della città di Pisa piuttosto che nelle zone più a monte. Analogamente, eventuali anomalie riscontrate negli andamenti regolari del cuneo salino, come quelli mostrati in Figg. 2 e 3, possono essere attribuite a fenomeni di diluizione verificatisi nelle acque dell'Arno a causa di apporti locali di acque dolci di falda.

3) E' stato inoltre effettuato un primo campionamento, in condizioni di magra, del fiume Serchio e dei suoi principali affluenti; sono stati raccolti 15 campioni (11 lungo l'asta fluviale principale e 4 lungo gli affluenti, subito prima della loro confluenza nel Serchio), dei quali sono state eseguite le analisi chimiche degli elementi maggiori e la determinazione della composizione isotopica dell'idrogeno e dell'ossigeno.

## 5. COLLABORATORI ALLA RICERCA

Hanno collaborato alla ricerca nel corso del 1998:

- Giorgia La Ruffa
- Silvia Rossi
- Liu' Bellucci

- Enrico Calvi
- Claudio Corsi
- Enrica Gherardi

## 6. BIBLIOGRAFIA

Adorni Braccesi A., Bellucci L., Panichi C., La Ruffa G., Podda F., Conecci G., Dinelli E., Bencini A. & Gimenez Forcada E. (1998). The Arno River catchment Basin, Italy: chemical and isotopic composition of waters. In: Proceedings del WRI-9, New Zealand, 1998.

Cortecci G., Dinelli E., Lucchini F., Fanfani L., La Ruffa G., Podda F., Bencini A., Gimenez Forcada & Adorni Braccesi A. (1998). Geochemistry of the Arno River, Italy: natural and anthropogenic contributions. In: Proceedings del WRI-9, New Zealand, 1998.

Grassi S. & Rossi S. (1997). Il cloro delle acque sotterranee della pianura di Pisa. Atti Soc. Tosc. Sci. Nat., Mem., Serie A. 103: 1-8.

La Ruffa G. and Panichi C. (1998) Hydrological Regime and Water Resources Assessment in the Arno River Basin (Italy). UNESCO-IHP Scientific Meeting. Perugia 23-25 Nov

## U.O. 4.20U

# RICERCA E DINAMICA DELL'INQUINAMENTO NELL'ACQUIFERO ALLUVIONALE DEL VALDARNO SUPERIORE E MEDIO, ED INDAGINE SULLE RISORSE IDRICHE SOSTITUTIVE E DI EMERGENZA

Prof. Paolo Canuti<sup>17</sup>

## 1. PREMESSA

L'unità operativa svolge attualmente la propria attività nei programmi speciali di ricerca: ISRA, RIAS.

## 2. OBIETTIVI

### Programma speciale ISRA

ATTIVITA' DI RICERCA 1: valutazione della vulnerabilità e del rischio di inquinamento degli acquiferi nell'area del Valdarno Medio (pianura di Firenze-Prato-Pistoia) tramite l'applicazione della metodologia SINTACS, e redazione della carta della Vulnerabilità;

ATTIVITA' DI RICERCA 2: valutazione della vulnerabilità e rischio di inquinamento degli acquiferi appartenenti al bacino della Val di Chiana;

ATTIVITA' DI RICERCA 3: valutazione della vulnerabilità intrinseca nella pianura di Pisa;

ATTIVITA' DI RICERCA 4: valutazione della vulnerabilità intrinseca dell'isola d'Elba;

ATTIVITA' DI RICERCA 5: sperimentazione sul flusso di inquinanti tipo NAPL e di percolati, in condizioni di fondo discarica, attraverso mezzi porosi a bassa permeabilità;

ATTIVITA' DI RICERCA 6: studio della contaminazione da diserbanti in aree vivaistiche;

ATTIVITA' DI RICERCA 7: risorse idriche e loro vulnerabilità nel Mugello.

*Programma speciale RIAS*

ATTIVITA' DI RICERCA 8: valutazione e monitoraggio di sorgenti nel valdarno medio e nella Toscana appenninica, in funzione delle relazioni tra portata e chimismo, e, in alcuni casi (Porretta T.) tra portata ed attività sismica.

## 3. RISULTATI CONSEGUITI

### Programma speciale ISRA:

ATTIVITA' DI RICERCA 1: Sono state realizzate le schede SINTACS (circa 2000) per la caratterizzazione della zona non satura della pianura del Medio Valdarno, è stata redatta la carta tessiturale del suolo. Sono state censite le attività a rischio di

---

<sup>17</sup> Dipartimento di Scienze della Terra, via G. La Pira 4, 50121 Firenze

inquinamento nella pianura Firenze -Prato-Pistoia, ed è stato completato ed integrato da quello relativo al censimento dei centri di pericolo si può considerare così completato. Nel territorio comunale di Carmignano, in collaborazione con l'ARPAT di Prato è stata ideata una metodologia per la valutazione della sensibilità all'inquinamento delle acque sia superficiali che sotterranee.

ATTIVITA' DI RICERCA 2: è stata realizzata, anche se non ancora pubblicata, la carta della vulnerabilità intrinseca all'inquinamento del primo acquifero alluvionale della Val di Chiana Senese ed Aretina, assieme alla carta della distribuzione in falda dei composti azotati ed a quella dei centri di pericolo (aziende suinicole).

ATTIVITA' DI RICERCA 3: Sono state ultimate le elaborazioni per la realizzazione della vulnerabilità intrinseca nella pianura di Pisa; la elaborazione è stata effettuata indipendentemente, per i due acquiferi, quello freatico prevalentemente sabbioso e quello confinato prevalentemente ghiaioso.

ATTIVITA' DI RICERCA 4: È stata realizzata la carta della vulnerabilità integrata dell'Isola d'Elba. Alla carta della vulnerabilità intrinseca sono stati aggiunti due elaborati: la carta dei bacini idrogeologici e la carta dell'importanza degli acquiferi; la combinazione delle tre carte ha portato alla redazione della carta della vulnerabilità integrata.

ATTIVITA' DI RICERCA 5: Sono stati pubblicati i risultati sperimentali sul flusso di tensioattivi e di NAPL attraverso mezzi porosi a bassa permeabilità come pure quella sullo sversamento di percolati di discariche entro vasconi contenenti terra costipata.

ATTIVITA' DI RICERCA 6: è stata completata e sono stati pubblicati i primi risultati della ricerca avente per oggetto l'applicazione di principi attivi diserbanti in una parcella sperimentale posta entro un'area vivaistica nella pianura di Pistoia. Sempre nella stessa area è iniziata la campagna di monitoraggio del suolo e delle acque per verificare l'andamento dell'infiltrazione nel sottosuolo.

ATTIVITA' DI RICERCA 7: è terminata la raccolta dati che, in parte, sono già stati elaborati da un punto di vista geostatistico per la realizzazione della carta di vulnerabilità del fondovalle del Mugello (pianura alluvionale del fiume Sieve).

## 4. BIBLIOGRAFIA

Canuti P., Gabbani G., Gargini A., Pranzini G., Vannocci P. - *Vulnerabilità ed inquinamento degli acquiferi delle pianure dell'Arno. Risorse idriche sostitutive e di emergenza del Valdarno Medio.*

GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DALLE CATASTROFI IDROGEOLOGICHE Linea di ricerca N.4, Valutazione della vulnerabilità degli acquiferi Rapporto 1986/1995

Focardi P., Gabbani G., Gargini A., Isolani R., Vannocci P. (1998) - *Effectiveness of aquicludes media as hydraulic barriers in respect to DNAPLs: an experimental study.* «Groundwater Quality 1998: Remediation and Protection, Tübingen (GER), Settembre 1998, Posters, pp.7-9. pubbl. CNR-GNDICI n.1834.

Affuso A.M.G., Gabbani G., Gargini A. – *Indagini sperimentali nel bacino dell'Arno sui processi di ricarica e trasporto di soluti attraverso la zona non satura*. VI Convegno Nazionale dei Giovani Ricercatori di Geologia Applicata, Chieti, Ottobre 1998.

Affuso A.M.G., Boni F., Gabbani G., Gargini A. - *Herbicides Transport Experimentation And Modelling In The Unsaturated Zone For Groundwater Risk Assessment*. Presentato al XI SYMPOSIUM PESTICIDE CHEMISTRY, Cremona, Settembre 1999.

## 5. COLLABORATORI ALLA RICERCA

Hanno collaborato alla ricerca nel corso del 1998:

- • Pranzini Giovanni
- • Canuti Paolo
- • Casagli Nicola
- • Bonciani Silvano
- • Vannocci Pietro
- • Agati Lario
- • Brugioni Marcello
- • Rinaldi Massimo
- • Gargini Alessandro
- • Ballerini Piero
- Masotti Luigi
- Lubello Claudio
- Landini Filippo
- Preti Federico
- Gabbani Giuliano

## U.O. 4.21N

# VULNERABILITÀ ALL'INQUINAMENTO DI ALCUNI ACQUIFERI DELL'ITALIA CENTRO-MERIDIONALE.

Prof. Pietro Bruno Celico<sup>18</sup>

## 1. OBIETTIVO DELLA RICERCA

Nel corso del triennio 1996-1998 l'Unità Operativa 4.21N ha focalizzato la sua attenzione soprattutto sulla previsione e sulla prevenzione del rischio di inquinamento degli acquiferi e delle risorse idriche sotterranee.

Più in dettaglio, ci si è soffermati innanzitutto sulla messa a punto di una metodologia di valutazione della vulnerabilità all'inquinamento degli acquiferi (DAC), tarata sulle realtà idrogeologiche dell'Italia centro-meridionale. Una metodologia che, partendo dal DRASTIC e tenendo conto di alcune soluzioni introdotte nel SINTACS, consente di valutare la vulnerabilità anche in situazioni idrogeologiche complesse. Tali elementi di complessità sono: (a) esistenza di significativi e diversificati rapporti di interazione tra corpi idrici sotterranei e superficiali; (b) presenza di più corpi idrici sotterranei sovrapposti ed interagenti; (c) esistenza di modificazioni dei naturali equilibri idrogeologici, indotte dall'intervento antropico.

Tale metodologia è stata tarata e di volta in volta affinata nel corso dell'applicazione ad una molteplicità di casi reali, nelle regioni Campania e Molise (tra i principali acquiferi studiati si ricordano: gli acquiferi carbonatici di M. Capraro, M. Taburno, M. Camposauro; gli acquiferi alluvionali-piroclastici delle piane del Sarno, del Solofrana, del Calore Irpino e di Presenzano).

Sempre nell'ambito della prevenzione dei fenomeni di inquinamento delle falde idriche, è stata messa a punto una nuova metodologia di valutazione (VIR) di quella che è stata definita "vulnerabilità all'inquinamento risultante delle risorse idriche sotterranee". Tale approccio metodologico, benché ancora suscettibile di notevoli affinamenti, consente di valutare gli effetti potenziali dell'interazione dinamica che sussiste tra falda (in movimento) e le porzioni di acquifero da essa attraversate. Essa risulta particolarmente idonea nei casi in cui gli acquiferi sono caratterizzati da un grado di vulnerabilità variabile in senso areale e nei casi in cui è necessario valutare la vulnerabilità di falde profonde, localmente sormontate da un livello impermeabile. In questi ultimi casi, gli approcci tradizionali fornirebbero risultati di invulnerabilità, in quanto non configurati per tener conto di ciò che avviene nelle aree di alimentazione delle falde profonde. Di questo limite è stata fornita prova concreta nello studio realizzato nella porzione orientale della Piana Campana.

A completamento delle attività descritte in precedenza, ci si è soffermati sull'affinamento dei criteri di salvaguardia qualitativa delle risorse idriche sotterranee. Criteri che, soprattutto nelle realtà idrogeologiche complesse dell'Italia centro-meridionale, non possono essere ridotti a quanto contemplato nel D.P.R. 236/88. In questo senso sono stati condotti diversi studi su acquiferi carsificati dell'Abruzzo (M. Porrara), del Molise (M. Capraro) e della Campania (acquiferi del bacino del Volturno e

---

<sup>18</sup> Università degli Studi di Napoli Federico II Dip. di Geofisica e Vulcanologia, C.so Umberto I, 80138 Napoli

dell'area cilentana), allo scopo di identificare delle nuove linee guida per la definizione degli ottimali interventi di protezione. Le soluzioni messe a punto prevedono, innanzitutto, una maggiore articolazione delle aree di salvaguardia previste dal D.P.R. 236/88, in accordo con quanto suggerito da altri Autori a livello internazionale. Tuttavia, un approccio di tipo esclusivamente “statico” non è in grado di risolvere l'intero complesso di problemi propri delle aree carbonatiche dell'Appennino centro-meridionale. Sono stati perciò studiati interventi integrativi, di tipo “dinamico”, diversi da quelli già identificati, in Italia, per gli acquiferi di pianura, i quali, per motivi morfologici, non possono essere utilizzati. Le soluzioni messe a punto sono state focalizzate su articolate e versatili opere di captazione-protezione che consentano una altrettanto versatile gestione delle risorse idriche sotterranee al variare delle condizioni di alimentazione dei recapiti delle falde. Tali soluzioni sono talvolta indispensabili anche per ottenere un equilibrio tra esigenze di tutela delle risorse idriche sotterranee e necessità socio-economiche dei luoghi coinvolti. In questi casi, gli interventi dinamici messi a punto consentono di evitare che alcune aree di salvaguardia risultino “ad efficacia limitata”. Tutti i risultati ottenuti nel corso dell'attività di ricerca sin qui esposta sono stati oggetto di una mirata diffusione, non solo attraverso la pubblicazione degli stessi su riviste scientifiche. Il trasferimento di quanto ottenuto è stato perseguito anche mediante partecipazioni a convegni, sia di carattere scientifico, sia di carattere divulgativo. In quest'ultimo senso si è proceduto d'intesa con gli Enti pubblici coinvolti, di volta in volta, nelle applicazioni territoriali delle metodologie messe a punto. Inoltre, per quanto concerne i criteri di salvaguardia qualitativi delle risorse idriche sotterranee, si sottolinea che essi sono stati recepiti e fatti propri dall'Autorità di Bacino dei Fiumi Liri-Garigliano e Volturno.

## 2. COLLABORATORI ALLA RICERCA

HANNO COLLABORATO ALLA RICERCA NEL CORSO DEL 1998:

- Celico Pietro Bruno
- Valletta Mario
- Casale Manrico
- Celico Fulvio
- Di Gennaro Antonio
- Esposito Libera
- Habetswallner Federica
- Piscopo Vincenzo

## 3. BIBLIOGRAFIA

Esposito L., Piscopo V. (1997), “Groundwater flow evolution in the circumVesuvian plain (Italy)”. IAH, British Committée XXVII Congress. Nottingham, 21-27 September. In “Groundwater in the Urban Environment”, Volume I, pp.309-315. Edited by John Chilton et al..

Celico F. (1997), “La protezione degli acquiferi dall'inquinamento: aree di salvaguardia, vincoli territoriali, soluzioni complesse e interventi in scenari dinamici”. Quaderni di Geologia Applicata (in corso di stampa).

Celico F., Celico P., Fienga C., Piscopo V. (1997), “La conoscenza dell'idrodinamica sotterranea e della vulnerabilità all'inquinamento delle piane del T. Solofrana (Campania)

quale presupposto per una corretta programmazione degli interventi sul territorio". Atti del Simposio Internazionale di Ingegneria Sanitaria Ambientale (SIDISA), Ravello (SA), 7 giugno (in corso di stampa)

Esposito L. (1997), "Nuove conoscenze sulle caratteristiche idrogeochimiche della falda ad Oriente della città di Napoli (Campania)". Quaderni di Geologia Applicata (in corso di stampa).

Celico P., Esposito L., Francani V. (1997), "Le carte di flusso dei nitrati nello studio della contaminazione chimica delle acque sotterranee: l'esempio dell'acquifero di Lufrano (Campania)". Quaderni di Geologia Applicata (in corso di stampa).

Celico F., Esposito L., Piscopo V. (1997), "Le carte della vulnerabilità all'inquinamento degli acquiferi nella previsione dello stato di contaminazione antropica delle acque sotterranee". Geologica Romana (in corso di stampa).

Celico P., Esposito L., Guadagno F.M. (1997), "Sulla qualità delle acque sotterranee nell'acquifero del settore orientale della Piana Campana". Geologia Tecnica ed Ambientale.

Celico F. (1997), "Criteri di salvaguardia qualitativa e quantitativa, delle risorse idriche sotterranee". Atti del Simposio "La Georisorsa Acqua nel Bacino del Mediterraneo", Erice (TP), 2-4 ottobre (in corso di stampa).

Celico F. (1997), "Criteri di prevenzione dei fenomeni di inquinamento nei principali acquiferi dell'Abruzzo". Atti del Workshop Nazionale sulle Acque "Il ciclo dell'acqua: problemi e prospettive", Teramo, 24 ottobre (in corso di stampa).

## U.O. 4.22

# INDIVIDUAZIONE DI AREE CON RISORSE IDRICHE SOTTERRANEE SOSTITUTIVE, INTEGRATIVE E DI EMERGENZA E DEFINIZIONE DELLA VULNERABILITÀ DEGLI ACQUIFERI.

Prof. Roberto de Riso<sup>19</sup>

## 1. OBIETTIVO DELLA RICERCA

L'U.O. è stata impegnata nel triennio 96/98 in un programma di ricerca dal titolo: *Individuazione di aree con risorse idriche sotterranee sostitutive, integrative e di emergenza e definizione della vulnerabilità degli acquiferi.*

In particolare le attività si sono svolte con gli obiettivi di seguito riportati (ed indicati nelle diverse Relazioni programmatiche):

1. realizzare una *Carta della vulnerabilità integrata all'inquinamento* della falda del settore nord-occidentale del massiccio carbonatico del Matese;
2. approfondire gli studi sulla realizzazione delle Carte della vulnerabilità;
3. realizzare Carte della vulnerabilità in diversi contesti geologici;
4. avviare studi nella direzione delle *Carte del rischio di inquinamento*;
5. individuare aree con risorse idriche sotterranee da sottoporre a tutela e da utilizzare in casi di emergenza s.l.

Per quanto attiene al settore nord-occidentale del massiccio carbonatico del Matese ci si è resi conto della necessità, prima di procedere alla realizzazione della *Carta della vulnerabilità*, di approfondire le conoscenze sull'assetto idrostrutturale dell'area, interessata, prima, solo da pochi lavori ed a piccola scala. Lo studio eseguito, che attualmente è in stampa - Nota n. 9 in Bibliografia, ha confermato la presenza, nell'ambito dei rilievi di più bacini idrogeologici, i cui limiti sono stati individuati sulla scorta di diversi fattori (distribuzione delle aree sorgentizie, assetto tettonico, sviluppo del carsismo ipogeo, bilanci idrogeologici etc.). Sono stati altresì individuati fenomeni carsici, finora non segnalati in letteratura, e particolarmente significativi in quanto immediatamente a monte della grossa sorgente Ielo (450 l/s) e dell'importante zona idrominerale delle acque *Prata* e *Lete*. E' stata inoltre proposta un'ipotesi sull'origine della locale mineralizzazione delle acque ritenuta connessa alla risalita di CO<sub>2</sub> ed H<sub>2</sub>S di origine profonda ed inorganica (come indicherebbero i dati isotopici) lungo importanti direttrici tettoniche. L'influenza della tettonica sulla mineralizzazione ha trovato ulteriore conferma dal carattere molto localizzato del fenomeno. Infatti, allontanandosi dalle sorgenti *Lete* e dai pozzi vicini, la mineralizzazione si riduce notevolmente.

Attualmente è in fase di completamento la *Carta della vulnerabilità* della zona.

In relazione all'obiettivo indicato al punto **2)**, sono state condotti due studi (Note n. 2 e n. 4): il primo è un esempio di applicazione della *sensivity analysis* alla redazione di Carte della vulnerabilità; l'altro propone un confronto per una stessa area, e con l'ausilio dei GIS, tra vari metodi parametrici utilizzati per la definizione della vulnerabilità all'inquinamento degli acquiferi (AVI, GOD, DRASTIC e SINTACS). I

---

<sup>19</sup> Facoltà di Ingegneria Istituto di Geologia Applicata, P.le Tecchio, 80125 Napoli

parametri considerati da questi metodi variano tra i 2 (AVI) ed i 7 (DRASTIC, SINTACS). I risultati indicano: a) che tutti i metodi (escluso il GOD) individuano le stesse aree come aree di alta vulnerabilità, anche se con differenze nell'estensione e nel grado di vulnerabilità; b) che il SINTACS sembra il metodo che meglio descrive situazioni complesse a scala medio-grande; c) che il metodo AVI produce, almeno per la situazione studiata e quando si operi a scala regionale, risultati comparabili a quelli ottenuti con metodi più complessi.

Nel triennio considerato sono state poi allestite usando metodi parametrici 4 *Carte della vulnerabilità* in contesti geologici diversi (obiettivo 3). La Nota n. 6 presenta infatti due Carte realizzate con i metodi DRASTIC e SINTACS per ampi settori dell'edificio vulcanico del Roccamonfina. Altrettante Carte, per le quali sono stati utilizzati gli stessi metodi, sono presentate nella Nota n. 8 e riguardano la Piana alluvionale di Venafro. In ambedue i casi gli studi sulla vulnerabilità seguono un'accurata ricostruzione dell'assetto geologico ed idrogeologico delle aree.

Nella Nota n. 3 (obiettivo 4) viene presentata una delle prime applicazioni di una metodologia, di recente proposta, per la realizzazione di Carte del rischio di inquinamento delle falde. Le caratteristiche idrogeologiche dei siti (due ampi settori della Piana Campana) e la scala medio-piccola adottata per la Carta hanno richiesto alcune integrazioni e modifiche al metodo. Tra l'altro ci si è orientati a considerare come *soggetti a rischio* (SAR), non le sole captazioni ma l'intero acquifero, mentre le captazioni sono state considerate come elementi concorrenti alla stima socio economica del rischio. Tale diversa ottica ha comportato aggiustamenti alla metodologia pur senza alterarne la struttura ed il criterio di valutazione.

Per quanto attiene infine all'obiettivo 5) è stato portato a termine la ricostruzione del modello geologico dell'area sorgentizia dell'alto F. Tusciano che a breve sarà riassunta in una Nota scientifica unitamente alla caratterizzazione chimica delle scaturigini. Tutte le sorgenti presenti in destra Tusciano sono risultate legate ad un *limite di permeabilità definito* dovuto alla sovrapposizione di brecce carbonatiche (acquifero) sui depositi lacustri assai sottili della conca di Acerno (impermeabile). È stato infine realizzato uno studio a carattere regionale sulle risorse idriche sotterranee della Campania (Nota n. 7).

## 2. Bibliografia (in ordine cronologico)

1. Corniello A., de Riso R., Ducci D., Napolitano P., Guarino P., Bellucci F. (1996) - *Pollution Vulnerability Map of the Aquifer of the Eastern Part of the "Piana Campana"*. Atti HydroGIS 1996, Volume of poster papers, 76-77, Wien.
2. De Riso R., Napolitano P. (1996) - *Applicazione di una procedura di sensivity analisys alla Carta della vulnerabilità degli acquiferi della Piana Campana*. Atti V Workshop GIAST, Sansepolcro, 6/97.
3. Corniello A., Ducci D. (1997) - *La Carta del rischio di inquinamento delle risorse idriche sotterranee: un esempio in Piana Campana*. Quaderni di Tecniche di Protezione Ambientale - Quaderni di Geologia Applicata, Pitagora, 4/1, 117-131, Bologna.
4. Corniello A., Ducci D., Napolitano P. (1997) - *Comparison between Parametric Methods to Evaluate Aquifer Pollution Vulnerability Using a GIS. An example in the "Piana Campana"*. Proceedings of International Symposium on Engineering

Geology and Environment, Marinos P.G., Koukis G.C, Tsiambaos G.C. and Stoumaras G.C. Ed., Balkema, 1721-1726, Rotterdam.

5. De Falco M., de Riso R., Ducci D. (1997) - *La piovosità della Penisola sorrentina e dei M.ti Lattari in relazione all'evento del gennaio 1997*. Atti IX Congr. Naz. Geologi, Roma.
6. Alvino R., Corniello A., Ducci D. (1998) - *Aquifer pollution vulnerability in the Roccamonfina area, Southern Italy*. Proceedings of the GO'98 (Groundwater Quality: remediation and protection), IAHS Publ.n. 250, 63-67, Herbert & Kovar Ed.
7. Corniello A., de Riso R., Ducci D. (1998) - *Studi idrogeologici sulle risorse idriche sotterranee della Campania*. Atti del Conv. Naz. "Giornata mondiale dell'acqua", Roma, 10 pp., Regione Lazio.
8. Corniello A., Ducci D., Monti G.M. (1998) - *Piana di Venafro (Molise): Carta della vulnerabilità all'inquinamento*. Atti Conv. Nazionale "Il rischio idrogeologico e la difesa del suolo" (10/98), Acc. Naz. dei Lincei, Roma (*in stampa*).
9. Corniello A., Ducci D., Guarino P.M. (1999) - *I rilievi carbonatici del Matese occidentale e la Piana di Venafro: idrogeologia ed idrogeochimica*. Boll. Soc. Geol. It. (*in stampa*).

### 3COLLABORATORI ALLA RICERCA

Hanno collaborato alla ricerca nel corso del 1998:

- De Riso Roberto
- Corniello Alfonso
- Carravetta Roberto
- Ducci Daniela
- Santo Antonio
- Calcaterra Domenico
- Guarino Paolo Maria
- Napolitano Paola
- Alvino Roberta
- Iovinelli Roberto
- Budetta Paolo

## U.O. 4.23

# POTENZIALITÀ E VULNERABILITÀ DELLE RISORSE IDRICHE PRESENTI NEI PRINCIPALI ACQUIFERI DELLA BASILICATA

Prof. Damiano Grassi<sup>20</sup>

## 1. Obiettivi della ricerca.

L'attività di ricerca, condotta dai componenti dell' U.O 4.23, risulta inserita nei Progetti Speciali R.I.S.E. e V.A.Z.A.R.. afferenti alla linea di ricerca 4 “Valutazione della Vulnerabilità degli Acquiferi”.

Nell'arco temporale 1996 – 1998, tale attività di studio ha avuto i seguenti principali obiettivi:

la definizione dei caratteri idrogeologici e idrochimici e della potenzialità idrica di alcuni tra i più importanti acquiferi carbonatici e detritico – alluvionali presenti nelle aree collinari e montuose della Basilicata;

la valutazione, attraverso sistemi parametrici a punteggio e peso, della vulnerabilità intrinseca di alcuni acquiferi carbonatici lucani.

Inoltre, approfondite ricerche, tuttora in corso, sono state mirate alla definizione dei caratteri idrogeologici, di circolazione idrica e di vulnerabilità dei potenti acquiferi carbonatici facenti parte della piattaforma mesozoica appulo-garganica.

Le ricerche condotte si sono avvalse di: approfonditi studi geologici e idrogeologici di superficie; interpretazione geomorfologica di foto aeree; censimento e caratterizzazione idrogeologica delle sorgenti; campagne di misure delle caratteristiche chimico – fisiche delle acque delle sorgenti ed interpretazione dei dati; trattamento automatico dei dati; valutazione delle caratteristiche di vulnerabilità degli acquiferi investigati, utilizzando metodologie SINTACS.

La diffusione e il trasferimento dei risultati scaturiti dalle ricerche in parola sono avvenuti mediante: la pubblicazione dei medesimi risultati su riviste nazionali e locali e sugli atti di Convegni e congressi nazionali ed internazionali; la partecipazione a convegni e congressi nazionali ed internazionali, a seminari e a conferenze, nei quali si è intervenuti con comunicazioni orali o nelle sessioni Poster; la redazione di carte della vulnerabilità dei principali acquiferi studiati, a varia scala e dettaglio.

L'attività di ricerca ha riguardato alcune importanti morfostrutture lucane e pugliesi. L'attività espletata nel territorio lucano si è concretizzata nello studio degli importanti acquiferi costituiti : dal gruppo montuoso del Sirino; dai Monti di Maratea e di Lauria; dal massiccio carbonatico del M. Pollino; dai rilievi montuosi dell'Alta Valle del Fiume Agri; dalla porzione lucana della Fossa Bradanica. Per quanto concerne le ricerche svolte in Puglia, esse sono state eseguite in collaborazione con alcuni ricercatori afferenti all'Unità Operativa 4.14 (resp. Prof. Vincenzo Cotecchia) del CNR CE.R.I.S.T. di Bari. In particolare, gli studi hanno riguardato l'idrogeologia e la vulnerabilità dei potenti acquiferi carbonatici facenti parte della piattaforma mesozoica appulo-garganica.

---

<sup>20</sup> Università della Basilicata Facoltà di Ingegneria Dip. di Strutture, Geotecnica e Geologia Applicata, v.le della Tecnica 3, 85100 Potenza

Sono stati anche accertati i diversi, per caratteri fisico-chimici, tipi di acque presenti nei suddetti acquiferi.

## **2. Sintesi delle ricerche.**

Riferendoci agli obiettivi prima elencati, di seguito si riporta una sintesi delle attività di ricerca espletata dall'Unità Operativa 4.23 nel triennio 1996 – 1998.

Nell'area dei Monti di Maratea e dei Monti di Lauria, partendo dalla cospicua base di conoscenze idrogeologiche acquisite in precedenza dalla U.O. nel primo caso e procedendo preliminarmente ad uno studio idrogeologico di base nel secondo caso, si è proceduto alla valutazione della vulnerabilità intrinseca degli acquiferi, utilizzando il sistema SINTACS (rel.4). Tali studi ormai conclusi prevedono la redazione di carte idrogeologiche e di vulnerabilità intrinseca degli acquiferi, a scala 1:25.000. Inoltre, a corredo della predetta cartografia, sono state realizzate una serie di carte tematiche riguardanti i diversi parametri utilizzati nella valutazione della vulnerabilità.

Per quanto riguarda l'acquifero carbonatico di Madonna del Pollino (alta valle del Torrente Frido), gli studi sono stati volti a definire: la configurazione dell'acquifero e la sua potenzialità idrica; i caratteri idrogeologici del gruppo di sorgenti (Sorgenti del Frido) che drenano le abbondanti acque sotterranee ivi presenti; in termini preliminari, i rapporti intercorrenti fra l'acquifero di Madonna del Pollino e il più ampio sistema idrogeologico del massiccio montuoso del Pollino.

Nell'alta Valle del Fiume Agri è stato studiato l'acquifero carbonatico dei Monti Calvelluzzo e Volturino. Lo studio è stato finalizzato a definire: le caratteristiche idrogeologiche e idrochimiche di base delle numerose sorgenti che drenano le cospicue acque sotterranee ospitate dai suddetti acquiferi; le caratteristiche chimico-isotopiche delle acque medesime; il bilancio idrogeologico delle diverse strutture idrogeologiche che costituiscono l'acquifero. Sulla base dei risultati conseguiti si è, successivamente, proceduto alla valutazione della vulnerabilità intrinseca dell'acquifero. Questa è stata schematizzata in una carta della vulnerabilità intrinseca a scala operativa.

Sono stati esaminati i caratteri idrogeologici della parte lucana della Fossa Bradanica, compresa tra i Fiumi Bradano e Cavone e il Mare Jonio. Lo studio ha avuto come scopo la valutazione delle potenzialità idriche di tali acquiferi, soprattutto ai fini di una loro più razionale utilizzazione.

Per quanto riguarda il gruppo montuoso carbonatico del Sirino, già in precedenza studiato dall'U.O. sotto gli aspetti idrogeologici di base, esso è stato sottoposto a circostanziati studi mirati alla valutazione della vulnerabilità intrinseca dell'acquifero agli inquinanti. La stessa vulnerabilità è stata schematizzata su un'apposita carta, scala 1:50.000. I risultati dello studio saranno pubblicati sulla collana degli Atti del Dipartimento di Strutture, Geotecnica e Geologia Applicata all'Ingegneria dell'Università della Basilicata. Inoltre, è stato ultimato ed è in fase di stampa lo studio idrogeologico del versante meridionale del Monte Sirino, ospitante il lago omonimo. Il Lago Sirino è soggetto a ciclici fenomeni di sifonamento ai quali fanno seguito notevoli incrementi di portata delle sorgenti ubicate alla base del rilievo ospitante lo stesso lago. I variabili deflussi sorgivi contribuiscono alla instabilizzazione del versante a valle. Gli studi e le indagini hanno consentito una ricostruzione dello schema idrogeologico presente nei dintorni del Lago ed in particolare nei terreni su cui poggia il corpo idrico stesso, facendo luce sui rapporti idrogeologici esistenti tra lago e sorgenti.

## **3. COLLABORATORI ALLA RICERCA**

Hanno collaborato alla ricerca nel corso del 1998:

- Grassi Damiano
- Spilotro Giuseppe
- Sdao Francesco
- Grimaldi Salvatore
- D'Ecclesiis Giampiero

#### 4. BIBLIOGRAFIA

D'ecclesiis G., Grassi D., Grimaldi S., Polemio M., Sdao F. (1995): Carta della vulnerabilità potenziale degli acquiferi dei M.ti Volturino e Serra di Calvelluzzo (Alta Val D'Agri BASILICATA). Arti grafiche Paternoster Matera.

D'ecclesiis G., Grassi D., Grimaldi S., Polemio M., Sdao F. (1995): Potenzialità e vulnerabilità delle risorse idriche dei monti Volturino e Serra di Calvelluzzo (Alta Val d'Agri Basilicata) 2° Conv. Naz. sulla Protezione e gestione delle acque sotterranee. Modena, 17-19 maggio 1995

D'ecclesiis G. & Polemio M. (1995): Vulnerabilità degli acquiferi dei Monti di Maratea. Convegno Nazionale "Grandi Fenomeni Gravitativi Lenti nei Centri Abitati delle Regioni Alpine ed Appenniniche: Maratea, un approccio interdisciplinare per la convivenza con una secolare instabilità". Maratea, 1995

D'ecclesiis G. & Sdao F. (1995): Vulnerabilità dell'acquifero del M.te Sirino. In via di ultimazione.

### 3.CONCLUSIONI GENERALI

---

La ricerca finalizzata della Linea di Ricerca n.4 del GNDCI è proceduta regolarmente secondo quanto previsto dai Moduli Esecutivi a suo tempo stilati. Per alcune UU.OO, gli obiettivi già raggiunti ed i prodotti relativi anticipano i risultati attesi dai programmi. Sembra utile, sottolineare quanto segue:

- Alcune UU.OO. hanno praticamente concluso una ricerca di base della massima utilità pratica che fornisce i protocolli descrittivi dei diversi CDP in funzione di una loro classificazione parametrica (IPI = Indice di Pericolo di Inquinamento). Questa classificazione su base ISTAT permetterà alle Amministrazioni pubbliche una prima valutazione della pericolosità delle attività presenti sul loro territorio di competenza.
- Altre UU.OO. hanno presentato i risultati di un'analoga ricerca per le FDP (Fonti Diffuse di Inquinamento), ricerca molto più complessa e che chiama in causa competenze degli Agronomi, dei Pedologi e dei Chimici agrari.
- L'U.O. che ha la responsabilità del P.S. BIAS (4.13. IRSA Roma) ha terminato il Progetto stesso presentando una Carta degli inquinamenti su base regionale alla scala 1:1.200.000.
- Non si può non notare una discrepanza tra i risultati attesi e quelli effettivamente realizzati da alcune delle UU.OO. afferenti alla Linea, a fronte di finanziamenti non piccoli, sia sulla base annua che su quella pluriennale.
- È stato completato e distribuito il volume dedicato ai primi 10 anni di operatività della Linea 4, con un consuntivo dei risultati conseguiti in generale ed, in particolare, da ciascuna U.O.

Ancora una volta, l'estensore di questo rapporto raccomanda alla Presidenza del GNDCI-CNR di intraprendere una seria azione di deburocratizzazione della Ricerca ed una precisa regolamentazione (doveri - diritti -competenze - compensi - rendicontazione - rapporti tecnici) per quel che concerne le consulenze al DPC in caso di emergenza.

Torino, 30 Giugno 1999