

Carte di vulnerabilità all'inquinamento finalizzate al monitoraggio dei corpi idrici sotterranei. Aspetti metodologici generali e prima sperimentazione nell'area centro-settentrionale della provincia di Roma. Obiettivo, finalità e contenuto della ricerca

*Intrinsic vulnerability maps integrated with groundwater monitoring network design. Methodological proposal and first application in the north-central part of the province of Rome.
Aim and contents of the research project*

MARI G.M. (*)

RIASSUNTO - Il lavoro illustra motivazioni, contenuti, prodotti attesi, struttura organizzativa e prospettive di sviluppo di un progetto di ricerca promosso nel 2002 dal Servizio Geologico Nazionale (ora APAT, Dipartimento Difesa del Suolo - Servizio Geologico d'Italia) con l'obiettivo di approfondire la relazione tra vulnerabilità del sistema acquifero, configurazione dei carichi antropici e specificità delle azioni di monitoraggio e di realizzare carte di vulnerabilità integrate in un obiettivo di monitoraggio. Il progetto di ricerca è stato realizzato per quanto attiene agli aspetti metodologici generali e alla prima sperimentazione in una area *test* della provincia di Roma in collaborazione con l'Istituto di Ricerca sulle Acque IRSA del CNR.

La nota definisce il quadro di riferimento del progetto, costituito dalle normative vigenti, dagli studi e ricerche realizzate dal SGN in specifici ambiti territoriali, dalla attività e dai prodotti della Linea di Ricerca Valutazione della vulnerabilità degli acquiferi del GNDICI - CNR Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche.

PAROLE CHIAVE: vulnerabilità all'inquinamento, monitoraggio delle acque sotterranee, idrogeologia, acque sotterranee, cartografia tematica, provincia di Roma, Lazio, Italia.

ABSTRACT - This note describes characteristics, subjects, main stages, products and results of a research project promoted by the National Geological Survey (now APAT).

The purpose is to deepen the relations between groundwater resources intrinsic vulnerability, monitoring networks, localizations of human activities, real and potential pollution causes and to realize intrinsic vulnerability maps and monitoring actions integrated each other. The project has been carried out in cooperation with Water Research Institute (IRSA) of the National Research Council (CNR) in a test area including northern and central sector of Roma district. The legislative decree 152/99, which has promoted a new development of the knowledge on groundwater resources of the national territory, the studies and researches realized by the National Group for the Defence against Hydrogeological Disasters and by the National Geological Survey have been considered before starting.

KEY WORDS: vulnerability to contamination, groundwater monitoring networks, hydrogeology, groundwater, thematic mapping, province of Rome, Lazio Region, Italy.

1. - INTRODUZIONE

Le attività che vengono svolte nello specifico settore delle risorse idriche sotterranee debbono essere orientate a sviluppare gli aspetti conoscitivi di carattere generale, a definire le caratteristiche quantitative e qualitative dei corpi idrici sotterranei, ad approfondire le problematiche relative al monitoraggio e realizzare reti sperimentali di controllo, a valutare la vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento in relazione allo sviluppo delle attività umane e ai potenziali rischi di contaminazione.

In questo ambito grande rilievo hanno assunto le disposizioni normative, in particolare il Decreto legislativo 152/99, in relazione alla possibilità di promuovere una nuova fase di sviluppo delle conoscenze sulle risorse idriche sotterranee del territorio nazionale, sulla base di un complesso di attività finalizzate alla definizione dello stato ambientale delle risorse idriche sotterranee attraverso la identificazione degli acquiferi, la definizione di modelli concettuali idrogeologici e il monitoraggio delle caratteristiche quantitative e qualitative.

La complessità delle attività suggerisce di sviluppare ricerche e studi relativi a specifici tematismi, per sperimentare in aree campione criteri e metodologie trasferibili in altri contesti con caratteristiche geologiche, idrogeologiche e ambientali confrontabili, e di mantenere per quanto possibile un approccio unitario sulle problematiche delle risorse idriche sotterranee, in modo da fornire gli elementi tecnico-scientifici e gli strumenti di base per una corretta gestione e tutela.

2. - IL QUADRO DI RIFERIMENTO E GLI STUDI PRECEDENTI

Il quadro di riferimento del PROGETTO CARTE DI VULNERABILITÀ ALL'INQUINAMENTO FINALIZZATE AL MONITORAGGIO DEI CORPI IDRICI SOTTERRANEI promosso nel 2002 dal Servizio Geologico Nazionale (ora APAT) è rappresentato dalle disposizioni normative, in particolare il D.Lgs. 152/99, dalle attività e dai prodotti del Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI) del CNR, dalle sperimentazioni e dai lavori realizzati dal Servizio Geologico Nazionale.

Il GNDCI del CNR ha dedicato al tematismo vulnerabilità all'inquinamento delle acque sotterranee una specifica Linea di Ricerca (VAZAR Vulnerabilità Acquiferi Zone ad Alto Rischio) che a partire dal 1985 ha prodotto una notevole quantità di studi, indagini e cartografie a scala regiona-

le e operativa, riferiti a aree campione del territorio nazionale caratterizzate dalla presenza di sistemi idrogeologici e strutture acquifere di rilevante interesse e elevato rischio di inquinamento (AAVV. 1990, 1995, 1999; BARROCU, 1998; CIVITA 1990a,b; CIVITA 1994; CIVITA & DE MAIO 2002).

Le carte di vulnerabilità realizzate fino al 2002 sono evidenziate in figura 1. Il contenuto innovativo delle cartografie prodotte dal GNDCI ha contribuito a far diventare le carte di vulnerabilità un documento fondamentale per gli studi di pianificazione dell'uso del territorio e di tutela dei corpi idrici sotterranei dall'inquinamento.

Le ricerche e le sperimentazioni effettuate dal Servizio Geologico Nazionale sono state orientate a definire le caratteristiche dei corpi idrici sotterranei, approfondire le problematiche relative al monitoraggio delle acque sotterranee e realizzare reti sperimentali di controllo, valutare la vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento, verificare la applicabilità della "Guida al rilevamento e alla rappresentazione della Carta Idrogeologica d'Italia a scala 1:50.000" (Quaderno SGN, n° 5, Serie III, IPZS, Roma, 1995).

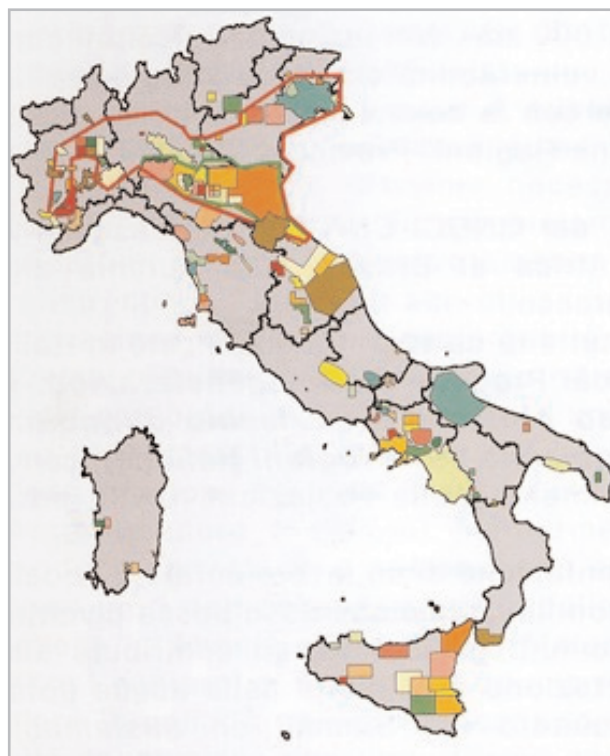


Fig. 1 - Da : Atlante delle carte di vulnerabilità delle regioni italiane - Compendio delle cartografie realizzate dal GNDCI - CNR Linea di Ricerca 4 "Valutazione della vulnerabilità degli acquiferi" - Responsabile CIVITA M. 1985 - 2002 - a cura di CIVITA M. & DE MAIO M. (2002).
- Atlas of intrinsic vulnerability maps of Italian regions - Maps realized by National Group for the Defence against Hydrogeological Disasters, Research Line Aquifer vulnerability evaluation - CIVITA M. & DE MAIO M. (2002).

Con riferimento ai temi qui affrontati - vulnerabilità naturale e monitoraggio delle caratteristiche quantitative e qualitative delle risorse idriche sotterranee - è possibile ricondurre le ricerche realizzate a tre diverse tipologie.

- Studi sviluppati a scala regionale e sovragionale (1:250.000, 1:500.000) con l'obiettivo di definire la vulnerabilità naturale dei sistemi acquiferi utilizzando differenti metodologie di valutazione, a partire da un unico schema idrogeologico concettuale di riferimento. Le informazioni di carattere idrogeologico, le condizioni piezometriche, la soggiacenza della falda, rappresentano alcuni dei parametri presi in considerazione per le valutazioni di vulnerabilità, che identificano l'obiettivo principale degli studi.

A questa tipologia è riconducibile la RICERCA SULLA VULNERABILITÀ NATURALE E SUL RISCHIO DI INQUINAMENTO DELLE ACQUE SOTTERRANEE NELLA PIANURA PADANA E VENETO FRIULANA (1990-1998), promossa dall'Istituto di Ricerca sulle Acque (IRSA) del CNR e dal Servizio Geologico Nazionale e realizzata in collaborazione con Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e del Territorio - Università degli Studi di Milano; Centro di Studio per la Geodinamica Alpina e Quaternaria - CNR di Milano e con i contributi scientifici di Politecnico di Torino, Politecnico di Milano, Università di Modena, Presidio Multizonale di Prevenzione ASL di Modena, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato (IPZS).

La ricerca ha esplorato il percorso metodologico della costruzione di cartografie a valenza regionale della vulnerabilità, utilizzando metodologie di valutazione diverse (DRASTIC con differenti configurazioni di parametri e pesi, SINTACS, CNR-GNDICI a scala regionale), valutato la loro possibilità di applicazione a un sistema idrogeologico complesso caratterizzato da un forte impatto antropico e sperimentato l'impiego di metodologie informatiche nelle varie fasi (GIULIANO, 1996).

Le cartografie prodotte a scala 1:1.000.000, presentate nella Giornata di studio "Cartografia della vulnerabilità degli acquiferi: dagli studi conoscitivi alla applicazione normativa" realizzata a Milano nel 1996 (IRSA, 1996) si riferiscono agli aspetti della vulnerabilità naturale (carta idrogeologica regionale, tessiture dei depositi superficiali, infiltrabilità, tessitura del non saturo, vulnerabilità della falda libera metodo DRASTIC normale, vulnerabilità della falda libera metodo DRASTIC agricolo, vulnerabilità dell'acquifero principale metodo CNR-GNDICI modificato a scala regionale) e agli aspetti delle pressioni antro-

piche e dei carichi inquinanti (carta dell'uso del suolo, pressione antropica - comparto urbano industriale, pressione antropica - comparto agro-zootecnico, inquinanti potenziali - carico di azoto, inquinanti potenziali - indice di inquinamento da azoto, approvvigionamento potabile da acque sotterranee - principali centri di prelievo, contaminazioni delle acque sotterranee - nitrati).

I principali risultati per quanto attiene alla utilizzazione di differenti metodologie di valutazione della vulnerabilità, insieme alla Carta della infiltrabilità regionale, alla Carta Idrogeologica regionale e alla Carta della vulnerabilità regionale degli acquiferi con falda libera, realizzate a scala 1:500.000, sono stati pubblicati in Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia volume LVI (GIULIANO *et alii*, 1998).

Per la valutazione della vulnerabilità sono stati utilizzati sia sistemi parametrici sia la metodologia proposta dal CNR-GNDICI.

I sistemi parametrici SINTACS (CIVITA, 1994) e DRASTIC (ALLER *et alii*, 1985) forniscono una classificazione sulla base di parametri (soggiacenza della falda, ricarica naturale del sistema, litologia del saturo, caratteri primari del suolo, topografia, litologia del non saturo, conducibilità idraulica dell'acquifero) che direttamente condizionano la evoluzione di un fenomeno di contaminazione delle acque sotterranee.

La metodologia proposta dal CNR-GNDICI (CNR, 1990) è basata sulla valutazione della vulnerabilità per aree omogenee in funzione dell'assetto idrogeologico e di un ristretto numero di parametri di base. Nell'area di studio la metodologia è stata adattata per consentirne una applicazione a scala regionale e sono stati utilizzati come parametri di base la soggiacenza, la tessitura del non saturo, la infiltrabilità e le tessiture superficiali.

La elaborazione di riferimento è costituita dalla Carta della vulnerabilità regionale degli acquiferi con falda libera realizzata utilizzando DRASTIC normale, con valori di vulnerabilità espressi in termini percentuali su 10 classi (fig. 2). Le altre rappresentazioni cartografiche utilizzano DRASTIC agricolo, DRASTIC normale a 5 parametri, DRASTIC agricolo a 6 parametri, DRASTIC normale con pesi variati (GIULIANO *et alii*, 1998).

I sistemi parametrici si riferiscono essenzialmente agli acquiferi con falda libera o semi confinata. La metodologia proposta dal CNR-GNDICI permette invece di considerare l'acquifero principale, cioè quello utilizzato, che può presentarsi libero, semiconfinato o confinato in relazione alla struttura del sottosuolo presente in specifici ambiti territoriali.

Il confronto tra le carte di vulnerabilità otte-

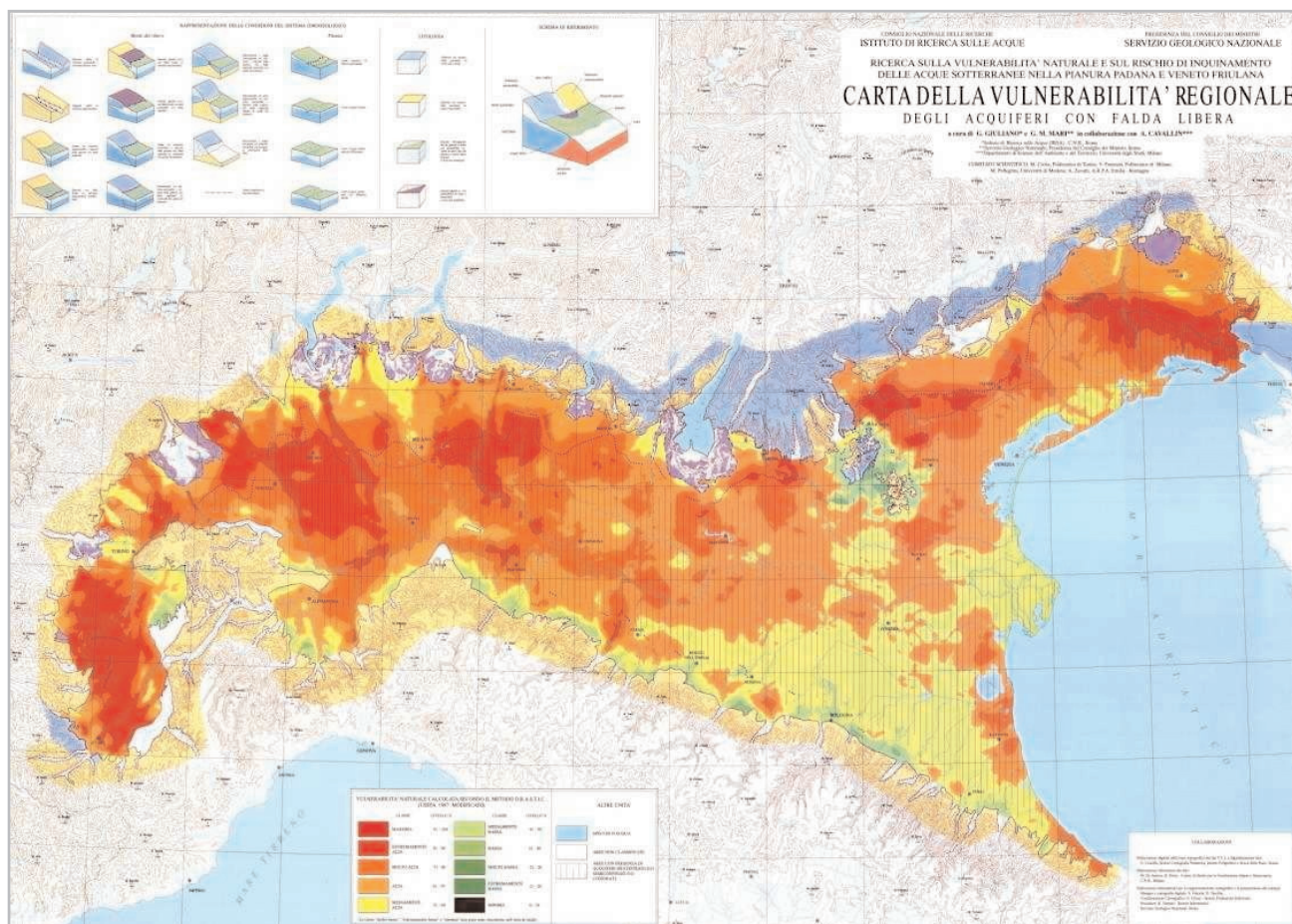


Fig. 2 - Carta della vulnerabilità regionale degli acquiferi con falda libera (GIULIANO *et alii*, 1998).
 - Regional unconfined (water-table) aquifer vulnerability map (GIULIANO *et alii*, 1998).

nute con i metodi DRASTIC e SINTACS è possibile su tutto l'areale di studio; il confronto tra le mappature di vulnerabilità ottenute con il metodo CNR-GNDCI e quelli parametrici può essere eseguito solo dove l'acquifero si presenta non confinato o semi confinato (60% circa dell'area di studio).

La ricerca ha evidenziato che, dove il modello concettuale di acquifero utilizzato è lo stesso, l'analisi della distribuzione dei gradi di vulnerabilità mantiene una sostanziale analogia. I risultati ottenuti utilizzando differenti metodologie - DRASTIC, SINTACS, CNR-GNDCI - sono molto simili e i rapporti reciproci tra le aree ad alto grado di vulnerabilità e quelle a basso grado di vulnerabilità rimangono pressochè invariati.

- Studi sviluppati a scala operativa (1:25.000) attraverso fasi diverse di lavoro, differenziate in termini temporali, orientate ciascuna a un obiettivo specifico e a un prodotto cartografico. Rientra in questa tipologia la RICERCA SULLA VULNERABI-

LITÀ NATURALE E SUL RISCHIO DI INQUINAMENTO DELLE ACQUE SOTTERRANEE NELLE VALLI DELL'AGNO-GUÀ E DEL CHIAMPO E NELLA ANTISTANTE PIANURA (M. Lessini orientali - Vicenza).

La prima fase della ricerca, promossa dalla Regione del Veneto, è stata finalizzata a definire le caratteristiche litostratigrafiche e idrogeologiche (ANTONELLI *et alii*, 1993), predisporre reti di monitoraggio per ciascuno degli acquiferi individuati, eseguire rilievi piezometrici e misure di portata in specifiche sezioni dei corsi d'acqua, definire il deflusso sotterraneo.

Nella seconda fase, sviluppata in collaborazione con il Servizio Geologico Nazionale e con il Dipartimento di Geologia, Paleontologia e Geofisica della Università degli Studi di Padova, sono state realizzate una carta di vulnerabilità dei corpi idrici sotterranei (ANTONELLI & MARI 1993) in figura 3, e una carta della distribuzione degli insediamenti produttivi e dell'uso del suolo e del sottosuolo (ANTONELLI *et alii*, 1996), entrambe a scala 1:25.000.

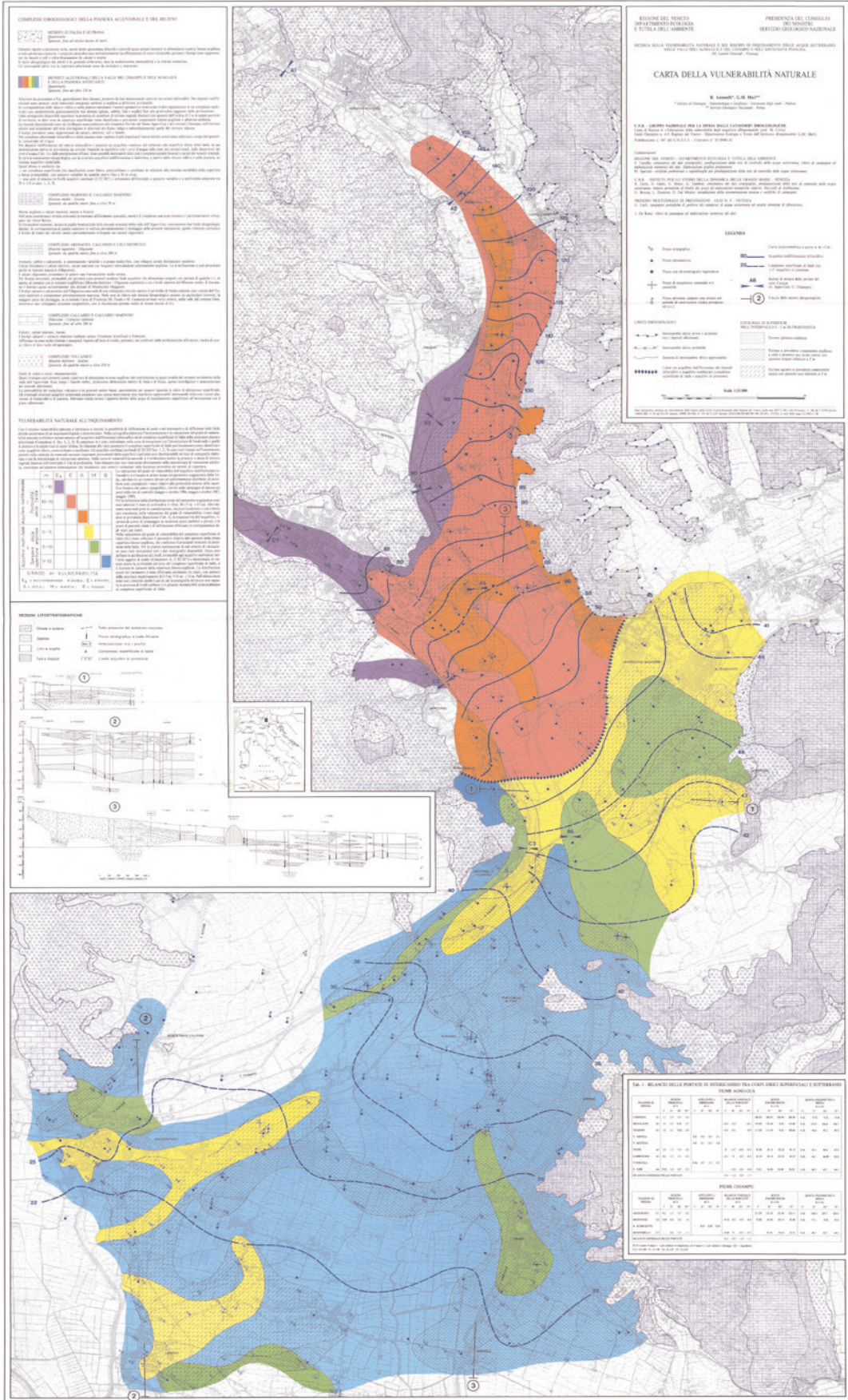


Fig. 3 - Carta della vulnerabilità naturale (ANTONELLI & MARI, 1993) - *Intrinsic vulnerability map* (ANTONELLI & MARI, 1993)

Nell'ultima fase della ricerca le analisi chimiche effettuate dal 1987 al 1989 dal Presidio Multizonale di Prevenzione di Vicenza in corrispondenza della rete completa di campionamento (204 punti) e i dati relativi ad una campagna effettuata nel 1994 su una rete ridotta (65 punti) sono stati utilizzati per verificare l'evoluzione qualitativa delle acque sotterranee, e confrontare griglie di dati diverse in termini di capacità di identificazione e descrizione dei fenomeni di contaminazione in specifici settori dell'area oggetto di studio (ANTONELLI & MARI, 2003).

Le rappresentazioni cartografiche (carte di isoconcentrazione e carte di isovariazione) si riferiscono ai parametri di interesse (durezza totale, conducibilità, cloruri, nitrati, solfati, composti organo-alogenati totali, cromo totale) e sono state effettuate per ciascuna delle idrostrutture presenti nell'area (complesso acquifero indifferenziato e acquiferi semiconfinati; sistema multifalde in pressione).

Il dettaglio dello studio, realizzato a scale 1:10.000 e 1:5.000 per specifiche attività (censimento dei punti d'acqua e censimento delle attività produttive) e la scala di pubblicazione (1:25.000) ne evidenziano le possibili utilizzazioni operative nell'ambito della gestione delle risorse idriche sotterranee e della pianificazione e uso del suolo e del sottosuolo.

- Studi sviluppati a scala regionale e con finalità operative (1:100.000) con l'obiettivo di organizzare, sulla base del modello idrogeologico concettuale, delle utilizzazioni delle risorse idriche sotterranee e delle caratteristiche del contesto territoriale, una rete sperimentale di controllo degli acquiferi per la ricostruzione dei campi di flusso.

A questa tipologia è riconducibile il PROGETTO DI RIORGANIZZAZIONE DELLA RETE DI MONITORAGGIO DEI CORPI IDRICI SOTTERRANEI NEL TERRITORIO DI COMPETENZA DELL'UFFICIO COMPARTIMENTALE IDROGRAFICO E MAREOGRAFICO DI VENEZIA, promosso dal Servizio Geologico Nazionale nel 1996.

L'area di studio - bacini sfocianti sul litorale alto adriatico a nord del Po e il tratto costiero tra il confine nazionale e Porto Levante, incluse le superfici lagunari venete - è caratterizzata da una elevata complessità idrogeologica (acquifero indifferenziato nell'alta pianura compresa tra i rilievi collinari e il limite settentrionale della fascia delle risorgive; complesso superficiale di falde e acquiferi sovrapposti in pressione nella media e bassa pianura), dalla prevalente utilizza-

zione idropotabile delle risorse idriche sotterranee e da una rilevante concentrazione di insediamenti urbani e attività civili, industriali, agricole e zootecniche.

La ricerca, concentrata a partire dal 1996 in una area campione delimitata da fiume Tagliamento, rilievi prealpini, rilievi Berico - Euganei, fiume Bacchiglione e linea di costa, ha realizzato il censimento degli studi idrogeologici, delle reti di controllo delle acque sotterranee e dei dati relativi all'approvvigionamento idropotabile, e utilizzato i dati litostratigrafici e idrogeologici delle nuove perforazioni (legge n. 464/84) (MARI *et alii*, 1999, 2000).

Nell'intervallo 1999 - 2001, nel settore di pianura compreso tra il Livenza a E e il Laverda e il Bacchiglione a O, in collaborazione con il Dipartimento di Geologia, Paleontologia e Geofisica della Università degli Studi di Padova, sono stati sviluppati gli aspetti metodologici connessi con la realizzazione di "osservatori" idrogeologici differenziati in funzione delle unità acquifere, approfondite le conoscenze sull'assetto idrostrutturale e realizzate nuove campagne piezometriche. Un esempio di elaborazione dei dati e di ricostruzione dei deflussi sotterranei è evidenziato nella figura 4.

L'utilizzazione di metodi geostatistici ha consentito di ridurre i punti di controllo e ottimizzare la rete per il complesso acquifero indifferenziato dell'alta pianura e per la I^a unità acquifera in pressione (ANTONELLI *et alii*, 2001) della media e bassa pianura.

In un momento successivo il progetto di ricerca è stato esteso ad altre aree campione e nel 2002-2004 un ulteriore segmento di rete sperimentale di controllo quantitativo delle acque sotterranee è stato realizzato in collaborazione con il Dipartimento di Georisorse e Territorio della Università degli Studi di Udine nella bassa pianura friulana in provincia di Udine (MARI *et alii*, in stampa).

In entrambi i contesti territoriali le ricerche si sono sviluppate attraverso specifiche fasi, secondo una metodologia consolidata: ricostruzione del modello litostratigrafico e idrogeologico, definizione delle utilizzazioni prevalenti delle risorse idriche sotterranee, rete preliminare, controlli e misure di campagna, proposta di rete di controllo quantitativo per la ricostruzione del deflusso sotterraneo.

Le ricerche hanno raggiunto, sia pure con livello di definizione e di dettaglio diversi, l'obiettivo di identificare reti di controllo per ciascuna delle unità acquifere libere o in pressione prese in considerazione.

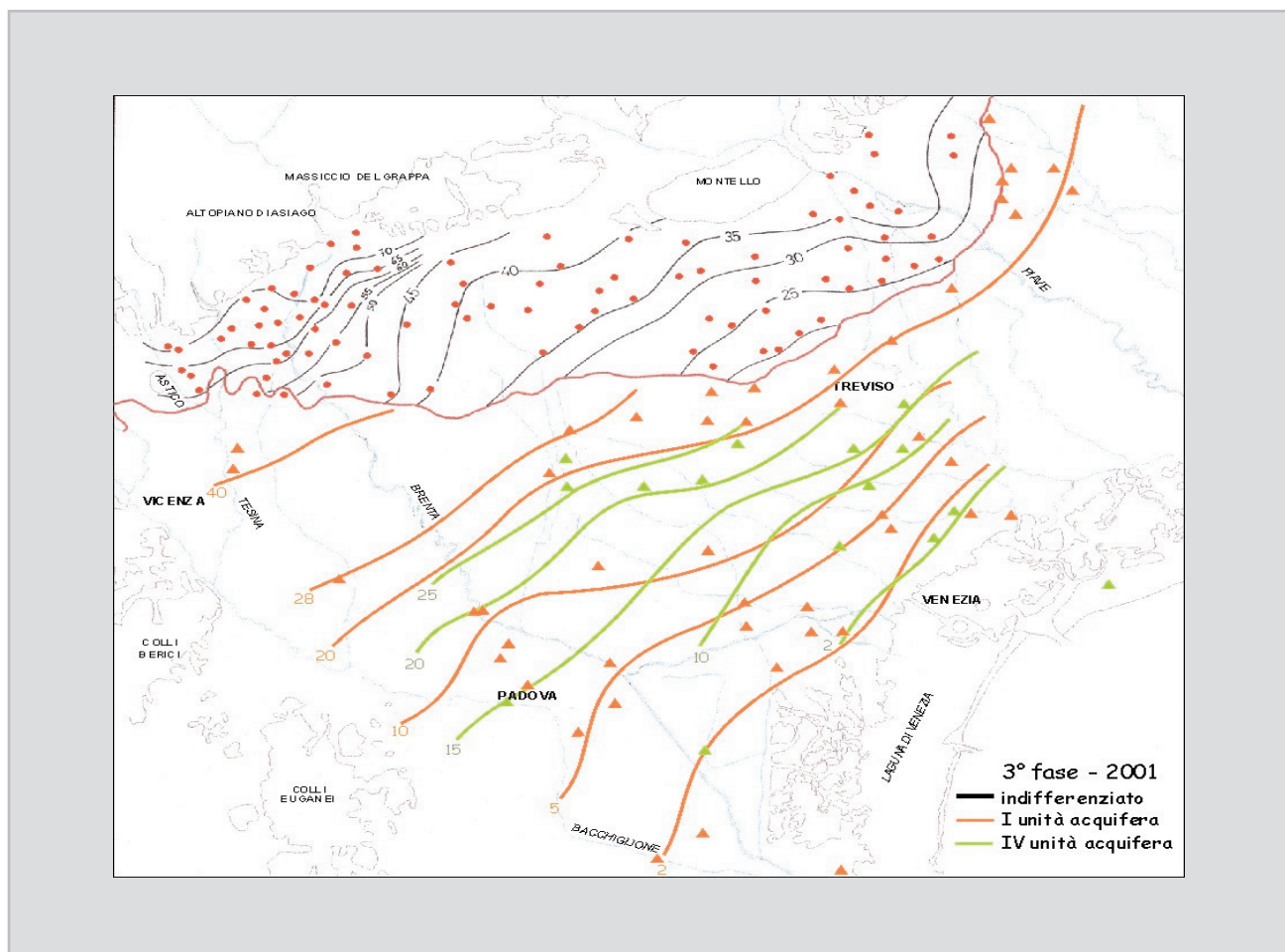


Fig. 4 - Carta degli isopotenziali: acquifero indifferenziato, I e IV unità acquifera. Rilevi gennaio 2001 (ANTONELLI *et alii*, 2001).
 - Groundwater contour map: unconfined aquifer, I and IV aquifer units (January 2001) (ANTONELLI *et alii*, 2001).

3. - PROGETTO CARTE DI VULNERABILITÀ ALL'INQUINAMENTO FINALIZZATE AL MONITORAGGIO DEI CORPI IDRICI SOTTERRANEI

Gli studi e le ricerche realizzate hanno evidenziato che la potenzialità delle carte di vulnerabilità non si esaurisce nella valutazione della suscettibilità del sistema acquifero all'impatto di attività antropiche inquinanti o in una utilizzazione nell'ambito della pianificazione del territorio e/o delle risorse idriche e che le attività di monitoraggio, realizzate in base alla struttura e al comportamento dinamico del sistema acquifero, possono acquisire maggiore efficienza se corredate dalla conoscenza delle caratteristiche del sistema antropico e delle modalità di potenziale contaminazione e diffusione dei fenomeni di inquinamento.

Con l'obiettivo di approfondire la relazione tra la vulnerabilità del sistema acquifero all'inquinamento, la configurazione dei carichi antropici e la

specificità delle azioni di monitoraggio, il Servizio Geologico Nazionale ha promosso nel 2002 il PROGETTO CARTE DI VULNERABILITÀ ALL'INQUINAMENTO FINALIZZATE AL MONITORAGGIO DEI CORPI IDRICI SOTTERRANEI.

La realizzazione delle finalità di progetto presuppone l'integrazione e la valorizzazione delle conoscenze sul modello idrogeologico, sulle caratteristiche di vulnerabilità dei sistemi acquiferi e sull'assetto geoambientale del territorio insieme alle informazioni derivanti dal monitoraggio qualitativo e quantitativo delle acque sotterranee.

Da questo deriva la necessità di ridefinire modalità e procedure di realizzazione delle carte, in particolare per quanto riguarda aspetti rilevanti e significativi per contenuto specifico come: caratteristiche di alimentazione e di deflusso, processi di contaminazione potenziale, identificazione delle idrostrutture, modalità di circolazione delle acque sotterranee, monitoraggio idrochimico per la definizione e la validazione dell'assetto idrostrutturale e idrodinamico dei sistemi acquiferi.

Lo schema di realizzazione della cartografia di vulnerabilità finalizzata al monitoraggio (GIULIANO, 2002) è evidenziato in figura 5.

Il progetto è stato realizzato in collaborazione con l'Istituto di Ricerca sulle Acque (IRSA) del CNR per quanto attiene agli aspetti metodologici generali e alla prima sperimentazione in una area campione della provincia di Roma (Convenzione tra Presidenza del Consiglio dei Ministri-Dipartimento Servizi Tecnici Nazionali e Istituto di Ricerca sulle Acque IRSA del CNR-repertorio 198 del 19 aprile 2002).

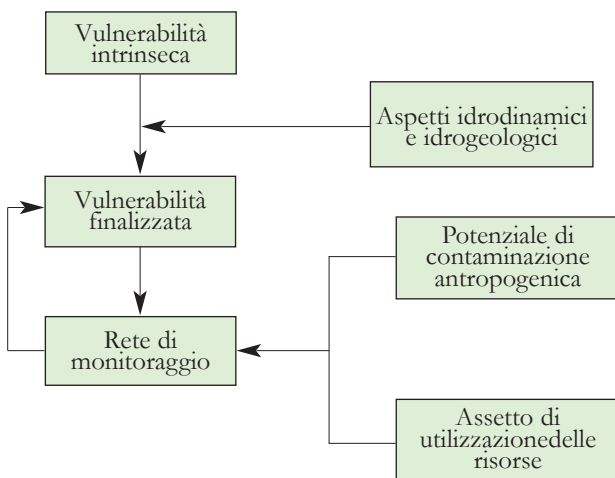


Fig. 5 - Flowchart della realizzazione della cartografia di vulnerabilità finalizzata al monitoraggio (GIULIANO, 2002).
- Flowchart of vulnerability map and monitoring actions integrated each other (GIULIANO, 2002).

3.1. - AREA DI STUDIO E ARTICOLAZIONE DELLA RICERCA

L'area campione - settore compreso tra il confine provinciale settentrionale, il fiume Tevere fino alla foce e la linea di costa - è caratterizzata da una elevata complessità idrogeologica, con presenza di apparati vulcanici, porzioni di piana costiera e un tratto di valle alluvionale, e da differenti livelli di insediamento antropico e di utilizzazione del suolo.

Il programma della ricerca è articolato nelle seguenti fasi di lavoro:

- censimento e acquisizione delle informazioni e dei dati sull'assetto idrogeologico, disponibili presso enti pubblici, enti di ricerca, università
- integrazione e verifiche di campo delle informazioni e dei dati raccolti;
- analisi, elaborazione dei dati e predisposizione di una prima cartografia della vulnerabilità intrinseca all'inquinamento dei corpi idrici sotterranei;

- censimento, acquisizione e analisi delle informazioni disponibili sulla utilizzazione delle acque sotterranee, con particolare riferimento al settore potabile;

- censimento, acquisizione, analisi dei dati disponibili e valutazione del potenziale di contaminazione dei corpi idrici sotterranei attraverso procedure dirette e indirette;

- predisposizione di una cartografia del potenziale di contaminazione e delle utilizzazioni delle acque sotterranee;

- individuazione di una rete preliminare di monitoraggio qualiquantitativo e predisposizione delle schede monografiche;

- esecuzione di una campagna preliminare ricognitiva di monitoraggio qualiquantitativo (misure di livello di falda nei pozzi e misura di portata delle sorgenti, prelievo di campioni di acque sotterranee e analisi chimiche per macrocostituenti e elementi in tracce significativi);

- analisi e elaborazione dei dati relativi alla campagna preliminare ricognitiva di monitoraggio qualiquantitativo;

- predisposizione di una cartografia di "vulnerabilità integrata" finalizzata al monitoraggio dei corpi idrici sotterranei;

- individuazione di una rete di monitoraggio qualiquantitativo correlata alla "vulnerabilità integrata";

- realizzazione di una campagna di monitoraggio esecutivo (misure di livello di falda nei pozzi e misura di portata delle sorgenti, prelievo di campioni di acque sotterranee e analisi chimiche per macrocostituenti e elementi in tracce significativi);

- analisi e elaborazione dei dati relativi alla campagna di monitoraggio esecutivo;

- aggiornamento delle schede monografiche dei punti di controllo.

3.2. - PRODOTTI DELLA RICERCA

I dati raccolti, le misure effettuate, le analisi, le elaborazioni grafiche e cartografiche effettuate nelle varie fasi rappresentano i principali prodotti attesi della ricerca. Possono essere schematicamente indicati:

- i dati relativi all'assetto idrogeologico generale, alla utilizzazione delle acque sotterranee con particolare riguardo agli usi idropotabili, le informazioni e la valutazione del potenziale di contaminazione delle acque sotterranee;

- una prima cartografia numerica georeferenziata della vulnerabilità intrinseca all'inquinamento alla scala 1:100.000;

- una cartografia numerica georeferenziata del

potenziale di contaminazione e delle utilizzazioni delle acque sotterranee alla scala 1:100.000;

- le schede monografiche dei punti della rete preliminare di monitoraggio qualiquantitativo;

- i dati, le analisi e le elaborazioni relative alla campagna preliminare di monitoraggio qualiquantitativo e relative alla campagna di monitoraggio esecutivo;

- una cartografia numerica georeferenziata di "vulnerabilità integrata" alla scala 1:100.000 finalizzata al monitoraggio;

- la definizione di una rete di monitoraggio qualiquantitativo correlata e le schede monografiche dei punti di controllo;

- la base dati interattiva;

- i criteri e le metodologie per la sorveglianza e la tutela delle risorse idriche sotterranee delle idrostrutture esaminate nell'area oggetto di studio.

3.3. - STRUTTURA ORGANIZZATIVA E CONTRIBUTO FINANZIARIO

La struttura organizzativa dell'Istituto di Ricerca sulle Acque del CNR è così definita:

Responsabile scientifico del programma di ricerca :

G. GIULIANO.

Coordinamento attività : E. PREZIOSI.

Collaboratori : A.B. PETRANGELI, A. DE LUCA,

R. VIVONA, A. PATERA, G. BARBIERO.

Responsabile analisi chimiche :

D. MASTROIANNI.

Collaboratori : F. FALCONI.

Nell'ambito del Servizio Geologico Nazionale la struttura organizzativa prevede :

Responsabile del progetto :

G. M. MARI.

Commissione di valutazione :

A. CACCIUNI (Presidente), L. MARTARELLI

(Membro), A. LISI (Membro e Segretario).

Per la realizzazione della ricerca è stato erogato da APAT - Dipartimento Difesa del Suolo un contributo finanziario di 61.819,90 € IVA inclusa.

4. - CONSIDERAZIONI

Si è cercato di delineare il contesto scientifico e culturale della ricerca, riproponendo seppure in modo schematico le principali attività svolte dal Servizio Geologico Nazionale nello specifico settore delle risorse idriche sotterranee a partire dagli anni '90, riferite alla vulnerabilità naturale e al monitoraggio delle caratteristiche quantitative e

qualitative, con esempi sia alla scala regionale che operativa.

Il complesso delle attività svolte dal Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche del CNR - Linea di Ricerca Valutazione della vulnerabilità in zone ad alto rischio e dal Servizio Geologico Nazionale hanno rappresentato il punto di partenza per un ulteriore approfondimento, realizzato in collaborazione con l'Istituto di Ricerca sulle Acque (IRSA) del CNR.

L'obiettivo è una maggiore definizione della relazione tra la vulnerabilità del sistema acquifero, la configurazione dei carichi antropici e la specificità delle azioni di monitoraggio e la sperimentazione in un contesto territoriale ad elevata complessità idrogeologica e ambientale, individuato in provincia di Roma, nel settore compreso tra il confine settentrionale, il fiume Tevere fino alla foce e la linea di costa.

La pubblicazione del presente volume ha la finalità di informare la comunità scientifica, gli enti locali e i cittadini/e sui contenuti del progetto di ricerca e sui risultati ottenuti e di fornire un contributo a tecnici, esperti di settore e utenti istituzionali sulle problematiche relative alle valutazioni di vulnerabilità e al monitoraggio dei corpi idrici sotterranei.

Nel prossimo futuro, anche per ottemperare alle disposizioni normative, entrambe le attività dovranno essere sviluppate in modo sistematico.

L'analisi dello studio effettuato e la valutazione dei risultati conseguiti possono contribuire alla acquisizione di una maggiore consapevolezza sia in termini di approfondimento di specifici argomenti che di definizione di ulteriori finalizzazioni.

A questo scopo possono essere utilizzati i dati evidenziati nell'ambito della ricerca, le cartografie numeriche georeferenziate prodotte alla scala 1:100.000 (carta della capacità di infiltrazione potenziale CIP, carta della capacità di protezione del non saturo CPNS, carta della suscettività delle falde al degrado qualitativo SDEQ) e specifici aspetti quali ad esempio i criteri e le metodologie di selezione dei punti della rete di controllo (MARI *et alii*, questo volume).

Per una definizione di criteri e procedure con valenza generalizzata è necessario estendere le sperimentazioni a contesti idrogeologici e territoriali (pianure alluvionali, aree e pianure costiere, apparati vulcanici, dorsali carbonatiche e aree carsiche, rilievi metamorfici e cristallini) e a condizioni di utilizzazione delle acque sotterranee (captazioni di sorgenti, estrazioni da sottosuolo distribuite e/o concentrate) significativi e rappresentativi del territorio nazionale.

BIBLIOGRAFIA

AADV. (1990) - *Protezione e gestione delle acque sotterranee: metodologie, tecnologie e obiettivi* - Atti 1° Convegno Nazionale, Marano sul Panaro (Modena), 20-22 settembre 1990.

AADV. (1995) - *2° Convegno Nazionale sulla Protezione e gestione delle acque sotterranee: metodologie, tecnologie e obiettivi* - Nonantola (Modena) 17-18-19 maggio 1995. Quaderni di Geologia Applicata, Pitagora Editrice, Bologna.

AADV. (1999) - *Protezione e gestione delle acque sotterranee per il III millennio* - Atti 3° Convegno Nazionale, Parma 13-15 ottobre 1999. Quaderni di Geologia Applicata, Pitagora Editrice, Bologna.

ALLER L., BENNETT L., LEHR J. & PETTY R.J. (1985) - *DRASTIC: a standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeological settings* - U.S. Environmental Protection Agency, Washington DC.

ANTONELLI R., DAZZI R., GATTO G., MARI G.M., MOZZI G. & ZAMBON G. (1993) - *Correlazioni litostratigrafiche ed idrostrutturali nel complesso alluvionale della bassa valle del fiume Agno-Guà e nell'antistante pianura vicentina (M.Lessini Orientali-Vicenza)*. Bollettino Servizio Geologico d'Italia, **109**, IPZS, Roma. Pubbl. n. 539 del GNDICI - CNR Linea di Ricerca 4.

ANTONELLI R., CAMILLA S. & MARI G.M. (1996) - *Ricerca sulla vulnerabilità naturale e sul rischio di inquinamento delle acque sotterranee nelle valli dell'Agno - Guà e del Chiampo e nella antistante pianura (M. Lessini Orientali - Vicenza)*. Carta della distribuzione degli insediamenti produttivi e dell'uso del suolo e del sottosuolo, scala 1:25.000. Regione del Veneto - Dipartimento l'Ecologia e Tutela dell'Ambiente e Presidenza del Consiglio dei Ministri - Dipartimento per i Servizi Tecnici Nazionali - Servizio Geologico Nazionale, Venezia. Pubbl. n. 1364 del GNDICI - CNR Linea di Ricerca 4.

ANTONELLI R., FABBRI P., MARI G.M., MARTARELLI L., SILVI A. & TAGLIAPIETRA A. (2001) - *Sperimentazioni e proposte per una rete di controllo dei corpi idrici sotterranei nella pianura veneta*. Atti Convegno Nazionale "Le risorse idriche sotterranee: conoscerle per proteggerle" 14 -15 novembre 2001 Venezia.

ANTONELLI R., MARI G.M. (1993) - *Ricerca sulla vulnerabilità naturale e sul rischio di inquinamento delle acque sotterranee nelle valli dell'Agno-Guà e del Chiampo e nella antistante pianura (M.Lessini Orientali-Vicenza)* - *Carta della vulnerabilità naturale con note illustrative* - scala 1:25.000. Regione del Veneto - Dipartimento Ecologia e Tutela Ambiente - Presidenza del Consiglio dei Ministri - Servizio Geologico Nazionale - Venezia. Pubbl. n. 947 del GNDICI - CNR Linea di Ricerca 4.

ANTONELLI R. & MARI G.M. (2003) - *Valutazioni sulla evoluzione del chimismo nei sistemi acquiferi della media e bassa valle dell'Agno-Guà e del Chiampo (M. Lessini Orientali - Vicenza)* attraverso osservazioni pluriennali non sistematiche - Memorie di Scienze Geologiche **55** - Padova.

BARROCU G. (a cura di) (1998) - *Valutazione della vulnerabilità degli acquiferi*. Rapporto 1986/1995 - Grafiche Ghiani Monastir (CA).

CIVITA M. (1990a) - *La valutazione della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento. Relazione Generale* - Atti I° Convegno Nazionale "Protezione e Gestione delle Acque Sotterranee: Metodologie, Tecnologie e Obiettivi", Marano sul Panaro, Modena.

CIVITA M. (1990b) - *Legenda unificata per le carte di vulnerabilità dei corpi idrici sotterranei / Unified legend for the aquifer pollution vulnerability maps* - Studi sulla vulnerabilità degli acquiferi, I (Append.), Pitagora Editrice, Bologna.

CIVITA M. (1994) - *Le carte della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento: teoria e pratica* - Quaderni di Tecniche di Protezione ambientale - Protezione delle acque sotterranee - Pitagora editrice Bologna 1994.

CIVITA M. & DE MAIO M. (a cura di) (2002) - *Atlante delle carte di vulnerabilità delle regioni italiane* - Compendio delle cartografie realizzate dal GNDICI - CNR Linea di Ricerca 4 "Valutazione della vulnerabilità degli acquiferi" - Responsabile M. Civita 1985 - 2002 - DBMAP Torino Firenze 2002.

GIULIANO G., MARI G.M., CAVALLIN A. & DE AMICIS M. (1998) - *Ricerca sulla vulnerabilità naturale e sul rischio di inquinamento delle acque sotterranee nella pianura padana, veneta e friulana*. Carta della infiltrabilità regionale, carta idrogeologica regionale, carta della vulnerabilità regionale (scala 1:500.000). Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia, **56**, IPZS, Roma.

GIULIANO G. (2002) - *Proposta di programma di ricerca*, inedito.

IRSA (1996) - *Cartografia della vulnerabilità degli acquiferi: dagli aspetti conoscitivi alla applicazione normativa* - Quaderni Istituto di Ricerca sulle Acque, **99**, Atti della Giornata di Studio Milano 16 gennaio 1996 - Roma.

MARI G.M. (2002) - *Risorse idriche sotterranee: attività, progetti e realizzazioni del Servizio Geologico Nazionale* - 2° Convegno "Ambiente e sviluppo sostenibile - Le acque sotterranee: risorsa preziosa, poco conosciuta, a rischio" - Rossiglione (Genova), 12 - 14 settembre 2002.

MARI G.M., BAGNAIA R. & VENTURA R. (1999) - *Rete di monitoraggio dei corpi idrici sotterranei. Risultati preliminari delle indagini e delle sperimentazioni effettuate nella pianura veneta* - Atti 3° Convegno Nazionale sulla protezione e Gestione delle acque sotterranee per il III millennio, Parma - Quaderni di Geologia Applicata, Pitagora Editrice, Bologna.

MARI G.M., BAGNAIA R. & VENTURA R. (2000) - *Rete di monitoraggio dei corpi idrici sotterranei nella pianura veneta. Approfondimento di alcuni elementi conoscitivi di base* - Atti del Convegno: "Le Pianure. Conoscenza e salvaguardia. Il contributo delle Scienze della Terra" Ferrara, 1999.

MARI G.M., GRANATI C., MARTELLI G. & RODA C. - *Progetto per il monitoraggio della bassa pianura friulana in provincia di Udine* - Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia, in stampa.

MARI G.M., MOTTERAN G., SCALISE A.R., TERRIBILI D., ZATTINI N. (1995) - *Carta idrogeologica d'Italia 1:50.000*. Guida al rilevamento ed alla rappresentazione. Servizio Geologico Nazionale - Quaderni, serie III, **5**, IPZS, Roma.

PREZIOSI E., PETRANGELI A.B., DE LUCA A., VIVONA R., PATERA A., GIULIANO G. & MARI G.M. (2005) - *Fitting groundwater monitoring networks to pollution risk conditions* - 4° Convegno Nazionale Protezione e gestione delle acque sotterranee, Parma.

REPUBBLICA ITALIANA (1984) - *Legge 4 agosto 1984 n. 464 Norme per agevolare l'acquisizione da parte del Servizio Geologico della Direzione Generale delle Miniere del Ministero dell'Industria, del Commercio e dell'Artigianato di elementi di conoscenza relativi alla struttura geologica e geofisica del sottosuolo nazionale* - G.U. n. 226 del 17/8/1984.