



A P A T

Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici
DIPARTIMENTO DIFESA DEL SUOLO
Servizio Geologico d'Italia
Organo Cartografico dello Stato (legge n° 68 del 2-2-1960)

MEMORIE

DESCRITTIVE DELLA

CARTA GEOLOGICA D'ITALIA

VOLUME LXXVI

**Developments in Aquifer Sedimentology and
Ground Water Flow Studies in Italy**

*Sviluppo degli studi in sedimentologia degli acquiferi e
acque sotterranee in Italia*

Contributors - *Autori*

ANTONELLINI M., BARBERO T., BARBIERI S., BARILOTTI A., BARUFFI F., BEDULLI F.,
BERSEZIO R., BONOMI T., BRUNO R., BURRONI B., CALDA N., CAMPOBASSO C.,
CAVALLIN A., CELICO P., CISOTTO A., DE DONATIS M., DELLE ROSE M., DE LUCA
D.A., DESIDERIO G., ESPOSITO L., FABBROCINO S., FELLETTI F., FERRACUTI L.,
FORNO M.G., FRANCESE R.G., FUMAGALLI L., GABBIANELLI G., GALLERINI G.,
GIUDICI M., GRANATI C., HAJNAL Z., IACUMIN P., LANARI R., MARI G.M.,
MARTARELLI L., MARTELLI G., MARTINELLI G., MASCIOTTO L., MASSAZZA G.,
MENZIANI M., MICELI A., MONACELLI G., PARIS F., PELLEGRINI M., POLICICCHIO R.,
PONZINI G., PICCIN A., PUGNAGHI S., ROMANO E., RUSCONI A., RUSI S.,
SANTANGELO R., SCALISE A.R., SCHMITT D., SELMO E., SUSINI S., TERMOLINI G.,
TOSCANI L., ULAZZI E., VALENTE A., VALLETTA M., VALLONI R., VASSENA C.,
VENTURELLI G., VINCENZI S., ZAJA A., ZEMBO I., ZENI G.

Editor

Renzo VALLONI



S.E.L.C.A. - Firenze 2007

Direttore responsabile: Leonello SERVA

REDAZIONE a cura del Servizio Cartografico, coordinamento base dati e tavoli europei

Dirigente: Norman ACCARDI

Capo Settore del Servizio Cartografico: Domenico TACCHIA

Coordinamento Editoriale e Cartografico: Marina COSCI, Maria Luisa VATOVEC

Allestimento digitale: Marina COSCI, Maria Luisa VATOVEC *con la collaborazione di* Alessia MARINELLI

S.EL.CA. - Firenze 2007



Università degli Studi di Milano

Università degli studi di Parma

PROCEEDINGS
OF THE ITALIAN NATIONAL WORKSHOP
**Developments in Aquifer Sedimentology and
Ground Water Flow Studies in Italy**

University of Parma, June 25 2004

ATTI
DEL WORKSHOP NAZIONALE
*Sviluppo degli studi in sedimentologia degli
acquiferi e acque sotterranee in Italia*

Università di Parma, 25 Giugno 2004

Scientific editor-*Coordinamento scientifico*
RENZO VALLONI

Technical editor-*Editore tecnico*
MARIA ALBERTA CALZOLARI

Cartographic editorial reviewer-*Revisione editoriale cartografica*
MARINA COSCI, MARIA LUISA VATOVEC

Scientific Committee of the Workshop - *Comitato Scientifico del Workshop*

| | |
|--------------------|---|
| RICCARDO BERSEZIO | Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Milano |
| ALFREDO BINI | Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Milano |
| CLAUDIO CAMPOBASSO | APAT - Dipartimento Difesa del Suolo |
| PIETRO CELICO | Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Napoli Federico II |
| ANTONIO DAL MIGLIO | ARPA Lombardia |
| MAURO GIUDICI | Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Milano |
| ANDREA PICCIN | Regione Lombardia, D.G. Territorio e Urbanistica, Struttura SIT |
| CESARE RODA | Dipartimento Georisorse e Territorio, Università di Udine |
| SERGIO RUSI | Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Chieti |
| ANNA ROSA SCALISE | APAT - Dipartimento Difesa del Suolo |
| RENZO VALLONI | Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Parma |
| ADRIANO ZAVATTI | ARPA Emilia-Romagna |

Reviewers - *Revisori degli articoli*

| | |
|----------------------|--|
| THOMAS AIGNER | University of Tuebingen - Germany |
| RENZO ANTONELLI | Dipartimento di Geoscienze Università di Padova |
| ROBERTO BALIA | Dipartimento Ingegneria del Territorio Università di Cagliari |
| RICCARDO BERSEZIO | Dipartimento di Scienze della Terra Università di Milano |
| CARLO BONI | Dipartimento di Scienze della Terra Università di Roma La Sapienza |
| PIETRO CELICO | Dipartimento di Scienze della Terra Università di Napoli Federico II |
| ALBERTO CLERICI | Dipartimento di Ingegneria Università di Brescia |
| LAURA GUADAGNINI | Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Politecnico di Milano |
| GHISLAIN DE MARSILY | Université Pierre et Marie Curie - Paris 6 |
| MAURO GIUDICI | Dipartimento di Scienze della Terra Università di Milano |
| MARCO MASETTI | Dipartimento Scienze della Terra Università di Milano |
| JACQUES MUDRY | Université de Franche-Comté - Besancon |
| MAURIZIO PELLEGRINI | Dipartimento di Scienze della Terra Università di Modena |
| RENZO VALLONI | Dipartimento di Scienze della Terra Università di Parma |
| MIRAN VESELIC | University of Ljubljana - Slovenia |
| ADRIANO ZAVATTI | Corso Canalgrande 90 - Modena |
| GIOVANNI MARIA ZUPPI | Dipartimento di Scienze Ambientali Università Cà Foscari di Venezia |

In this moment of the history of man and of the planet on which he lives, that provides him subsistence, urgent environmental emergencies are waiting for a prompt solution. The climatic changes, in the past known only by Geologists and today known by the general public, reveal the increasing dependency of the man from a fragile and changing environmental equilibrium also influenced by its actions. At last, the energy problem tied to the exhaustion of the fossil fuel reservoirs is generally perceived and now faced with the study of alternative energy sources.

A new problem however, until now relegated to limited zones of the planet, is raising and demanding public attention. It's the problem of water resources that reached critical levels because of regional imbalances and of climatic changes. The Society asks the Institutions and the Researchers a more and more precise assessment of water resources for specific hydrographic basins as well as increasing knowledge of the origin and propagation of pollutants. In the developed countries, in particular, ground water resources face the problem of sustainable use. Water protection is one of the strategic EU objectives in terms of both consumption and pollution.

Superficial water bodies and ground water resources can satisfy the domestic, agricultural and industrial water needs of the world growing population and are two faces of the same coin, still little known on both sides. The purpose of this volume is to promote new integrated studies, starting from the physical-geological characterization of aquifers. Hopefully, the new research achievements will contribute to the understanding and solution of the above mentioned problems.

PREFAZIONE

In quest'attimo della storia dell'uomo e del pianeta su cui esso vive e da cui ricava il sostentamento per la propria esistenza, pressanti emergenze ambientali restano in attesa di una sollecita soluzione. I cambiamenti climatici, che prima conoscevano solo i Geologi e che oggi invece sembrano conoscere tutti, evidenziano in maniera sempre maggiore la dipendenza dell'uomo da un equilibrio ambientale, fragile, mutevole e anche condizionato dalle proprie azioni. Il problema energetico legato all'esaurimento delle riserve di combustibili fossili viene finalmente percepito in massa e si inizia a fronteggiarlo con lo studio di energie alternative.

Ma un nuovo problema, finora relegato a zone limitate del pianeta, si presenta pressantemente all'attenzione di tutti; quello delle riserve idriche che assume toni sempre più acuti a causa degli squilibri regionali nella disponibilità d'acqua e del trend climatico. La Società chiede alle Istituzioni ed ai Ricercatori una sempre più precisa quantificazione delle risorse idriche per specifici bacini idrografici ed accresciute conoscenze sull'origine e sulla propagazione degli inquinanti per poter avviare delle corrette azioni di gestione delle risorse stesse. In particolare, a proposito delle risorse idriche sotterranee, nel mondo occidentale si pone il problema dello sfruttamento sostenibile. Conseguentemente, la tutela della risorsa idrica è uno degli obiettivi strategici UE in termini sia del consumo sia dell'inquinamento dei corpi idrici.

I corpi idrici superficiali e le acque sotterranee possono soddisfare congiuntamente il fabbisogno idrico potabile, agricolo ed industriale della popolazione mondiale in continua crescita e sono due facce della stessa medaglia però ancor poco conosciuta su entrambi i lati. Lo scopo di questo volume è quindi quello di stimolare lo sviluppo di nuovi studi integrati, a partire dalla caratterizzazione geologico-fisica degli acquiferi quale preliminare indispensabile a nuovi e più avanzati raggiungimenti della ricerca, nella speranza di contribuire alla comprensione e risoluzione dei grandi problemi sopra menzionati.

Il Direttore del
Servizio Geologico d'Italia/Dipartimento Difesa del Suolo
Dr. LEONELLO SERVA

Nowadays, the ground water hosted in the alluvial and coastal plains suffers the highest anthropogenic pressure. The search for solutions to practical problems of flow and transport is currently based on simple and well-established engineering techniques. On the other hand the characterization of the reservoirs, represented by porous and permeable rocks and associated permeability barriers, is of the utmost importance. It is amply demonstrated that research starting with the geological characterisation of aquifers, and not only limited to the study of flow and transport processes, leads to innovative and advanced results. In Italy, the Plio-Quaternary sedimentary fill of fluvial-coastal plains ranges from alluvial fan to continental shelf depositional systems. Their study beginning with stratigraphic-structural reconstructions of the body of sediments followed by the integration with data from an increasing number of disciplines in the fields of geophysics, chemistry, hydraulics and statistical analyses provides a better understanding of ground water circulation.

The national workshop held in Parma 2004 was organized in an attempt to put together results of general and interdisciplinary research on water resources, and especially to gather practitioners and people from universities, governmental agencies and technical services, to promote new integrated research based on the geological and petrophysical characterization of aquifers. Some of the contributions to the workshop are presented in this volume as full papers. From the editorial point of view, while perfection in the English grammar has not been required, the whole collection provides a meaningful panorama of the Italian geo-hydrogeologic research. The 22 articles can be grouped as follows: reviews, methodology, GIS applications and case studies.

Among the review papers, CLAUDIO CAMPOBASSO, LUCIO MARTARELLI, FAUSTO PARIS, RAIMONDO POLICICCHIO & ANNA SCALISE present the national database on stratigraphic logs and groundwater resources, GIANNI MARI presents the national inventory of hydrogeological studies and maps and ALBERTO CISOTTO, ANTONIO RUSCONI & FRANCESCO BARUFFI review regional studies of the aquifers in the Veneto-Friuli plain.

Under methodology, RICCARDO BERSEZIO discusses the sedimentology of aquifer analogues, MAURO GIUDICI, GIAN SILVIO PONZINI, EMANUELE ROMANO & CHIARA VASSENA discuss problems related to the physical modelling of ground water flow, ROBERTO FRANCESE, ZOLTAN HAJNAL, DOUGH SCHMITT & ANNALISA ZAJA interpret high resolution seismic responses of complex stratigraphic features and MARILENA MENZIANI, SERGIO PUGNAGHI, EMANUELE ROMANO, SERGIO VINCENZI & RENATO SANTANGELO measure the vertical water distribution in unsaturated soil using TDR technologies.

Among GIS applications, TULLIA BONOMI, ANGELO CAVALLIN, LETIZIA FUMAGALLI & MIRIAM PELLEGRINI present the architecture of ground water reservoirs in the Milan alluvial plain, MAURO DE DONATIS, ANDREA BARILOTTI, ANDREA PICCIN, GIULIANO GALLERINI & SARA SUSINI illustrate a three-dimensional model of the aquifers of the Lombardian Po River plain, NICOLA CALDA, RENZO VALLONI & FRANCO BEDULLI present a three-dimensional reconstruction of the permeability barriers of the Parma alluvial plain and GIULIANO GALLERINI & MAURO DE DONATIS provide a three-dimensional reconstruction of the Foglia River aquifer.

Within the group of case studies of specific areas, ordered from north to south, TERESIO BARBERO, DOMENICO DE LUCA, GABRIELLA FORNO, LUCIANO MASCIOTTO & GIANNETTO MASSAZZA interface the physical structure of the Turin plain to hydrogeology, GRAZIA MARTELLI & CRISTINA GRANATI discuss distribution of aquifers in the lower Friuli plain, RENZO VALLONI & NICOLA CALDA present the aquifer systems of the southern margin of the Po River plain, PAOLA IACUMIN, GIAMPIERO VENTURELLI, BARBARA BURRONI, LORENZO TOSCANI & ENRICO SELMO discuss chemical and isotopic evidence of mixing of normal and high-salinity waters in the Parma area, SIMONE BARBIERI & GIOVANNI MARTINELLI present hydrogeological features in the Enza River alluvial fan, ELISA ULAZZI, MARCO ANTONELLINI & GIOVANNI GABBIANELLI discuss the coastal phreatic aquifer of the Cervia area, GIOVANNI DESIDERIO, LOREDANA FERRACUTI & SERGIO RUSI discuss groundwater circulation of middle Adriatic alluvial plains, SILVIA FABBROCINO, RICCARDO LANARI, PIETRO CELICO, GEMMA TERMOLINI & GIOVANNI ZENI present the effects of groundwater extraction in the Sarno River plain, RAFFAELE BRUNO, LIBERA ESPOSITO, GIUSEPPINA MONACELLI, ALESSIO VALENTE & MARIO VALLETTA highlight anthropogenic impacts on aquifers of the Benevento Alluvial plain, RICCARDO BERSEZIO, FABRIZIO FELLETTI, MAURO GIUDICI, ANTONIO MICELI & IRENE ZEMBO discuss the Pleistocene aquifer complex of the Agri Valley and MARCO DELLE ROSE illustrates the Plio-Quaternary aquifers of Salento.

FRANCO BEDULLI, NICOLA CALDA, MARIA ALBERTA CALZOLARI and ABHIJIT BASU (Indiana University, U.S.A.) are warmly thanked for their precious collaboration. LUCA BARCHI and ANDREA COMELLI, technicians of the Department of Earth Sciences of the University of Parma, are sincerely acknowledged for their superb organizational support.

Renzo VALLONI
Scientific editor

PRESENTAZIONE

I corpi idrici ospitati nel sottosuolo delle pianure alluvionali e costiere sopportano oggi il massimo della pressione antropica. La ricerca di soluzioni ai problemi reali di flusso e trasporto in falda privilegia scelte basate su criteri d'intervento semplici e su conoscenze consolidate di tipo ingegneristico.

D'altro canto non può essere sottovalutata l'importanza del contenitore, costituito da rocce poro-permeabili, che sottende alla stessa definizione di acquifero. È ampiamente dimostrato che le ricerche sviluppate a partire dalla caratterizzazione fisica dell'acquifero, integrate con l'analisi dei processi di flusso e trasporto, conducono a risultati avanzati e innovativi.

I corpi sedimentari, principalmente plio-quadernari, di colmamento delle pianure fluvio-costiere spaziano dai sistemi di conoide alluvionale a quelli di piattaforma continentale. A partire da una solida ricostruzione stratigrafico-strutturale del sottosuolo le ricerche possono raggiungere livelli crescenti di dettaglio con l'integrazione di un numero sempre maggiore di discipline di ambito geologico-geofisico, chimico, idraulico e statistico-matematico. In Italia questo percorso è stato seguito solo in poche ricerche chiare mentre ricca è la produzione disciplinare di qualità.

Il workshop nazionale di Parma 2004 è stato organizzato con l'intento di riunire generalisti e specialisti e soprattutto di far incontrare il mondo dell'Università, delle Agenzie di protezione ambientale, dei Servizi Tecnici territoriali e delle professioni che si occupano di acque sotterranee allo scopo di promuovere nuove ricerche integrate, sviluppate a partire dalla caratterizzazione geologica e petrofisica degli acquiferi.

Una parte dei contributi presentati al workshop è raccolta in questo volume. Dal punto di vista editoriale si è consapevoli che i formalismi della lingua inglese possono presentare trasgressioni ma è anche vero che l'insieme dei lavori sortisce il risultato desiderato di dare una significativa panoramica della ricerca geo-idrogeologica in corso in Italia. I 22 lavori si possono riunire in quattro gruppi affini: review paper, metodologie, applicazioni GIS e casi di studio.

Fra i review paper, CLAUDIO CAMPOBASSO, LUCIO MARTARELLI, FAUSTO PARIS, RAIMONDO POLICICCHIO & ANNA SCALISE presentano il database nazionale delle stratigrafie e delle captazioni idriche sotterranee gestito dall'Apat, GIANNI MARI illustra l'inventario delle ricerche e delle cartografie idrogeologiche italiane realizzato dall'Apat mentre ALBERTO CISOTTO, ANTONIO RUSCONI & FRANCESCO BARUFFI passano in rassegna gli studi regionali svolti sugli acquiferi della pianura veneto-friulana.

Nell'ambito dei lavori metodologici su base disciplinare, RICCARDO BERSEZIO introduce alla sedimentologia degli acquiferi discutendo i cosiddetti analoghi di acquifero, MAURO GIUDICI, GIAN SILVIO PONZINI, EMANUELE ROMANO & CHIARA VASSENÀ affrontano la modellazione fisica del flusso idrico sotterraneo, ROBERTO FRANCESE, ZOLTAN HAJNAL, DOUGH SCHMITT & ANNALISA ZAJA discutono metodologie sismiche ad alta risoluzione in un contesto di relazioni stratigrafiche complesse mentre MARILENA MENZIANI, SERGIO PUGNAGHI, EMANUELE ROMANO, SERGIO VINCENZI & RENATO SANTANGELO si occupano della misurazione dei flussi nel suolo insaturo mediante tecniche TDS.

Nel gruppo di lavori che applicano tecnologie GIS, TULLIA BONOMI, ANGELO CAVALLIN, LETIZIA FUMAGALLI & MIRIAM PELLEGRINI illustrano l'architettura dei depositi continentali del sottosuolo milanese, MAURO DE DONATIS, ANDREA BARILOTTI, ANDREA PICCIN, GIULIANO GALLERINI & SARA SUSINI illustrano il modello tridimensionale degli acquiferi della pianura lombarda, NICOLA CALDA, RENZO VALLONI & FRANCO BEDULLI presentano la ricostruzione tridimensionale delle barriere di permeabilità delle alluvioni pleistoceniche della pianura di Parma mentre GIULIANO GALLERINI & MAURO DE DONATIS presentano la ricostruzione tridimensionale dell'acquifero della bassa valle del fiume Foglia.

Fra i casi di studio riferiti a specifiche aree geografiche, ordinate da nord a sud, TERESIO BARBERO, DOMENICO DE LUCA, GABRIELLA FORNO, LUCIANO MASCIOTTO & GIANNETTO MASSAZZA interfacciano struttura fisica e idrogeologia del sottosuolo della pianura torinese, GRAZIA MARTELLI & CRISTINA GRANATI discutono gli acquiferi della bassa pianura friulana, RENZO VALLONI & NICOLA CALDA si occupano dei sistemi acquiferi del margine sud-padano, PAOLA IACUMIN, GIAMPIERO VENTURELLI, BARBARA BURRONI, LORENZO TOSCANI & ENRICO SELMO si occupano dei caratteri chimici e isotopici delle acque di Sant'Andrea di Parma in relazione al mescolamento con acque saline, SIMONE BARBIERI & GIOVANNI MARTINELLI presentano la conoide alluvionale del torrente Enza, ELISA ULAZZI, MARCO ANTONELLINI & GIOVANNI GABBIANELLI discutono l'acquifero freatico costiero di Cervia, GIOVANNI DESIDERIO, LOREDANA FERRACUTI & SERGIO RUSI si occupano delle pianure alluvionali centro-adriatiche, SILVIA FABBROCINO, RICCARDO LANARI, PIETRO CELICO, GEMMA TERMOLINI & GIOVANNI ZENI discutono della piana alluvionale del fiume Sarno, RAFFAELE BRUNO, LIBERA ESPOSITO, GIUSEPPINA MONACELLI, ALESSIO VALENTE & MARIO VALLETTA discutono della piana alluvionale di Benevento, RICCARDO BERSEZIO, FABRIZIO FELLETTI, MAURO GIUDICI, ANTONIO MICELI & IRENE ZEMBO presentano il complesso acquifero pleistocenico della Val d'Agri e infine MARCO DELLE ROSE si occupa degli acquiferi plio-quadernari del Salento.

Un ringraziamento particolare per la preziosa collaborazione è rivolto al Dott. FRANCO BEDULLI, al Dott. Nicola CALDA alla Dott.ssa MARIA ALBERTA CALZOLARI ed al Prof. ABHIJIT BASU della Indiana University U.S.A. Molte grazie a LUCA BARCHI ed ANDREA COMELLI, tecnici del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Parma, per l'importante supporto organizzativo.

Renzo VALLONI
Coordinatore scientifico