

## CARTE IDROGEOLOGICHE REGIONALI IN ITALIA

### ITALIAN HYDROGEOLOGICAL MAPS

GIUSEPPE CAPELLI(\*) & ROBERTO MAZZA(\*)

(\*) Università degli Studi "Roma Tre" - Dipartimento di Scienze Geologiche - Largo San Leonardo Murialdo, 1 - 00146 Roma, Italy  
Giuseppe Capelli: capelli@uniroma3.it / Roberto Mazza: mazza@uniroma3.it

#### RIASSUNTO

In questa nota viene presentata una ricognizione generale sugli aspetti concettuali connessi alle rappresentazioni cartografiche idrogeologiche a scala regionale e una valutazione del grado di copertura del territorio italiano da parte di tali carte. Si osserva come spesso i contenuti associati a margine delle tavole sono differenti, in funzione dello scopo che gli autori degli elaborati perseguono, in quanto non esiste un codificato schema di impianto di cartografia idrogeologica. L'introduzione dei Sistemi Informativi Territoriali consente l'elaborazione di prodotti cartografici velocemente aggiornabili, soprattutto per quel che concerne i database ad essi associati, ma nel contempo l'uso di tali tecniche influenza le scelte grafiche adottate nell'impianto cartografico. Gli autori di questa nota auspicano una ripresa, dopo anni di stasi, della dialettica relativa agli aspetti concettuali connessi ai contenuti di legenda delle carte idrogeologiche, seguendo una tradizione avviata da CARLO FELICE BONI. E' inoltre importante che nelle carte destinate a supportare la gestione delle acque sotterranee, siano riportati i risultati di studi quantitativi sui prelievi, sugli scarichi di acque reflue più o meno depurate e sullo stato di depauperamento degli acquiferi. Dal punto di vista cartografico, anche gli elementi che debbono visualizzare questi temi, debbono essere unificati nella rappresentazione simbolica, a tutto vantaggio della leggibilità delle carte stesse.

*TERMINI CHIAVE:* carta idrogeologica, scala di rappresentazione, legenda idrogeologica

#### INTRODUZIONE

Tra le principali convinzioni scientifiche di CARLO BONI vi è senza dubbio quella dell'importanza dell'idrogeologia a scala regionale. Nel tempo questo tematismo ha trovato radici non solo negli ambienti universitari, ma anche negli enti territoriali preposti alla gestione delle risorse idriche.

L'approccio al problema da parte dei vari studiosi è stato diverso, in funzione dell'ambiente di formazione e appartenenza. Decenni fa, l'analisi idrogeologica a piccola scala era più descrittiva che quantitativa e si concentrava sul censimento delle emergenze e sulla classificazione dei fenomeni. Spesso si compiva anche l'errore di

#### ABSTRACT

The paper gives an overview of conceptual aspects associated with regional-scale hydrogeological maps and their coverage of the Italian area. Often, the contents of the captions accompanying plates are different from one another, depending on the aim that their authors pursue. But too often, the styles of the map legends are subjective. The introduction of Geographic Information Systems has permitted to create map products and databases, which can be easily updated. However, the use of these techniques affects the graphic choices made in these products. The Authors of this paper hope that, after years of standstill, the debate over the conceptual aspects concerning the contents of hydrogeological map legends will be resumed, in the line with the tradition started by CARLO FELICE BONI. Maps which support groundwater management policies should report the results of quantitative studies on water withdrawals, releases of more or less clean waste waters and depletion of aquifers. But the symbolic elements used to describe these subjects should be harmonised in the maps to make them more readily understandable.

*KEY WORDS:* hydrogeological map, mapping scale, hydrogeological legend

#### INTRODUCTION

CARLO BONI was unquestionably a supporter of regional-scale hydrogeology. Over time, this concept has become rooted among academia, as well as bodies in charge of water resource management.

Scholars took different approaches to this issue, depending on their background and their belonging community. Some decades ago, small-scale hydrogeological analysis was more descriptive than quantitative and focused on surveys of water springs and classification of the related phenomena. Draining lakes and rivers were often not classified as springs. It is worth recalling that official hydrogeological maps did not display large springs, although they

non classificare laghi e fiumi come sorgenti quando essi erano drenanti. Vale la pena di ricordare come nella stessa cartografia geologica ufficiale le grandi sorgenti non erano indicate, a differenza delle piccole manifestazioni termo-minerali. In Italia è stata la necessità di gestire la risorsa idrica, più che la scienza, ad avviare gli studi idrogeologici verso un approccio sempre più quantitativo e questo grazie alle convinzioni di alcune figure illuminate. Così progressivamente sono state associate ai punti d'acqua tabelle contenenti i loro dati caratteristici, alle rappresentazioni grafiche dei simboli attinenti alla circolazione, che pian piano sono stati diversificati in limiti di potenziale, limiti di flusso, limiti di circolazione, ecc. Attualmente, gli studi idrogeologici sono supportati da database e numerosi prodotti o livelli tematici, che servono soprattutto a definire i volumi in gioco mediante la tecnica del computo di bilancio che prevede il confronto tra ricarica e perdite. L'antropizzazione dei territori ha prodotto delle modifiche sostanziali connesse al trasferimento di ingenti masse d'acqua da un bacino all'altro e prelievi superficiali e sotterranei che ritornano in gioco come reflui. Queste attività intervengono sugli schemi di circolazione, modificano i bilanci naturali e rendono difficile e complessa l'analisi idrogeologica e la cartografia ad essa associata. Osserviamo, però, come molte analisi idrogeologiche e annessi cartografie siano trascurate ed insufficienti nella definizione dei consumi agricoli, industriali, domestici e potabili. Attualmente, gli studi di idrogeologia, essendo supportati da collaudate metodologie informatiche, devono necessariamente spaziare su tutti i fattori che intervengono nel computo del bilancio e relazionarli; necessariamente il bilancio dovrà essere affrontato in maniera distribuita. Ciò porterà ad analisi quantitative più efficaci, a scala di bacino idrogeologico o di specifica area di ricarica. E' sempre più necessario, inoltre, che negli studi regionali vengano definite le situazioni di stress e i criteri di uso compatibile.

### **ANALISI STORICA DELLA CARTOGRAFIA IDROGEOLOGICA D'ITALIA**

I primi prodotti che riportano informazioni quantitative riguardanti le sorgenti, i corsi d'acqua naturali e artificiali, non sono nati con finalità esclusivamente idrogeologiche, ma per valutare le potenzialità idroelettriche della nazione. Importanti collane editoriali pubblicate dall'inizio del XX secolo sono la "Carta Idrografica d'Italia", curata dagli ingegneri Zoppi e Perrone del Ministero Agricoltura e Commercio (1892-1914), e "Le Sorgenti Italiane" prodotte dal SERVIZIO IDROGRAFICO DEL MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI (1934, 1942, 1952, 1964). In tali prodotti sono presenti cartografie con indicazione specifiche sui punti d'acqua (fiume e sorgenti), per la prima volta organizzati in ambiti territoriali (bacini imbriferi) e codificati in riferimento alle tabelle associate.

Con gli anni, a questa semplice mappatura sono andati ad aggiungersi, nella rappresentazione cartografica, dei tematismi a supporto delle specifiche finalità. Ad esempio, la carta de "Le Sorgenti della Sicilia" del 1934 (scala 1:500.000 - in due tavole) (Fig. 1) riporta,

reported small thermo-mineral manifestations. In Italy, quantitative hydrogeological studies have been driven more by water resource management than scientific needs, thanks to the contribution of some enlightened figures. So, water points were progressively related to their characteristic data tables, graphic symbols for surface or subsurface water flow and details about groundwater divide, groundwater flow and boundaries, etc. Current hydrogeological studies rely on databases and on numerous thematic support products or levels. These tools are used, above all, to define the volumes being investigated and to apply water budgeting techniques, which compare recharge and losses. Human and industrial settlements have caused dramatic changes to land and the environment, involving the transfer of huge water masses from one basin to the other and the withdrawal of surface water and groundwater, which come back as waste waters. These anthropogenic changes affect surface and subsurface water flowpaths and natural water budgets, complicating the hydrogeological analysis and mapping process. Many hydrogeological studies and maps neglect or provide poor details about water consumption for agricultural, industrial, household and drinking uses. As hydrogeological studies are backed by proven IT technologies, they should necessarily span and correlate all the factors involved in the water budgeting process, for which a distributed approach should be used. This will result into more effective quantitative analyses at the scale of a hydrogeological basin or of a specific recharge area. Furthermore, regional studies should increasingly report water resource stress conditions and sustainable use criteria.

### **HISTORICAL OUTLINE OF ITALIAN HYDROGEOLOGICAL MAPS**

The first products with quantitative data on springs and natural and artificial streams were not developed for hydrogeological purposes only, but to assess the national hydro power generation potential. Important editorial collections were published in the early 20th century: "Carta Idrografica d'Italia" (Map of Italian catchment areas), edited by engineers Zoppi and Perrone, Ministry of Agriculture and Trade (1892-1914); and "Le Sorgenti Italiane" (Italian springs) issued by the SERVIZIO IDROGRAFICO, MINISTRY OF PUBLIC WORKS (1934, 1942, 1952, 1964). These maps, which give details about water points (rivers and springs), were organised for the first time by geographic areas (catchment basins) and coded with reference to the associated tables.

Over the years, also thematic maps were built for various purposes. For instance, the "Le Sorgenti della Sicilia" (springs of Sicily) map of 1934 (1:500.000 - two plates) (Fig. 1) displays: springs with symbols proportional to discharge classes; basic hydrogeological

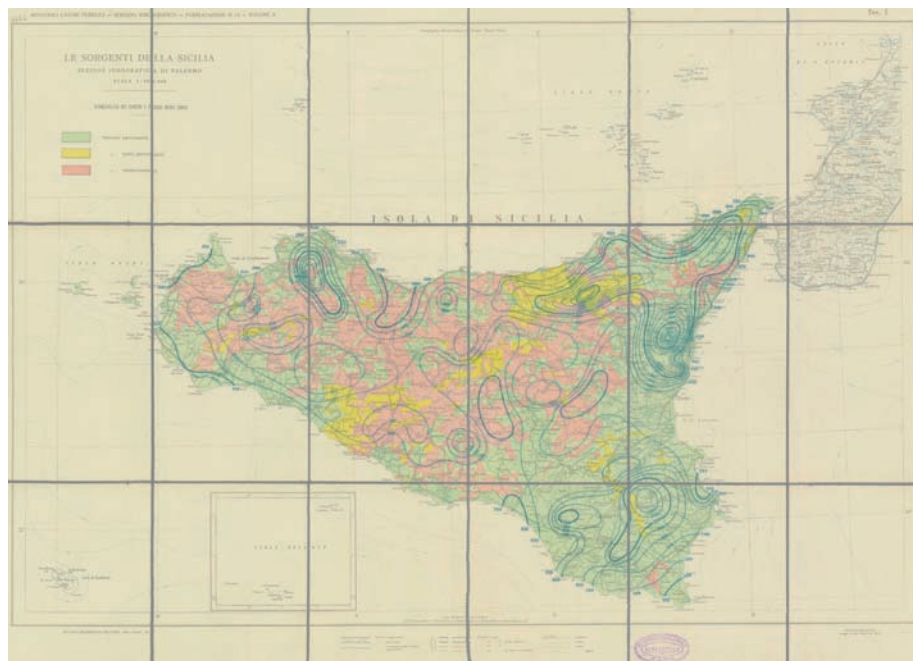


Fig. 1 - Le sorgenti della Sicilia - Carta della permeabilità dei terreni e delle piogge medie annue (scala 1:500.000) (MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI, 1934).  
 - Springs of Sicily - Map of soil permeability and yearly average rainfall (1:500,000) (MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI, 1934)

oltre alle informazioni riguardanti le sorgenti, i cui simboli sono proporzionali alle classi di portata, anche i complessi idrogeologici fondamentali e le isolinee relative alle precipitazioni. In tale modo, anche se probabilmente la finalità della carta era quella di fornire conoscenza sulla disponibilità di risorse idriche, rappresentando la permeabilità dei terreni e la ricarica degli acquiferi, si approssiava, di fatto, il bilancio idrogeologico.

In tempi più recenti si è avuta la necessità di redigere carte tematiche su argomentazioni idrogeologiche specifiche, come le rappresentazioni integrali di tutti i punti d'acqua (dai più importanti a quelli complementari), piezometrie, limiti di flusso e di bacino, quantificazione del bilancio idrogeologico, ecc. Di conseguenza sono state adottate delle rappresentazioni di scala, variabili in funzione della densità informativa supportabile dalla carta. In tal senso si può parlare di scala compresa tra 1:1.000.000 e 1:500.000 per argomenti riguardanti l'intero paese, di scala compresa tra 1:500.000 e 1:200.000 per inquadramenti regionali, di scala compresa tra 1:200.000 e 1:100.000 per approfondimenti riguardanti specifiche unità e sistemi idrogeologici, scale più grandi di 1:100.000 per necessità operative di pianificazione del territorio.

Negli anni '60 si registra lo sviluppo di una letteratura che tenta di definire dei criteri omogenei per la definizione delle legende delle carte idrogeologiche (MARGAT, 1962; CASTANY, 1968). Ma solo con la fine del decennio e in quello successivo, in Italia vengono prodotte cartografie associate a studi che si basano sulle necessità suesposte e sui contenuti delle più avanzate proposte di letteratura (UNESCO, 1970; CIVITA, 1973). Nel 1969 (BONI, 1969) è stata presentata una cartografia a scala operativa (1:68.000) nella quale, oltre ai contenuti tematici idrogeologici, si riportano dei profili con una rappresentazione grafica dei complessi legata al loro grado di permeabilità. Nel medesimo lavoro

complexes; and isoyets. Therefore, even if this type of map was probably intended to improve the understanding of available water resources, it showed soil permeability and aquifer recharge, getting close to a hydrogeological budget.

In more recent times, the need arose for building thematic maps on specific hydrogeological subjects, e.g. maps of all water points (from the most important to the complementary ones), piezometric levels, discharge, groundwater flow and basin boundaries, hydrogeological budgets, etc. As a consequence, the mapping scales were variable, depending on the density of data that the maps could hold: scales of 1:1,000,000 to 1:500,000 for themes concerning the entire country; 1:500,000 to 1:200,000 for regional settings; 1:200,000 to 1:100,000 for details about specific hydrogeological units and systems; and over 1:100,000 for operational land planning.

In the 1960s, homogeneous criteria for hydrogeological map legends were proposed (MARGAT, 1962; CASTANY, 1968). But it was only at the end of the decade and in the following one that maps were associated with studies responding to the above-mentioned needs and based on the most advanced assumptions made in the literature (UNESCO, 1970; CIVITA, 1973). In 1969, operational maps (1:68,000) have been built (BONI, 1969), in which have been reported not only hydrogeological thematic contents, but also profiles with graphic representation of complexes and their permeability. In the same publication, the water budget analysis highlighted that the application of hydrogeological analysis to the catchment basin only was inadequate. This is why BONI embarked on a general study on the hydrogeology of central Italy with a view to identifying overall discharge areas and then gaining further insight into specific hydrogeological units or basins.

This idea of a comprehensive approach to hydrogeological stud-

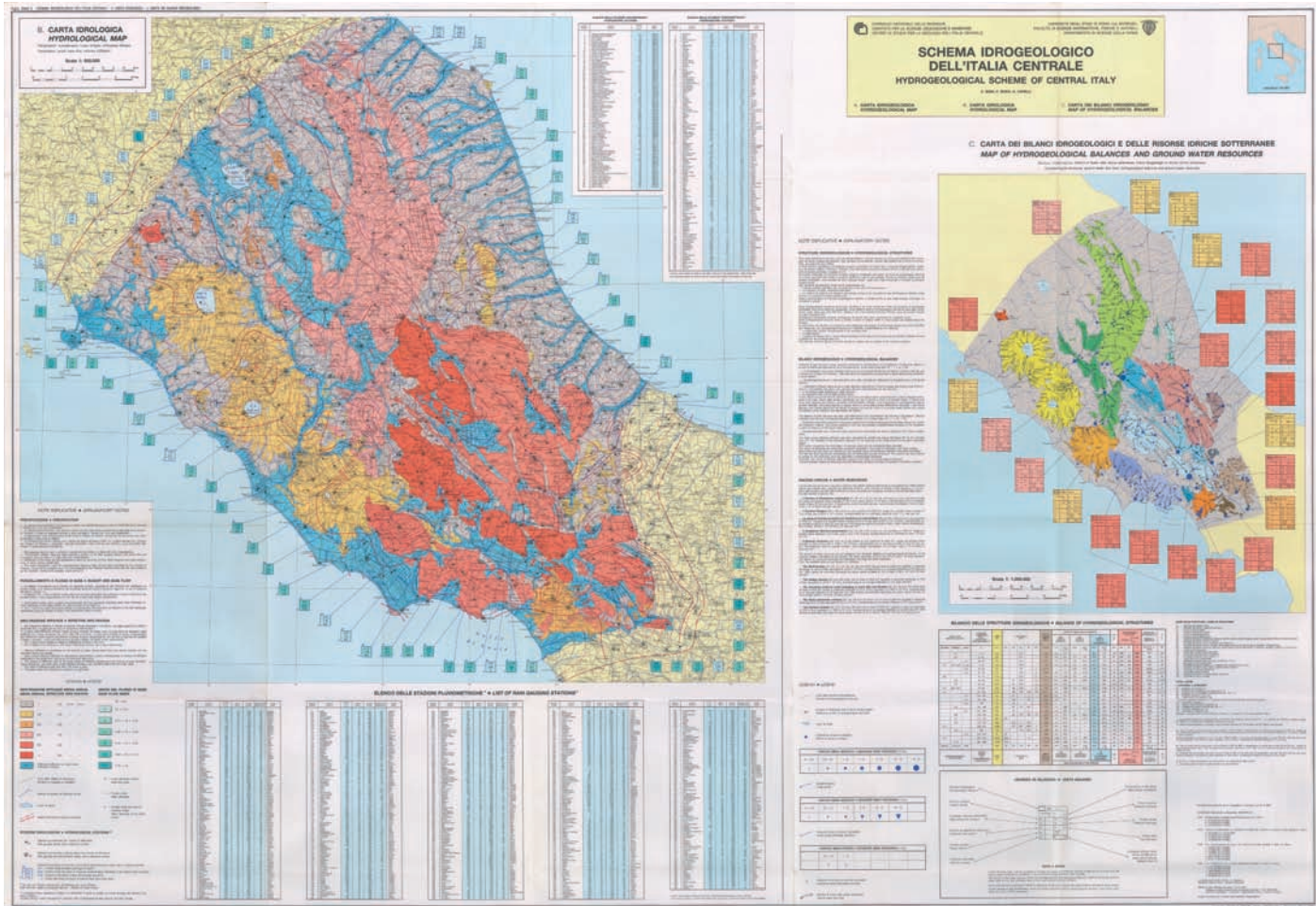


Fig. 2 - Schema Idrogeologico dell'Italia centrale (foglio 2) - Carta Idrologica (B) (scala 1:500.000) e Carta dei bilanci idrogeologici e delle risorse idriche sotterranee (C) (scala 1:1.000.000) (BONI *et alii*, 1986)  
 - Hydrogeological sketch of central Italy (sheet 2) - Hydrological map (B) (1:500,000) and Map of hydrogeological balances and groundwater resources (C) (1:1,000,000) (BONI *et alii*, 1986)

ro l'analisi del bilancio idrogeologico mette in evidenza che l'applicazione dell'analisi idrogeologica al solo bacino idrografico è inadeguata. Questa circostanza spinse BONI ad affrontare uno studio generale relativo allo schema idrogeologico dell'Italia centrale, al fine di definire le grandi aree di ricarica con una visione d'insieme e solo successivamente sviluppare degli approfondimenti per le specifiche unità o bacini idrogeologici.

Questa idea di approccio globale allo studio idrogeologico fu affrontata diversamente da alcuni gruppi di lavoro. Negli anni '80, dopo un decennio di studi, la scuola romana produce una cartografia dell'Italia centrale su due fogli e tre tavole (2 tavole scala 1:500.000 (A e B) e 1 tavola alla scala 1:1.000.000 (C)) (Fig. 2) che, nella precisa intenzione degli autori, contiene tutte le indicazioni necessarie per la formulazione dei bilanci idrogeologici (BONI *et alii*, 1986). In particolare, nel foglio 2 (tavola C) sono rappresentate le unità e i sistemi unitamente ai relativi fenomeni di emergenza, le cui caratteristiche sono raccolte in apposite tabelle. I limiti di flusso e gli sche-

ies was implemented differently by some research teams. In the 1980s, after a decade of studies, the Roman school mapped central Italy on two sheets and three plates (2 plates at 1:500,000 (A e B) and 1 plate at 1:1,000,000 (C)) (Fig. 2). The authors felt that these maps stored all the data required for drawing up hydrogeological budgets (BONI *et alii*, 1986). In particular, sheet 2 (plate C) displays the units and systems together with springs, whose characteristics are listed in appropriate tables. Groundwater boundaries are shown in numerous unpublished profiles (sheet 2 - plate A). Sheet 2 (plate B), which is focused on aquifer systems, indicates the extent of recharge and the baseflow index for perennial streams, which is proportional to the base flow contribution to the total discharge (whose flows are reported in the annals of the Servizio Idrografico). The same sheet gives the hydrogeological budgets by unit and system at a scale of 1:1,000,000. In this publication, the colour used for a given aquifer system is combined with its typical value of yearly effective infiltration (sheet 1 - plate A). All the low-permeability complexes are shown in a single



Fig. 3 - Carta Idrogeologica dell'Italia centro-meridionale - Marche e Lazio meridionali, Abruzzo, Molise e Campania (scala 1:400.000) (CELICO, 1983)  
 - Hydrogeological map of central-southern Italy - southern Marche and Lazio, Abruzzo, Molise and Campania (1:400.000) (CELICO, 1983)

mi d'assetto geologico sono visualizzati in numerosi profili inediti (foglio 1 - tavola A). Nel foglio 2 (tavola B), in relazione alle idrostrutture, viene definita l'entità della ricarica e, relativamente ai corsi d'acqua perenni i cui flussi sono riportati negli annali del Servizio Idrografico, il valore dell'indice di flusso di base, indicativo del contributo delle acque sotterranee alla portata media totale. In questo stesso foglio, alla scala 1:1.000.000, vengono presentati i bilanci idrogeologici articolati per unità e sistemi. Nell'opera, al colore con cui viene rappresentata una definita idrostruttura, viene abbinato lo specifico valore di infiltrazione efficace annua che la caratterizza (foglio 1 - tavola A). Tutti i complessi a bassa permeabilità si individuano con un'unica tonalità di grigio e la loro *facies* è riconoscibile mediante dei *pattern*.

Diversa è l'impostazione data nelle due cartografie "Schema idrogeologico dell'area di intervento del P.S. 29", entrambe alla scala 1:400.000, in CELICO (1978; 1983) (Fig. 3). In queste cartografie, per

hue of grey and their facies is identifiable through patterns.

CELICO (1978, 1983) adopted a different approach for his maps: "Schema idrogeologico dell'area di intervento del P.S. 29" (hydrogeological map of the area of Special Project no. 29) in the two 1978 and 1983 editions (both at 1:400,000) (Fig. 3). These maps, which are to a certain extent similar to the ones mentioned above, fail to provide data about effective infiltration and budget parameters. Consequently, the boundaries proposed for the individual aquifer systems are not validated by budget computations shown in the maps. In the same maps, information about groundwater-river interactions is plotted with graphic symbols rather than with the numerical values. Interestingly, the maps specify the boundaries of the hydrogeological basin, as well as no-flow and flow conditions.

In the same years, the Commission of the European Communities took the initiative of publishing a number of hydrogeological maps (1:500,000), identifying groundwater resources (COMMISSION OF THE

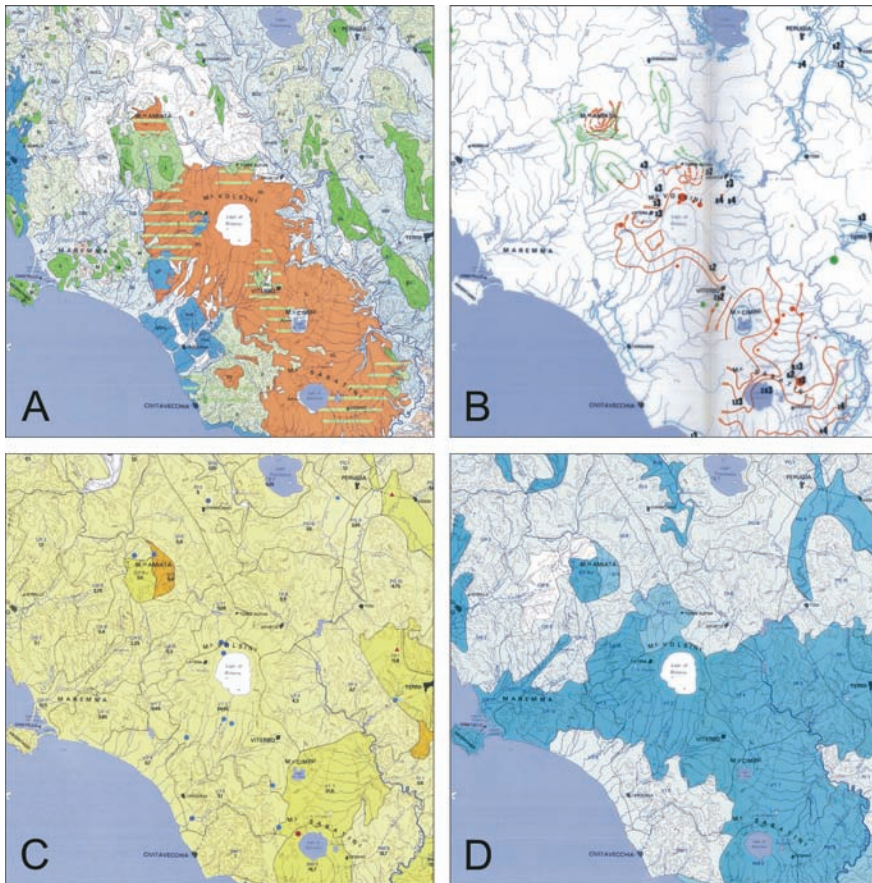


Fig. 4 - Studio sulle risorse in acque sotterranee in Italia - A: stralcio della carta delle formazioni acquifere; B: stralcio della carta dell'idrologia sotterranea; C: stralcio della carta dei prelievi; D: stralcio della carta della valutazione delle disponibilità residue (scala 1:500.000) (COMMISSIONE DELLE COMUNITÀ EUROPEE, 1982)

- Study on Italian groundwater resources - A: excerpt from map of aquiferous formations; B: excerpt of subsurface hydrology map; C: excerpt of withdrawal map; D: excerpt of residual availability map (scale 1:500.000) (COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES, 1982)

certi aspetti simili a quelle descritte prima, le rappresentazioni non tendono a dare informazioni né sull'entità dell'infiltrazione efficace, né sui parametri del bilancio. Conseguentemente i limiti proposti per le singole idrostrutture non vengono verificati attraverso calcoli di bilancio esplicitati nelle carte. Nelle stesse cartografie le informazioni relative agli scambi falda-fiume, anziché essere forniti da valori numerici, sono rappresentati con opportuna simbologia grafica. Molto interessante è l'indicazione dei limiti di bacino idrogeologico e di flusso chiuso e/o aperto.

Negli stessi anni la Commissione delle Comunità Europee promosse l'edizione di una serie di carte idrogeologiche (alla scala 1:500.000) per la definizione delle risorse idriche sotterranee (COMMISSIONE DELLA COMUNITÀ EUROPEE, 1982). La copertura del territorio italiano fu realizzata in otto fogli; ciascun settore prevedeva quattro cartografie tematiche: 1) formazioni acquifere, 2) idrologia sotterranea, 3) prelievi, 4) valutazione delle disponibilità residue (Fig. 4). Per il primo tema furono definiti dei complessi idrogeologici, sulla base delle litologie e di generici riferimenti di permeabilità. I contenuti quantitativi degli otto fogli sono molto diversi da settore a settore. All'epoca, l'idrogeologia quantitativa regionale era più sviluppata nell'area peninsulare e nelle isole e, conseguentemente, i relativi fogli contengono più informazioni applicative per la gestione delle risorse.

EUROPEAN COMMUNITIES, 1982). Italy was covered by 8 sheets; 4 thematic maps were produced for each sector: 1) aquiferous formations, 2) subsurface hydrology, 3) withdrawals, 4) assessment of remaining water resources (Fig. 4). With regard to the first theme, hydrogeological complexes were defined on the basis of their lithotypes and general permeability data. The quantitative contents of the 8 sheets are very different from one sector to the other. At the time, regional quantitative hydrogeology was more developed for the Italian peninsula and islands. Consequently, the related sheets contain more applicative data for resource management.

In the same years, in addition to small-scale maps for resource assessment, a series of thematic maps were built. These thematic maps were intended to define the potential energy of geothermal reservoirs, their surface manifestations and their recharge areas. Among the various themes, hydrogeology was covered by the "Carta delle manifestazioni termali e dei complessi idrogeologici d'Italia" (map of thermal manifestations and hydrogeological complexes in Italy) (BONI *et alii*, 1982), a country-wide map at a scale of 1:1,000,000 (Fig. 5).

In the 1990s, more efforts were undertaken to quantitatively assess the volume of water resources, withdrawals and thus available water resources. The Regions of Emilia Romagna and Lombardia conducted studies on subsurface water resources jointly with ENI

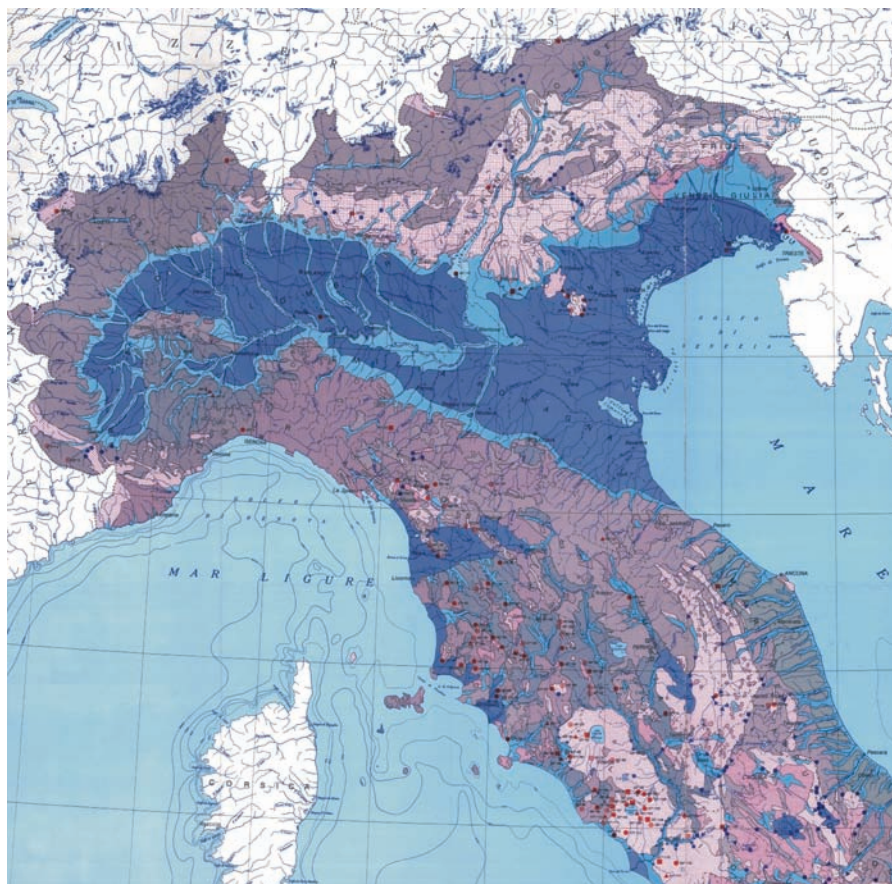


Fig. 5 - Carta delle manifestazioni termali e dei complessi idrogeologici d'Italia - Foglio nord (scala 1:1.000.000) (BONI *et alii*, 1982)  
 - Map of Italian thermal manifestations and hydrogeological complexes - Sheet of northern Italy (1:1,000,000) (BONI *et alii*, 1982)

Oltre alla cartografia a piccola scala finalizzata alla valutazione quantitativa delle risorse e delle riserve, negli stessi anni è stata prodotta una serie di carte tematiche con l'obiettivo di definire i potenziali dei serbatoi geotermici, le loro manifestazioni di superficie e l'individuazione delle loro aree di ricarica. Tra i vari tematismi, quello idrogeologico è rappresentato dalla "Carta delle manifestazioni termali e dei complessi idrogeologici d'Italia" (BONI *et alii*, 1982), che riguarda l'intero territorio nazionale alla scala 1:1.000.000 (Fig. 5).

Con gli anni '90 si accentua lo sforzo di valutare quantitativamente il volume delle risorse idriche, del prelievo e conseguentemente di quelle disponibili. L'approccio metodologico che le Regioni Emilia Romagna e Lombardia hanno avuto negli studi sulle riserve idriche sotterranee, condotti in collaborazione con ENI e con ENI-AGIP (1998, 2002), si distacca dagli approcci di studio idrogeologico tradizionalmente utilizzati. Lo studio degli acquiferi multistrato nelle aree di pianura di queste regioni è stato affrontato utilizzando numerosi profili sismici e perforazioni progettate appositamente per la ricerca idrogeologica, con gli obiettivi di: A) rappresentare in tre dimensioni la struttura interna ed i limiti fisici degli acquiferi, B) individuare gli acquiferi più voluminosi e maggiormente protetti che costituiscono una riserva strategica, C) mappare le aree di ricarica diretta degli acquiferi di pianura, D) consentire il calcolo dei bilanci idrologici e delle riserve idriche sotterranee a

and ENI-AGIP (1998, 2002). However, their approach departed from conventional hydrogeological studies. The multi-layered aquifers in the plains of these regions were investigated by relying on numerous seismic logs, as well as holes or wells specially planned for hydrogeological research. These studies had the following goals: A) 3D mapping of the internal structure and physical boundaries of aquifers, B) identifying the largest and most protected aquifers representing strategic reserves, C) mapping direct recharge areas of plain aquifers, D) computing hydrological budgets and assessing groundwater reserves at regional and provincial scale. The studies yielded a number of geological and hydrostratigraphic cross-sections based on aquifer parameters (permeability, transmissivity and storage coefficient), as well as thematic maps of thickness and depth of aquifer bodies and freshwater/brackish water interface surfaces (Fig. 6).

In the late 1990s, the need arose for acquiring more quantitative hydrogeological data and for including withdrawals (by type and distribution in the study areas) in hydrological budgets. Italy is a country of dense human settlements with large agricultural, residential and industrial uses of water. Therefore, computing the hydrological budget requires collecting data other than those usually classified in land use maps. In-depth knowledge of land uses depends on the anthropogenic stresses that the investigated hydrogeological system has experienced.

In other terms, actual land uses should be analysed to assess water

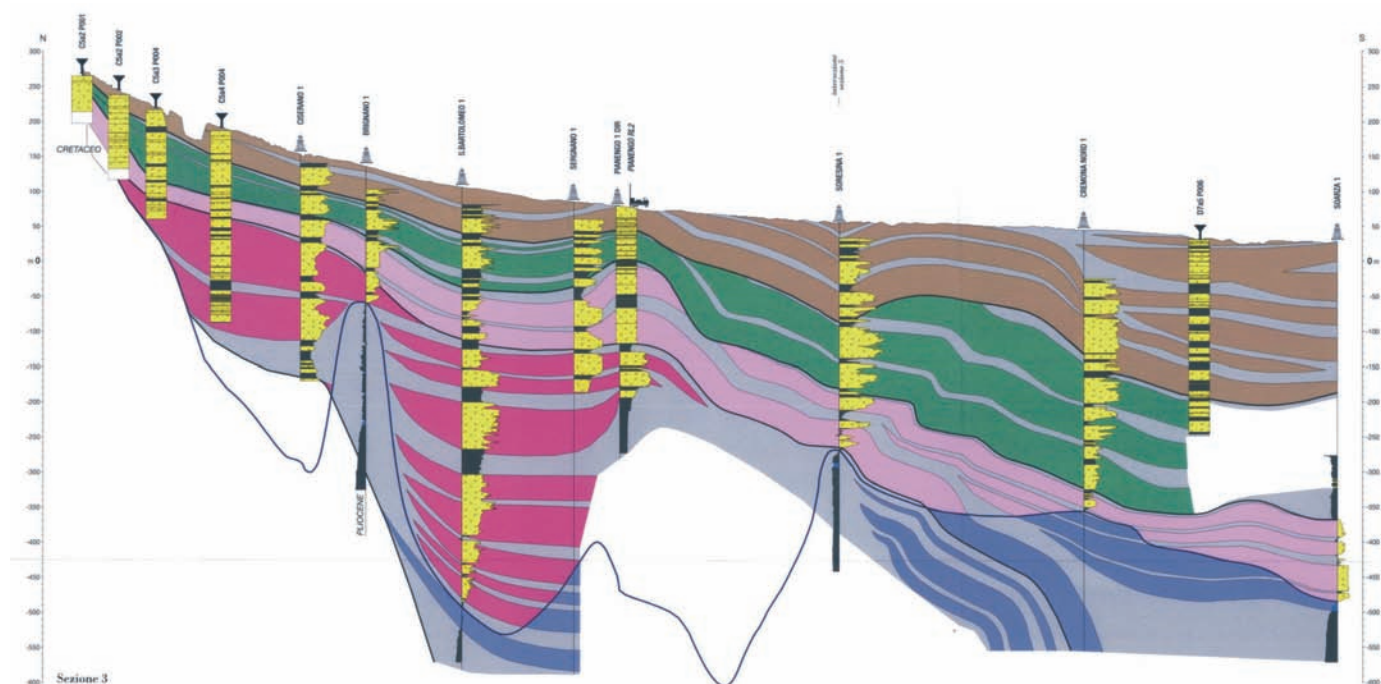


Fig. 6 - Geologia degli acquiferi padani della Regione Lombardia - Sezioni idrostratigrafiche (scala orizzontale 1:200.000, scala verticale 1:4.000) (REGIONE LOMBARDIA & ENI, 2002)  
 - *Geology of the Po River aquifers in the Lombardia Region - Hydrostratigraphic cross-sections (horizontal scale 1:200,000, vertical scale 1:4,000) (REGIONE LOMBARDIA & ENI, 2002)*

scala regionale e provinciale. Lo studio ha prodotto una serie di sezioni geologiche e idrostratigrafiche definite sulla base dei parametri degli acquiferi (permeabilità, trasmissività e coefficiente di immagazzinamento), nonché cartografie tematiche relative a spessori e profondità dei corpi acquiferi e delle superfici di interfaccia acqua dolce/acqua salmastra (Fig. 6).

Alla fine degli anni '90 è maturata la necessità di innalzare il livello di approfondimento quantitativo degli studi idrogeologici, considerando all'interno delle analisi di bilancio anche i prelievi, suddivisi per tipologia e distribuzione areale. Infatti, il calcolo del bilancio idrogeologico in aree caratterizzate da elevato grado di antropizzazione, come la realtà italiana, con ampio sviluppo degli usi agricoli, residenziali e industriali, necessita di informazioni che in genere trascendono le classificazioni abitualmente utilizzate nella cartografia dell'uso e della copertura del suolo. Il grado di dettaglio della conoscenza degli usi del territorio è funzione del livello di sollecitazione a cui è sottoposto il sistema idrogeologico esaminato.

In altri termini, occorre analizzare l'uso reale del suolo per valutare l'idroesigenza della copertura vegetale e delle attività antropiche presenti. Nella specifica cartografia tematica, per il calcolo distribuito del bilancio idrogeologico vengono, quindi, distinte le attività produttive, le tipologie colturali e vegetazionali naturali e i diversi usi del suolo a cui possono essere associate specifiche esigenze idriche. Le diverse classi individuate vengono indicate come Unità Territoriali Idroesigenti (U.T.I.).

requirements by the local vegetation and human activities. Hence, the specific thematic maps for distributed computation of the hydrogeological budget distinguish productive activities, types of crops and of natural vegetation and different land uses associated with specific water requirements. The various classes are identified as "Unità Territoriali Idroesigenti" (U.T.I. - water-demanding units of land).

All this was made possible by Geographic Information Systems, which simplified the mapping activity, permitting to derive maps from computation processes supported by large and complex databases.

Basin Authorities have become aware of and have tapped the potential of the above-described hydrogeological analyses and of the computing capabilities of the related software. Thus, they used these tools to comply with the provisions of Law 183/89. The law provided that Basin Authorities should use quantitative hydrogeological budgets to formulate their Basin Plans and, in particular, sustainable use plans.

In this regard, after the signature of an agreement between the Basin Authorities of the Tiber River and of Lazio, the Authors conducted a hydrogeological investigation aimed at providing the same authorities with "Strumenti e strategie per la tutela e l'uso compatibile della risorsa idrica nel Lazio" (tools and strategies for protection and sustainable use of water resources in Lazio) (CAPELLI *et alii*, 2005). The study area was the peri-Tyrrhenian volcanic domain of Lazio (mapping scale 1:200,000). The study was expected to develop distributed hydrogeological budgets and define a quantitative cri-

Tutto ciò è stato possibile grazie al contemporaneo sviluppo dei Sistemi Informativi Territoriali che, oltre a permettere una semplificazione delle elaborazioni cartografiche, ha consentito di produrre cartografie derivate da processi di calcolo, a partire dai contenuti di banche dati consistenti e complesse.

L'evoluzione della capacità di analisi idrogeologica come quella appena descritta, è stata recepita dalle Autorità di Bacino, le quali hanno utilizzato tale capacità di calcolo per adempiere agli obblighi di legge previsti dalla L. 183/89. Infatti, tale normativa prevedeva la quantificazione dei bilanci idrogeologici da parte di dette amministrazioni per definire i Piani di Bacino, in particolare le parti relative ai Piani di uso compatibile della risorsa idrica.

In tale contesto, a seguito dell'accordo tra le Autorità di Bacino del Fiume Tevere e dei Bacini Regionali del Lazio, gli autori hanno sviluppato uno studio idrogeologico finalizzato a fornire a dette autorità "Strumenti e strategie per la tutela e l'uso compatibile della risorsa idrica nel Lazio" (CAPELLI *et alii*, 2005). L'area di applicazione dello studio è quella relativa al dominio vulcanico peritirrenico laziale (alla scala di rappresentazione 1:200.000) e la finalità è stata quella di, oltre alla definizione dei bilanci idrogeologici distribuiti, individuare un criterio quantitativo per la classificazione delle aree in cui gli equilibri idrogeologici tra ricarica e perdita sono stati compromessi dall'uso che della risorsa viene fatto. Sono state, quindi, individuate e cartografate aree riconducibili a differenti gradi di *stress* idrico, denominate aree critiche e aree d'attenzione (Fig. 7). Sulla base di tale risultato sono state emesse dalle amministrazioni competenti specifiche misure di salvaguardia a tutela della risorsa idrica.

Con gli anni 2000 si sono sviluppate in più regioni d'Italia sinergie tra gli istituti di ricerca ed enti locali per la messa a punto di metodologie di rappresentazione ed uso della cartografia idrogeologica per la gestione delle risorse idriche sotterranee, finalizzata alla stesura dei piani territoriali.

Una particolare applicazione della cartografia idrogeologica e dei temi ad essa connessi è quella delle analisi di vulnerabilità degli acquiferi. In tale contesto la tematica idrogeologica copre alcuni indicatori che i vari metodi utilizzano. La definizione delle classi di vulnerabilità all'inquinamento è condotta con l'uso dei Sistemi Informativi Territoriali e/o con l'implementazione di modelli numerici di simulazione degli acquiferi.

Attualmente esiste un interesse delle amministrazioni regionali a fornirsi di una cartografia idrogeologica che supporti la pianificazione e la gestione del territorio, anche in riferimento alle necessità di protezione civile.

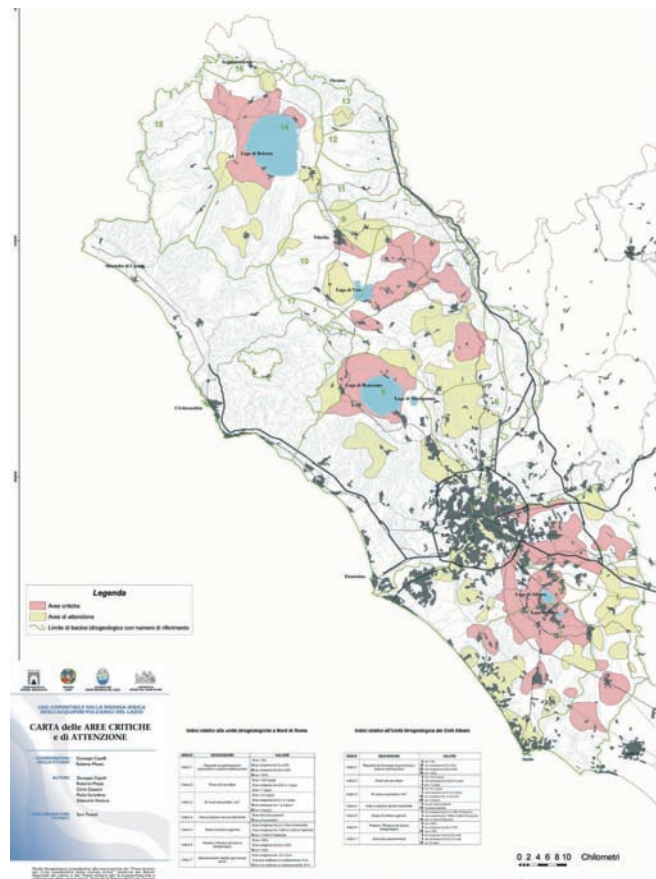


Fig. 7 - Uso compatibile della risorsa idrica degli acquiferi vulcanici del Lazio - Carta delle Aree Critiche e di Attenzione (scala 1:200.000) (CAPELLI *et alii*, 2005)  
 - Sustainable use of water resources from the volcanic aquifers of Lazio - Map of Critical and Attention Areas (scale 1:200.000) (CAPELLI *et alii*, 2005)

terion to classify areas whose recharge and loss equilibria had been altered by the use of water resources. Areas with different levels of stress, called critical areas and attention areas, were thus identified and mapped (Fig. 7). Based on these results, the competent authorities took specific measures to safeguard the water resources.

In the 2000s, research institutions and the local governments of many Italian regions activated synergies to develop methods for building and utilising hydrogeological maps in managing groundwater resources and drafting local plans.

A special application of hydrogeological mapping and related themes is aquifer vulnerability analysis. In this case, hydrogeological themes include some indicators used in the various methods. Pollution vulnerability classes are defined by using GISs and/or implementing numerical models which simulate aquifers.

Currently, regional governments are interested in hydrogeological maps to support their land planning and management strategies and also meet their civil protection needs.

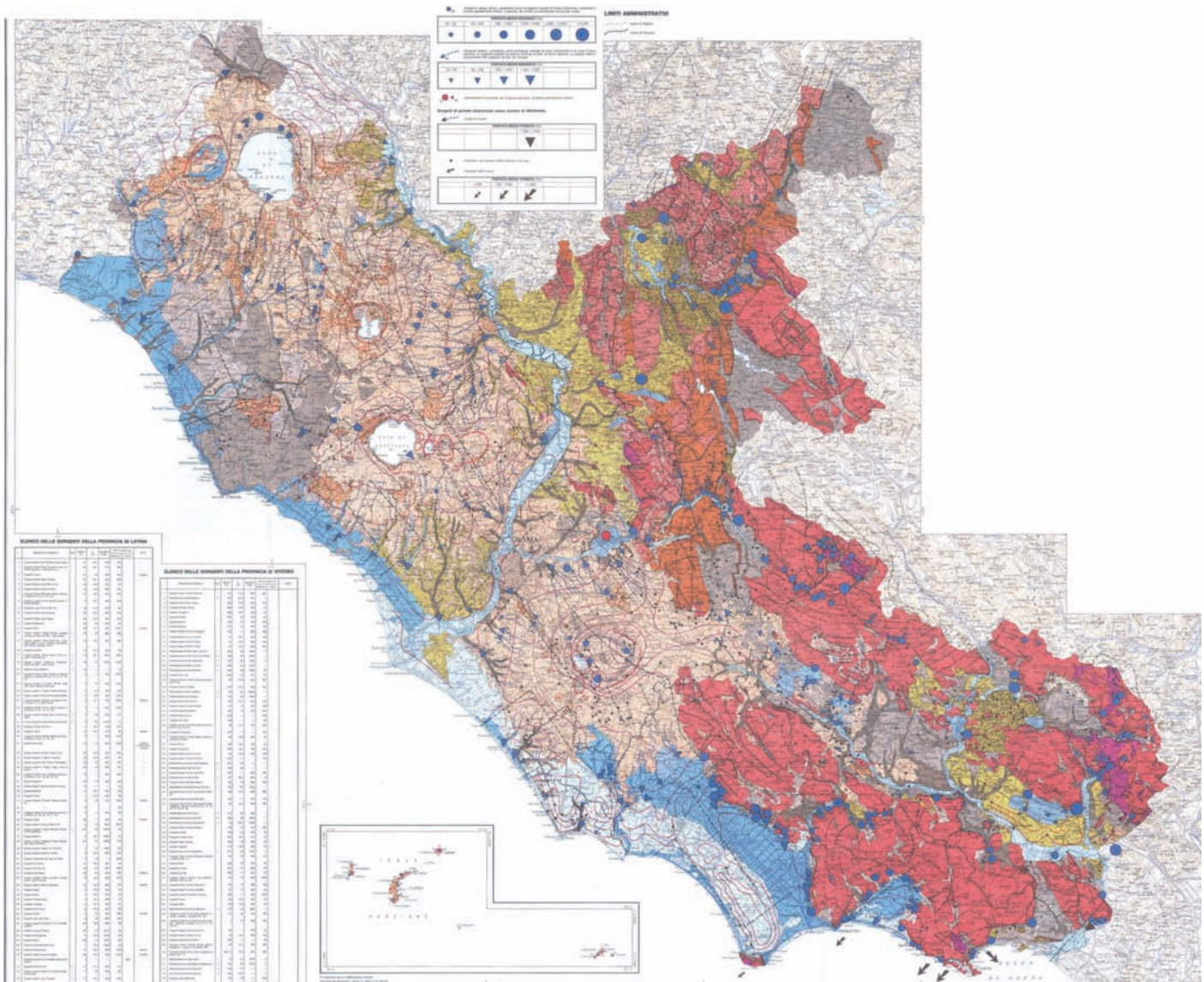


Fig. 8 - Carta Idrogeologica del territorio della Regione Lazio (scala 1:250.000) (BONI *et alii*, 1988)  
 - Hydrogeological map of the Lazio Region (1:250,000) (BONI *et alii*, 1988)

### CARTOGRAFIE IDROGEOLOGICHE DEI TERRITORI DELLE REGIONI

Nello scenario italiano solo cinque regioni possiedono una cartografia idrogeologica relativa all'intero territorio, prodotta per iniziativa degli enti regionali nell'arco degli ultimi venti anni. I due prodotti più datati, relativi alle Regioni Lazio (BONI *et alii*, 1988) (Fig. 8) e Marche (CENTAMORE *et alii*, 1991) sono stati realizzati con i classici metodi cartografici di allora, che non prevedevano la possibilità di utilizzare i Sistemi Informativi Territoriali. Ciò comporta che le informazioni quantitative sugli elementi idrologici sono riportate in tabelle, mentre mancano veri e propri database associati all'impianto cartografico. Di contro le Regioni Emilia Romagna (Regione Emilia

### HYDROGEOLOGICAL MAPS OF ITALIAN REGIONS

In Italy, only 5 regions have hydrogeological maps of their territories and these maps were produced upon the initiative of regional governments in the past two decades. The two oldest products, concerning Lazio (BONI *et alii*, 1988) (Fig. 8) and Marche (CENTAMORE *et alii*, 1991), were issued with the then conventional mapping methods, without resorting to GISs. Consequently, quantitative data on hydrological elements are shown in tables, but no databases are associated with the maps. Conversely, the Emilia Romagna (Regione Emilia Romagna & ENI-AGIP, 1998), Piemonte (CIVITA *et alii*, 2004), Marche and Abruzzo (in press) Regions produced GIS-based maps and offered the opportunity to access the quantitative archives

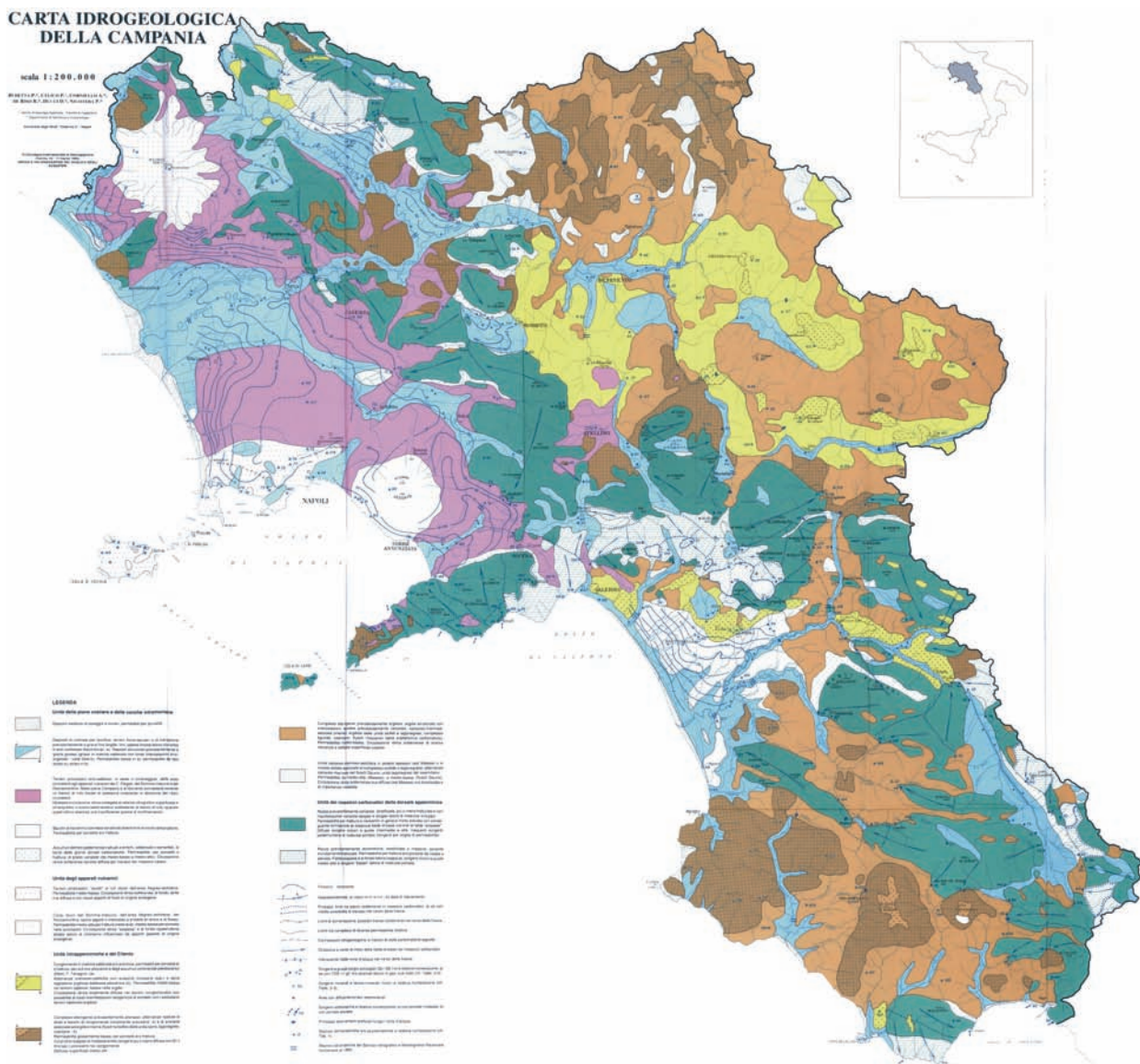


Fig. 9 - Carta idrogeologica della Campania (scala 1:200.000) (BUDETTA *et alii*, 1994)  
 - Hydrogeological map of Campania (1:200.000) (BUDETTA *et alii*, 1994)

Romagna & ENI-AGIP, 1998), Piemonte (CIVITA *et alii*, 2004), Marche e Abruzzo (in stampa) hanno prodotto cartografie utilizzando i G.I.S., con la possibilità di fornire archivi quantitativi associati alla mappatura. Con analoga impostazione le Regioni Lazio e Umbria hanno promosso l'allestimento di nuove carte idrogeologiche alla scala 1:100.000.

Le Regioni Veneto e Friuli hanno prodotto carte delle isofreatiche e delle piezometrie esclusivamente sulle loro aree di pianura (MARI, 1985).

Diverso è il caso di altre regioni che, pur essendo dotate di cartografie idrogeologiche alla scala regionale, non hanno avuto promozioni dagli enti di gestione, bensì da quelli di ricerca, come

associated with the maps. With a similar approach, the Umbria and Lazio Regions initiated the development of new hydrogeological maps (1:100,000).

The Veneto and Friuli Regions produced maps of isophreatic lines and piezometric levels for their plains only (MARI, 1985).

Other regions have regional-scale hydrogeological maps, which were not built by land or water resource management bodies, but by research institutions (e.g. the University of Naples) or land development agencies (e.g. Cassa del Mezzogiorno). The regions having their own maps are Campania (BUDETTA *et alii*, 1994) (Fig. 9) and Sardegna (PIETRACAPRINA *et alii* 1980), whereas Puglia, Basilicata, Molise, Calabria and Campania (again) derived their maps from dif-

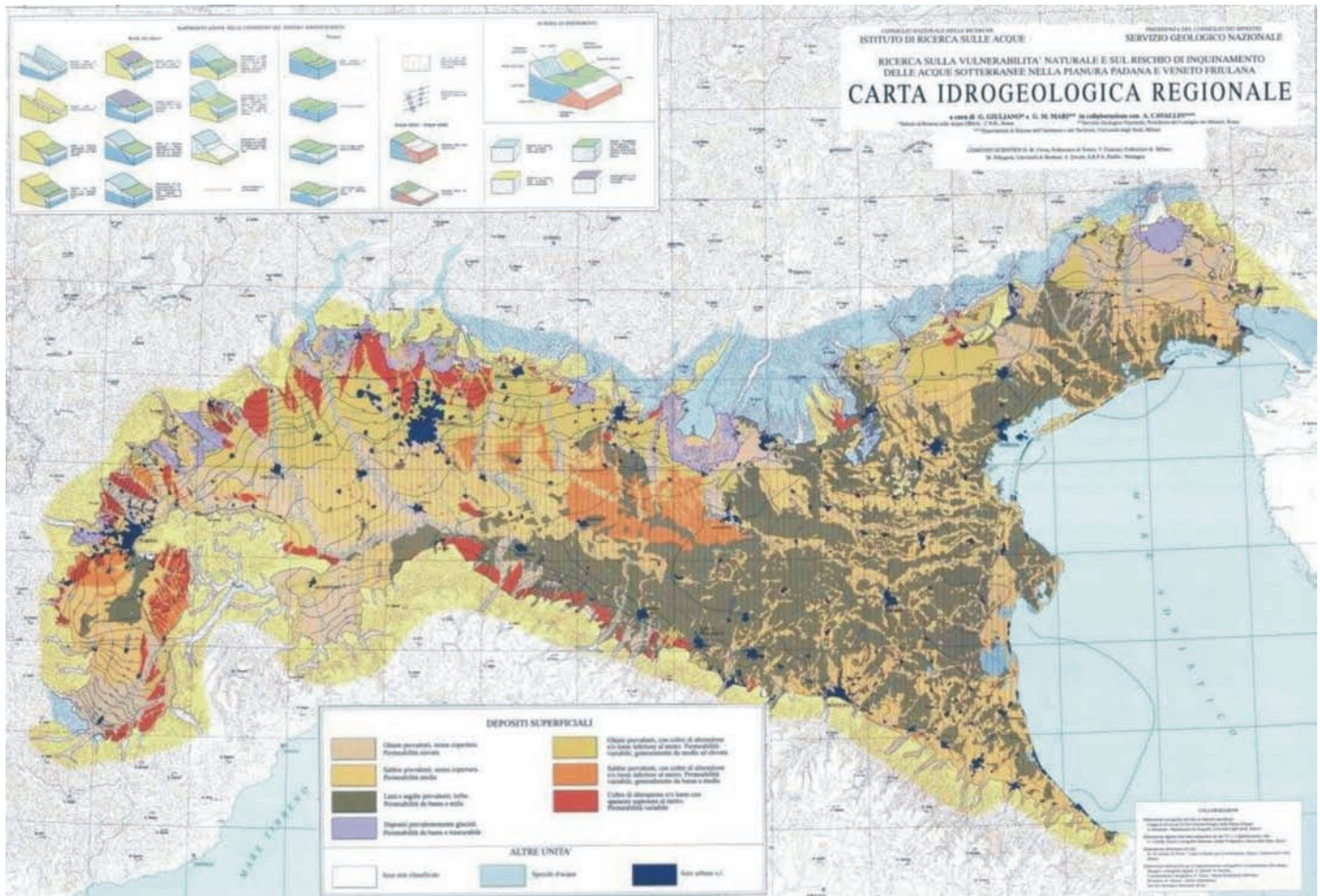


Fig. 10 - Ricerca sulla vulnerabilità naturale e sul rischio di inquinamento delle acque sotterranee della Pianura Padana e Veneto-Friulana - Carta idrogeologica regionale (scala 1:500.000) (GIULIANO *et alii*, 1998)  
 - Research on natural vulnerability and groundwater pollution risk in the Po River and Veneto-Friuli valleys - regional hydrogeological map (1:500.000) (GIULIANO *et alii*, 1998)

l'Università di Napoli, o di sviluppo del territorio, come la Cassa per il Mezzogiorno. In questo contesto le regioni che possiedono una propria cartografia sono la Campania (BUDETTA *et alii*, 1994) (Fig. 9) e la Sardegna (PIETRACAPRINA *et alii*, 1980), mentre Puglia, Basilicata, Molise, Calabria e ancora Campania hanno cartografie derivate da studi diversi, sintetizzate in un unico prodotto cartografico in tre tavole (CELICO *et alii*, 2005), coordinato dall'APAT e dall'Università di Napoli "Federico II" e finanziato dal "Programma INTERREG IIC".

In relazione all'Italia settentrionale si ricorda la carta idrogeologica prodotta per la "Ricerca sulla vulnerabilità naturale e rischio di inquinamento delle acque sotterranee nella Pianura Padana e Veneto Friulana" (GIULIANO *et alii*, 1998) (Fig. 10) del Servizio Geologico Nazionale e IRSA-CNR e la carta idrogeologica della Lombardia di G.P. BERETTA (1986) che fornisce lo scenario piezometrico delle aree collinari e di pianura.

A seguito di quanto detto, appaiono scarsi i prodotti cartografici

ferent studies and summarised them into a single map product in 3 plates (CELICO *et alii*, 2005). This activity was coordinated by APAT and the University of Naples "Federico II" and funded through the "INTERREG IIC Programme".

With regard to northern Italy, it is worth mentioning two products: a hydrogeological map built as part of the "Ricerca sulla vulnerabilità naturale e rischio di inquinamento delle acque sotterranee nella Pianura Padana e Veneto Friulana" (research on natural vulnerability and groundwater pollution risk in the Po River and Veneto-Friuli valleys) (GIULIANO *et alii*, 1998) (Fig. 10), carried out by the Servizio Geologico Nazionale and IRSA-CNR; and the hydrogeological map of Lombardia by G.P. BERETTA (1986), providing the piezometric trends of hills and plains.

In view of the above, summary maps of the Alpine and northern Apennine mountain reliefs are scarce.

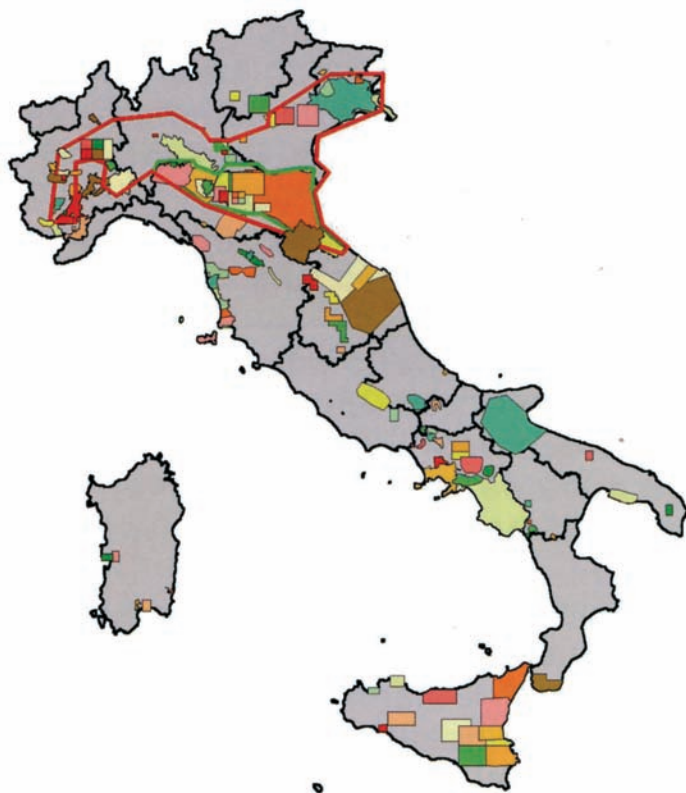


Fig. 11 - Aree delle regioni italiane coperte da carte di vulnerabilità (da CIVITA & DE MAIO, 2002)  
 - Areas of Italian regions covered by vulnerability maps (from CIVITA & DE MAIO, 2002)

idrogeologici di sintesi relativi ai rilievi montani alpini e dell'Appennino settentrionale.

### CARTOGRAFIE IDROGEOLOGICHE A SCALA MAGGIORE DI 1:100.000

Le cartografie idrogeologiche a scale uguali o maggiori di 1:100.000 trovano importanti applicazioni nelle analisi operative di pianificazione del territorio. Tra queste, rilevante è la valutazione della vulnerabilità all'inquinamento, che è stata sviluppata nell'ambito del progetto "Valutazione della vulnerabilità degli acquiferi" coordinato dal G.N.D.C.I.-CNR - Linea di Ricerca 4. Nell'ambito del progetto sono stati sviluppati più metodi di indagine, ma tutti prevedono diversi livelli tematici di analisi idrogeologica. Lo scenario italiano vede un particolare sviluppo di queste cartografie nelle Regioni Piemonte, Lombardia, Emilia Romagna, Veneto, Friuli, Marche, Campania e Sicilia (CIVITA & DE MAIO, 2002), mentre le altre regioni presentano prodotti cartografici relativi a coperture areali minori, oppure sono prive di indagini di questo tipo (Fig. 11).

Dalla fine degli anni '80, con la nascita del Progetto CARG, si è considerata la cartografia idrogeologica come elemento tematico da associare ai contenuti geologici previsti dal progetto, anche se già nel 1988 fu presentato il foglio idrogeologico 186 - S. Angelo dei Lombardi che costituisce una proposta della revisione dei fogli geologici, alla scala 1:100.000, in chiave idrogeologica (BUDETTA *et alii*,

### HYDROGEOLOGICAL MAPS AT SCALES ABOVE 1:100,000

Hydrogeological maps at scales equal to or greater than 1:100,000 play a key role in operational studies for land planning. Among them, it is worth mentioning the pollution vulnerability study, which was carried out within the framework of the project "Valutazione della vulnerabilità degli acquiferi" (assessment of aquifer vulnerability), implemented by G.N.D.C.I.-CNR - Linea di Ricerca 4. Multiple investigating methods were developed as part of the project, but all of them involved different thematic levels of hydrogeological analysis. Maps of this type were built for the Piemonte, Lombardia, Emilia Romagna, Veneto, Friuli, Marche, Campania and Sicilia Regions (CIVITA & DE MAIO, 2002). Other regions have maps of smaller areas or have not conducted investigations of this type (Fig. 11).

Since the end of the 1980s, with the start of the CARG project, hydrogeological maps have been regarded as thematic elements to be combined with the geological contents of the project. However, already in 1988, a hydrogeological sheet (no. 186 - S. Angelo dei Lombardi) was issued. This map represents a proposal to revise geological sheets and convert them into hydrogeological maps at

1988). Nel 1993 la pubblicazione del Quaderno n. 5 "Carta Idrogeologica d'Italia 1:50.000 - Guida al rilevamento e alla rappresentazione" da parte del Servizio Geologico Nazionale (MARI *et alii*, 1995), detta le normative tecniche nazionali da utilizzare per la realizzazione dei nuovi fogli. Di conseguenza le tematiche argomento dei fogli acquistano il carattere di ufficialità. Allo stato attuale la copertura della tematica idrogeologica a livello nazionale risulta molto modesta, essendo stati pubblicati solamente i Fogli 611 - Mistretta (SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, 1973), 291 - Pergola (SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, 1976) e 389 - Anagni (SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, 1993). E' in corso di allestimento per la stampa il Foglio 374 - Roma, mentre sono in corso di rilevamento i Fogli 505 - Moliterno, 506 - Sant'Arcangelo, 521 - Lauria e 522 - Senise.

Si potrebbe ipotizzare che tale scarsità di fogli idrogeologici derivi dalla difficoltà di applicare un'unica legenda per l'intera realtà geologica nazionale, come previsto dal progetto. In effetti nelle varie realtà italiane diverse sono le possibilità di quantificare le caratteristiche dei diversi punti d'acqua, diverse sono le possibilità di definire i limiti idrogeologici, difficile è la possibilità di classificare gli elementi idrogeologici univocamente per tutto il territorio nazionale. Di conseguenza sembrerebbe più opportuno definire delle legende idrogeologiche in relazione agli specifici domini geologici, tenendo in considerazione anche le specifiche realtà territoriali.

Nell'ambito delle scale già menzionate e ancora di più considerando scale di maggiore dettaglio, la produzione cartografica idrogeologica diviene imponente e le finalità dei prodotti sempre più vaste e articolate. In questo caso i prodotti riguardano anche le regioni che a livello di sintesi risultano prive di prodotti idrogeologici. La Regione Toscana, ad esempio, è molto ricca di prodotti approfonditi che riguardano bacini idrografici o aree di specifico interesse (es. BERNARDINI *et alii*, 1975; PICCINI *et alii*, 1997).

## CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Attraverso l'analisi storica della cartografia idrogeologica si è cercato di definire un quadro generale del ruolo che gli studi idrogeologici hanno acquisito nell'ultimo secolo: da informazioni di tipo descrittivo si è passati a informazioni quantitative ed elementi concettuali relativi a limiti e corpi idrici. Attualmente, la gran mole di informazioni che una carta idrogeologica dovrebbe contenere, determina una difficoltà oggettiva di mantenere tutti i contenuti sulla carta. Di conseguenza, non potendo mantenere tutte le rappresentazioni simboliche su un unico prodotto, diviene necessario allestire più carte tematiche.

Varie esperienze hanno dimostrato che, nel campo delle scale operative (maggiori di 1:100.000), risulta difficile se non impossibile realizzare cartografie utilizzando un'unica legenda valida per l'intero territorio nazionale. Peraltro la cartografia ufficiale derivata dal Progetto CARG e dai vecchi fogli geologici è estremamente scarsa, sia per i prodotti editi che in allestimento.

Più ricca è quella che riguarda i territori regionali o ambiti inter-

1:100,000 (BUDETTA *et alii*, 1988). In 1993, the Servizio Geologico Nazionale published its "Quaderno n. 5 - Carta Idrogeologica d'Italia 1:50.000 - Guida al rilevamento e alla rappresentazione" (Italian hydrogeological map 1:50:000 - surveying and mapping guide) (MARI *et alii*, 1995). This publication laid down national standards for producing the new sheets. Consequently, the themes covered by these sheets took on an official character. At present, coverage of hydrogeological themes at national level is fairly poor, as only the following sheets have been issued: Sheets 611 - Mistretta (SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, 1973), 291 - Pergola (SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, 1976) and 389 - Anagni (SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, 1993). Printing of Sheet 374 - Rome is preparation, while surveying activities are being conducted for Sheets 505 - Moliterno, 506 - Sant'Arcangelo, 521 - Lauria and 522 - Senise.

This scarcity of hydrogeological sheets might be due to the difficulty of applying a single style of legend for all the Italian geological areas, as specified in the project. Actually, in the various Italian areas, different options are available to quantify the characteristics of the various water points and to define hydrogeological boundaries and it is hard to classify hydrogeological elements in a unitary way at country-wide level. Hence, it might be more appropriate to define hydrogeological legends for specific geological domains, taking into account also local specificities.

At the above-mentioned scales and, above all, at the more detailed scales, the production of hydrogeological maps was impressive and the goals of the related products were increasingly ambitious and diversified. In this case, the products also covered the regions which lacked summary hydrogeological maps. For instance, the Toscana Region is very rich of detailed products concerning catchment basins or areas of specific interest (i.e. BERNARDINI *et alii*, 1975; PICCINI *et alii*, 1997).

## CONCLUDING REMARKS

The above historical outline of hydrogeological mapping has attempted to give an overview of the role of that hydrogeological studies have acquired in the past century, passing from descriptive information to quantitative data and conceptual elements on groundwater boundaries and water bodies. Currently, as a hydrogeological map should contain many data, it is objectively difficult to keep all the contents inside the map. As a result, as a single product cannot store all the necessary symbolic elements, multiple thematic maps should be built.

Various experiences have demonstrated that, at operating scales (above 1:100,000), it is difficult or impracticable to build maps with a single style of legend applied at country-wide level. Moreover, the official maps arising from the CARG Project and the old geological sheets (whether published or in preparation) are very scarce.

Maps of regional or interregional areas are more abundant, although the methods used and the map elements are very different.

regionali, anche se i metodi e le informazioni cartografiche risultano molto differenti da caso a caso. Esistono, comunque, alcune regioni a tutt'oggi prive di una cartografia di sintesi.

Fatta salva l'esperienza delle carte prodotte dalla Comunità Europea alla scala 1:500.000 nel 1982, non esistono prodotti che descrivono l'assetto idrogeologico dell'intero territorio nazionale, mentre esiste una notevole quantità di prodotti, anche a scala di elevato dettaglio, che riguardano molteplici applicazioni. In particolare, la vulnerabilità degli acquiferi è uno dei principali obiettivi per il quale sono stati promossi studi idrogeologici su gran parte del territorio nazionale. Di contro, abbastanza rara è la definizione di analisi sul prelievo di risorse idriche sotterranee che incide fortemente sui bilanci reali e sullo stato di conservazione degli acquiferi. E' auspicabile che i criteri di valutazione di *stress* negli acquiferi vengano definiti in incontri scientifici a scala nazionale ed internazionale, per essere trasferiti, assieme alle analisi territoriali e di bilancio, a chi ha la responsabilità politica della gestione della risorsa idrica.

Fino ad oggi, nelle cartografie idrogeologiche sono stati inseriti elementi di conoscenza sulla geologia sotterranea, derivate da prospezioni geomeccaniche e geofisiche di limitata profondità. E' auspicabile che nella necessità di spingere le ricerche verso l'individuazione di riserve idriche strategiche, i metodi di prospezione evolvano verso tecniche che consentano la definizione di assetti geologico-stratigrafici, la definizione di volumi e la parametrizzazione di corpi idrici su base sperimentale, fino a profondità di molte centinaia di metri, come nel caso delle ricerche di idrocarburi. Inoltre, al di là delle tradizionali aree ove sono stati già da tempo condotti studi sulle perdite di acque dolci verso mare, sarebbe importante che anche in altri territori, queste vengano individuate e quantificate, sviluppando opportuni metodi di rappresentazione cartografica.

However, some regions still fail to have summary maps.

Except for the maps produced by the European Community at a scale of 1:500,000 in 1982, no map products describe the hydrogeological setting of the entire country. But numerous products, even at very detailed scale, are available for multiple applications. In particular, aquifer vulnerability is one of the main goals for which hydrogeological studies on most of the Italian areas have been carried out. By contrast, analyses on groundwater withdrawal, having a major impact on real budgets and aquifer conservation, are very few. Hence, the need arises for defining criteria for aquifer stress assessment within national and international scientific fora and for transferring such criteria (together with national and local analyses and budgets) to those who are politically responsible for managing water resources.

So far, hydrogeological maps have included subsurface geology elements resulting from geomechanical and geophysical investigations at small depth. In the search for strategic water reserves, prospecting methods should hopefully evolve towards the experimental ones down to several hundreds meters depth, who are able to define geological-stratigraphic settings, water bodies volumes and parametrization, like as in hydrocarbon exploration.

Freshwater losses to the sea have long been studied in traditional areas. These losses should be identified and quantified also in other areas, developing appropriate mapping methods.

## OPERE CITATE/REFERENCES

- BERETTA G.P. (1986) - *Contributo per la carta idrogeologica della Lombardia - scala 1:500.000*. Acque sotterranee, **4**.
- BERNARDINI F., CANUTI P. & TACCONI P. (1975) - *Carta idrogeomorfologica e delle risorse idriche del bacino del Fiume Arno, alla scala 1:50.000*. Foglio n. 4 Bacini del F. Bisenzio e F. Sieve, Comunità Montana Mugello-Val di Sieve, Regione Toscana, Provincia di Firenze, Università di Firenze.
- BONI C.F. (1969) - *Acque sotterranee e sorgive*. In: Accordi B. et alii - *Idrogeologia dell'alto bacino del Liri (Appennino centrale)*, Geol. Rom., **8**: 413-502.
- BONI C.F., BONO P. & CAPELLI G. (1986) - *Schema idrogeologico dell'Italia centrale*. Mem. Soc. Geol. It., **35**: 991-1012.
- BONI C.F., BONO P. & CAPELLI G. (1988) - *Carta idrogeologica del territorio della Regione Lazio - scala 1:250.000*. Regione Lazio, Assessorato alla Programmazione, Ufficio Parchi e Riserve, Università degli Studi di Roma "La Sapienza", Dipartimento di Scienze della Terra, Roma.
- BONI C.F., BONO P., FANELLI M., FUNICIELLO R., PAROTTO P. & PRATURLON A. (1982) - *Carta delle manifestazioni termali e dei complessi idrogeologici d'Italia alla scala 1:1.000.000*. In: *Contributo alla conoscenza delle risorse geotermiche del territorio italiano*, CNR, Progetto Finalizzato Energetica, sottoprogetto Energia Geotermica, Roma.
- BUDETTA P., CELICO P., CORNIELLO A., DE RISO R., DUCCI D. & NICOTERA P. (1988) - *Carta idrogeologica del F. 186 (S. Angelo dei Lombardi)*, Memoria Illustrativa. Mem. Soc. Geol. It., **41**: 1029-1038.
- BUDETTA P., CELICO P., CORNIELLO A., DE RISO R., DUCCI D. & NICOTERA P. (1994) - *Carta idrogeologica della Campania alla scala 1:200.000*. Memoria illustrativa, 4° Convegno Internazionale Geoingegneria, Torino, 565-586.
- CAPELLI G., MAZZA R. & GAZZETTI C. (a cura di) (2005) - *Strumenti e strategie per la tutela e l'uso compatibile della risorsa idrica nel Lazio. Gli acquiferi vulcanici*. Quaderni di Tecniche di Protezione Ambientale, 78, Pitagora Editrice, Bologna.
- CASTANY G. (1968) - *Prospection et exploitation des eaux souterraines*. Dunod Ed., Parigi.
- CELICO P. (1978) - *Schema idrogeologico dell'Appennino carbonatico centro-meridionale*. Memorie e Note dell'Istituto di Geologia Applicata, **14**, Napoli.

- CELICO P. (1983) - *Carta idrogeologica dell'Italia centro-meridionale - scala 1:400.000*. Cassa per il Mezzogiorno, Progetto Speciale n. 29, Schemi idrici dell'Appennino centro-meridionale, Roma.
- CELICO P., DE VITA P., MONACELLI G., SCALISE A.R. & TRANFAGLIA G. (2005) - *Hydrogeological map of southern Italy. 3 tavole alla scala 1:250.000*, APAT, Università di Napoli "Federico II", Programma INTERREG IIC - Territory regulation and contrast to the drought, Sottoprogetto "Hydrological cycle analysis.
- CENTAMORE E., PAMBIANCHI G., DEIANA G., CALAMITA F., CELLO G., DRAMIS F., GENTILI B. & NANNI T. (1991) - *Ambiente fisico delle Marche: Geologia, Geomorfologia, Idrogeologia alla scala 1:100.000*. Regione Marche.
- CIVITA M. (1973) - *Proposte operative per la legenda delle Carte idrogeologiche*. Boll. Soc. Naturalisti, Napoli, **82**: 1-12.
- CIVITA M. & DE MAIO M. (2002) - *Atlante delle carte di vulnerabilità delle regioni italiane*. Dipartimento della Protezione Civile, CNR-G.N.D.C.I.
- CIVITA M., LO RUSSO S. & VIGNA B. (2004) - *Carta idrogeologica schematica del Piemonte (NW Italia) 1:250.000*. Regione Piemonte, CNR- G.N.D.C.I., Politecnico di Torino - Dipartimento Georisorse e Territorio.
- COMMISSIONE DELLE COMUNITÀ EUROPEE (1982) - *Studio sulle risorse in acque sotterranee in Italia* (10 fogli alla scala 1:500.000 per quattro tematiche).
- GIULIANO G., MARI G.M. & CAVALLIN A. (1998) - *Ricerca sulla vulnerabilità naturale e sul rischio di inquinamento delle acque sotterranee della Pianura Padana e Veneto-Friulana*. CNR-I.R.S.A., Servizio Geologico Nazionale, 3 tavole alla scala 1:500.000.
- MARGAT J. (1962) - *Sur plusieurs modes de publications possibles des cartes hydrogéologiques à grande échelle*. IV Riunione dell'A.I.H., 354-357, Roma.
- MARI G.M. (1985) - *Carta Isofreatica e Carta Piezometrica della Pianura Veneta alla scala 1:250.000*. Regione Veneto, Segreteria Regionale per il Territorio, Dipartimento per l'Ecologia.
- MARI G.M., MOTTERAN G., SCALISE A.R., TERRIBILI D. & ZATTINI N. (1995) - *Carta Idrogeologica d'Italia, 1:50.000, Guida al rilevamento e alla rappresentazione*. Quaderni del Servizio Geologico Nazionale, **3, 5**, Roma.
- MINISTERO AGRICOLTURA E COMMERCIO (1892-1914) - *Carta Idrografica d'Italia e relative note illustrative*. Roma
- MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI (1934) - *Le sorgenti italiane: elenco e descrizione. Agro Pontino e bacino di Fondi*. Pubblicazione n. **14** del Servizio idrografico, sezione autonoma di Roma.
- MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI (1934) - *Le sorgenti italiane: elenco e descrizione. Sicilia*. Pubblicazione n. **14** del Servizio idrografico, sezione autonoma di Palermo.
- MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI (1942) - *Le sorgenti italiane: elenco e descrizione. Campania*. Pubblicazione n. **14** del Servizio idrografico, sezione autonoma di Roma.
- MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI (1952) - *Le sorgenti italiane: elenco e descrizione. Molise*. Pubblicazione n. **14** del Servizio idrografico, sezione autonoma di Roma.
- MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI (1964) - *Le sorgenti italiane: elenco e descrizione. Abruzzo*. Pubblicazione n. **14** del Servizio idrografico, sezione autonoma di Roma.
- PIETRACAPRINA A., DETTORI B. & MOUTON J. (1980) - *Carta delle risorse idriche della Sardegna alla scala 1:250.000. Schema Idrogeologico*. In: Ricerche idriche sotterranee in Sardegna. Università degli Studi di Sassari - Cassa per il Mezzogiorno, Progetto speciale 25.
- PICCINI L., PRANZINI G., TEDICI L. & FORTI P. (1997) - *Le risorse idriche degli acquiferi carbonatici del comprensorio Apuo-Versigliese, alla scala 1:50.000*. C.N.R. pubbl. n. **1584** - Gruppo Nazionale per la Difesa delle Catastrofi Idrogeologiche.
- REGIONE EMILIA ROMAGNA & ENI-AGIP (1998) - *Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia Romagna*. A cura di Di Dio G., S.EL.CA., 120 pp., Firenze.
- REGIONE LOMBARDIA & ENI (2002) - *Geologia degli Acquiferi Padani della Regione Lombardia*. A cura di Piccin A. & Carcano C., S.EL.CA., Firenze.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1973) - *Carta idrogeologica alla scala 1:50.000 - F. 611 Mistretta*. Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1976) - *Carta idrogeologica alla scala 1:50.000 - F. 291 Pergola*. Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1993) - *Carta idrogeologica alla scala 1:50.000 - F. 389 Anagni*. Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma.
- UNESCO (1970) - *Légende internationale des cartes hydrogéologiques*. UNESCO/IAHS/IAH, Inst. Geol. Science, London.

Received March 2009 - Accepted April 2009