

# L'IDROGEOLOGIA QUANTITATIVA NELLA PIANIFICAZIONE DI BACINO DEL FIUME TEVERE

## QUANTITATIVE HYDROGEOLOGY IN THE TEVERE RIVER BASIN MANAGEMENT PLANNING (CENTRAL ITALY)

ALFREDO DI DOMENICANTONIO, BENEDETTA CASSIANI, MANUELA RUISI & PAOLO TRAVERSA(\*)

(\*)Autorità di Bacino del Fiume Tevere - Via Bachelet, 12 - 00185 Roma, Italia

E-mail: didom@abtevere.it, benedetta.cassiani@abtevere.it, manuela.ruisi@abtevere.it, paolo.traversa@abtevere.it

### RIASSUNTO

L'Autorità di bacino del Fiume Tevere, nell'ambito della pianificazione e programmazione della risorsa idrica, si è avvalsa della collaborazione di BONI che ha introdotto una nuova visione nella gestione delle risorse idriche ed ha permesso di superare il vecchio modello di utilizzo basato sulla captazione spesso totale di ciò che emerge in modo manifesto.

Si è dato così l'avvio all'utilizzo di modelli di gestione delle risorse idriche sotterranee che tengono conto della geometria delle idrostrutture, dei bilanci idrogeologici, delle modalità di interazione con la circolazione superficiale e dei volumi estraibili in rapporto alle risorse rinnovabili.

Il quadro normativo comunitario mostra di essere perfettamente allineato con le tesi e, nello specifico, con le migliori intuizioni di BONI che, a pieno titolo, può essere considerato il padre della scuola italiana di idrogeologia quantitativa.

*TERMINI CHIAVE:* idrogeologia quantitativa, acquifero, reticolo idrografico perenne, tipizzazione del reticolo fluviale, corpo idrico, modello concettuale

*"L'idrogeologia quantitativa considera l'acqua (in particolare l'acqua sotterranea) come assoluta protagonista di un processo dinamico che vede l'acqua meteorica penetrare nelle rocce, defluire e riemergere in superficie in corrispondenza delle sorgenti..."*

*....si pone l'obiettivo prioritario di valutare con la migliore precisione possibile dove e quanta acqua penetra nel sottosuolo, dove si accumula negli acquiferi, quali percorsi compie, dove e in che misura riemerge in superficie" (tratto da appunti inediti di BONI, 2006).*

### LA PIANIFICAZIONE DELLA RISORSA NELLA NORMATIVA ITALIANA ED EUROPEA

Le Autorità di bacino sono state costituite nel 1989, ai sensi della legge 18 maggio 1989, n.183, con l'obiettivo di pianificare e programmare le azioni e le norme d'uso finalizzate alla conservazione, alla difesa e valorizzazione del suolo ed alla corretta utilizzazione delle acque, sulla base delle caratteristiche fisiche ed ambientali del territorio del bacino.

Dal 1989 ad oggi il tema della risorsa idrica ha assunto una rilevanza sempre maggiore in un quadro di crescente fabbisogno idrico

### ABSTRACT

BONI provided an important contribution to water resource management in the Tiber river basin, introducing a new perspective based on the deep knowledge of hydrogeological structures geometry, hydrogeological balance, surface-groundwater interaction processes and available/renewable resource ratio and gradually abandoning the ancient exploitation schemes, based on the indiscriminate abstraction of outcrops.

The European Community legislation seems to be perfectly in line with BONI's theses and bright intuitions. He can, with full rights, be considered the father of quantitative hydrogeology.

*KEYWORDS:* quantitative hydrogeology, aquifer, perennial stream network, stream network typology, water body, conceptual model

*"Quantitative hydrogeology considers water (in particular groundwater) as an absolute protagonist of a dynamic process where rainfall penetrates into rocks, flows and then rises back to the surface at the springs....."*

*....its purpose is to evaluate as precisely as possible where and how much water penetrates into the subsoil, where it accumulates in the aquifers, what paths it follows, where and in what measure it outcrops back to the surface" (BONI's unpublished notes, 2006).*

### WATER RESOURCE MANAGEMENT IN THE ITALIAN AND EUROPEAN LEGISLATION

River basin authorities were created in 1989 according to Law n. 183 of 18<sup>th</sup> May 1989, in order to plan actions and set rules for soil conservation, defence and development and for the correct use of water, on the basis of the physical and environmental characteristics of the river basin.

Since 1989 the importance of water resource issues has considerably increased and the importance of a rational exploitation of water resources has been acknowledged, especially due to growing

e di evoluzione climatica. Appare quindi evidente l'urgenza di pervenire ad una pianificazione basata sulla reale disponibilità delle risorse e mirata al razionale sfruttamento delle stesse. La legislazione attualmente vigente (D.Lgs. 152/06) prevede che l'Autorità di bacino definisca ed aggiorni il "bilancio idrico" diretto ad assicurare l'equilibrio fra le disponibilità di risorse reperibili o attivabili nell'area di riferimento ed i fabbisogni per i diversi usi. Per assicurare l'equilibrio tra risorse e fabbisogni, l'Autorità di bacino adotta, per quanto di competenza, le misure per la pianificazione della economia idrica in funzione degli usi cui sono destinate le risorse.

A livello comunitario la politica di sostenibilità a lungo termine di uso e di protezione per tutte le acque interne, di transizione e marino costiere, ha avuto un fortissimo impulso con l'emanazione della Direttiva Quadro sulle Acque 2000/60/CE, parzialmente recepita nella legislazione italiana, e con la Direttiva figlia sulle Acque sotterranee 2006/118/CE. La direttiva quadro detta infatti, per ogni tipologia di corpo idrico, obiettivi ambientali che divengono anche obiettivi dei piani di bacino, da conseguire a scadenze prestabilite: tutti i corpi idrici devono raggiungere un buono stato ambientale entro il 2015. Il buono stato ambientale è definito in funzione della capacità del corpo idrico di mantenere i processi naturali di autodepurazione e di sostenere comunità animali e vegetali ampie e ben diversificate.

La stessa Direttiva, richiede, a livello di bacino, l'analisi degli elementi che caratterizzano gli impatti e le pressioni esercitate dalle attività umane sui corpi idrici, nonché l'analisi economica degli usi della risorsa.

Con la direttiva viene introdotta, a livello territoriale, la principale unità per la gestione dei bacini idrografici definita "distretto idrografico", costituito da uno o più bacini idrografici limitrofi e dalle rispettive acque sotterranee e costiere.

L'Autorità di bacino del Fiume Tevere, a partire dall'anno 2001, ha iniziato a collaborare con il laboratorio di Idrogeologia Quantitativa dell'Università "La Sapienza", introducendo un profondo mutamento culturale nella pianificazione di bacino, sino ad allora sostanzialmente confinata nelle tematiche dell'idraulica e dell'idrologia dei corpi idrici superficiali.

L'applicazione alle strutture idrogeologiche dell'Italia centrale dei concetti dell'idrogeologia quantitativa, a fondamento dei quali è posta la conoscenza "diretta" del territorio, ha portato alla schematizzazione della circolazione sotterranea sull'intero bacino, alla quantificazione delle risorse rinnovabili e alla definizione dell'idrogeologia di dettaglio di alcune idrostrutture strategiche. In tale contesto, la comprensione delle modalità di alimentazione del circuito idrografico perenne e, soprattutto, l'individuazione e la caratterizzazione delle interazioni con gli acquiferi, ha prodotto nuove viste e nuovi approcci alla problematica del "deflusso minimo vitale", che si innesta su un corpo idrico che "vive" come diretta espressione della circolazione sotterranea.

Queste tematiche, confluite nel Piano Stralcio per la programmazione e l'utilizzazione della risorsa idrica, PS9, hanno dato l'avvio all'utilizzo di modelli di gestione delle risorse sotterranee che tengono conto della geometria delle idrostrutture, dei bilanci idrogeologi-

water demand and climate changes. According to the present national legislation (D.Lgs. 152/06), the river basin authority elaborates and updates the "water balance" in order to define the percentage of water demand (for every kind of use) in relation to the actual availability. Once the problem is defined, the river basin authority establishes a programme of measures for a use-based planning of the water economy.

In the European context, the Water Framework Directive 2000/60/CE (WFD) which has been partially transposed into the Italian legislation and the Groundwater Directive 2006/118/EC (GWD) represented a strong impulse to policies concerning long-term sustainable use and protection of internal, transitional and coastal waters. For each typology of water body, the WFD defines environmental objectives that become management plan objectives as well, to be achieved within pre-established deadlines: a good environmental status should be reached by 2015 for every water body in the European Community. The condition of "good environmental status" is based on the capacity of a water body to maintain natural self-purification and dilution processes and sustain biodiversity.

In addition, an impact/pressures and an economic analysis are required in order to quantify the effects of human activities on water bodies and find solutions for a sustainable use of water resources. The WFD introduces a new management unit, the "river basin district" made up of "one or more neighbouring river basins together with their associated groundwaters and coastal waters". It should represent the main unit for river basin management.

In 2001, the Tiber River Basin Authority began a profitable collaboration with quantitative hydrogeology laboratory of "La Sapienza" University, introducing a deep cultural change in river basin management, previously based on a hydraulic and hydrologic approach.

The application of quantitative hydrogeology to central Italy hydrogeological structures allowed the definition of groundwater circulation schemes on the whole river basin.

In this context, the "direct" knowledge of the basin and the comprehension of the interaction between groundwater and surface water circulation and the contribution of subsurface resource to surface flow have produced a big change in the approach to "environmental flow". Detailed conceptual models of water bodies allow to recognize strongly groundwater-dependent watercourses and to link environmental flow assessment to the natural characteristics of a water body.

These topics, included in the Water resources management plan (PS9), lead to management models based on the knowledge of hydrogeological structures geometry, hydrogeological balance, surface-groundwater interaction processes and available/renewable resource ratio was introduced.

This represents an important step forward for the political government of the territory towards the scientific world.

ci, delle modalità di interazione con la circolazione superficiale e dei volumi estraibili in rapporto alla rinnovabilità della risorsa e rappresentano un importante passo in avanti nel percorso di avvicinamento delle politiche di governo del territorio al mondo scientifico.

## IL RETICOLO IDROGRAFICO PERENNE E LA TIPIZZAZIONE DEI CORPI IDRICI

Una corretta gestione delle risorse idriche parte da valutazioni sull'ubicazione, sull'effettiva disponibilità e sulla qualità di tali risorse, e prende in considerazione la variabilità di questi fattori nel tempo.

Il bacino del Tevere presenta un esteso reticolo idrografico alimentato costantemente dalle acque sotterranee (reticolo idrografico perenne - RIP) ed un reticolo, che si attiva solo nei periodi piovosi, alimentato dalle acque di ruscellamento.

Il bacino può inoltre essere scomposto in quattro settori (carbonatico, vulcanico, alluvionale e silico-marnoso) nei quali il reticolo si "comporta" in maniera differente in funzione delle caratteristiche idrogeologiche, dell'interazione con la circolazione sotterranea e, conseguentemente, del regime e delle modalità di alimentazione.

Queste caratteristiche sono state utilizzate come elementi discriminanti per la tipizzazione dei corpi idrici superficiali nell'ambito dell'applicazione della Direttiva Quadro sulle Acque (DG ENV, 2004; AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME TEVERE, 2005).

In figura 1 si riporta la scomposizione del reticolo idrografico in corpi idrici superficiali suddivisi in 11 classi tipologiche.

I "tipi" così individuati sono stati caratterizzati utilizzando altri parametri (ARPA UMBRIA, 2005; ARPA LAZIO, 2007), quali: le caratteristiche idrogeologiche; l'Indice di Funzionalità Fluviale (IFF); le carte di distribuzione delle specie ittiche; il monitoraggio del macrobenthos; le pressioni antropiche.

Attraverso il confronto poi con le condizioni di riferimento, ossia le condizioni naturali ante antropizzazione, sono state valutate le variazioni qualitative e/o quantitative.

Per ciascun ambito, il cui reticolo contiene un gruppo definito di "tipi" fluviali, è stata presa a riferimento una metodologia specifica per l'individuazione delle condizioni di riferimento e per l'attribuzione di appropriati valori di Deflusso Minimo Vitale.

## L'IDROGEOLOGIA QUANTITATIVA COME SUPPORTO ALLA PIANIFICAZIONE

Allo stesso modo si è proceduto alla identificazione e caratterizzazione dei corpi idrici sotterranei, ai sensi della WFD e della Direttiva 2006/118/CE (GroundWater Directive - GWD) (WENDLAND *et alii*, 2008).

Una prima schematizzazione della circolazione sotterranea è riassunta nella "Carta delle idrostrutture carbonatiche, degli acquiferi alluvionali e degli acquiferi vulcanici che alimentano le sorgenti ed il reticolo idrografico perenne, in periodo di magra ordinaria" (BONI, 2003). Sono state riconosciute 14 idrostrutture carbonatiche, 3 acquiferi vulcanici, 9 acquiferi alluvionali ed un acquifero costiero. La

## PERENNIAL STREAM NETWORK AND WATER BODIES TYPOLOGY

A correct management of water resources depends on the assessment of the effective availability and quality of resources, their location and the variation of these parameters over time.

The Tiber river basin's stream network is made up of two kinds of water circulation. Watercourses that are constantly recharged by groundwater flowing from springs form the perennial stream network. Part of the drainage network is fed by effective rainfall that flows on the surface to the streams. Runoff is irregular and it depends on the precipitation regime.

The Tiber river basin can be divided into four sectors (carbonate, volcanic, alluvial and flysch) where circulation networks "behave" in different ways depending on hydrogeological characteristics, groundwater-surface water interaction and, therefore, flow change and recharge.

These characteristics were used as discriminants for surface water bodies' type classification in the WFD implementation (DG ENV, 2004; AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME TEVERE, 2005).

Figure 1 shows types identification in the Tiber river basin network. Eleven types were identified.

In order to characterize recognized "types", other parameters were examined (ARPA UMBRIA, 2005; ARPA LAZIO, 2007): hydrogeological characteristics, Fluvial Functioning Index (FFI), fish distribution maps, macrobenthos monitoring, human pressures.

Qualitative and/or quantitative modifications are assessed by comparing reference conditions, represented by natural pre-anthropogenic conditions, to the present conditions.

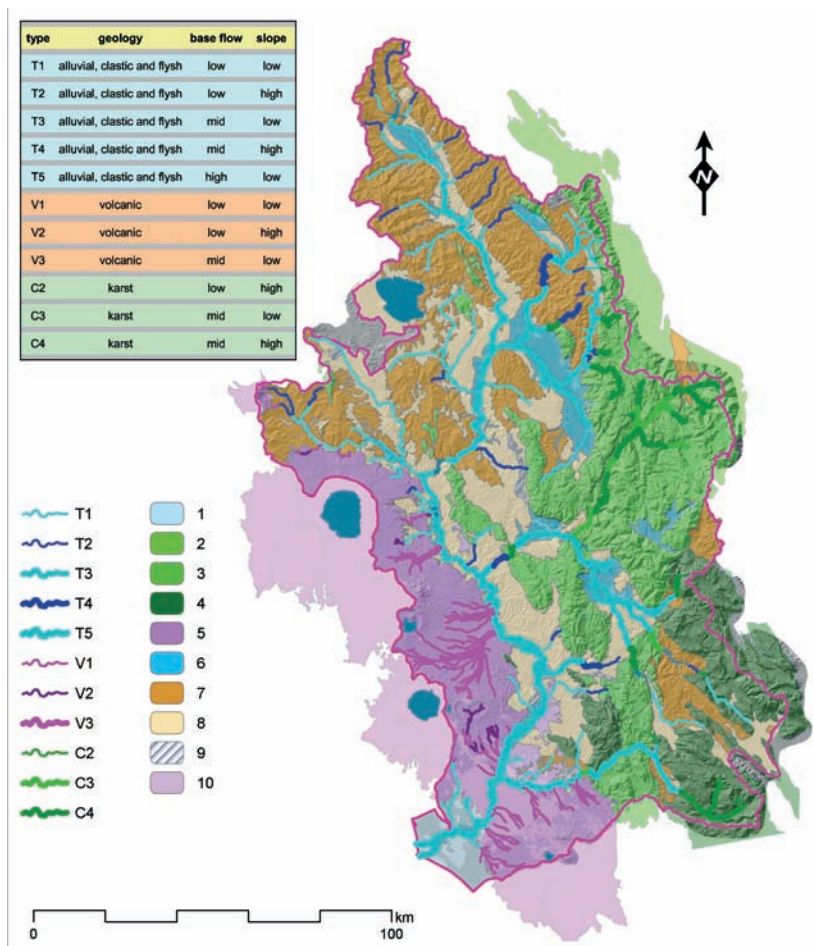
For each sector of the river basin, where surface water body "types" have been identified, a specific methodology was adopted in order to define reference conditions and environmental flow assessment.

## QUANTITATIVE HYDROGEOLOGY AS WATER PLANNING SUPPORT

In a similar way groundwater bodies were identified as well, according to the WFD and 2006/118/EC (GroundWater Directive - GWD) (WENDLAND *et alii*, 2008).

The "Map of carbonate hydrogeological structures, alluvial aquifers and volcanic aquifers that recharge perennial stream network and springs in low flow periods" (BONI, 2003) is an outline of groundwater circulation in the Tiber river basin. In this map 14 carbonate hydrogeological structures, 3 volcanic aquifers, 9 alluvial aquifers and 1 coastal aquifer were identified. The evaluation of overall discharge is very similar to the present one (100 m<sup>3</sup>/s).

Fig. 1 - La "tipizzazione" del reticolo fluviale del bacino del Fiume Tevere. Legenda: 1 - acquifero costiero, 2 - carbonati di ambiente di bacino; 3 - carbonati di ambiente di transizione; 4 - carbonati di ambiente di piattaforma; 5 - sistemi vulcanici; 6 - acquiferi alluvionali; 7 - complesso argilloso marnoso; 8 - depositi clastici plio-pleistocenici; 9 - travertini; 10 - vulcaniti  
 - *Type identification for Tevere river basin surface water bodies. LEGEND: 1 - coastal aquifer; 2 - carbonate structures: basin domain; 3 - carbonate structures: platform domain; 4 - carbonate structures: transitional domain; 5 - volcanic systems; 6 - alluvial aquifers; 7 - argillaceous and marly deposits; 8 - Plio-Pleistocene clastic deposits; 9 - travertines; 10 - volcanites*



stima delle risorse erogate è praticamente coincidente con la valutazione attuale ed è pari a circa 100 m<sup>3</sup>/s.

Partendo da queste basi conoscitive, negli anni successivi l'Autorità di bacino ha promosso diversi studi di idrogeologia, finalizzati in particolar modo ad approfondire i modelli della circolazione sotterranea e della sua interazione con le acque superficiali.

Questi approfondimenti hanno permesso di determinare la rilevanza dei serbatoi sotterranei nel settore vulcanico, ma soprattutto di mettere in evidenza il ruolo strategico delle idrostrutture carbonatiche, da cui proviene quasi il 90% del flusso di base del Fiume Tevere.

Il carattere strategico di questo settore del bacino deriva, oltre che dalla notevole quantità di risorsa immagazzinata, anche dalla straordinaria qualità che generalmente caratterizza le sorgenti carbonatiche.

Al fine di una corretta gestione di queste risorse si è subito evidenziata la inadeguatezza degli usuali metodi idrologici e quindi la necessità di un approccio basato sulla profonda conoscenza del territorio. La circolazione sotterranea e la sua interazione con il reticolo superficiale sono controllate dall'assetto geologico-strutturale e caratterizzano fortemente i corsi d'acqua del bacino del Tevere, conferendo peculiarità proprie a ciascun tratto fluviale. Nel settore carbonatico sono inoltre presenti numerose derivazioni idroelettriche, che tra l'al-

According to this knowledge, the Tiber River Basin Authority promoted, in the following years, several hydrogeological studies in order to examine closely groundwater circulation schemes and groundwater-surface water interaction models.

These in-depth examinations highlighted several aspects, such as the relevance of volcanic aquifers and the strategic role of carbonate hydrogeological structures, which account for nearly 90% of the Tiber river's base flow.

The strategic role of this part of the river basin is due to stocked water quantity but also to the extraordinary quality of carbonate springs.

It became evident that the old hydrological methodology was not sufficient for a correct management of these resources. An approach based on a deep knowledge of the physical characteristics turned out to be necessary. Underground circulation and its interaction with surface water bodies, that are controlled by geological-structural elements, characterize watercourses, making each stream distinct and featured. Moreover, in the carbonate sector, natural conditions are often altered by several hydroelectric withdrawals and diversions to other basins.

In this sense, the activity aimed at the identification, within the

tro determinano anche sostanziali trasferimenti tra bacini limitrofi.

Si è quindi proceduto alla individuazione sul reticolo perenne alimentato dagli acquiferi carbonatici di tutte le sezioni in cui si riscontrano significative variazioni di portata, sia naturali sia artificiali, individuando i tratti di interconnessione tra la circolazione superficiale e quella sotterranea ed evidenziando, in particolare, gli apporti delle sorgenti lineari (BONI, 2003).

Su questa base è stata interpretata e sistematizzata una grande mole di dati acquisiti attraverso campagne di misura dirette integrate dalla rilettura dei dati storici di magra del Servizio Idrografico.

Le misure di portata in alveo sono state acquisite in assenza di precipitazioni per una valutazione attendibile del flusso di base di magra ordinaria (BF).

Per la maggior parte dei corsi d'acqua è stato possibile ricostruire la condizione idrologica di riferimento, ossia la condizione naturale pre-antropica, su cui basare la programmazione degli usi della risorsa idrica, pervenendo ad uno schema concettuale di funzionamento popolato da valori di portata coerenti, anche se con un livello di affidabilità statistica variabile in funzione della quantità dei dati disponibili.

I risultati di questo lavoro sono stati riassunti nelle cartografie di piano, che utilizzano simbologie ideate appositamente (BONI, 2004) per rendere chiara la comprensione dell'intero sistema idrogeologico (Figg. 2 e 3).

Un'altra scelta di rappresentazione sintetica ed immediata è stata la costruzione di un grafico, la "curva caratteristica" (Fig. 4), che mette in relazione la portata con la quota per ciascuna sezione significativa del corso d'acqua (BONI, 2003). Si evidenziano in tal modo le variazioni del flusso di base del fiume lungo il suo profilo longitudinale in corrispondenza di apporti sotterranei (sorgenti puntuali o lineari) e superficiali (contributi di altri corsi d'acqua). In uno stesso grafico, per uno stesso tratto fluviale, sono state rappresentate diverse "curve caratteristiche", costruite per diverse portate, al fine di un efficace confronto. In particolare sono state messe a confronto i valori di portata naturale, le risorse residue ed i valori di Deflusso Minimo Vitale. Per portata naturale si intende la portata di magra ordinaria che defluirebbe naturalmente in alveo in assenza di derivazioni, assunta come condizione di riferimento. La portata residua è invece la portata effettivamente presente in alveo, che risente delle derivazioni.

Un esempio è riportato in figura 4 dove si nota che, in gran parte del corso del Fiume Nera, l'impatto dell'utilizzo antropico della risorsa è tale da non garantire gli usi ecosistemici (tratti in cui la linea rossa è a sinistra della linea del DMV).

La curva viene perciò utilizzata come strumento di analisi nella valutazione dello stato di sofferenza dei corsi d'acqua e del Deflusso Minimo Vitale (DMV) per la pianificazione degli usi, considerando che la condizione di riferimento non è data solo dal valore quantitativo del flusso di base ma anche dalle sue variazioni.

Per tale ragione si è assunta, per ogni sezione significativa del corso d'acqua, una componente idrologica del DMV pari ad una quota della portata effettivamente presente nel corso d'acqua e che

perennial stream network fed by carbonate aquifers, of cross-sections where significant (both natural or artificial) discharge variations occur. Water stream is then thoroughly characterized; groundwater-surface water interconnection stretches, in particular linear springs, are identified (BONI, 2003).

Through discharge measurement campaigns and fieldwork a large amount of data, were collected, analysed and systematized. During the collaboration with the Tiber River Basin Authority, another measurement campaign was programmed on the whole river basin. Discharge measurement data were integrated with the analysis of national hydrographic survey historical low-flow data.

In order to obtain the actual base flow value (BF), flow discharge should not include run-off. Discharge measures are then acquired in dry periods, when rainfall contribution can be considered unimportant.

Through further processing, natural pre-anthropogenic conditions were defined and then used as a reference basis for resource-using objectives.

The resulting conceptual model is based on coherent discharge values, although the statistical reliability of these values is variable depending on the quantity of available data.

These elaborations have been summarized in synthetic maps and implemented in the water resource management plan (Figg. 2 and 3) through a clear and comprehensible symbology (BONI, 2004).

Furthermore, a method to represent the relationship between discharge and elevation for each significant cross-section was elaborated (BONI, 2003). This graph, named "characteristic curve" (Fig. 4) of a watercourse or a stream stretch, highlights base flow variations along the longitudinal profile where linear or point sources are located or at the confluence with tributaries. In the same chart, for the same stream stretch, several "characteristic curves" can be represented, in order to compare different discharges. In particular, natural discharge, residual resources and environmental flow values were compared. "Natural discharge" is the natural "low flow" discharge without human diversions. It is taken as "reference condition". Whereas "residual discharge" is the flow actually present in the river bed, considering water withdrawals.

Figure 4 is an example of this kind of graph. It shows that in the Nera river anthropic use is so high that it doesn't allow ecosystemic uses (where the red line is on the left of the environmental flow line).

The chart is an analysis instrument to identify suffering water streams and define the environmental flow for water use planning, considering that reference conditions correspond not only to the value of the base flow, but also to its variations.

This is the reason why a hydrological component of environmental flow was established for each significant cross-section of the stream network. These values were calculated as a part of the actual flow, taken into account natural variations along the river stream.

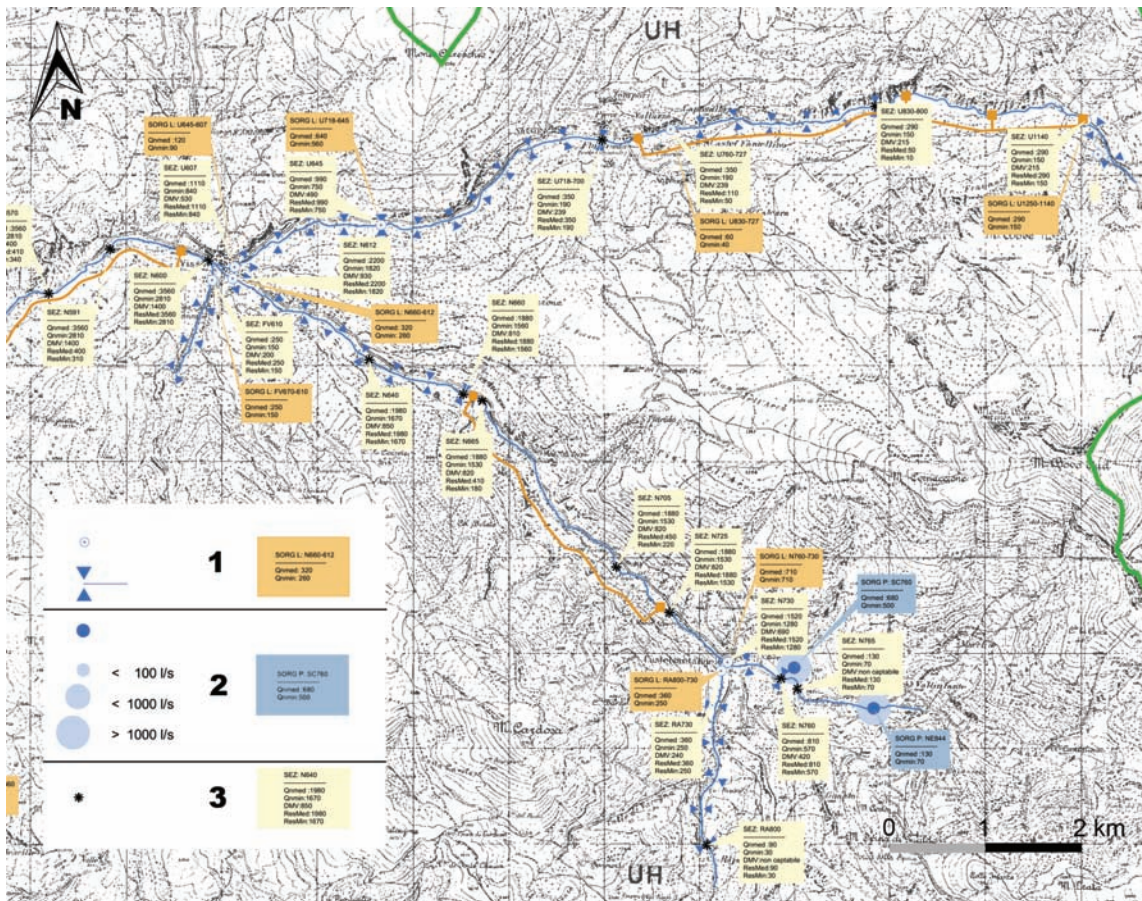


Fig. 2 - Esempio di rappresentazione cartografica delle elaborazioni sul reticolo superficiale (Piano Stralcio per la programmazione e l'utilizzazione della risorsa idrica, PS9, in corso di redazione). LEGENDA: 1 - sorgenti lineari: ubicazione e valori di portata; 2 - sorgenti puntuali: ubicazione e valori di portata; 3 - sezioni di misura: ubicazione e valori di portata

- Example of a map of surface data processing (Water resources management plan, PS9, in progress). LEGEND: 1 - linear springs: localization and discharge values; 2 - localized springs: localization and discharge values; 3 - discharge measure sites: localization and discharge values

tiene conto dei naturali incrementi lungo l'asta fluviale.

Il metodo utilizzato (BONI, 2004) si basa su una formula empirica che permette di calcolare il DMV come percentuale della portata naturale di magra ordinaria, attraverso un coefficiente di correzione dipendente dalla tipologia del corso d'acqua:

$$DMV = 0.1 + (C - 0.01 BF) BF$$

dove BF = flusso di base naturale medio di magra ordinaria in una qualunque sezione del reticolo idrografico perenne; C = Coefficiente di correzione (pari a 0.35 o 0.4), dipendente dalle caratteristiche idrologiche del corso d'acqua.

In Figura 5 il DMV così calcolato viene confrontato con il BF o sue componenti.

I valori ottenuti in alcune sezioni significative sono stati confrontati con le portate derivanti dall'applicazione del metodo dei microhabitat, con particolare riferimento alle portate ottimali individuate dalle curve ADP (Area Disponibile Ponderata) assumendo come specie bersaglio la trota. Nel reticolo carbonatico del bacino del Tevere, un valore del coefficiente di correzione C pari a 0,4 fornisce valori del DMV

The used methodology (BONI, 2004) is based on an empirical formula that allows to calculate environmental flow as a percentage of natural low discharge, by means of a correction coefficient depending on watercourse typology:

$$EF = 0.1 + (C - 0.01 BF) BF$$

where: EF = environmental flow; BF = base flow; C = correction coefficient (0.35 or 0.4), depending on the hydrogeological characteristics of the watercourse.

In Figure 5 the calculated environmental flow is compared to the BF or its components.

Calculated values have been compared with values obtained from the microhabitat method using trout as pilot/target species. In the Tiber river basin carbonate stream network, the environmental flow values obtained using a 0.4 correction coefficient are comparable with microhabitat values.

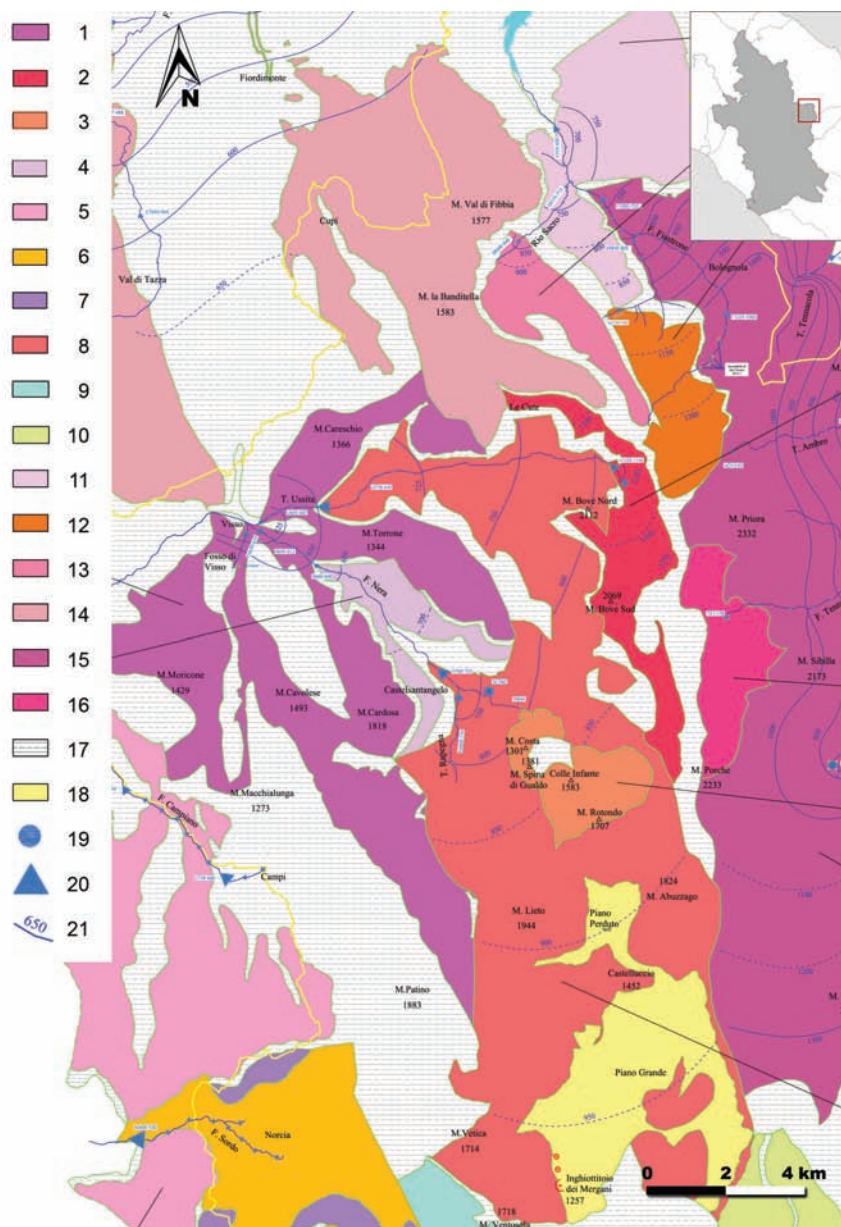


Fig. 3 - Stralcio di Carta idrogeologica (modificata da BONI *et alii*, 2007). LEGENDA. Aree di alimentazione degli acquiferi dei Monti Sibillini: 1 - acquifero sospeso della Scaglia calcarea dei F. Nera e Ussita; 2 - acquifero sospeso della Maiolica delle sorgenti del T. Ussita; 3 - acquifero sospeso della Maiolica delle sorgenti del Nera; 4 - acquifero della Maiolica tra Visso e Castel S. Angelo; 5 - acquifero della Scaglia calcarea, che alimenta l'alto corso del F. Sordo e il corso del F. Campiano; 6 - acquifero dei depositi fluvio-lacustri e di copertura che colmano la depressione di Norcia; 7 - complessi di natura calcarea, che contribuiscono all'alimentazione dell'acquifero della Piana di Norcia; 8 - acquifero basale dei F. Nera e Ussita; 9 - acquifero della sorgente di Capodacqua del Tronto; 10 - acquifero della Maiolica delle sorgenti di Pescara del Tronto; 11 - acquifero della Scaglia calcarea del F. Fiastrone e del Rio Sacro; 12 - acquifero della Scaglia calcarea delle Cascate dell'Acquasanta; 13 - acquifero della Maiolica del Rio Sacro; 14 - acquifero sospeso della Scaglia calcarea del F. Chienti; 15 - acquifero basale dei M. Sibillini orientali; 16 - acquifero sospeso della Maiolica della sorgente del Tenna; 17 - area che non contribuisce ad alimentare gli acquiferi riconosciuti; 18 - Piani di Castelluccio: area endoreica che alimenta l'acquifero basale; 19 - sorgenti puntuali; 20 - sorgenti lineari; 21 - isopieze note

- Extract of Hydrogeological map (modified from BONI *et alii*, 2007). LEGEND. Catchment areas of main aquifers of Monti Sibillini structure: 1 - Western Sibillini Scaglia calcarea aquifer (Nera and Ussita River); 2 - North-Central Sibillini Maiolica aquifer (Ussita River); 3 - Central Sibillini Maiolica aquifer (Nera river); 4 - West-Central Sibillini Maiolica aquifer (Nera river); 5 - South-Western Scaglia calcarea aquifer (F. Campiano); 6 - Fluvio-lacustrial deposits aquifer in the Norcia Plain; 7 - Calcareous deposits that recharge Norcia plain aquifer; 8 - Western Sibillini basal aquifer (Nera and Ussita rivers); 9 - Southern Sibillini basal aquifer (Capodacqua del Tronto springs); 10 - Southern Sibillini Maiolica aquifer (Pescara del Tronto springs); 11 - North-Eastern Scaglia calcarea aquifer (Fiastrone and Sacro rivers); 12 - North-Eastern Scaglia calcarea aquifer (Acquasanta falls); 13 - North-Eastern Maiolica aquifer (Sacro river); 14 - Scaglia calcarea aquifer of Chienti river; 15 - Eastern Sibillini basal aquifer; 16 - Tenna springs Maiolica aquifer; 17 - Impermeable deposits; 18 - Castelluccio endorheic basin; 19 - Localized springs; 20 - Linear springs; 21 - Piezometric lines

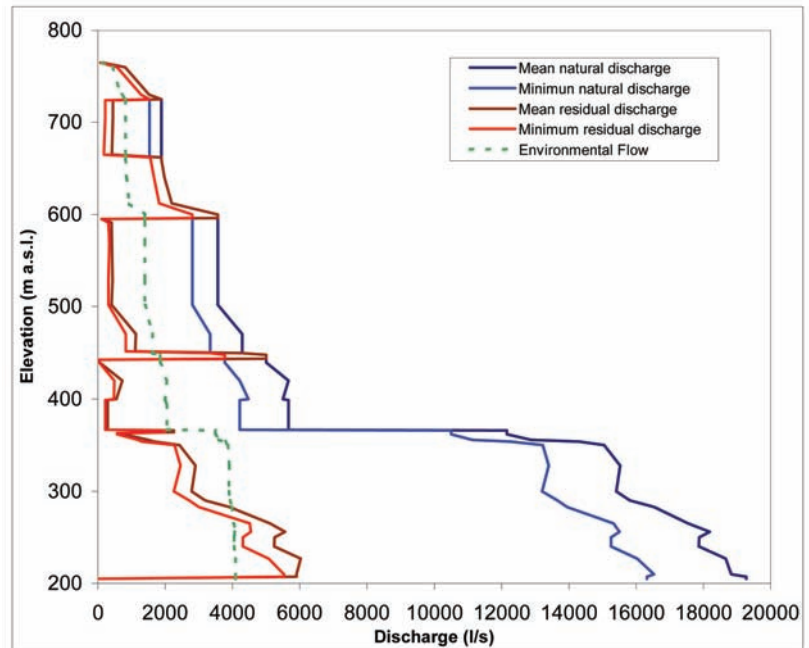


Fig. 4 - Curva caratteristica del F. Nera dalle Sorgenti alla Cascata delle Marmore  
- "Characteristic curve" of Nera River from headwaters to Marmore Falls

compatibili con le portate desunte dall'analisi delle curve ADP.

#### CARATTERIZZAZIONE DEI CORPI IDRICI SOTTERRANEI E MODELLI CONCETTUALI, UN ESEMPIO SUI MONTI SIBILLINI

Il corpo idrico sotterraneo è definito nella Direttiva 2000/60/CE come "un volume distinto di acque sotterranee contenuto da uno o più acquiferi". La caratterizzazione avviene attraverso un processo iterativo che parte da una prima individuazione del corpo idrico e mira ad una elaborazione sempre più dettagliata del suo modello concettuale, che costituisce "una rappresentazione semplificata o ipotesi di lavoro, del presunto comportamento del sistema idrogeologico".

I corpi idrici devono essere individuati in maniera da rendere possibile una descrizione dello stato quantitativo e chimico delle acque sotterranee. Possono coincidere con l'acquifero, essere parte di esso o essere costituiti dall'associazione di più acquiferi, purché le caratteristiche idrogeologiche e la qualità delle acque sotterranee siano simili e purché, come già detto, sia possibile elaborare un bilancio idrico.

Nel bacino del Tevere, partendo dai dati di superficie descritti nel paragrafo precedente insieme a valutazioni idrogeologiche (qualitative e quantitative) e strutturali sono state definite le modalità di alimentazione dei corsi d'acqua e si sono poste le basi per la definizione del modello della circolazione sotterranea.

Nel settore carbonatico, data l'estensione dell'area di indagine (oltre 7000 km<sup>2</sup>) in relazione ai tempi a disposizione, sono state prima di tutto delimitate le "idrostrutture", che costituiscono sistemi "chiusi" dal punto di vista idraulico e possono essere identificate, in prima analisi, come "unità di bilancio". Il primo modello concettuale di una idrostruttura ne definisce un numero limitato di caratteristiche,

#### THE GROUNDWATER BODIES CHARACTERISATION AND CONCEPTUAL MODELS, AN EXAMPLE ON THE MONTI SIBILLINI

The WFD defines a groundwater body as "the distinct volume of groundwater within an aquifer or aquifers". The characterization follows a hierarchical process that starts from the identification of a groundwater body and ends with its conceptual model that is "a simplified representation or working hypothesis of the hydrogeological system behaviour".

The groundwater bodies should be delineated in such a way as to enable an appropriate description of the quantitative and chemical status of groundwater. They can correspond to an aquifer, be a part of the aquifer or an association of aquifers, provided they have the same hydrogeological characteristics and the same water quality and provided it is possible to elaborate a water balance.

In the Tiber river basin the way that groundwater supplies the perennial hydrographic network has been defined on the basis of surface data and hydrogeological (qualitative and quantitative) and structural analyses.

In the carbonate sector, covering a vast surface area of about 7000 km<sup>2</sup>, first of all, the "hydrogeological structures" that constitute a closed system from a hydraulic point of view were delineated and initially identified as "balance units". The initial conceptual model of the hydrogeological structures defines a limited number of characteristics such as hydrogeological characteristics, geometric boundaries, main springs, and total hydrogeological balance.

The idea was to conduct in-depth examinations of the single



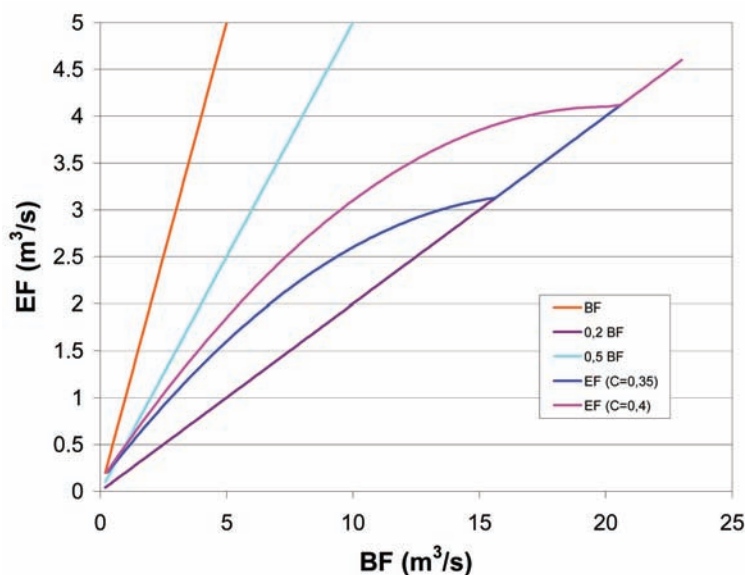


Fig. 5 - Deflusso Minimo Vitale (DMV) per un Flusso di Base (BF) compreso tra 0.2 e 23 m<sup>3</sup>/s. I valori di DMV sono calcolati con la formula  $DMV = 0.1 + (C - 0.01BF)BF$  per  $C=0.35$  e  $C=0.4$ . Per valori maggiori di 15 m<sup>3</sup>/s ( $C=0.35$ ) e 20 m<sup>3</sup>/s ( $C=0.4$ ) la portata di DMV è pari al 20% di BF

- Environmental Flow (EF) for BaseFlow (BF) values between 0.2 and 23 m<sup>3</sup>/s. EF values are calculated with the formula  $DMV = 0.1 + (C - 0.01BF)BF$  for  $C=0.35$  and  $C=0.4$ . For values between 15 m<sup>3</sup>/s ( $C=0.35$ ) and 20 m<sup>3</sup>/s ( $C=0.4$ ) environmental flow is equal to 20% of BF

ossia le caratteristiche idrogeologiche generali, i limiti geometrici, le principali emergenze, ed il bilancio idrogeologico complessivo.

L'idea è stata quella di procedere per successivi approfondimenti sulle singole idrostrutture secondo un programma dettato da priorità derivanti dall'analisi delle situazioni di criticità per gli usi concorrenti e dalle esigenze di pianificazione.

Un primo approfondimento ha riguardato l'idrostruttura dell'Umbria nord-orientale e ha prodotto lo schema idrogeologico del sistema che alimenta il reticolo carbonatico del Topino e del Chiascio ed una prima ipotesi di modello concettuale (BONI, 2003).

Tuttavia la situazione più adatta a sviluppare un vero e proprio modello concettuale è risultata essere l'idrostruttura dei Monti Sibillini, che rappresenta un'area di particolare rilevanza per la posizione a cavallo tra due Regioni, tra diversi bacini idrografici e sede di un parco naturale nazionale. In quest'area si sovrappongono interessi concorrenti per le esigenze ecosistemiche, l'approvvigionamento idropotabile e le attività produttive.

Nel 2006 si sono quindi approfonditi gli schemi di circolazione e di alimentazione dell'intera Struttura idrogeologica dei Monti Sibillini, per la definizione del modello concettuale a sostegno di una corretta programmazione degli usi (BONI *et alii*, 2007).

Per ogni sorgente individuata in superficie è stato ricostruito il sistema di alimentazione sotterraneo. Attraverso studi di bilancio e considerazioni geologiche sono stati delimitati e caratterizzati i singoli acquiferi, per ognuno dei quali è stato quindi elaborato un modello idrogeologico concettuale, che descrive il sistema nelle sue caratteristiche (geologiche, geometriche e idrauliche) più rilevanti e costituisce una base conoscitiva da testare ed affinare via via che le conoscenze sul territorio aumentano.

Al contempo, il modello concettuale è anche un modello di gestione e di previsione, da utilizzare per indirizzare le scelte durante il processo di pianificazione. È una descrizione chiara non solo

hydrostructures following a programme based on critical situations' evaluation and planning requirements.

The Umbrian north-eastern hydrogeological structures were examined producing the hydrogeological scheme of the Topino and Chiascio rivers system and the first hypothesis of conceptual model (BONI, 2003).

However the most suitable situation to develop a real conceptual model turned out to be the Monti Sibillini hydrogeological structure, that represents an area which is particularly important for its position in between two regions, across different river basins and because it is identified as the site of the Monti Sibillini National Park. In this area different interests (ecosystem needs, water supply and industrial activities) are competing for water resources.

In order to programme a correct use of water resources in 2006 the Tiber River Basin Authority began to elaborate the circulation schemes and the conceptual model of the whole Monti Sibillini hydrostructure (BONI *et alii*, 2007).

Groundwater recharge systems were reconstructed for each of the springs. By means of balance studies and geological considerations, single aquifers were analysed and characterised and for each of them hydrogeological conceptual models were elaborated, in order to describe the most relevant (geological, geometric and hydraulic) characteristics of the system. This represents the cognitive basis that has to be tested and refined as knowledge on the physical system increases.

The conceptual model is also a management and an estimation model that guides choices during the planning process. It is a description of both surface and underground processes. Knowing groundwater's origin, depth and flow gradient allows us to evaluate the impacts (or the effects) of the human pressures and to evaluate the necessary time to produce these effects.

| Aquifer   | Springs elevation (m a.s.l.) | Recharge Area (km <sup>2</sup> ) | Effective Infiltration (mm/y) | Discharge (m <sup>3</sup> /s) |
|---|------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| SCAGLIA - Nera and Ussita Rivers                                    | Various                      | 46,8                             | 430                           | 0,6                           |
| SCAGLIA - Sordo and Campiano Rivers                                 | Various                      | 200                              | 400                           | 2,6                           |
| MAIOLICA - Nera Springs   | 660-640                      | 5,7                              | 500                           | 0,1                           |
| MAIOLICA - Nera River   | 844                          | 6                                | 525                           | 0,1                           |
| MAIOLICA - Ussita River   | 1250-1140                    | 10                               | 1000                          | 0,3                           |
| BASAL Aquifer (Maiolica, Scaglia, Norcia Plain lacustrial deposits) | Various                      | 96,6                             | 780                           | 2,4                           |
| Norcia Plain Aquifer  | -                            | 41,1                             | 200                           | 0,3                           |
| <b>Total discharge</b>  |                              |                                  |                               | <b>6,4</b>                    |

Tab. 1 - Portate erogate dagli acquiferi del settore sud-occidentale della struttura dei Monti Sibillini. La risorsa complessivamente erogata nel bacino del Tevere è di circa 6.4 m<sup>3</sup>/s  
- *Aquifers discharge flow in the south-western sector of the Monti Sibillini structure. The total discharge in the Tevere river basin is about 6.4 m<sup>3</sup>/s*

delle evidenze di superficie ma anche dei processi che avvengono nel sottosuolo. Conoscere la provenienza delle acque sotterranee, la loro profondità, i gradienti di deflusso permette anche di ragionare sugli effetti (o impatti) delle pressioni antropiche e di fare valutazioni sui tempi necessari a produrre tali effetti. Permette anche di controllarne l'evoluzione attraverso reti di monitoraggio "tarate" sul sistema e "migliorabili" man mano che si approfondisce la conoscenza del sistema stesso e dei processi che vi hanno luogo.

Il territorio di competenza dell'Autorità di bacino del Tevere è il settore sud-occidentale della struttura dei Monti Sibillini, che alimenta il fiume Nera e i suoi affluenti per una portata complessiva di circa 6.4 m<sup>3</sup>/s. I contributi dei singoli acquiferi al flusso di base sono riassunti in Tabella 1.

Sono stati riconosciuti 6 acquiferi nei complessi carbonatici, cui si aggiunge l'acquifero dei depositi lacustri della Piana di Norcia, per il quale si ipotizza un'infiltrazione efficace di 200 mm/a, per una portata totale di 260 l/s.

L'acquifero basale, il cui modello idrogeologico concettuale è riportato in figura 6, è ospitato dal Complesso basale, che comprende le formazioni del Calcare massiccio e della Corniola. Il bilancio idrogeologico ed evidenze geologico-strutturali dimostrano che l'area di alimentazione è più ampia di quanto risulterebbe dai soli affioramenti del Complesso basale. Secondo il modello proposto, questa si estende infatti verso sud fino a comprendere l'intero bacino della Piana di Castelluccio ed alcuni affioramenti di Maiolica e Scaglia calcarea.

L'acquifero eroga una portata totale di 2.39 m<sup>3</sup>/s che per la maggior parte (circa 1,8 m<sup>3</sup>/s) alimenta sorgenti lineari e puntuali lungo il Fiume Nera. La restante parte alimenta una sorgente lineare sul Torrente Ussita.

Un importante punto di recapito dell'acquifero basale è la Sorgente di San Chiodo, che con la sua portata media di 640 l/s, è stata oggetto di un lungo contenzioso tra la Regione Marche ed il Parco dei Monti Sibillini.

Il complesso della Maiolica ospita 3 acquiferi, che alimentano rispettivamente le sorgenti del Nera a Vallinfante, il Nera a monte di Visso e il primo tratto del Torrente Ussita.

Il complesso della Scaglia calcarea ospita due acquiferi. Il primo (Fig. 7) alimenta sorgenti puntuali e lineari lungo il Nera e i suoi affluenti Ussita e Fosso di Visso, per una portata totale di 640 l/s.

The Tiber River Basin Authority covers the south-western part of the Monti Sibillini structure that feeds the Nera river and its tributaries with a total flow of 6.4 m<sup>3</sup>/s. The single aquifers contributions are summarized in Table 1.

In the carbonate complex six aquifers were identified, plus the aquifer within the lacustrian deposits of the Norcia Plain, for which an effective infiltration of about 200 mm/y for a total discharge flow of 260 l/s is assumed.

The basal aquifer (Fig. 6), is contained in the basal complex, constituted by the Calcare massiccio and Corniola formations. The hydrogeological balance and the geological-structural characteristics show that the recharge area is more extended than what results exclusively from the basal complex outcrops. In accordance to the proposed model, this recharge area extends towards south until the Castelluccio Plain and to some of the Maiolica and Scaglia calcarea outcrops.

The aquifer supplies a total discharge of 2.39 m<sup>3</sup>/s, most of which (about 1.8 m<sup>3</sup>/s) feed localized and linear springs along the Nera River. The rest feeds a linear spring along the Ussita stream.

An important outcrop point of the basal aquifer is the San Chiodo Spring. Because of its average discharge of about 640 l/s it has caused a dispute between the Marche Region and the Monti Sibillini National Park.

The Maiolica complex contains three aquifers that feed the Nera spring in Vallinfante, the Nera river upstream of Visso and the first part of the Ussita river.

The Scaglia calcarea complex contains two aquifers. The first one (Fig. 7) feeds localized and linear springs along the Nera river and its tributaries Ussita and Visso streams, with a total discharge of about 640 l/s.

A second aquifer, quite wide, has delivery points in the Nera River downstream Visso, in the upper part of the Sordo river and in the Campiano river. The recharge area of this aquifer extends to Cascia and Monte Maraviglia with a surface of about 200 km<sup>2</sup>. The discharge is over 2.5 m<sup>3</sup>/s.

The study provided an understanding of surface and groundwater circulation patterns which introduced a new conception of the natural system. On one hand the identification of the distribution of water

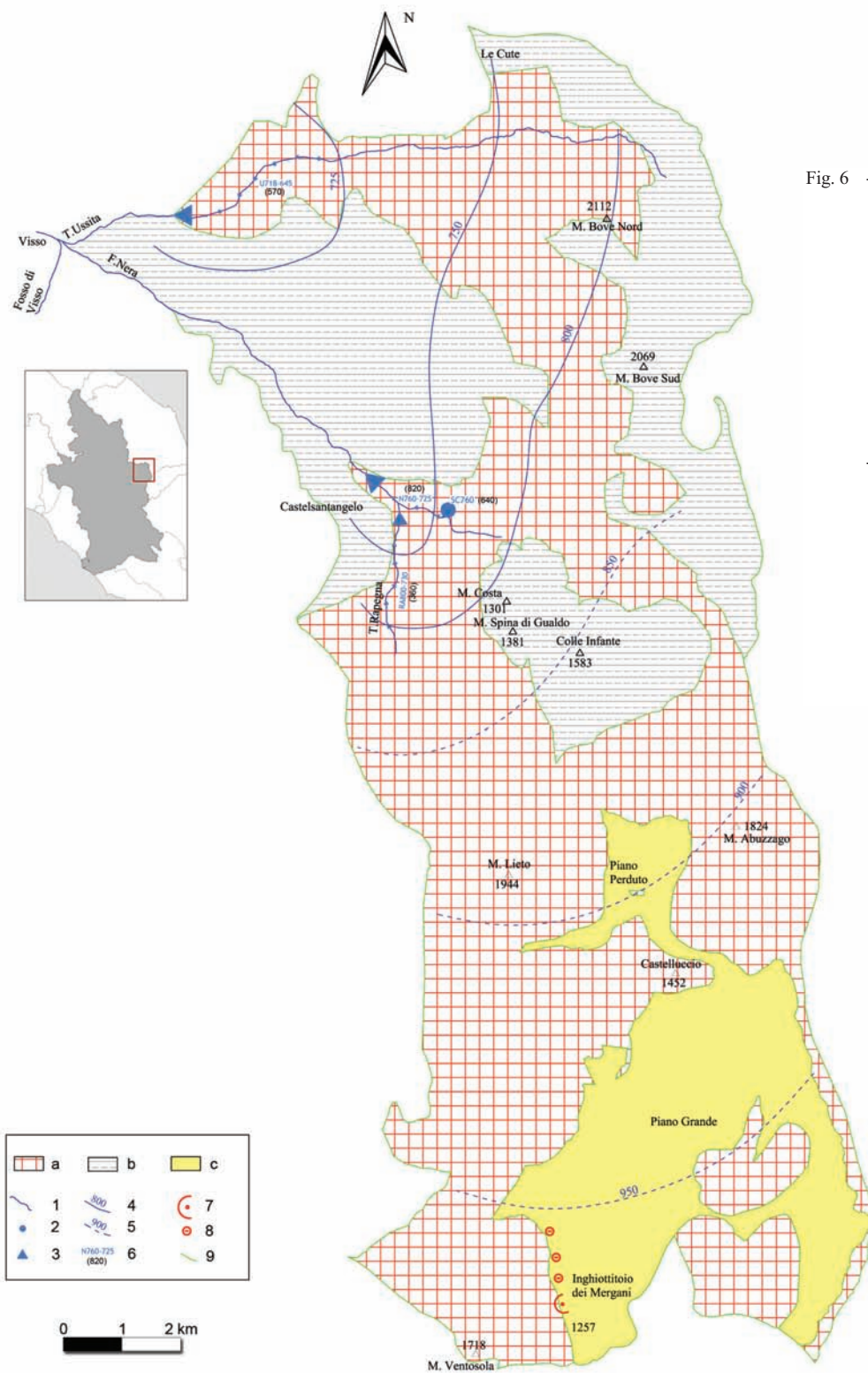


Fig. 6 - Modello concettuale dell'Acquifero basale dei Fiumi Nera ed Ussita (modificato da BONI *et alii*, 2007). L'area di alimentazione è pari a 96.6 km<sup>2</sup>, la portata media erogata dalle emergenze ammonta a 2390 l/s e l'infiltrazione efficace media risulta essere di 780 mm/a. Legenda: a) area di alimentazione dell'acquifero basale; b) area che non contribuisce ad alimentare gli acquiferi riconosciuti; c) Piani di Castelluccio: area endoreica che alimenta l'acquifero basale; 1 - reticolo idrografico; 2 - sorgenti puntuali; 3 - sorgenti lineari; 4 - isopieze note; 5 - isopieze calcolate; 6 - sigla delle sorgenti (portata); 7 - inghiottitoio; 8 - dolina; 9 - limite dell'area di alimentazione

- Conceptual model of the basal aquifer of Nera and Ussita rivers (modified from BONI *et alii*, 2007). Catchment area: 96.6 km<sup>2</sup>; mean discharge of the springs: 2390 l/s; mean effective infiltration: 780 mm/y. LEGEND: a) catchment area of the basal aquifer; b) impermeable deposits; c) Castelluccio endorheic area (part of basal aquifer's catchment area); 1 - stream network; 2 - localized springs; 3 - linear springs; 4 - piezometric lines; 5 - derived piezometric lines; 6 - spring code (discharge value); 7 - ponor; 8 - sinkhole; 9 - catchment area's limit

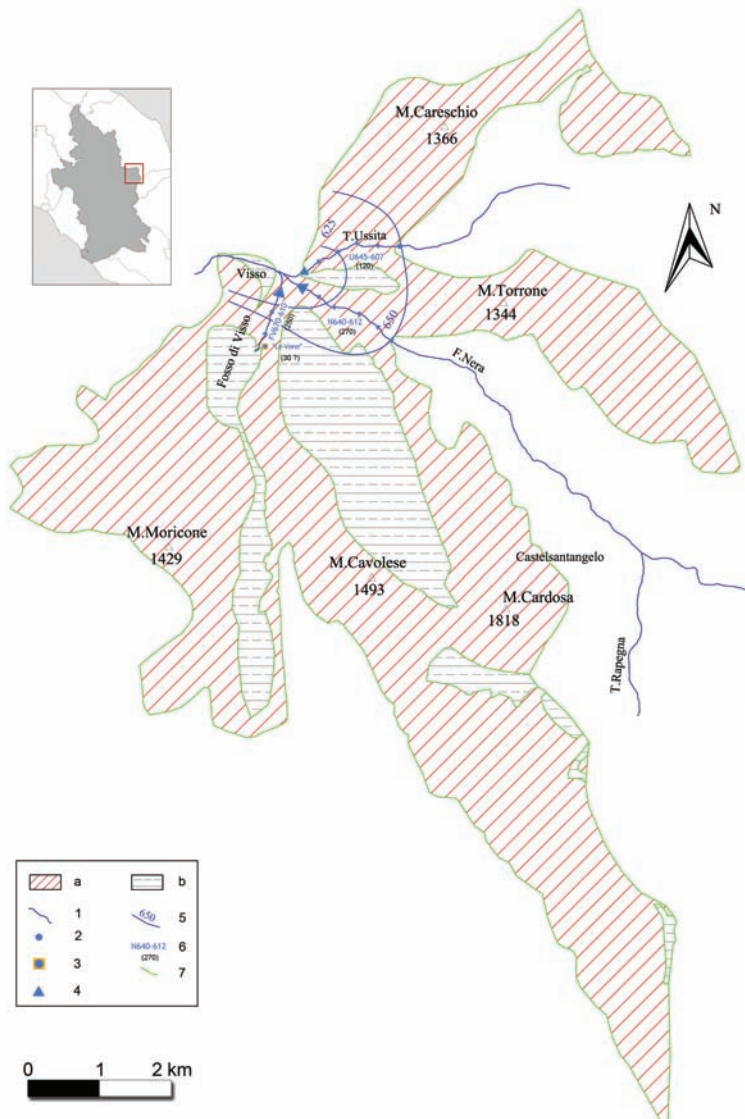


Fig. 7 - Modello concettuale dell'Acquifero della Scaglia calcarea dei Fiumi Nera ed Ussita (modificato da BONI *et alii*, 2007). L'area di alimentazione è pari a 46.8 km<sup>2</sup>, la portata media erogata dalle emergenze ammonta a 640 l/s e l'infiltrazione efficace media risulta essere di 431 mm/a. LEGENDA: a) area di alimentazione dell'acquifero della Scaglia calcarea; b) area che non contribuisce ad alimentare gli acquiferi riconosciuti; 1 - reticolo idrografico; 2 - sorgenti puntuali; 3 - sorgenti puntuali captate; 4 - sorgenti lineari; 5 - isopieze note; 6 - sigla delle sorgenti (portata); 7 - limite dell'area di alimentazione

- Conceptual model of Scaglia calcarea aquifer of Nera and Ussita rivers (modified from BONI *et alii*, 2007). Catchment area: 46.8 km<sup>2</sup>; mean discharge of the springs: 640 l/s; mean effective infiltration: 431 mm/y. LEGEND: a) catchment area of the basal aquifer; b) impermeable deposits; 1 - stream network; 2 - localized springs; 3 - captured springs; 4 - linear springs; 5 - piezometric lines; 6 - spring code (discharge value); 7 - catchment area's limit

Un secondo acquifero, molto esteso, ha punti di recapito sul Fiume Nera a valle di Visso, sull'alto corso del Fiume Sordo e sul Campiano. Secondo una prima ipotesi di modello concettuale, che si basa su alcune assunzioni che dovranno essere in seguito approfondite, l'area di alimentazione di questo acquifero si estende verso ovest in direzione di Cascia e Monte Maraviglia per un'area di circa 200 km<sup>2</sup>. La portata erogata risulta di oltre 2.5 m<sup>3</sup>/s.

La comprensione delle modalità di circolazione superficiali e sotterranee definite nello studio ha determinato una visione differente del sistema naturale da parte dei soggetti coinvolti. Se da un lato si individua la distribuzione delle risorse e quindi si possono ottimizzare i punti di prelievo al fine di soddisfare al meglio le diverse necessità, dall'altro la conoscenza approfondita delle reali disponibilità idriche costringe a riflettere su una politica di utilizzo della risorsa accompagnata da una forte attenzione alla razionalizzazione degli usi per il risparmio idrico.

resources allowed to optimize abstraction points in order to satisfy different needs in the best way possible; on the other hand a more detailed knowledge and awareness of the actual water availability leads to reflect on policies aimed at saving water and using water resources more rationally.

## CONCLUSIONI

Appare evidente in sintesi come, soprattutto in alcuni settori del bacino del Tevere, la circolazione sotterranea e la circolazione superficiale siano così fortemente interconnesse da non poter studiare l'una senza necessariamente tenere in considerazione l'altra.

L'idrogeologia quantitativa utilizza un approccio alla valutazione delle risorse idriche per step successivi partendo da un'analisi di piccola scala ed entrando via via sempre più nel dettaglio all'aumentare delle conoscenze a disposizione.

Si parte dalle grandi strutture idrogeologiche chiuse e ben delimitate sulle quali è possibile effettuare dei bilanci idrogeologici. Successivamente, per ogni idrostruttura, viene messo a punto un modello concettuale che consente di giungere, mediante affinamenti successivi, al dettaglio dei singoli acquiferi.

L'apporto più rilevante dell'idrogeologia quantitativa alla pianificazione è il riconoscimento del ruolo del modello concettuale come strumento di gestione e previsione.

La stessa linea di pensiero guida la normativa europea. Nel corso dell'attività di sperimentazione per l'applicazione della Direttiva quadro sulle acque, che ha impegnato l'Autorità di bacino del Tevere in qualità di Bacino Pilota, il percorso intrapreso è stato confrontato con le altre realtà europee inserendosi proficuamente nell'evoluzione culturale e normativa in materia di politica di protezione e gestione delle acque comunitarie (JOINT RESEARCH CENTER, 2008).

Nel bacino del Tevere si è raggiunto un buon livello di conoscenza delle risorse idriche e, seppure con un grado di dettaglio variabile, si dispone di modelli concettuali per le principali strutture idrogeologiche.

La prosecuzione delle attività, in linea con il percorso già intrapreso, consentirà anche per le idrostrutture meno conosciute di arrivare a modelli di dettaglio sufficiente per una efficace gestione delle risorse idriche. Contemporaneamente l'avvio dei programmi di monitoraggio, soprattutto delle acque sotterranee, permetterà di testare e migliorare l'accuratezza dei modelli concettuali esistenti.

## OPERE CITATE/REFERENCES

- AGENZIA PER LA PROTEZIONE DELL'AMBIENTE DEL LAZIO (2007) - *Convenzione per la definizione degli aspetti ecologici nell'ambito della sperimentazione delle linee guida di cui alla direttiva 2000/60/EC dei corpi idrici laziali*. Rapporto finale. Inedito. Roma. Autorità di bacino del Fiume Tevere.
- AGENZIA PER LA PROTEZIONE DELL'AMBIENTE DELL'UMBRIA (2005) - *Convenzione per la definizione degli aspetti quantitativi del piano stralcio per la programmazione e l'utilizzazione della risorsa idrica superficiale e sotterranea e degli aspetti ecologici nell'ambito della sperimentazione delle linee guida di cui alla direttiva 2000/60/EC dei corpi idrici Umbri*. Rapporto finale. Inedito. Roma. Autorità di bacino del Fiume Tevere.
- AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME TEVERE (2005) - *Tevere Pilot River Basin article 5 report pursuant to the water framework directive*. Edit by Ruisi M., Prati A. & Traversa P. Gangemi Editore, Roma, novembre 2005, 1-175.
- BONI C.F. (2003) - *Aggiornamento e verifica degli studi idrogeologici sulle strutture carbonatiche che alimentano le sorgenti ed il reticolo idrografico perenne del bacino del fiume Tevere. Relazione finale*. Inedita. Convenzione tra Autorità di Bacino del Fiume Tevere e Dipartimento di Scienze della Terra Università "La Sapienza" di Roma.
- BONI C.F. (2004) - *Consulenza scientifica finalizzati alla redazione del P.S.9. Relazione finale*. Inedita. Autorità di Bacino del Fiume Tevere, Roma.
- BONI C.F. (2005) - *Groundwater resources assessment in the carbonate ridges of the Tevere River Basin*. In: Autorità di bacino del Fiume Tevere - Edit by Ruisi M. Pilot River Basin Workshop, Groundwater and Water Framework Directive Management plan. M. Gangemi Editore, Roma, novembre 2005, 10-13.
- BONI C.F., PETITTA M., BALDONI T., CASCONI L. & BAZZATO F. (2007) - *Attività di studio e di ricerca idrogeologica per l'identificazione e la caratterizzazione degli acquiferi che alimentano le sorgenti perenni dei Monti Sibillini. Relazione finale*. Inedita. Convenzione tra Autorità di Bacino del Fiume Tevere, Parco Nazionale dei Monti Sibillini e Dipartimento di Scienze della Terra Università "La Sapienza" di Roma. Luglio 2007 Roma.

## CONCLUSIONS

In brief, it is evident that surface and groundwater circulation are so interconnected to one another, especially in some sectors of the Tiber basin, that the analysis of one is not possible without considering the other.

Quantitative hydrogeology uses a step-by-step water resource assessment, starting from a small scale analysis and working up to a more detailed one as more data builds up.

The first step is the hydrogeological structures' delimitation upon which the hydrogeological balance can be elaborated. For each hydrogeological structure a conceptual model is then defined. From this scale it is possible to extrapolate single aquifer detail.

The most relevant contribution of quantitative hydrogeology to river basin-planning is the acknowledgement of the lead role of the conceptual model as an instrument for water management and prediction.

This line of thought is coherent with European legislation. During the WFD Common Implementation Strategy (CIS), it has been possible to compare Tiber river basin's (designated "Pilot River Basin") experience with other similar experiences in Europe, providing a noteworthy contribute to cultural and legislative evolution of European water policy (JOINT RESEARCH CENTER, 2008). In the Tiber river basin, a good knowledge of water resources has been achieved. Conceptual models have been elaborated for most hydrogeological structures and for some of them a better level of knowledge is available.

Pursuing the activities, following the chosen line, will allow to elaborate detailed models also for less known hydrogeological structures. At the same time, monitoring programmes, especially for groundwater, will allow model testing and improving.

- ENVIRONMENT DIRECTORATE-GENERAL OF THE EUROPEAN COMMISSION (2004) - *Testing of the guidance document on identification of surface water bodies within the pilot river basin process*. Edit by WRC. Output of the Workshop held in Brussels on 25-26 September 2003. [http://circa.europa.eu/Public/irc/env/wfd/library?l=/framework\\_directive/thematic\\_documents/pilot\\_river\\_basins/prbsworkshops1identific/surface\\_reportdoc/\\_EN\\_1.0\\_&a=d](http://circa.europa.eu/Public/irc/env/wfd/library?l=/framework_directive/thematic_documents/pilot_river_basins/prbsworkshops1identific/surface_reportdoc/_EN_1.0_&a=d)
- JOINT RESEARCH CENTRE - INSTITUTE FOR ENVIRONMENT AND SUSTAINABILITY (2008) - *Pilot river basin activity - Report phase II: 2005-2006*. Edit by L. GALBIATI, F. SOMMA & J. MANUEL ZALDIVAR-COMENGES. pp. 138-144. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg. 2008.
- WENDLAND F., BLUM A., COETSIERS M., GOROVA R., GRIFFIOEN J., GRIMA J., HINSBY K., KUNKEL R., MARANDI A., MELO T., PANAGOPOULOS A., PAUWELS H., RUISI M., TRAVERSA P., VERMOOTEN J. S. A. & WALRAEVENS K.. (2008) - *European aquifer typology: a practical framework for an overview of major groundwater composition at European scale*. *Environmental Geology*, **55** (1): 77-85.

*Received September 2008 - Accepted January 2009*