

P. STIGLIANO(*), A. ALTIERI(**), R. BARBERI(**), G. DE CATERINI(**)
R. MASSOLI-NOVELLI(***) E. MICCADEI(****), M. PETITTA(***)
T. PIACENTINI(**) & R. SALVATI(*****)

STUDI PER UN MONITORAGGIO IDROLOGICO DEL MASSICCIO DEL GRAN SASSO (ABRUZZO)

INDICE

1. CARATTERI E FINALITÀ DELLO STUDIO	”	153
2. CARATTERI GEOLOGICI E IDROGEOLOGICI	”	154
2.1. Inquadramento geologico	”	154
2.2. Inquadramento idrogeologico	”	156
3. METODOLOGIA DI STUDIO	”	157
3.1. Ricerche geologiche	”	157
3.2. Ricerche idrogeologiche	”	161
4. QUADRO DELLE CONOSCENZE ACQUISITE	”	166
5. PROSPETTIVE DELLA RICERCA	”	167
BIBLIOGRAFIA	”	169

1. CARATTERI E FINALITÀ DELLO STUDIO

L'acqua come risorsa da tutelare e gestire in maniera oculata costituisce un impegno prioritario per qualsiasi comunità od insediamento umano. Ciò è tanto più vero in un Paese, come il nostro, nel quale il dissesto idrogeologico, la crescita incontrollata delle attività industriali, l'uso improprio delle risorse disponibili, la variabilità e l'entità dei fenomeni meteorologici hanno prodotto danni ingenti al patrimonio idrico.

Con la Legge 183/89 sulla difesa del suolo sono state poste le premesse e forniti gli strumenti per una riforma dei settori della Pubblica Amministrazione coinvolti nella gestione del territorio nell'ambito specifico del bacino idrografico, favorendone il riassetto organizzativo e funzionale. Molti principi guida della gestione delle acque sono stati sviluppati sulla scorta delle passate esperienze, e benché molto sia ancora da fare, con la recente produzione normativa e legislativa è stato dato un notevole impulso ai processi di tutela e salvaguardia delle risorse. Si è resa evidente soprattutto l'opportunità di affrontare in modo integrato la soluzione di problemi che riguardano la necessaria coesistenza di esigenze socioeconomiche e ambientali.

L'integrazione dei contributi richiede ovviamente una stretta cooperazione a livello progettuale ed operativo tra la struttura governativa, la Pubblica Amministrazione e le organizzazioni scientifiche e tecnologiche in grado di dare significativi apporti allo sviluppo delle conoscenze e delle realizzazioni.

(*) CISE S.p.A., Milano.

(**) Ecogea S.r.l., Roma.

(***) Dipartimento Scienze Ambientali - Università de L'Aquila.

(****) Dipartimento Scienze Geologiche - Università di Chieti.

(*****) Dipartimento Scienze Geologiche - Università Roma Tre.

In questa ottica si colloca l'azione del Consorzio di Ricerca del Gran Sasso, istituito con la Legge 366/90 la quale, oltre a definire e finanziare il programma di ampliamento delle opere civili dei Laboratori Nazionali del Gran Sasso dell'I.N.F.N., definisce altresì le finalità del suddetto Consorzio.

Per quanto riguarda, in particolare, le attività del Consorzio di Ricerca del Gran Sasso, la realizzazione di una rete di monitoraggio idrologico, per la quale si applicano le più moderne, aggiornate e complete metodologie di indagine, costituisce un caposaldo nella struttura di rilevamento nazionale di dati meteorologici e idrogeologici, esempio di una integrazione disciplinare a lungo invocata e raramente applicata. Predisposta per l'applicazione di modelli matematici previsionali, la rete di rilevamento dati diventa un sistema complesso adatto a fornire alla Pubblica Amministrazione gli strumenti necessari per una corretta e lungimirante gestione delle risorse idriche.

Nel quadro delle attività del Consorzio, il CISE e Nuova TELESPAZIO, soci del Consorzio stesso, in conformità con gli indirizzi della legge istitutiva hanno sviluppato, avviato e stanno portando a compimento il progetto relativo alla realizzazione di una rete di rilevamento e controllo ambientale per lo studio delle acque sotterranee e delle risorse idrogeologiche.

Su questo tema, denominato "Progetto Idrologia", sono stati fatti convergere i contributi di diverse discipline rappresentate dalla geologia, l'idrogeologia, l'idrochimica, l'idrometria, la meteorologia e la modellistica idrogeochimica e meteorologica (MARAN *et al.*, 1994).

Il Progetto Idrologia persegue i seguenti obiettivi principali:

- valutare, tramite lo studio dei dati pregressi e la realizzazione di apposite campagne di controllo e misura, la situazione idrogeologica attuale dell'area in esame;
- definire le condizioni ambientali per l'ottimizzazione della rete di monitoraggio, sia attraverso indagini sul terreno, sia con l'eventuale applicazione di modelli matematici specifici, basati sulle metodologie geo-statistiche;
- completare la rete di monitoraggio ambientale esistente con la messa in opera di otto stazioni automatiche di rilevamento dati nivo-pluviometrici e dieci stazioni automatiche di rilevamento dati idrometrici;
- realizzare una banca-dati con lo sviluppo di opportune interfacce per l'elaborazione dei dati e lo sviluppo di SIT (Sistemi Informatici Territoriali) per l'analisi di dati geo-referenziati;
- applicare modelli matematici specifici per qualificare i fenomeni di evapotraspirazione, scioglimento del manto nevoso ed infiltrazione;

- valutare l'applicabilità di modelli matematici generalizzati alla situazione idrogeologica complessiva.

Con questi obiettivi, lo schema adottato per il controllo del bilancio idrologico della catena del Gran Sasso si qualifica per la possibilità di monitorare i processi idrogeologici alle diverse scale spaziali e temporali con cui si manifestano.

Lo studio del regime delle risorse idriche sotterranee del sistema idrogeologico si articola in due momenti caratterizzati da una fase conoscitiva ed una fase di verifica operativa.

La prima fase è finalizzata alla definizione di un'ipotesi di schema della circolazione idrica sotterranea e di un modello concettuale di approccio al bilancio idrologico globale.

La seconda fase, durante la quale si attua il monitoraggio dell'acquifero, ha per finalità la messa a punto delle procedure di valutazione dei termini del bilancio idrogeologico alle scale spaziali e temporali proprie dei diversi processi idrologici, quale funzione di base del sistema stesso, per giungere alla definizione dei percorsi, del tempo e dei volumi di trasferimento in ciascuna componente del deflusso e degli apporti meteorici liquidi e solidi nel sistema idrogeologico del massiccio.

Allo scopo di pervenire ad un elevato grado di risoluzione del bilancio idrogeologico il Progetto Idrologia di CISE e Nuova TELESPAZIO non solo persegue l'acquisizione sperimentale dei dati e l'identificazione dei criteri di spazializzazione dei parametri dell'equazione del bilancio (precipitazione idrometeorica totale, evapotraspirazione, ruscellamento superficiale e infiltrazione efficace) ma anche l'univoca determinazione delle variabili spazio (superficie del bacino idrogeologico) e tempo (tempo medio di riferimento idrologico). Quest'ultima si diversifica soprattutto in relazione alle leggi del moto che trasmettono l'impulso piovoso all'emergenza ed è espressione diretta del comportamento idrodinamico dell'acquifero.

Il calcolo del bilancio idrogeologico viene dunque preceduto dalla determinazione dei limiti idrostrutturali della circolazione idrica sotterranea, siano essi di natura fisica (variazioni di permeabilità per faglia o per litofacies), che dinamica (limite di potenziale idraulico), esplicitati rispetto al loro andamento nello spazio ed al ruolo che assumono nei confronti degli scambi idrici tra le strutture da questi delimitate. Agli ambiti idrogeologici così definiti sono poi associati i caratteri idrodinamici che regolano il comportamento dell'acquifero nel tempo.

Il Progetto Idrologia è in corso di attuazione essendo stati completati l'avamprogetto e gli studi preliminari mentre la fase realizzativa della rete di stazioni di misura in corso sarà conclusa nel 1998 con il collaudo operativo del sistema di rilevamento dati (STIGLIANO *et al.*, 1995).

Le fasi successive di gestione e raccolta dati, di elaborazione dati e applicazione dei modelli matematici seguiranno nell'ordine a partire dal collaudo della rete e con l'auspicata partecipazione dei Servizi Tecnici dello Stato a cui è destinato il complesso.

L'impegno del Consorzio, ed in prima persona delle società membri che realizzano il progetto, rimane quello di completare un sistema di monitoraggio che partendo dalle caratteristiche climatiche, idrauliche ed idrogeolo-

giche di un bacino permetta di calcolare il bilancio idrologico, prevedere con buona precisione gli effetti di particolari eventi meteorologici o degli interventi dell'uomo, stimare la riserva idrica disponibile.

La disponibilità di un sistema integrato di monitoraggio idrologico, operativo in un'area di grande interesse naturalistico sulla quale converge l'attenzione del mondo scientifico, può incentivare nuove applicazioni e maggiore conoscenza e approfondimento dei fenomeni complessi alla base dei processi di trasferimento e immagazzinamento delle riserve d'acqua.

In questa sede vengono riassunti i risultati raggiunti nella prima fase di intervento, comprensiva di tutti gli studi preliminari e delle attività propedeutiche alla installazione della rete di monitoraggio, che sta avvenendo in questo stesso periodo (MICCADEI *et al.*, 1997; PETITTA *et al.*, 1997).

2. CARATTERI GEOLOGICI E IDROGEOLOGICI

L'area in esame interessa una vasta porzione dell'Appennino centrale compresa nelle province de L'Aquila, Pescara e Teramo della Regione Abruzzo, per un'estensione complessiva superiore ai 700 km². La zona rientra nei Fogli 139 (L'Aquila), 140 (Teramo) e 146 (Sulmona) della Carta topografica d'Italia IGM in scala 1:100.000 (Fig. 1).

Il massiccio del Gran Sasso costituisce una spiccata unità orografico-tettonica, di forma approssimativamente a triangolo rettangolo; è costituito da una serie di dorsali interrotte da ampie pianure e depressioni che raggiungono la quota massima di 2912 m (Corno Grande); i cateti sono costituiti dalla catena settentrionale con andamento E-W, da quella orientale ad orientazione circa N-S, mentre l'ipotenusa è marcata dal tratto della valle dell'Aterno, a direzione NW-SE, compreso tra la piana de L'Aquila e quella di Sulmona.

Gran parte dell'area del massiccio costituisce il nucleo del Parco Nazionale del Gran Sasso e della Laga.

2.1 Inquadramento geologico

Il substrato del Gran Sasso d'Italia è costituito dai termini di successioni carbonatiche riferibili a un sistema deposizionale di piattaforma carbonatica e transizione al bacino, che si sono depositati tra il Trias e il Miocene. Queste successioni sono state interessate dalla strutturazione mio-pliocenica a falde della catena appenninica, con la deposizione di successioni marine terrigene, e successivamente dislocate dalla tettonica distensiva plio-quadernaria (Fig. 1), con la deposizione di sedimenti continentali.

Gli studi geologici che, nel corso degli anni, sono stati eseguiti nell'area del Gran Sasso sono numerosi. Le diverse problematiche, esaminate a diverse scale, riguardano sia l'assetto stratigrafico e paleogeografico della regione che quello strutturale (BOSI & BERTINI, 1970; PAROTTO & PRATURLON, 1975; ADAMOLI *et al.*, 1978, 1982; A.N.A.S.-COGEFAR, 1979; CHIOCCHINI *et al.*, 1982; CATALANO *et al.*, 1986; GHISETTI & VEZZANI, 1986, 1990 e 1991; GIRAUDI, 1991; CENTAMORE *et al.*, 1992; CARRARO & GIARDINO, 1992; GHISETTI *et al.*, 1992 e 1993; D'AGOSTINO *et al.*, 1994; BIGI *et al.*, 1995).

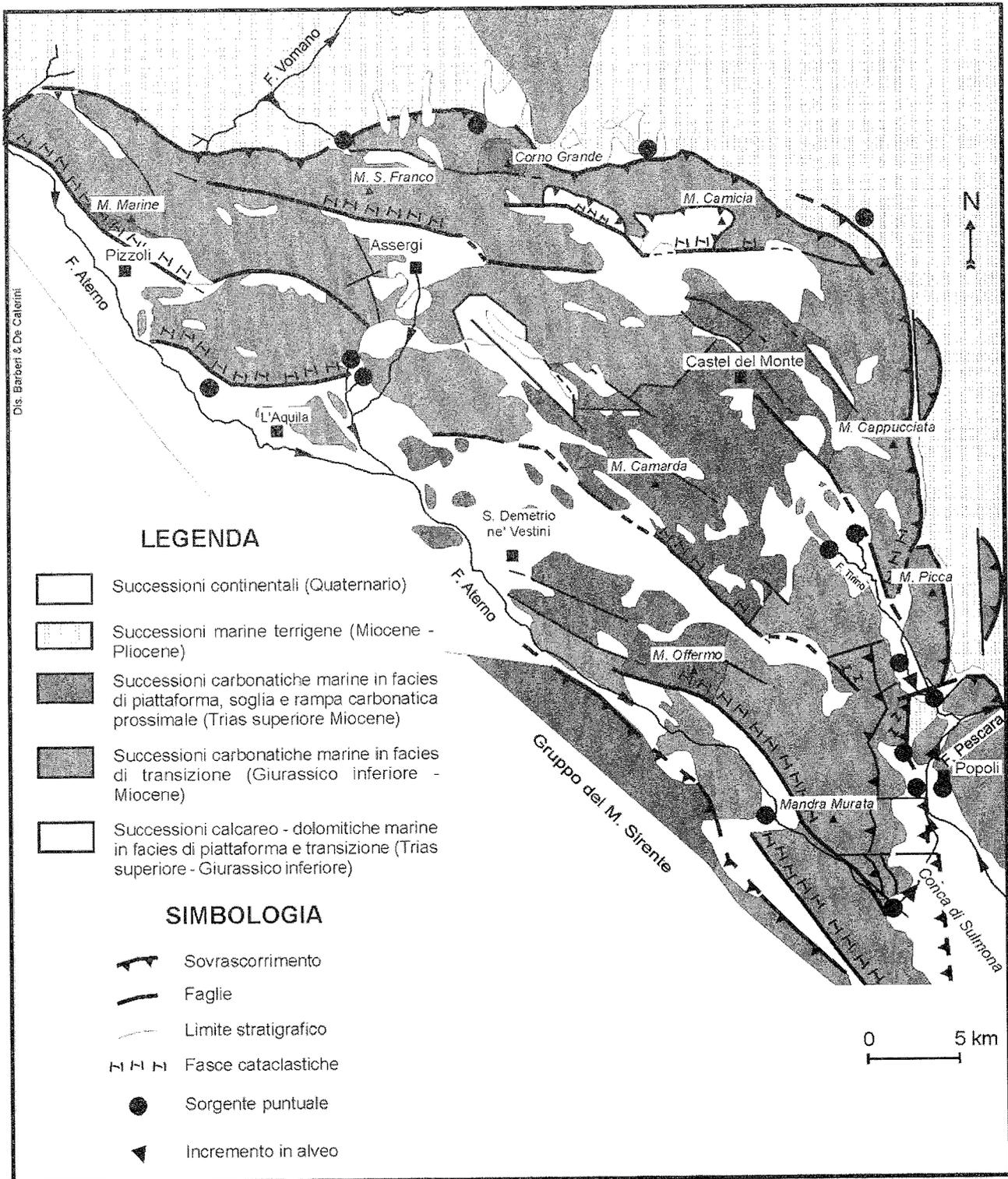


Fig. 1 - Schema geologico e tettonico del massiccio del Gran Sasso. Viene riportata anche l'ubicazione delle principali sorgenti e degli incrementi in alveo.

Dal punto di vista stratigrafico i sedimenti più antichi, localizzati nella parte centro settentrionale dell'area, sono costituiti da successioni calcareo-dolomitiche e da dolomie bituminose. Le prime affiorano estesamente alle pendici del Corno Grande, alla base del M. Marine (presso Pizzoli), nella Valle del Raiale presso Assergi e nella zona di Ofena, mentre le dolomie bituminose sono presenti alla base delle pendici meridionali del M. Prena e del M. Camicia.

Le successioni più ricorrenti sono invece quelle in facies di piattaforma-soglia, di età giurassico-cretacica, e in facies di transizione, di età giurassico-cretacico-paleogenica.

Le facies di piattaforma e relativa soglia sono situate nella parte centrale del massiccio (S. Stefano di Sessanio, S. Demetrio ne' Vestini) e passano verso nord, est e sud a facies di transizione che presentano caratteristiche differenti nei diversi settori del massiccio.

Nel settore settentrionale e in quello orientale le successioni di transizione sono costituite da facies ad affinità umbro-marchigiana, caratterizzate da litotipi pelagici nei quali si intercalano megabrecce, frane sottomarine, *debris flows* e torbidi calcarei generate dallo smantellamento della piattaforma, con una netta direzione di trasporto da Sud verso Nord (ADAMOLI *et al.*, 1978, 1982; CHIOCCHINI *et al.*, 1982). Per quanto riguarda invece l'area meridionale del massiccio, le successioni di transizione sono formate da facies più monotone, con una frazione detritica sempre abbondante e con intercalazioni marnose quasi assenti, nel complesso con caratteri simili alle successioni affioranti nell'area della Marsica orientale.

Termini calcarenitici miocenici, in facies di rampa carbonatica, sono presenti in diverse aree del massiccio, trasgressivi sia sulle successioni di transizione che su quelle di piattaforma.

La sedimentazione marina termina, infine, con la deposizione dei sedimenti terrigeni in facies torbiditica, messiniano-pliocenici, affioranti a Nord e a est del massiccio, nell'area de L'Aquila e nella zona di Lettopiano e del M. Roccatagliata nel settore meridionale.

I sedimenti continentali quaternari affiorano abbondantemente nella zona, costituendo il riempimento delle maggiori conche intramontane, con successioni in facies lacustre, fluviale e di conoide alluvionale; sono, inoltre, ben riconoscibili depositi di versante, depositi morenici e suoli.

Dal punto di vista geometrico - strutturale l'assetto del Gran Sasso è il frutto di un'articolata evoluzione che si è prodotta attraverso fasi compressive, trascorrenti e distensive, con stili strutturali sia duttili che fragili (GHISETTI & VEZZANI, 1990; GHISETTI *et al.*, 1993).

L'assetto geometrico è caratterizzato, a grandi linee, dal piegamento e l'embricatura di falde che si sono accavallate, durante il Mio-Pliocene, sui depositi terrigeni. I fronti di sovrascorrimento principali, che delimitano esternamente il massiccio, sono quelli settentrionale e orientale, aventi rispettivamente direzioni E-W e N-S. A tergo dei fronti è presente una zona tettonicamente depressa, controllata da sistemi di dislocazione distensivi prevalentemente ad andamento appenninico, che determinano un abbassamento a gradinata verso SW (D'AGOSTINO *et al.*, 1994); alcuni di questi bordano le depressioni quaternarie tra cui quella di Campo Imperatore e della Valle del Tirino (CARRARO & GIARDINO, 1992; BIGI *et al.*, 1995).

Nel settore centro-meridionale lo stile tettonico è prevalentemente fragile, caratterizzato da monoclinali a direzione appenninica immergenti prevalentemente a NE, bordate da faglie a carattere principalmente distensivo.

2.2 Inquadramento idrogeologico

La dorsale del Gran Sasso è, come detto, costituita da una serie carbonatica, soggetta ad intensa tettonica durante l'orogenesi appenninica e nei periodi successivi, cui è seguita l'impostazione di un diffuso carsismo di superficie e sotterraneo. Di conseguenza, come molte altre dorsali appenniniche, il Gran Sasso rappresenta un acquifero regionale di notevole importanza, altamente permeabile per fratturazione e carsismo, ad elevata infiltrazione efficace, che alimenta importanti sorgenti basa-

li, poste ai margini della struttura in corrispondenza del limite tra i sedimenti carbonatici e i depositi terrigeni e alluvionali plio-quaternari.

L'assetto idrogeologico nelle sue linee principali è noto soprattutto per i due principali schemi idrogeologici realizzati da CELICO (1983) e da BONI *et al.* (1986) che identificano il Gran Sasso come un Sistema idrogeologico, connesso ad altre strutture carbonatiche abruzzesi, attraverso l'identificazione di una serie di sorgenti che ne vengono sicuramente alimentate e dei principali limiti idrostrutturali che limitano lateralmente l'acquifero.

Il sistema idrogeologico (secondo BONI *et al.*, 1986) è rappresentato da una serie di volumi litologici caratterizzati da un simile comportamento idrogeologico, un determinato assetto geologico-strutturale e da limiti con sistemi limitrofi netti, sia dal punto di vista geologico che della trasmissione delle acque sotterranee. Sistemi idrogeologici così definiti hanno, nell'Appennino centrale, di norma estensioni rilevanti, dell'ordine di centinaia o migliaia di chilometri quadrati. Al suo interno è possibile distinguere diversi complessi idrogeologici, caratterizzati ciascuno da specifica litologia, tettonizzazione, porosità, in modo da essere univocamente definiti e distinti rispetto alla quantità di acqua meteorica che penetra al loro interno (infiltrazione efficace). Un sistema è quindi composto da uno o più complessi idrogeologici, posti tra loro a contatto per motivi stratigrafici o tettonici, comunque con modalità tali da conservare la possibilità di trasferimento delle acque sotterranee (attraverso limiti di flusso non nulli). Le acque infiltratesi all'interno di un sistema idrogeologico fuoriescono attraverso le sorgenti (in gran parte), oppure travasano nel sottosuolo verso altri Sistemi limitrofi. Il rapporto tra infiltrazione efficace, portate delle sorgenti e estensione dell'area di ricarica (e di conseguenza dei limiti laterali della struttura in esame) permette di identificare con sufficiente precisione un sistema idrogeologico.

I limiti della struttura idrogeologica del Gran Sasso, come definita dagli Autori precedenti, sono ben definiti sia sul versante settentrionale che su quello orientale (Fig. 1); resta invece di dubbia interpretazione il limite sul versante sud-occidentale e in particolare il rapporto in termini idrogeologici con la struttura del M. Sirente e con quella del Morrone.

Le sorgenti sicuramente alimentate dal Gran Sasso sono localizzate sia sul lato settentrionale a quote superiori ai 1000 m, per portate abbastanza ridotte (dell'ordine di qualche centinaio di litri al secondo, per un totale di circa 1 m³/s), ma soprattutto sono concentrate su quello meridionale (Fig. 1).

Su questo versante sono state identificate dagli Autori precedenti diversi gruppi di emergenze: le sorgenti nei pressi de L'Aquila, Vetoio-Boschetto e Tempera-Capo Vera, per una portata compresa tra 2 e 3 m³/s; la valle del Tirino, con le sorgenti di Capodacqua, Presciano-Capestrano e di Basso Tirino, oltre ad un drenaggio in alveo nei pressi del paese di Bussi, per un totale compreso tra 12 e 16 m³/s; il gruppo di S. Calisto ubicato a Popoli (2-2,5 m³/s).

Vanno inoltre segnalate le emergenze di Capo Pescara (7,5 m³/s), il gruppo di Raiano (1-1,5 m³/s), quello di Molina Aterno (1-1,5 m³/s), la cui alimentazione è

ancora oggi oggetto di discussione, in merito all'appartenenza all'acquifero del Gran Sasso o a quello del Sirente.

Inoltre bisogna considerare il drenaggio delle gallerie autostradali, presente dal 1975, per circa 1,5 m³/s. La realizzazione del traforo autostradale del Gran Sasso, con la conseguente intercettazione della falda regionale in galleria, ha modificato sostanzialmente la circolazione idrica sotterranea, causando variazioni di portata soprattutto sulle sorgenti del versante settentrionale, più prossime alla zona del traforo e determinando l'esistenza di due nuove emergenze, a quota elevata, rappresentate dai due drenaggi del lato meridionale e di quello settentrionale (ADAMOLI, 1990; MASSOLI-NOVELLI & PETITTA, 1997).

Il settore di maggiore interesse, soprattutto in termini di recapito delle acque sotterranee, viene focalizzato dagli studi precedenti nell'estremo margine meridionale del Gran Sasso e nelle aree di contatto con le dorsali del Sirente e del Morrone, lungo i corsi d'acqua Basso Aterno, Pescara e Tirino, dove tra l'altro si concentrano le emergenze più copiose della zona, tra cui Capo Pescara, sita sul margine nord-occidentale della piana di Sulmona, al contatto tra Gran Sasso e Sirente.

Al fine di fornire ulteriori elementi riguardo l'assetto idrogeologico del Gran Sasso, sono state intraprese diverse indagini, tra loro strettamente coordinate, che hanno costituito l'insieme degli studi preliminari del Progetto Idrologia, svolte tra il 1995 e il 1997. Queste fasi, che possono essere considerate necessarie e propedeutiche alla realizzazione di uno schema aggiornato e dettagliato della circolazione idrica nel Gran Sasso, possono essere così riassunte: indagini di natura geologico-strutturali, che potessero fornire elementi per la precisa definizione dei domini strutturali delle diverse dorsali carbonatiche e del ruolo svolto da tettonica e fratturazione nella circolazione idrica; indagini idrogeologiche di terreno, finalizzate ad una più precisa determinazione della portata delle emergenze e del loro regime, nonché per una taratura delle sezioni fluviali dove è prevista l'installazione delle stazioni di monitoraggio; infine, un esame idrogeochimico delle acque sorgive, con campionamento delle acque delle principali sorgenti, per conseguire quegli elementi di valutazione necessari a discriminare i diversi circuiti sotterranei, in modo da formulare ipotesi coerenti sulle aree di ricarica delle singole sorgenti.

3. METODOLOGIA DI STUDIO

3.1 Ricerche geologiche

Nel lavoro svolto lo studio geologico ha fornito la definizione di alcuni parametri fondamentali per determinare delle caratteristiche idrogeologiche del sistema acquifero: l'assetto litostratigrafico e geometrico-strutturale e le caratteristiche di fratturazione dei volumi di roccia che compongono tale sistema.

Dopo un approfondito esame della bibliografia esistente sull'area, le indagini sono state mirate da un lato alla verifica sul terreno dei dati desunti dalla letteratura, dall'altro all'analisi di alcuni problemi specifici e di aspetti non affrontati in precedenza, ma fondamentali per le finalità dello studio.

Sono stati condotti una serie di rilievi di terreno, coadiuvati dall'analisi delle foto aeree stereoscopiche,

mirati a valutare l'affinità idrogeologica delle successioni stratigrafiche ed a studiare alcune problematiche specifiche relative all'assetto geologico e ai limiti dell'acquifero (con rilievi geologici di dettaglio in scala 1:25.000 e 1:10.000). Parallelamente è stata sviluppata una analisi specifica per definire lo stato di fratturazione delle rocce e caratterizzare i fenomeni carsici epigei e ipogei, in relazione alla loro importanza nel condizionare infiltrazione e circolazione idrica, e inoltre per considerare il potenziale ruolo degli elementi tettonici e delle fasce di cataclasi nel compartimentare i flussi idrici profondi.

In seguito allo studio geologico è stato possibile effettuare le principali distinzioni rispetto all'affinità idrogeologica delle rocce che costituiscono l'acquifero del Gran Sasso. A questo scopo sono state distinte cinque successioni fondamentali identificabili con i complessi idrogeologici, che sono contraddistinti da una generale omogeneità delle caratteristiche composizionali e tessiturali dei tipi litologici, perché formati in determinati paleoambienti deposizionali (Fig. 1); le caratteristiche delle cinque successioni sono descritte più avanti nel testo.

Le ricerche geologiche hanno fornito inoltre un contributo alla definizione dei limiti areali dell'idrostruttura. I modelli idrogeologici finora proposti (BONI *et al.*, 1986; CELICO, 1983) hanno evidenziato le maggiori problematiche nei rapporti tra la struttura del Gran Sasso e quelle adiacenti del M. Morrone e del M. Sirente localizzate nel settore meridionale dell'area di studio, dove per di più sono presenti le maggiori sorgenti dell'acquifero. A questo scopo, le zone di contatto tra dette idrostrutture, sono state oggetto di dettagliati rilevamenti geologici (a scala 1:10.000 e 1:25.000) per individuare l'eventuale presenza di vincoli geologici determinanti per la definizione del modello geologico dell'acquifero. Le sezioni geologiche di fig. 2 chiarificano alcuni dei risultati principali delle indagini di terreno.

Per quanto riguarda il rapporto tra la struttura del Gran Sasso e quella del Morrone gli autori che si sono occupati in merito all'assetto sia geologico che idrogeologico (BENEO, 1940; CELICO, 1983; CENTAMORE *et al.*, 1992; PATACCA & SCANDONE, 1992; BIGI *et al.*, 1997; VEZZANI & GHISSETTI, 1997) pongono due ipotesi riguardo al limite tra le due idrostrutture: la prima assegna il M. Picca alla struttura del Morrone, ponendo il limite in corrispondenza della Valle S. Giacomo; la seconda che include il M. Picca nella struttura del Gran Sasso e che spostata, di conseguenza, il limite più a Sud nella Valle Giardino (Fig. 1).

Nei rilievi eseguiti sul terreno nella Valle S. Giacomo non sono stati riscontrati elementi sufficienti per definire la presenza di un *aquiclude*. Da un punto di vista tettonico, nonostante uno stato di fratturazione mediamente alto, si riscontrano faglie di modeste dimensioni a direzione da NNE-SSW a N-S ed altre, ad alto angolo con cinematica trascorrente, con le medesime orientazioni. I sedimenti terrigeni sono invece localizzati esclusivamente nella parte alta della valle mentre nella parte intermedia, sia in riva destra che sinistra, affiorano calcari di transizione tipo "scaglia" con simile assetto giaciturale.

La Valle Giardino è invece caratterizzata dal sovrascorrimento dei termini di transizione sui depositi terri-

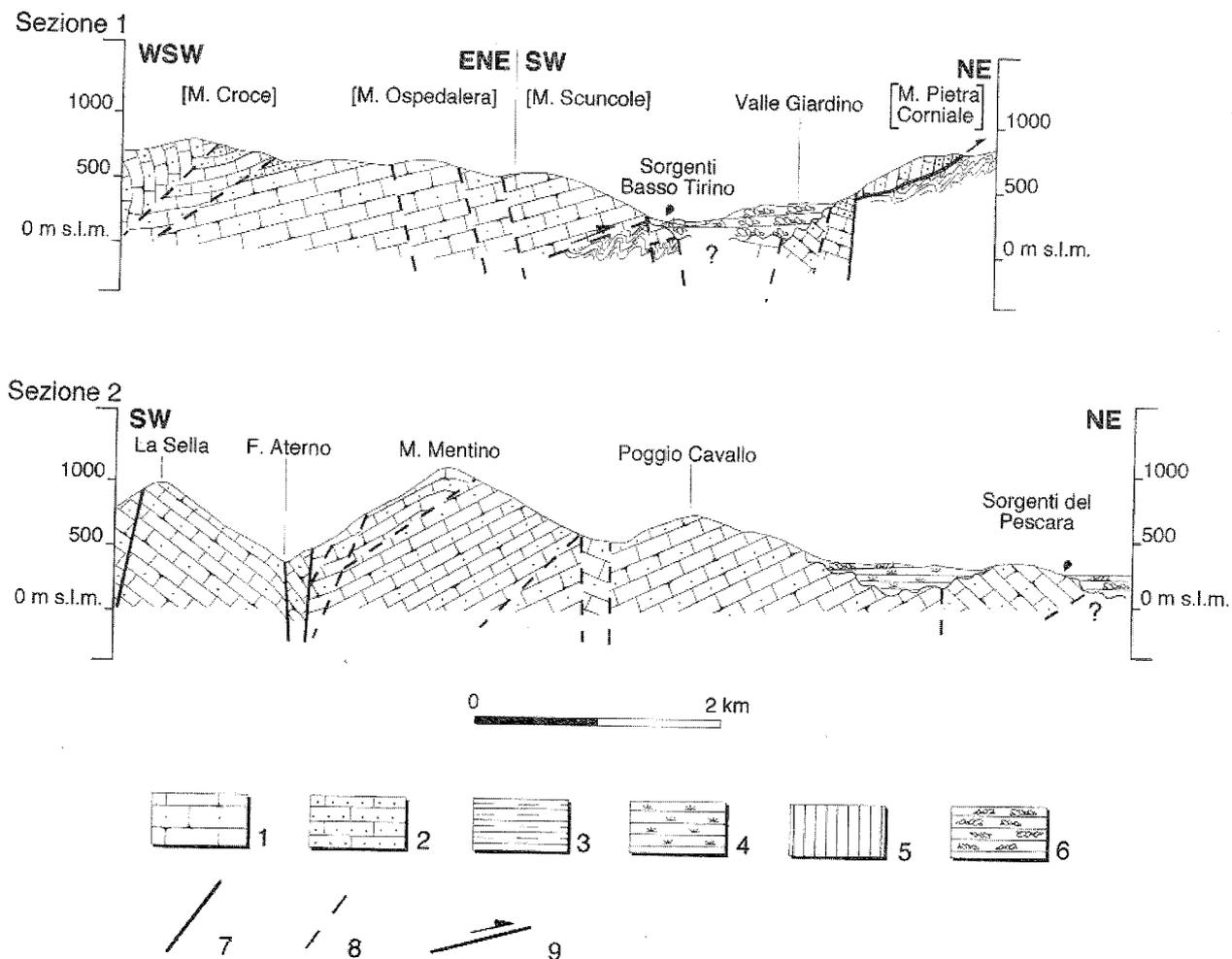


Fig. 2 - Sezioni geologiche attraverso il settore meridionale dell'area studiata: 1) successioni carbonatiche marine in facies di transizione (Giurassico - Cretacico); 2) successioni marine calcarenitiche in facies di rampa carbonatica (Miocene medio); 3) successioni marine terrigene in facies torbidity (Miocene superiore); 4) successioni continentali lacustri (Pleistocene); 5) travertini (Pleistocene); 6) successioni continentali fluviali e di conoide alluvionale (Pleistocene - Olocene); 7) faglia visibile; 8) faglia ipotizzata; 9) sovrascorrimento. Le tracce delle sezioni sono riportate in fig. 3.

geni che definisce, con maggiore precisione, l'*aquiclude* (Fig. 2).

Il limite tra l'idrostruttura del Gran Sasso segue, verso Sud, in località Lettopiano per terminare infine, superate le sorgenti di S. Calisto, sotto la piana di Sulmona (Fig. 2).

Per quanto riguarda i rapporti tra la struttura del Gran Sasso e quella del M. Sirente riveste una fondamentale importanza la linea tettonica della Valle dell'Aterno (BENEÒ, 1940; CELICO, 1983), in special modo nel tratto compreso tra Molina Aterno e Raiano. L'assetto geometrico di questo settore è molto complesso. Il versante nord-orientale della dorsale M. Urano-Le Serre (riva destra del F. Aterno) è costituito da una monoclinale a direzione NW-SE e immersione verso NE. In riva sinistra del F. Aterno, il M. Mentino è caratterizzato da un complesso sistema di faglie ad alto angolo, a direzione NW-SE e NNW-SSE, con cinematica orizzontale e verticale (Fig. 2). Tali sistemi sono associati a rocce molto fratturate e solo a luoghi cataclasate. Non sono stati rilevati pertanto elementi tali da poter affermare che in questo settore della Valle dell'Aterno sia presente un *aquiclude*.

Particolare attenzione, inoltre, è stata dedicata allo studio della fratturazione (Fig. 3), seguendo l'esempio delle più moderne ricerche scientifiche in campo idrogeologico, condotte su massicci carbonatici sia nel territorio italiano che in paesi esteri (CIVITA, 1994; CELICO *et al.*, 1996). Tale studio è stato condotto con un duplice scopo. In primo luogo si è cercato di individuare i settori che, per le caratteristiche della fratturazione, presentano una infiltrazione efficace potenziale più elevata e in secondo luogo si è cercato di capire quali fossero gli elementi tettonici interni al massiccio in grado di condizionare, per lo stato di fratturazione indotto nelle rocce circostanti, la circolazione idrica profonda.

In questa ottica sono stati considerati, parallelamente ai dati riguardanti la fratturazione, anche i dati riguardanti lo sviluppo dei fenomeni carsici e la distribuzione delle fasce cataclasate associate ai maggiori elementi tettonici presenti nell'area.

Lo stato di fratturazione dipende essenzialmente da due tipi di fattori: quelli legati agli stress ai quali la roccia è stata sottoposta dal momento della diagenesi fino ad oggi (quindi in modo indiretto alla sua età), e quelli legati alle caratteristiche litologiche della roccia stessa quali

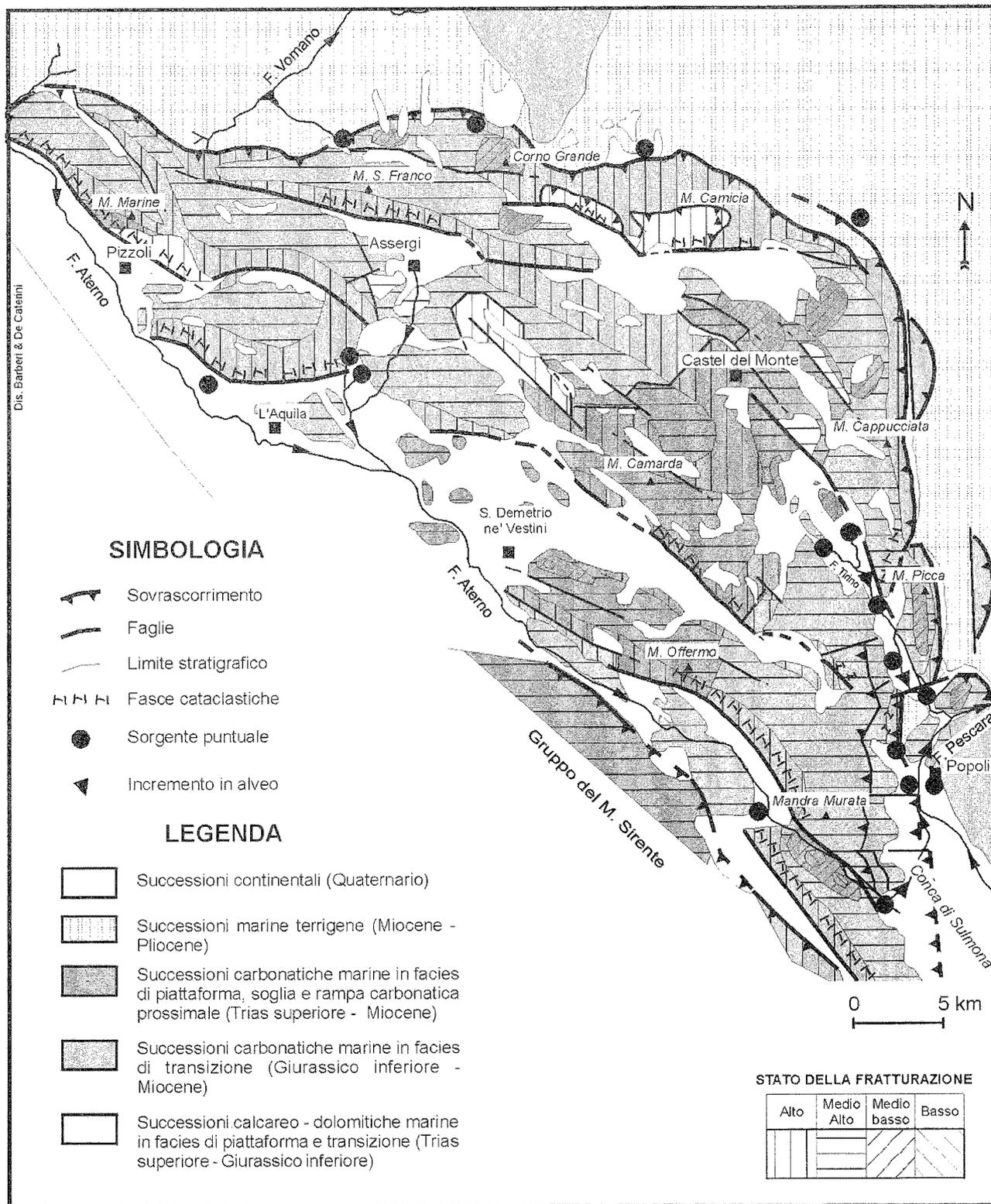


Fig. 3 - Schema della fratturazione. Vengono indicate, oltre alle principali litologie affioranti, anche le aree caratterizzate da una differente densità della fratturazione.

la natura della stratificazione, lo spessore degli strati, la composizione mineralogica (specialmente in relazione alla percentuale della frazione argillosa), la tessitura e la struttura, i fattori diagenetici che hanno portato alla cementazione. In particolare le caratteristiche litologiche di una formazione condizionano la sua reazione agli stress che sono la causa della fratturazione.

La novità di tale studio è stata quindi quella di programmare ed eseguire le indagini mettendo in relazione il grado della fratturazione delle rocce con le caratteristiche litologiche delle successioni affioranti.

Sulla base delle precedenti conoscenze geologiche e dopo un esame delle foto aeree relative all'area del massiccio, è stata svolta una campagna di misure e di

rilevamenti su circa 200 siti considerati rappresentativi, nei quali sono state misurate la densità di fratturazione ($d.f. = n^\circ$ fratture/metro) e la giacitura dei piani (direzione e inclinazione), con fondamentali osservazioni sull'apertura e/o sulla carsificazione delle fratture. Numerose misure speditive, riguardanti solo la densità di fratturazione, sono state eseguite in tutta l'area al di fuori dei siti prescelti.

Secondo l'impostazione del lavoro, è stata elaborata una legenda (Fig. 3) nella quale le informazioni riguardanti lo stato della fratturazione possono essere lette in funzione delle successioni affioranti. Sono stati definiti quattro gradi di fratturazione: Alto, Medio-Alto, Medio-Basso e Basso. La distinzione è stata effettuata in base alle misure della densità di fratturazione ($d.f.$) tenendo conto che con il termine "frattura" si comprende qualunque superficie di discontinuità che interessi la roccia compresi i giunti di strato, escluse ovviamente le fratture legate all'alterazione superficiale dovuta agli agenti esogeni.

Ai depositi continentali del Quaternario è stato associato un quinto grado di fratturazione ($N =$ non stimato) in quanto per tali depositi la permeabilità non dipende dalla fratturazione quanto dalla porosità primaria del sedimento e da eventuali fattori diagenetici.

I diversi gradi di fratturazione sono stati distinti, in base alla densità di fratturazione, come segue:

- per il grado di fratturazione Alto (A), $d.f. > 20$, quindi la spaziatura delle fratture deve essere minore di 5 cm;
- il grado di fratturazione Medio-Alto (MA) implica che sia $5 < d.f. < 20$, quindi la spaziatura delle fratture varia da 5 a 20 cm;
- il grado di fratturazione Medio-Basso (MB) implica che sia $2 < d.f. < 5$, quindi la spaziatura delle fratture varia da 20 a 50 cm.
- grado di fratturazione Basso (B) implica che sia $d.f. < 2$, quindi la spaziatura delle fratture è maggiore di 50 cm.

I rilievi di campagna hanno permesso di riconoscere che, per le diverse successioni, alcuni caratteri della fratturazione sono relativamente omogenei in quanto sono influenzati essenzialmente dalle caratteristiche litologiche delle rocce affioranti (Fig. 3). Altri, invece, sono essenzialmente controllati da fattori tettonici.

Le caratteristiche litologiche e di fratturazione delle cinque successioni distinte nell'area sono, in sintesi, le seguenti:

Successioni continentali. Sono formate da depositi di varia natura, sedimentati in differenti ambienti deposizionali. Le litologie, di conseguenza, sono fortemente variabili e comprendono tipi che vanno da conglomerati e breccie molto grossolani (propri di un ambiente di conoide), a limi e argille (ambiente lacustre). La fratturazione, peraltro scarsamente sviluppata, non svolge un ruolo apprezzabile ai fini idrogeologici. L'infiltrazione e la circolazione idrica sono principalmente funzione della porosità primaria di questi terreni.

Successioni marine terrigene. Sono costituite da un'alternanza di depositi arenacei silicoclastici e argillosi, con spessori variabili, che possono raggiungere complessivamente spessori di alcune migliaia di metri (Formazione della Laga, Formazione del Cellino *auct.*). Solo in corrispondenza degli strati arenacei più potenti si ha una fratturazione apprezzabile. Tuttavia le singole

fratture sono spesso ostruite, almeno parzialmente, da materiali argillosi.

Successioni carbonatiche marine in facies di piattaforma, soglia e rampa carbonatica prossimale. Comprendono litotipi calcarei caratterizzati da notevole spessore e uniformità litologica presenti nella zona centrale dell'area di studio (S. Demetrio ne' Vestini, Barisciano, S. Stefano di Sessanio, Calascio, Navelli, Roccapreturo); all'interno della successione si possono distinguere litotipi riferibili a facies di piattaforma interna (con tessiture intrabiospartiche, oospartiche e biomicritiche) generalmente ben stratificati e caratterizzati da un comportamento omogeneo. La spaziatura delle fratture non è collegata in modo evidente allo spessore della stratificazione. I litotipi riferibili a facies di margine e/o di soglia sono invece organogeni e/o biodepositivi, caratterizzati da una giacitura massiva e da un grado di cementazione variabile. Il comportamento di questi tipi litologici allo stress tettonico è funzione del grado di cementazione della roccia e del campo di intensità delle sollecitazioni. Si può avere, a parità di campo di stress, abbondanza di cataclasi a causa della scarsa cementazione delle tessiture, oppure roccia poco fratturata. Le fratture sono spesso beanti per gli effetti della dissoluzione chimica legata al carsismo. Quando ad un alto grado di fratturazione si sommano gli effetti del carsismo, si hanno le condizioni per i maggiori valori di infiltrazione efficace potenziale.

Successioni carbonatiche marine in facies di transizione. Presentano notevoli differenze litologiche con alternanze sia in senso verticale che orizzontale di calcari micritici pelagici ben stratificati con selce, calcari marnosi e calcari biodepositivi, in strati spessi e banchi, che talora divengono preponderanti. Tali alternanze sono causa di notevoli variazioni nei caratteri della fratturazione. In presenza di litotipi calcareo-silicei a strati sottili, dove la frazione detritica è meno abbondante, il grado di fratturazione è Medio-Alto o Alto, tuttavia si osserva una scarsa influenza del carsismo nell'elaborazione delle fratture. Dove invece la parte detritica è più abbondante, gli strati sono più spessi e il grado di fratturazione è meno elevato, si ha tuttavia un maggiore effetto del carsismo, che causa anche una maggiore apertura delle fratture. Un discorso a parte va fatto per quelle aree dove sono presenti intercalazioni calcareo-marnose (prevalentemente nell'area settentrionale del massiccio). All'interno di uno stesso affioramento la fratturazione varia passando dagli strati calcarei, a comportamento fragile, a quelli marnosi e argillosi, più "duttili". Questi ultimi tendono a deformarsi con piccole pieghe e le fratture tendono a fermarsi su di essi.

Successioni marine calcareo-dolomitiche in facies di piattaforma e transizione. Queste successioni sono generalmente costituite da litotipi dolomitici e/o calcareo-dolomitici. Si tratta di serie monotone a comportamento piuttosto omogeneo, caratterizzate prevalentemente da deformazioni fragili, con un grado di fratturazione che si presenta quasi sempre Alto. In corrispondenza degli elementi tettonici maggiori sono talvolta interessati da potenti fasce di cataclasi sulle quali si impostano forme di erosione di tipo calanchivo (Pizzoli-Barete). Tra le successioni triassiche fanno eccezione i termini bituminosi affioranti a M. Prena e M. Camicia, nei quali sono frequenti le deformazioni plicative. Anche

in questo caso il grado di fratturazione è Alto, tuttavia la presenza di minerali argillosi e la componente bituminosa rendono questi litotipi impermeabili rispetto alle rocce circostanti.

3.2 Ricerche idrogeologiche

Lo studio sul Gran Sasso è stato completato tramite ricerche e rilievi di campagna di tipo idrologico e idrogeologico, al fine di integrare le conoscenze e fornire un quadro idrogeologico dell'area il più completo possibile, alla luce dell'importanza della risorsa idrica nell'area in esame, che discende da diversi fattori:

- elevati quantitativi di acque sorgive presenti sul massiccio;
- presenza di attività antropiche connesse al ciclo delle acque;
- presenza del traforo autostradale del Gran Sasso, dal quale viene drenata la falda regionale, e progetto di un'ulteriore perforazione lungo la stessa direzione, a servizio dei laboratori sotterranei dell'INFN;
- inizio delle attività del Parco Nazionale del Gran Sasso e dei Monti della Laga;
- interesse scientifico relativo all'idrogeologia del sistema del Gran Sasso e dei suoi rapporti con gli acquiferi carbonatici contigui e con le pianure intermontane adiacenti.

Le ricerche a carattere idrologico e idrogeologico, realizzate sia contemporaneamente che successivamente alle indagini geologiche, hanno consentito di acquisire nuovi elementi, soprattutto relativi alla attuale consistenza della risorsa idrica, al ciclo idrologico con particolare riferimento alle acque sotterranee, alle direzioni di deflusso sotterraneo, alle modalità di infiltrazione e alle zone di alimentazione dei diversi gruppi sorgivi.

Le attività realizzate hanno riguardato in sintesi i seguenti cinque argomenti distinti:

- ricerca bibliografica a carattere idrologico e idrogeologico, finalizzata al reperimento di tutti i dati disponibili relativi a portate fluviali e delle sorgenti, ecc.
- misure di portata su corsi d'acqua e sorgenti, eseguite su sezioni di particolare rilevanza ai fini di un monitoraggio idrogeologico della risorsa idrica;
- caratterizzazione idrochimica delle acque sorgive delle maggiori sorgenti del versante meridionale, tesa ad acquisire elementi per una valutazione dell'idrodinamica sotterranea dell'acquifero;
- censimento dei punti d'acqua in aree specifiche a particolare valenza idrologica e idrogeologica (zona di Raiano e valle del Tirino), per una più completa caratterizzazione della situazione idrogeologica di dettaglio;
- verifica degli attuali schemi di circolazione idrologica superficiale, con individuazione del grado e delle modalità di utilizzazione da parte antropica delle acque fluviali e sorgive; infatti, sull'area insistono una serie di utilizzazioni idriche, che vanno dall'uso potabile a quello irriguo, zootecnico, industriale, energetico, secondo schemi anche complessi, senza conoscere i quali si rischia di commettere errori anche grossolani nella valutazione dei deflussi, della provenienza delle acque e di conseguenza dell'intero bilancio idrologico.

Per quanto concerne le ricerche di dati idrologici pregressi, sono stati reperiti molti dati, purtroppo estremamente frammentari sia per quanto riguarda gli archi

temporali di osservazione, sia per la fonte di provenienza (PERRONE, 1901; SERVIZIO IDROGRAFICO, 1964; ANAS-COGEFAR, 1979; CASSA PER IL MEZZOGIORNO, 1982; AQUATER, 1993). A questo proposito va sottolineato che i dati riguardanti le portate delle sorgenti, soprattutto relative al versante meridionale, risultano scarsi e risalgono alle campagne di inizio secolo, degli anni 50 e degli anni 70, oltre a sporadiche misure successive.

E' parsa quindi evidente la necessità di realizzare diverse serie di misure di portata sulle principali sorgenti ma anche sui corsi d'acqua, con la doppia finalità di determinarne la portata attuale e, nei limiti del possibile, il regime, ma anche e soprattutto per realizzare la citata rete di monitoraggio per la definizione del bilancio idrologico del massiccio.

Le misure di portata su sorgenti e corsi d'acqua sono state eseguite con mulinello idrometrico, su sezioni il più possibile regolari, con cadenza bimestrale; va però detto che sono stati complessivamente raccolti dati a scala mensile, grazie alle attività di ricerca parallele e coordinate del Dipartimento di Scienze Ambientali dell'Università de L'Aquila.

Un primo esame dei risultati conseguiti, riassunti in tabella 1, fornisce alcune indicazioni in merito al regime delle sorgenti, che risulta estremamente stabile, anche per le sorgenti principali meno importanti e poste a quote più elevate. Questa notevole stabilità è direttamente correlabile alla natura basale delle emergenze. Il fatto che questi caratteri siano presenti anche nelle sorgenti dell'area aquilana indica che tali emergenze non dipendano da affioramento della superficie piezometrica, quanto da trabocco della falda regionale.

La stabilità del regime di portata è un'importante caratteristica di queste sorgenti appenniniche, che rappresentando il deflusso basale della falda risentono in modo poco marcato delle normali oscillazioni stagionali nella ricarica, che influenza maggiormente le sorgenti minori, poste a quota più elevata: nel caso del Gran Sasso le sorgenti del versante settentrionale e, con tutta probabilità, i drenaggi del traforo autostradale. Più le sorgenti sono distanti dalle aree di ricarica preferenziale e quindi dalle zone di infiltrazione concentrata quale ad esempio Campo Imperatore, più la loro portata risulta stabile.

Per quanto riguarda Vetoio e soprattutto le sorgenti del Vera, ci si aspettava una maggiore variabilità nel regime di portata; in questo caso, il ruolo delle sorgenti a più alta quota, che intercetterebbero le oscillazioni stagionali della falda, potrebbe essere svolto dai drenaggi sotterranei del traforo, che in effetti presentano una maggiore variabilità, sono abbastanza vicini a questi gruppi sorgivi e potrebbero sottrargli importanti aliquote di deflusso (PETITTA & MASSOLI-NOVELLI, 1995).

In merito alla diminuzione delle portate che si osserva generalmente rispetto ai valori misurati in passato, il fenomeno è da attribuirsi parzialmente all'azione del traforo autostradale, in parte ad una diminuzione degli afflussi meteorici e quindi della ricarica, avvenuta negli anni '80 e che soltanto in questi ultimi anni sembra essere terminata (MASSOLI-NOVELLI & PETITTA, 1997).

Sul fiume Tirino, sede delle più importanti sorgenti del massiccio, si osservano caratteri praticamente analoghi. Le due sorgenti che danno vita al corso d'acqua,

Tab. 1 - Riassunto dei risultati delle portate delle principali sorgenti e dei corsi d'acqua. I valori di riferimento sono alla media calcolata sulle sei misure effettuate.

n°	fiume	località	quota (m slm)	1 ^a serie mag 96	2 ^a serie lug 96	3 ^a serie ago 96	4 ^a serie ott 96	5 ^a serie dic 96	6 ^a serie gen 97
1	Vetoio	Pile	626	350	279	296	381	488	462
2	Boschetto	Pile	625	155	146	178	216	358	288
3	Vera	Tempera	635	683	720	738	834	773	853
4	Vera	Capo Vera	631	143	159	143	210	193	194
5	Aterno	Pantano Molina	448	3218	0	0	1172	4984	3572
6	Aterno	Ponte Spirito Santo	270	3019	100	80	1182	6456	4657
7	Aterno	L'Assunta	260	3099	742	967	2348	7071	3776
8	Pescara	Capo Pescara	245	5359	5859	5643	6752	5969	6565
9	S. Calisto	Centrale elettrica	242	1455	1494	1375	1578	1608	1492
10	S. Calisto	Dalichiuso	242	232	310	274	277	299	317
11	Tirino	Capodacqua	335	2219	2143	2607	3022	2793	2954
12	Tirino	Presciano	326	1470	1418	1792	1787	1950	1836
13	Tirino	Confluenza Pescara	237	9894	7531	8775	10512	10427	10323
14	Pescara	ponte Bussi F.S.	237	19543	10360	9768	16354	29445	23895

Capodacqua e Presciano, presentano un regime stabile e, soprattutto nel primo caso, forti decrementi di portata rispetto al passato, con valori attuali di 3 m³/s rispetto ai circa 5 m³/s noti dalla letteratura (Fig. 4). D'altronde, nell'interpretazione che vede tutti i gruppi sorgivi appartenere ad uno stesso acquifero regionale, è normale che in caso di diminuzione della ricarica, le sorgenti più influenzate siano quelle a quota più elevata, come è il caso di Capodacqua per il fiume Tirino. E' poi importante segnalare che la portata del Tirino a Bussi risulta maggiore rispetto alla somma dei contributi delle due sorgenti, evidenziando la presenza non solo di sorgenti minori disseminate lungo la valle, soprattutto in riva destra e in prossimità dell'alveo (studiate nel corso dell'apposito censimento), ma anche l'esistenza di un drenaggio diretto nell'alveo del Tirino, a monte del paese di Bussi; la portata complessiva delle sorgenti e del drenaggio in alveo risulta di circa 1 m³/s.

La portata totale del Tirino (Fig. 4) è circa il doppio rispetto alla portata misurata a Bussi. Infatti, in questo tratto, che non è possibile indagare direttamente a causa della presenza di derivazioni gestite da un nucleo industriale risalente al secolo scorso e ancora attivo, è presente un'altra importante sorgente basale del Gran Sasso, ubicata proprio in corrispondenza della linea tettonica che separa la dorsale aquilana da quella del M. Morrone, in prossimità del fiume Pescara. In questo caso, l'esecuzione di misure di portata nell'alveo fluviale è l'unico mezzo per individuare e valutare, per differenza, l'entità della risorsa idrica con caratteristiche qualitative sicuramente molto elevate, impiegata attualmente per usi industriali-energetici. Questa sorgente, ubicata lungo l'alveo del Tirino ma ben localizzata in corrispondenza del sovrascorrimento, prende il nome di Basso Tirino, ha una portata compresa tra 5 e 6 m³/s, ed è stata segnalata in

passato con portate analoghe, ma con qualche imprecisione riguardo la sua localizzazione. Anche nel caso del Tirino, si può notare come le sorgenti poste a quota più bassa presentino una minore variabilità stagionale nelle portate.

Ultimo gruppo sorgivo di una certa importanza è quello delle sorgenti di Popoli. La sorgente di S. Calisto, ubicata nell'estremo settore meridionale del massiccio, lungo il sovrascorrimento del Gran Sasso, sulla sua prosecuzione sudoccidentale rispetto alla sorgente di Basso Tirino, presenta anch'essa una notevole stabilità di portata, di circa 2 m³/s, rispetto ai 2.2 m³/s indicati in letteratura. Questo gruppo sorgivo sembra appartenere completamente alla struttura del Gran Sasso, vista la sua localizzazione.

La maggiore sorgente d'Abruzzo, Capo Pescara, ubicata poco più a Sud, presenta invece una portata più variabile, elemento questo che induce ad ulteriori riflessioni sul suo ruolo e soprattutto sulla sua appartenenza al sistema idrogeologico del Gran Sasso. La portata è anche in questo caso inferiore a quella misurata in passato: circa 5.5-6.5 m³/s contro 7.5 m³/s.

Capo Pescara, che vista la sua localizzazione e la sua quota dovrebbe rappresentare la destinazione ultima delle acque sotterranee del Gran Sasso, si comporta invece in modo differente rispetto alle altre sorgenti basali: è un importante indizio di una provenienza diversa di almeno parte delle acque di questa sorgente, come detto posta all'incontro tra le due dorsali del Gran Sasso e del Sirente.

Oltre alle misure di portata, sono state eseguite indagini per un censimento delle sorgenti, riguardante anche le emergenze più piccole, in due aree campione, la valle del Tirino, dove si concentra il maggiore flusso sorgivo del massiccio e la zona di contatto con il Sirente,

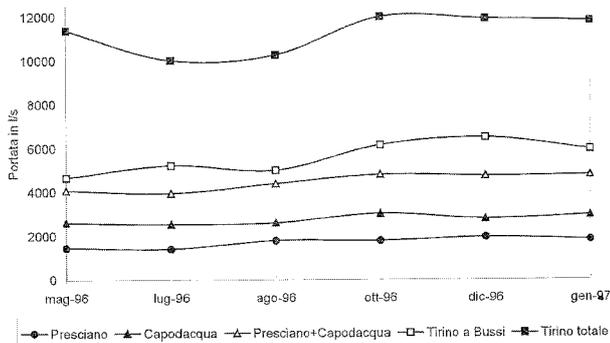


Fig. 4 - Grafico delle portate misurate nelle sezioni idrometriche del F.Tirino. Si possono notare la stabilità del regime di portata delle sorgenti di Capodacqua e Presciano, l'incremento di portata in alveo a monte del paese di Bussi e la portata del Tirino totale, doppia rispetto alla portata misurata a Bussi, per il contributo della sorgente Basso Tirino.

lungo l'Aterno, tra Molina e Raiano. Sulla base delle segnalazioni bibliografiche sono state controllate tutte le sorgenti e ne sono state individuate di nuove, al fine di fornire un quadro attuale esaustivo della situazione idrogeologica. Di tutte sono stati misurati la portata e i principali caratteri chimico-fisici e sono state redatte delle schede riassuntive analitiche.

In fig. 5 viene riportato il quadro riassuntivo relativo alle sorgenti presenti nel bacino del fiume Tirino, comprensivo delle emergenze maggiori e di quelle esaminate nel corso delle indagini specifiche. Si può osservare come la maggior parte delle emergenze minori siano ubicate sul versante occidentale della valle, al contatto tra i carbonati e i depositi alluvionali della valle, che evidentemente fungono da limite di permeabilità almeno parziale. Infatti, la portata complessiva erogata da questi gruppi di sorgenti è stata stimata in circa 250 l/s, contro un incremento di portata misurato in alveo pari a circa 1250 l/s, nel tratto compreso tra la confluenza dei due rami sorgivi di Capodacqua e Presciano e il centro abitato di Bussi. Se ne deduce che il fiume Tirino in questo tratto risulta drenante, essendo alimentato da acque sotterranee provenienti dai carbonati che attraversano anche i depositi alluvionali, nei sedimenti a maggiore granulometria che possono fungere da acquifero locale.

Le sorgenti più importanti tra quelle minori sono quelle più prossime al paese di Bussi, con particolare riferimento ai gruppi Sambuco e Fontanelle. In corrispondenza di quest'ultima emergenza è attualmente presente un campo pozzi che serve uno stabilimento di piscicoltura, che utilizza circa 400 l/s di acque sotterranee, causando un abbassamento della superficie piezometrica che si ripercuote direttamente sulle sorgenti vicine, determinandone il quasi totale essiccamento. Tale situazione sottolinea l'importanza di un attento esame delle utilizzazioni idriche antropiche in uno studio a carattere idrogeologico, anche a scala regionale.

Di conseguenza, l'attuale drenaggio in alveo nel fiume Tirino a monte di Bussi, presumibilmente localizzato nel settore più prossimo al centro abitato, può essere attualmente stimato in 600 l/s, ottenuti come differenza tra l'incremento di portata misurato alle sezioni flu-

viali seriate da una parte e la portata delle sorgenti censite e del campo pozzi di Fontanelle dall'altro.

In generale, dal censimento delle emergenze della valle del Tirino, emerge una diminuzione della portata anche sulle sorgenti minori, in parte giustificata dall'esistenza di prelievi da pozzo di entità rilevante.

Ultima ma non meno importante attività di ricerca ha riguardato la caratterizzazione del chimismo delle principali sorgenti: su 11 di queste, tutte sul versante meridionale, sono state eseguite 6 serie di campionamento ai fini di un'analisi chimica, svolta in laboratorio, con la determinazione dei principali ioni presenti (Ca^{++} , Mg^{++} , Cl^- , Na^+ , K^+ , SiO_2 , SO_4^{--}); queste prime analisi hanno fornito importanti indicazioni riguardanti i rapporti idrodinamici tra le diverse sorgenti, anche se non ha permesso una caratterizzazione definitiva delle acque, a causa del numero limitato di componenti analizzate.

Un primo inquadramento idrochimico viene proposto in tab. 2 e in fig. 6, da cui emerge immediatamente una comune origine di queste acque, che si differenziano tra loro soltanto per caratteri secondari. I valori si riferiscono alle medie risultanti dalle sei serie di analisi eseguite tra il maggio 1996 e il febbraio 1997.

Le sorgenti che presentano importanti differenze sono quelle di Raiano e di Molina Aterno, che appartengono sicuramente al sistema idrogeologico del M. Sirente. Altre differenze notevoli si registrano per le sorgenti del Vera, soprattutto riguardo al contenuto in magnesio. Le altre sorgenti presentano caratteri molto simili, evidenziando nel dettaglio un costante aumento della salinità, ripartito in tutti gli ioni maggiori, procedendo dalle sorgenti più vicine al cuore del massiccio (Vera e Vetoio) verso le più lontane: anche in questo caso appare evidente una comune origine idrodinamica di queste acque sorgive.

Per quanto riguarda le sorgenti di Capo Pescara, va detto che per le analisi chimiche sono stati scelti due distinti siti di campionamento, il primo relativo alle vere e proprie sorgenti del Pescara e un secondo per il gruppo di S.Liberata, appartenente lo stesso a Capo Pescara, ma ubicato più a Nord rispetto al primo gruppo di circa 1 km.

Ulteriori e più precise indicazioni di carattere idrochimico vengono dall'analisi dei principali rapporti caratteristici tra alcuni elementi, quale ad esempio il rapporto tra solfati e cloro (Fig. 7), che fornisce informazioni sul percorso delle acque, in quanto il rapporto tende a diminuire allontanandosi dalle zone di infiltrazione.

Se ne deduce che le sorgenti aquilane presentano un percorso sicuramente diverso dalle altre e che in genere le acque del Vera sembrano compiere un tragitto più lungo. Per le sorgenti del Tirino, si osserva una diminuzione del rapporto che testimonia una certa evoluzione delle acque sotterranee da Presciano a Capodacqua per giungere a Basso Tirino, in accordo con le indicazioni geografiche e di quota.

Una certa evoluzione, abbastanza netta, si scorge anche per le sorgenti del settore di Popoli, da S. Calisto verso S. Liberata e poi verso Capo Pescara, i cui caratteri sono molto simili a quelli delle vicine emergenze di S. Liberata, pur presentando alcune differenze.

Altro diagramma caratteristico di una certa rilevanza, soprattutto in un acquifero carbonatico come quello

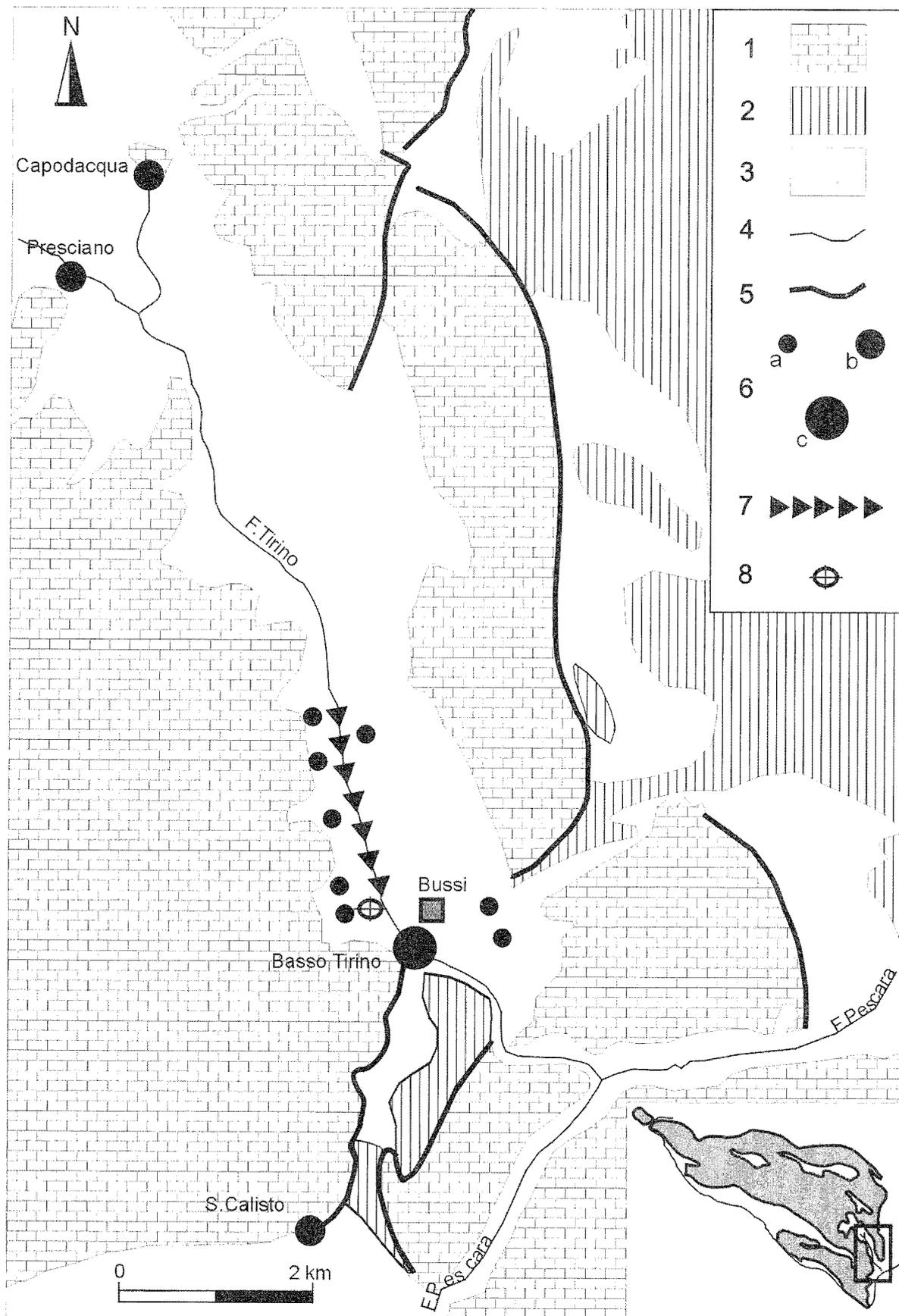


Fig. 5 - Schema di ubicazione delle sorgenti nella valle del F. Tirino. Si nota, oltre alle sorgenti maggiori di Capodacqua, Presciano e Basso Tirino, l'allineamento delle sorgenti minori, in destra idrografica, al contatto tra i termini carbonatici e i depositi alluvionali del fondovalle. Nella figura è anche indicato il tratto di alveo interessato dall'incremento lineare. 1: affioramenti carbonatici; 2: sedimenti flyschoidi; 3: depositi quaternari (alluvioni, detriti, ecc.); 4: limiti stratigrafici; 5: principali lineamenti tettonici; 6: sorgenti, distinte per classi di portata (a: inferiore a 100 l/s; b: tra 1 e 5 m³/s; c: superiore a 5 m³/s); 7: settore con incremento di portata in alveo (sorgente lineare); 8: campo pozzi. In basso a destra viene riportata l'ubicazione dell'area illustrata rispetto al massiccio del Gran Sasso.

Tab. 2 - Riassunto dei risultati delle determinazioni chimico-fisiche effettuate sulle acque delle principali sorgenti, in campo e in laboratorio. I valori si riferiscono alla media calcolata sulle sei misure effettuate.

sigla	sorgente	misure effettuate in sito						misure eseguite in laboratorio										
		pH	Temp. (°C)	Cond. El. (µS/cm)	Eh (mV)	Oss. Disc. (%)	Oss. Disc. (mg/L)	pH	Cond. El. (µS/cm)	Alcal. tot. (meq/L)	Cl ⁻ (mg/L)	SO ₄ ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)	Ca ⁺⁺ (mg/L)	Mg ⁺⁺ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)
AP1	Tempera	7,74	8,0	261	152	91,0	10,4	7,26	209	43,3	2,8	2,3	2,1	6,4	35,4	10,9	1,4	0,4
AP2	Vetoio	7,36	10,2	460	100	67,7	7,4	7,02	323	72,2	6,5	6,7	7,1	9,0	81,8	12,9	4,9	1,0
AP3	Presciano	7,12	11,3	597	176	74,5	7,8	7,04	406	77,8	3,9	23,0	4,1	9,7	88,4	19,6	3,7	1,5
AP4	Capodacqua	7,16	10,7	524	171	73,0	7,8	7,60	405	101,6	3,4	17,4	2,9	8,6	80,0	18,0	3,1	1,0
AP5	Basso Tirino	7,46	12,4	539	164	88,1	9,1	7,48	402	82,2	7,3	25,1	4,6	11,3	85,5	17,2	5,8	1,9
AP6	Capo Pescara	7,04	12,2	571	165	55,8	5,1	7,62	474	110,6	6,4	24,4	3,1	9,2	100,3	20,1	5,1	1,6
AP7	S. Liberata	7,10	11,5	530	168	68,4	7,3	7,79	442	116,0	3,8	15,5	3,7	10,5	82,6	15,4	3,4	1,1
AP8	S. Calisto	7,48	11,6	560	150	92,8	9,9	7,82	392	119,2	4,0	20,6	4,0	10,7	91,5	18,9	3,5	1,1
AP9	Molina Aterno	7,56	10,5	328	183	81,1	8,7	7,69	223	2,3	3,5	1,4	4,8	9,5	58,4	4,4	2,8	0,6
AP10	Raiano	7,55	14,2	542	97	81,7	8,6	7,84	382	103,4	10,5	10,7	21,6	14,7	91,6	6,3	7,6	3,3
AP11	Acqua Solfa	6,81	13,2	711	-116	12,6	1,3	7,69	496	119,9	8,4	41,9	0,5	14,1	109,5	22,8	6,9	2,2

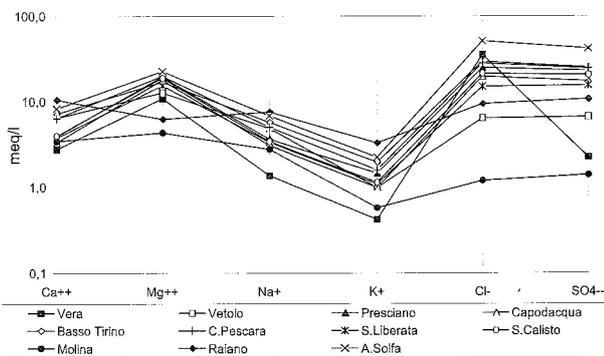


Fig. 6 - Diagramma di Schoeller-Berkaloff per le sorgenti campionate. E' evidente la marcata origine comune delle acque esaminate, con l'esclusione delle sorgenti di Raiano e di Molina Aterno; queste ultime, infatti, risultano appartenere sicuramente al massiccio del M. Sirente e quindi mostrano caratteri chimico-fisici differenti dalle altre.

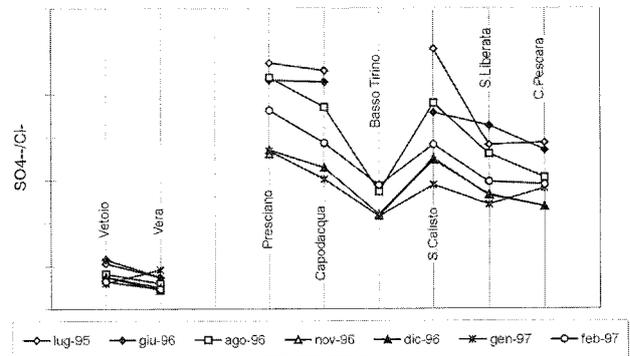


Fig. 7 - Diagramma caratteristico SO₄⁻/Cl⁻ nelle principali sorgenti. Si può notare come differisca il gruppo di sorgenti aquilane (Vera e Vetoio) sia da quelle del Tirino (Capodacqua, Presciano, Basso Tirino), che da quelle del settore di Popoli (S. Liberata, S. Calisto, Capo Pescara).

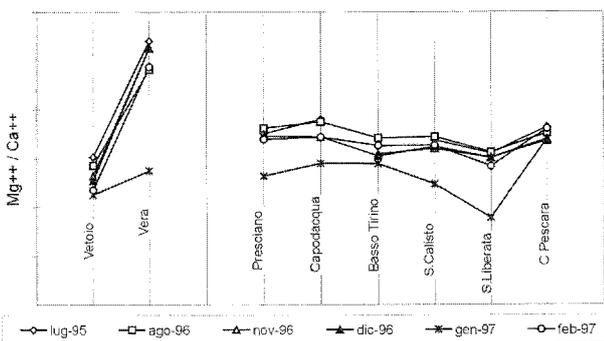


Fig. 8 - Diagramma caratteristico Mg⁺⁺/Ca⁺⁺ nelle principali sorgenti. Anche in questo caso è evidente la netta distinzione delle sorgenti aquilane da quelle dei settori del Tirino e di Popoli. Il contenuto in magnesio nelle sorgenti del Vera è influenzato dal limitrofo affioramento dei termini dolomitici.

in esame, riguarda il rapporto tra magnesio e calcio (Fig. 8), anche questo indizio della distanza dalla zona di infiltrazione, in quanto l'aumento del rapporto indica un maggiore percorso dalle aree di ricarica, in caso di attra-

versamento di litotipi analoghi. Per le sorgenti aquilane, l'anomalia più evidente è quella del Vera, dove il contenuto in magnesio è estremamente elevato, probabilmente a causa della presenza di termini dolomitici nelle vicinanze del gruppo sorgivo.

Le sorgenti dell'area di Popoli presentano un'evoluzione da S. Calisto verso S. Liberata, in accordo con il modello generale di circolazione, mentre Capo Pescara si pone in una diversa posizione, facendo ipotizzare la sua appartenenza ad un altro gruppo.

Un altro esempio delle elaborazioni eseguite sulla base dei dati idrochimici raccolti viene presentato in fig. 9, dove viene riportato l'andamento nel tempo della concentrazione in silice nelle differenti sorgenti. Questo grafico conferma le differenze nel chimismo tra le sorgenti di S. Calisto-S. Liberata da un lato e Capo Pescara dall'altro, le sostanziali similitudini tra Vetoio e Vera e una certa differenziazione nel gruppo del Tirino, a testimonianza di percorsi comuni ma non identici delle acque nel sottosuolo, almeno nei settori terminali.

Lo studio delle composizioni chimiche delle acque sorgive risulta quindi di estrema importanza ai fini di sta-

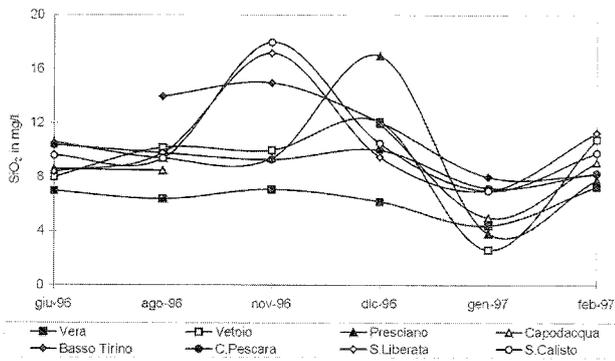


Fig. 9 - Andamento della concentrazione della SiO₂ nelle sorgenti campionate. Si può notare sia la costante differenziazione dalle altre sorgenti del gruppo Vera/Vetoio che la differenza nei trend evolutivi all'interno dei gruppi del Tirino e di Popoli.

bilire sia la comune provenienza delle acque sotterranee, sia soprattutto le caratteristiche idrodinamiche in un acquifero fratturato, dove la circolazione avviene attraverso un mezzo discontinuo, con tutte le conseguenze che questo fattore comporta anche nella distribuzione della risorsa e nel suo recapito finale. I limiti delle elaborazioni proposte risiede soprattutto nello spettro limitato di elementi analizzati; infatti, un'estensione delle analisi ad elementi minori e in tracce, auspicabile nel corso dei futuri programmi di ricerca, consentirebbe con tutta probabilità una più precisa caratterizzazione dei rapporti tra le diverse emergenze del Gran Sasso, potendo rappresentare anche l'elemento decisivo e risolutore per una definizione ultima dell'idrodinamica dell'acquifero.

4. QUADRO DELLE CONOSCENZE ACQUISITE

La definizione geologica della struttura può essere riferita ad alcuni elementi principali distinguibili sia per le caratteristiche paleogeografiche che per quelle geologico-strutturali. La schematizzazione di seguito descritta è stata resa possibile unicamente dall'esecuzione del rilevamento geologico con un approccio litostratigrafico in maniera sistematicamente integrata con quello geologico strutturale, dettaglio che in effetti costituisce uno degli aspetti più significativi del lavoro.

In estrema sintesi, il massiccio del Gran Sasso risulta costituito da:

- consistenti affioramenti delle successioni dolomitiche triassiche, poste nel settore settentrionale;
- successioni meso-cenozoiche in facies di piattaforma carbonatica e soglia poste al centro del massiccio;
- successioni di transizione meso-cenozoiche, che rappresentano la maggior parte degli affioramenti del massiccio, le quali si individuano nella fascia nord-occidentale e in quella Sud-occidentale; la prima presenta litologie più pelagiche della seconda.

Il rapporto tra le facies di piattaforma e quelle di transizione è prevalentemente tettonico.

Da un punto di vista strutturale l'area è caratterizzata da:

- direttrici tettoniche principali: E-W (settentrionale della catena: M. Corvo, Corno Grande, M.

Camicia), N-S (settore orientale della catena: M. Fiore, M. Cappuccinata) e NW-SE (settore centrale: M. Ruzza, M. Camarda, M. Mandra Murata);

- sovrascorrimenti sui termini terrigeni altomiocenici verso Nord e verso Est, che sono legati a fasi tettoniche diverse, sviluppate in prevalenza tra il Miocene superiore e il Pliocene inferiore (movimenti compressivi verso E) e il medio-superiore (movimenti compressivi verso N);
- faglie ad alto angolo con componente sia trascorrente che distensiva a direzione NW-SE, che individuano grossi volumi di rocce intensamente fratturate, ribassando la struttura a gradinata verso SW.

Ne risulta un arco convesso verso l'Adriatico, nettamente sovrascorso verso Nord sulle strutture N-S dominanti nell'antistante Bacino della Laga, ma al tempo stesso traslato anche verso E assieme ad altre importanti strutture appenniniche.

Gli studi a carattere geologico-strutturale eseguiti, finalizzati all'idrogeologia, consentono le seguenti considerazioni sulla determinazione dell'idrostruttura:

- gli affioramenti delle dolomie rappresentano spartiacque idrogeologici tra le sorgenti poste sul versante settentrionale (Chiarino, Ruzzo, Vitello d'Oro etc.) e quello meridionale del massiccio (Capo d'Acqua, S. Calisto);
- i sovrascorrimenti sulle unità terrigene costituiscono limiti di permeabilità ben definiti che confinano la struttura a Nord e a Sud;
- gli allineamenti tettonici appenninici creano limiti di permeabilità. Nelle esperienze acquisite nella costruzione del traforo del Gran Sasso la faglia di Valle Fredda produceva una grossa caduta nell'andamento della piezometrica. Poiché buona parte degli allineamenti presenti nel settore centrale presentano una tipologia simile, è plausibile ipotizzare anche per loro queste considerazioni.

Lo studio di dettaglio eseguito sullo stato di fratturazione indica orientazioni prevalenti a direzione E-W nel settore settentrionale e appenninica nel settore centrale. Localmente si osserva però la prevalenza degli altri domini, espressa attraverso la maggiore frequenza e minore spaziatura. Ciò si riflette probabilmente sull'idrogeologia locale, sia in termini di direzioni preferenziali di flusso che di fasce ad alto grado di fratturazione (fasce cataclastiche) allineate lungo i principali elementi tettonici, che potrebbero verosimilmente costituire diaframmi a bassissimo grado di permeabilità.

In generale è stata rilevata una forte dipendenza del campo di fratturazione dalla litologia.

Ad esempio in quelle più massive e competenti (calcarei di piattaforma non stratificati) si sviluppa maggiormente un tipo di risposta fragile, in cui la fratturazione (a volte senza evidenti direzioni preferenziali) è l'unica deformazione osservabile alla scala dell'affioramento.

Lo stato di fratturazione del complesso di piattaforma è molto variabile in relazione alle sollecitazioni tettoniche e alla presenza o meno di stratificazione. Di conseguenza le aree di affioramento di questo litotipo possono essere interessate da tutte le classi di fratturazione. I complessi di transizione, marnoso-calcarenitici e i depositi terrigeni sono prevalentemente interessati da grado di fratturazione Medio-Alto (MA).

Il controllo degli elementi tettonici sullo sviluppo della fratturazione è molto complesso. Tuttavia, dalla Carta della Fratturazione (Fig. 3), in cui sono anche riportati i principali elementi tettonici, si evince una relazione tra lo sviluppo della fratturazione e gli elementi tettonici più importanti, caratterizzati da un'evoluzione cinematica complessa (faglie di Vallefredda, Campo Imperatore, Pizzoli-Barete Roccapreturo, conca Subequana).

Inoltre, attraverso l'integrazione dei dati provenienti dall'osservazione diretta degli affioramenti, dallo studio delle foto aeree, dall'elaborazione statistica dei dati riguardanti la frequenza e l'andamento azimutale dei vari domini di fratturazione, è stato possibile individuare alcune aree caratterizzate da Alto Grado di fratturazione non ricollegabili alla presenza sul terreno di importanti elementi strutturali come ad esempio nell'area tra Campo Imperatore e Castelvechio Calvisio.

L'insieme delle indagini di tipo geologico, strutturale, idrogeologico e idrogeochimico, sopra sintetizzate, hanno infine permesso l'elaborazione di uno schema generale preliminare di circolazione idrogeologica, sul quale si individuano alcune direttrici probabili del deflusso sotterraneo, nell'ambito di un'unica falda regionale (Fig. 10).

I principali elementi che hanno condotto all'elaborazione dello schema sono i seguenti:

- la sostanziale unità della circolazione idrica sotterranea del Gran Sasso può essere oggi assunta come dato di fatto: tutti gli elementi analizzati conducono verso questa affermazione;
- l'acquifero del Gran Sasso può essere quindi considerato privo di limiti a flusso nullo al suo interno e, viceversa, con limiti a flusso nullo abbastanza ben definiti al suo contorno; fa eccezione il settore di contatto con la dorsale del Sirente e, in misura minore, con quella del Morrone; quest'ultimo limite verso il Morrone è stato oggetto di studi specifici, dai quali emerge una netta divisione tra i due acquiferi regionali (SALVATI, 1996; MASSOLI-NOVELLI *et al.*, 1997);
- il ruolo della tettonica e delle variazioni litologiche è importante in quanto rende compartimentato l'acquifero, con limiti di permeabilità non assoluti, che complicano i percorsi delle acque sotterranee ma non li condizionano in modo definitivo;
- l'infiltrazione e la ricarica vengono condizionate dalla presenza di zone ad infiltrazione concentrata, quali le aree endoreiche, ma lo stato di fratturazione delle diverse formazioni e la presenza di zone cataclastiche influenzano fortemente il fenomeno di infiltrazione;
- i depositi quaternari alluvionali definiscono limiti di permeabilità tali da impedire il deflusso di quantità rilevanti di acque sotterranee nelle pianure; qualche eccezione si riscontra in corrispondenza delle emergenze, dove possono verificarsi fenomeni di perdite sotterranee dal massiccio carbonatico verso le pianure, di entità comunque decisamente minore rispetto alla portata erogata dalle sorgenti;
- nelle pianure alluvionali sono comunque presenti falde idriche di potenzialità anche rilevante: tali falde, se ricevono apporti dagli affioramenti carbonatici, vengono a loro volta drenate dai corsi d'acqua che le solcano, dando luogo al fenomeno delle sorgenti lineari (come nella valle del Tirino); gli apporti idrici dai car-

bonati sono spesso drenati verso le pianure da corpi detritici di versante, dotati di elevata permeabilità;

- le sorgenti principali sono poste nei punti più depressi del contatto tra carbonati del massiccio e depositi a permeabilità limitata che circondano i primi; si tratta di sorgenti definibili di "trabocco", vista l'esistenza alle loro spalle, anche a quote inferiori a quelle di emergenza, di volumi di acquifero saturo molto potenti, con conseguente presenza di rilevanti riserve permanenti;
- la falda regionale viene drenata soprattutto da sorgenti basali distinte in tre gruppi principali, delle sorgenti aquilane, della valle del Tirino e di Popoli; tra queste, le più distanti dal cuore del massiccio, vale a dire Basso Tirino e S. Calisto, ubicate lungo la prosecuzione del principale sovrascorrimento del Gran Sasso, presentano una maggiore uniformità di regime e di caratteri idrochimici.

Infine, è possibile indicare delle probabili direttrici di flusso sotterraneo all'interno dell'acquifero, che indicano un drenaggio minimo verso il versante settentrionale e un recapito concentrato nel settore sud-orientale. I percorsi delle acque sotterranee possono essere considerati comuni e le differenziazioni avvengono proprio in corrispondenza dell'attraversamento di linee tettoniche o di litotipi con caratteristiche peculiari, come le dolomie.

La questione dei rapporti con l'acquifero del M. Sirente e dell'alimentazione della grande sorgente di Capo Pescara resta ancora aperta, ma tutti gli indizi finora raccolti, rendono sempre più probabile una sua alimentazione da parte del sistema idrogeologico del M. Sirente e non dal Gran Sasso, almeno per la maggioranza delle acque sorgive. L'acquifero del Sirente alimenta sicuramente le sorgenti di Molina, delle Gole di S. Venanzio e di Raiano, dove sono presenti anche sorgenti sulfuree sulla cui genesi si sta attualmente ancora indagando.

5. PROSPETTIVE DELLA RICERCA

Le ricerche integrate, di tipo geologico-strutturale e a carattere idrogeologico, sinora condotte sul Gran Sasso da questo gruppo di ricerca, forniscono una serie di nuovi elementi sull'idrogeologia del Gran Sasso, che sono stati riassunti nel precedente capitolo e illustrati in fig. 10.

Sembra infine opportuno sottolineare che la metodologia adottata si è rivelata particolarmente idonea allo studio delle problematiche idrogeologiche di questo settore dell'Appennino, basato innanzitutto sulla completa integrazione di ricerche a carattere geologico-stratigrafico e geologico-strutturale con quelle più strettamente idrologiche e idrogeologiche. Infatti, la metodologia applicata nelle indagini di terreno, quali lo studio della fratturazione, le misure di portata seriate in alveo, il censimento delle emergenze con schema geologico allegato, rappresenta un esempio della necessità di una stretta interazione tra diversi settori disciplinari nel quadro di ricerche a carattere regionale.

Ulteriori analisi dei dati sinora raccolti attualmente in elaborazione, accompagnate dai risultati di alcune campagne ancora in corso, consentono di suggerire alcuni obiettivi raggiungibili nel prossimo futuro:

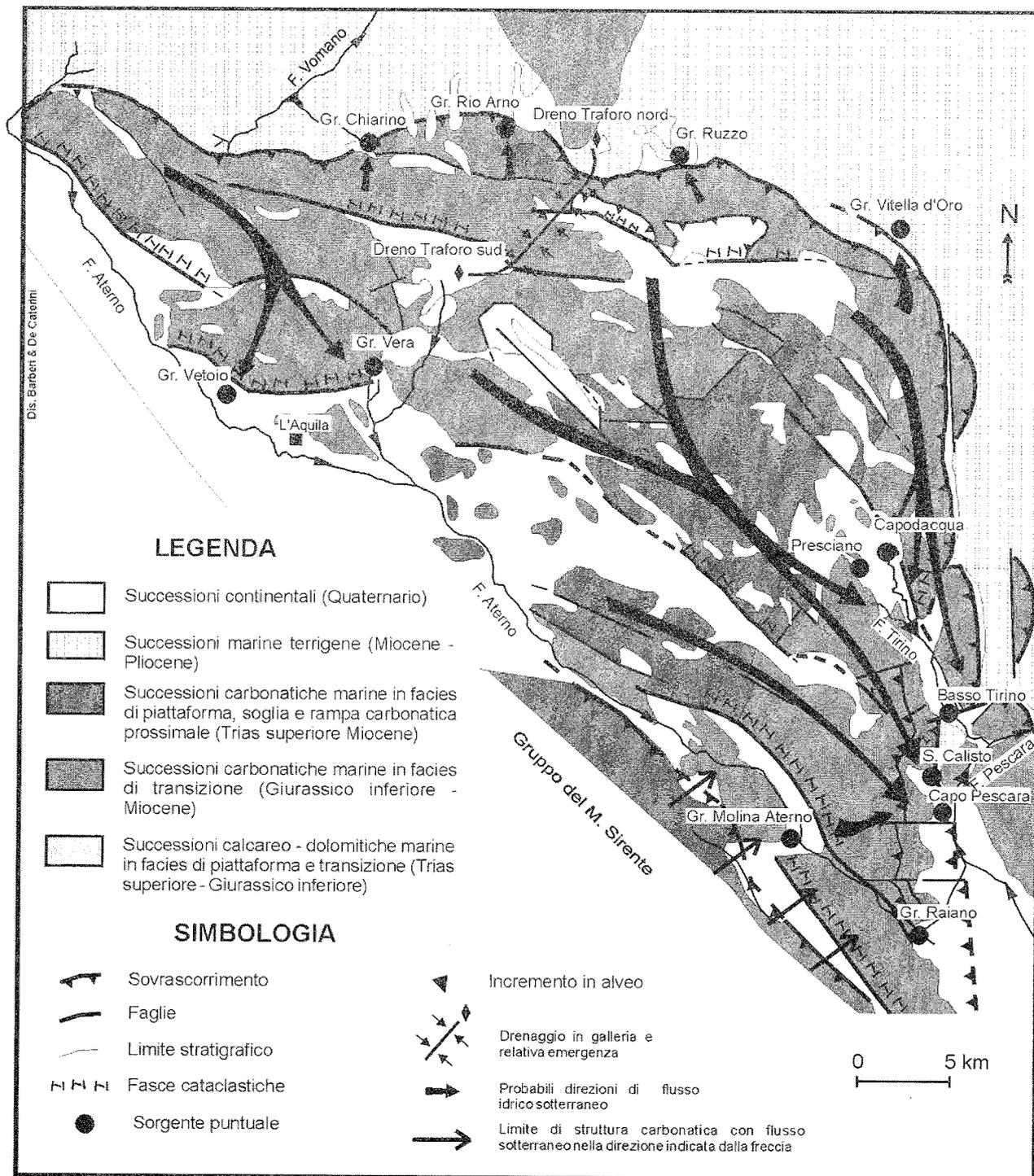


Fig. 10 - Schema idrogeologico preliminare del massiccio del Gran Sasso. E' evidente come la maggior parte del flusso sotterraneo sia diretto verso l'estremo settore sud-orientale, sede delle principali emergenze. Le direttrici di deflusso sotterraneo indicate sono da considerarsi indicative del senso generale di movimento delle acque nel sottosuolo.

- una definizione quantitativa delle componenti del bilancio idrologico ed idrogeologico dell'intero massiccio, soprattutto grazie ai dati che verranno raccolti nel prossimo anno dalla rete di monitoraggio in via di completamento;
- l'identificazione delle provenienze delle acque che alimentano i diversi gruppi sorgivi, tenuto conto anche degli aspetti tridimensionali del problema del flusso sotterraneo, vale a dire una prevalente componente verticale di movimento nella zona non satura cui

seguono movimenti a componente quasi orizzontale nella rete di flusso;

- la stessa raccolta ed elaborazione degli importanti dati derivanti dalle attività di monitoraggio.

Infine, sulla base dei risultati e delle prospettive immediate, è possibile suggerire una serie di ampliamenti delle ricerche auspicabili per ottenere ulteriori informazioni, come la caratterizzazione idrochimica basata sull'analisi degli elementi minori e in tracce, che potrà fornire elementi finalmente discriminanti nella

ricostruzione dei percorsi sotterranei.

Altrettanto auspicabile è la realizzazione di una rete di monitoraggio qualitativo, che vada ad integrare i dati quantitativi, soprattutto in prospettiva di una migliore integrazione tra attività antropiche e conservazione ambientale.

Ultimo tassello, la realizzazione di uno studio di vulnerabilità dell'acquifero del Gran Sasso, soprattutto in rapporto agli importanti acquiferi alluvionali presenti nelle piane endoreiche e nelle valli fluviali, dove si concentrano gli insediamenti antropici e si fanno più intense le utilizzazioni della risorsa idrica. Sulla base dei risultati di tutte le altre ricerche, realizzate e auspicate, si potranno così dotare gli enti preposti alla gestione del territorio di uno strumento ormai indispensabile quale le carte di vulnerabilità.

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia il Consorzio di Ricerca del Gran Sasso per il contributo finanziario alla presente ricerca.

P. Stigliano ha coordinato l'intera ricerca e ha curato la stesura del cap. 1.

A. Altieri, R. Barberi, G. De Caterini, E. Miccadei e T. Piacentini hanno curato le ricerche geologiche e la stesura dei capitoli 2.1 e 3.1.

R. Massoli-Novelli, M. Petitta e R. Salvati hanno curato le ricerche idrogeologiche e la stesura dei capitoli 2.2 e 3.2.

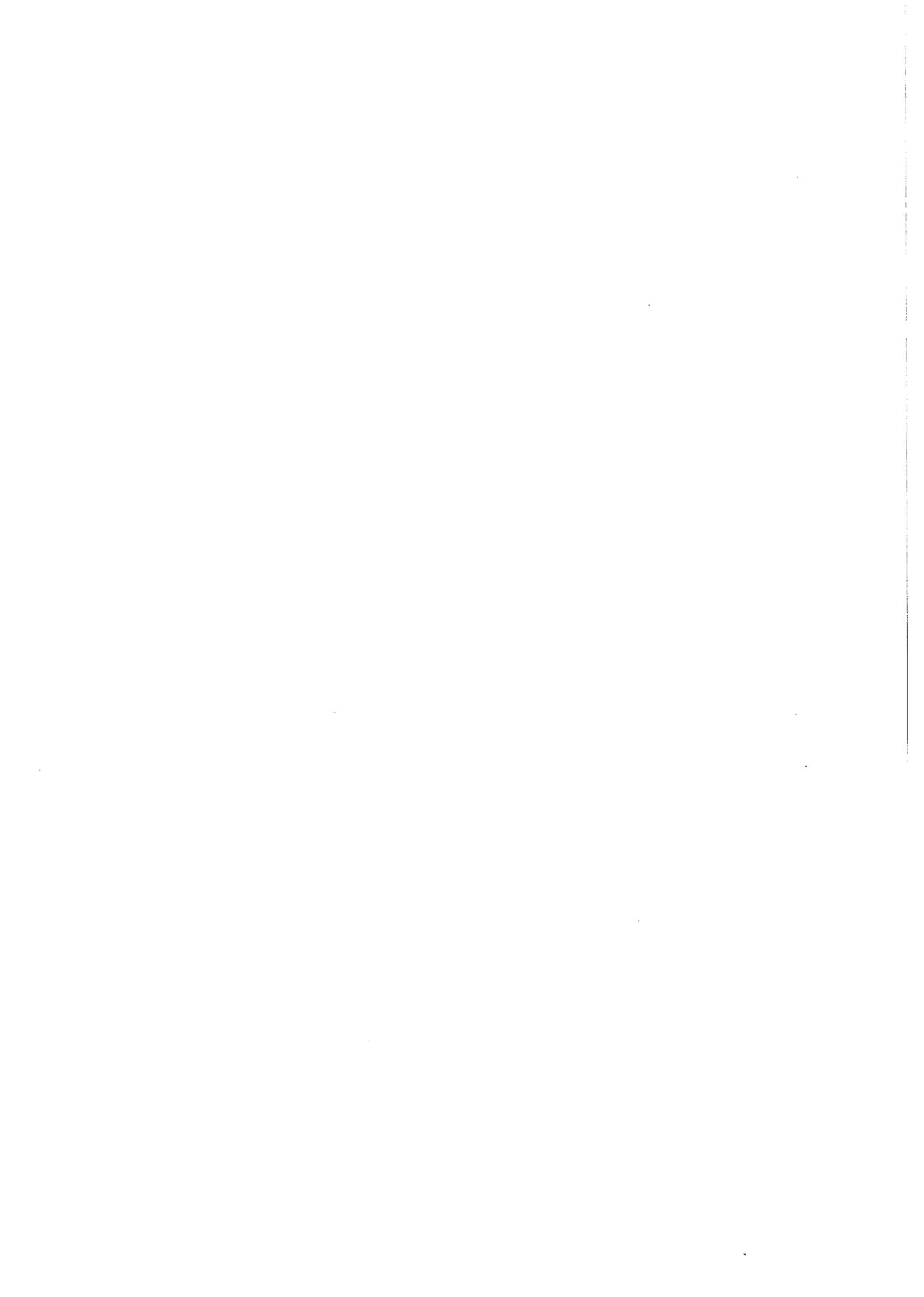
Le considerazioni conclusive e i capitoli 4 e 5 sono il risultato del lavoro congiunto di tutti gli autori.

BIBLIOGRAFIA

- ACCORDI G., F. C., CIVITELLI G., CORDA L., DE RITA D., ESU D., FUNICIELLO R., KOTSAKIS T., MARIOTTI G. & SPOSATO A. (1988) - *Note illustrative alla Carta delle litofacies del Lazio Abruzzo ed aree limitrofe*. Quaderni de "La Ricerca Scientifica", **114**, C.N.R.
- ADAMOLI L. (1990) - *Idrogeologia del massiccio carbonatico del Gran Sasso e conseguenze idrogeologiche degli scavi autostradali*. *Geologia tecnica*, **3**, 4-15.
- ADAMOLI L., BERTINI T., CHIOCCHINI M., DEIANA G., MANCINELLI A., PIERUCCINI U. & ROMANO A. (1978) - *Ricerche geologiche sul mesozoico del Gran Sasso d'Italia (Abruzzo). II. Evoluzione tettonico sedimentaria dal Trias superiore al Cretaceo inferiore dell'area compresa tra il Corno Grande e S. Stefano di Sessano (F. 140 Teramo)*. *Studi Geol. Camerti*, **4**, 7-17.
- ADAMOLI L., BERTINI T., CHIOCCHINI M., DEIANA G., MANCINELLI A., PIERUCCINI U. & ROMANO A. (1982) - *Ricerche geologiche sul Mesozoico del Gran Sasso d'Italia (Abruzzo). V. Evoluzione tettonico-sedimentaria dal Trias superiore al Cretaceo inferiore dell'area compresa tra M. Camicia ed Ofena (F. 140 Teramo)*. *Studi Geol. Camerti*, **7**, 89-95.
- ANAS-COGEFAR (1979) - *Gran Sasso: il traforo autostradale*, pp. 463.

- AQUATER (1993) - *Censimento delle risorse idriche dell'Abruzzo - Bacino dell'Aterno-Pescara*. Rapporto inedito Aquater-Regione Abruzzo.
- BENEO E. (1940) - *Tettonica della Valle dell'Aterno (Abruzzo)*. *Boll. R. Uff. Geol. It.*, **65**, 1-12.
- BIGI S., CALAMITA F. & CENTAMORE E. (1997) - *Caratteristiche geologico-strutturali dell'area abruzzese ad oriente del Gran Sasso*. In: CELLO G., DEIANA G. & PIERANTONI P.P. (EDS) - *Geodinamica e tettonica attiva del sistema Tirreno-Appennino*, *Studi Geol. Camerti*, vol. spec. **1995/2**, 67-76.
- BIGI S., CENTAMORE E., DRAMIS F., SALVUCCI R. (1995) - *Sistemi distensivi in due aree dell'Appennino centrale*. *Il Quaternario*, **8**, 71-83.
- BONI C., BONO P. & CAPELLI G. (1986) - *Schema idrogeologico dell'Italia Centrale*. *Mem. Soc. Geol. It.*, **35** (2), 991-1012.
- BOSI C. & BERTINI B. (1970) - *La geologia della media Valle dell'Aterno*. *Mem. Soc. Geol. It.*, **9**, 767-801.
- CARRARO F. & GIARDINO M. (1992) - *Geological evidence of recent fault evolution. Examples from Campo Imperatore (L'Aquila - Central Apennines)*. *Il Quaternario*, **5** (2), 181-200.
- CASSA PER IL MEZZOGIORNO (1982) - *Progetto Speciale 29 per gli schemi idrici nel mezzogiorno. Schede e tabelle riassuntive*. Rapporto inedito Compagnia Mediterranea Prospezioni - Cassa per il Mezzogiorno.
- CATALANO P.G., CAVINATO G.P. & TOZZI M. (1986) - *Analisi strutturale nei laboratori dell'I.N.F.N. del Gran Sasso d'Italia*. *Mem. Soc. Geol. It.*, **35** (2), 647-655.
- CELICO F., CELICO P., ESPOSITO L., HABETSWALLNER F., MINAUDO R. & PISCOPO V. (1996) - *Influenza strutturale, a grande e piccola scala, sul comportamento idrodinamico degli acquiferi fessurati: i risultati dei pozzi di Punta Silla (Campania), alla luce di altre esperienze*. *Geologia tecnica e ambientale*, **1/96**, 5-18.
- CELICO P. (1983) - *Idrogeologia dei massicci carbonatici, delle piane quaternarie e delle aree vulcaniche dell'Italia centro-meridionale (Marche e Lazio meridionali, Abruzzo, Molise e Campania)*. Quaderni della Cassa del Mezzogiorno, vol. 4/2.
- CENTAMORE E., CANTALAMESSA G., MICARELLI A., POTETTI M., BERTI D., BIGI S., MORELLI C. & RIDOLFI M. (1992) - *Stratigrafia e analisi di facies dei depositi del Miocene e del Pliocene inferiore dell'avanfossa marchigiano-abruzzese e delle zone limitrofe*. In: TOZZI M., CAVINATO G.P. & PAROTTO M. (EDS) - *Studi preliminari all'acquisizione dati del profilo CROP II Civitavecchia-Vasto*. *Studi Geol. Camerti*, vol. spec. **1991/2**, 125-131.
- CHIOCCHINI M., DEIANA G., MANCINELLI A. & PIERUCCINI U. (1982) - *Schema dell'evoluzione paleogeografica dell'area del Gran Sasso d'Italia durante il Trias superiore-Cretaceo inferiore*. *Rend. Soc. Geol. It.*, **5**, 35-38.
- CIVITA M. (1994) - *Le carte della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento*. Pitagora Ed., Bologna.

- D'AGOSTINO N., FUNICIELLO R., SPERANZA F. & TOZZI M. (1994) - *Caratteri della tettonica distensiva nell'Appennino centrale, l'area di S. Stefano di Sessanio-Calascio (L'Aquila)*. Boll. Soc. Geol. It., **113** (1), 37-53.
- D'ANDREA M., MICCADEI E. & PRATURLON A. (1992) - *Rapporti tra il margine orientale della piattaforma laziale-abruzzese ed il margine occidentale della piattaforma Morrone-Pizzalto-Rotella*. In: TOZZI M., CAVINATO G.P. & PAROTTO M. (EDS) - *Studi preliminari all'acquisizione dati del profilo CROP 11 Civitavecchia-Vasto*. Studi Geol. Camerti, vol. spec. **1991/2**, 389-395.
- GHISETTI F. & VEZZANI L. (1986) - *Assetto geometrico ed evoluzione strutturale della catena del Gran Sasso tra Vado di Siella e Vado di Corno*. Boll. Soc. Geol. It., **105**, 131-171.
- GHISETTI F. & VEZZANI L. (1990) - *Stili strutturali nei sistemi di sovrascorrimento della catena del Gran Sasso (Appennino centrale)*. In: BOCCALETTI M., DEIANA G. & PAPANI G. (EDS) - *Neogene thrust tectonics. Esempi da Alpi meridionali, Appennino e Sicilia*. Studi Geol. Camerti, vol. spec. **1990**, 37-50.
- GHISETTI F. & VEZZANI L. (1991) - *Rapporti strutturali tra il fronte del Gran Sasso ed il Flysch della Laga (Appennino Centrale)*. Mem. Soc. Geol. It., **41**, (1988), 1171-1178.
- GHISETTI F., FULLADOR U., LANZA R. & VEZZANI L. (1992) - *La zona di taglio Rigopiano-Bussi-Revisondoli: svincolo di taglio transpessivo al margine nord-orientale della piattaforma laziale-abruzzese*. In: TOZZI M., CAVINATO G.P. & PAROTTO M. (EDS) - *Studi preliminari all'acquisizione dati del profilo CROP 11 Civitavecchia-Vasto*. Studi Geol. Camerti, vol. spec. **1991/2**, 215-220.
- GHISETTI F., VEZZANI L. & FULLADOR U. (1993) - *Traspressioni destre nelle zone esterne dell'Appennino centrale*. Geol. Romana, **29**, 71-94.
- GIRAUDI C. (1991) - *Segnalazione di scarpate di faglia post glaciali nel massiccio del Gran Sasso (Abruzzo): implicazioni tettoniche, rapporti tra tettonica recente e morfologia, paleosismicità*. Mem. Soc. Geol. It., **41**, 627-635.
- MARAN S., STIGLIANO G.P. & TRUCCO R. (1994) - *Programma di ricerca sulla idrologia del massiccio del Gran Sasso. Avamprogetto - Rapporto Finale CISE-DAM-94-26*.
- MASSOLI-NOVELLI R. & PETITTA M. (1997) - *Hydrogeological impact of the Gran Sasso tunnels (Abruzzi, Italy)*. International Symposium on Engineering Geology and the Environment, Athens, Greece, 23-27 June 1997, vol.3, pp.2787-2792.
- MASSOLI-NOVELLI R., PETITTA M. & SALVATI R. (1997) - *La situazione idrogeologica e ambientale delle Gole di Popoli (Abruzzo): primi risultati e prospettive di ricerca - 78° Riun. Est. Soc. Geol. It., San Cassiano (BZ), 16-18 settembre 1997*.
- MICCADEI E., ALTIERI A., CAVINATO G.P., BARBERI R., DE CATERINI G., PIACENTINI T., PETITTA M., SALVATI R. & STIGLIANO P. (1997) - *Studi per un monitoraggio idrologico del massiccio del Gran Sasso (Abruzzo). 1) Aspetti metodologici e risultati delle ricerche geologiche*. Geoitalia 97, Rimini, 5-9 ottobre 1997, vol. 2, 358-359.
- PAROTTO M. & PRATURLON A. (1975) - *Geological summary of the Central Apennines*. Quaderni de "La Ricerca Scientifica", **90**, 257-311.
- PATACCA E., SCANDONE P., BELLATALLA M., PERILLI N. & SANTINI U. (1992) - *La zona di giunzione tra l'arco appenninico settentrionale e l'arco appenninico meridionale nell'Abruzzo e nel Molise*. In: TOZZI M., CAVINATO G.P. & PAROTTO M. (EDS) - *Studi preliminari all'acquisizione dati del profilo CROP 11 Civitavecchia-Vasto*. Studi Geol. Camerti, vol. spec. **1991/2**, 215-220.
- PERRONE (1902) - *Carta Idrografica d'Italia: Aterno-Pescara*. Pubbl. Min. Agr. Ind. Art., Roma.
- PETITTA M. & MASSOLI-NOVELLI R. (1995) - *Primi risultati del monitoraggio geoambientale delle sorgenti del Fiume Vera (Gran Sasso)*. Quad. Geol. Appl. suppl. **1/95**, vol. 1.
- PETITTA M., SALVATI R., STIGLIANO P., MASSOLI-NOVELLI R., MICCADEI E., BARBERI R., DE CATERINI G. & PIACENTINI T. (1997) - *Studi per un monitoraggio idrologico del massiccio del Gran Sasso (Abruzzo). 2) Nuovi dati per la definizione dell'assetto idrogeologico-strutturale*. Geoitalia '97, Rimini, 5-9 ottobre 1997, vol. 2, 359-361.
- SALVATI R. (1995) - *Idrogeologia strutturale ed idrogeologia quantitativa del margine orientale della piattaforma carbonatica laziale-abruzzese*. Tesi di Dottorato, VIII Ciclo, Dip. Scienze della Terra, Univ. "La Sapienza", Roma.
- SERVIZIO IDROGRAFICO (1940-1989) - *Annali Idrologici, parte II*. Pubbl. Servizio Idrografico, sezione di Pescara, Ministero Lavori Pubblici.
- SERVIZIO IDROGRAFICO (1964) - *Le Sorgenti d'Italia, vol. IX - Abruzzo*. Pubbl. Servizio Idrografico, sezione di Pescara, Ministero Lavori Pubblici.
- STIGLIANO G.P., TRUCCO R., CECAMORE P. & PALANDRI M. (1995) - *Realizzazione di un sistema idrologico del massiccio del Gran Sasso - Progetto Idrologia - Studi preliminari*. Rapporto inedito CISE/Nuova Telespazio, Consorzio di Ricerca del Gran Sasso.
- VEZZANI L. & GHISETTI F. (1997) - *Domini in compressione ed in distensione al retro dei fronti del Gran Sasso - M.Picca e del M.Morrone: il ruolo della zona di tagli Avezzano - Bussi (Appennino centrale)*. In: CELLO G., DEIANA G. & PIERANTONI P.P. (EDS) - *Geodinamica e tettonica attiva del sistema Tirreno-Appennino*. Studi Geol. Camerti, vol. spec. **1995/2**, 475-490.



Centro Audiovisivi e Stampa
Università di Camerino
gennaio 2000

Autorizzazione Tribunale di Camerino n. 4/82 del-17.12.1982