

PROBLEMI DI GEOLOGIA AMBIENTALE NEI POLJE APPENNINICI: L'ESEMPIO DELLA PIANA DI FORINO (CAMPANIA)

A. Santo⁽¹⁾ - M. Liguori⁽²⁾ - S. Aquino⁽³⁾ - M. Galasso^{(3)*}

⁽¹⁾Dipartimento di Ingegneria Geotecnica (Sezione di Geologia Applicata) Facoltà di Ingegneria di Napoli,

⁽²⁾Geologo libero professionista,

⁽³⁾Consorzio Interprovinciale Alto Calore (Avellino)

ABSTRACT - Geo-environmental problems in the polje of the southern apennines: the example of the Forino plain (Campania Region) - This paper deals with the geo-environmental problems of the Apenninic polje related to the human activity. The studied area is a typical structural polje (Forino basin) located in the carbonatic massif of the Sarno mountains, in the Campania region. The karst plain is located at about 400 metres a.s.l. and it is drained by the ponor of Celzi, in the eastern sector of the plain; all the area is interested by an intense agriculture practice and is partially covered by the town of Forino.

The stratigraphical analysis of the filling deposits of the polje, which are mainly pyroclastic fall deposits interlayered with lacustrine silts and clays, together with the geomorphological, hydrogeological and hydrogeochemical study of the area, allowed us to reconstruct the general outline of the underground hydric circulation. In particular, tracing tests carried out on the ponor of Celzi have shown its relation with the basal spring of Labso. Moreover the monitoring of the main springs of the area has shown their state of pollution, due to the immission of the Forino town sewer system in the ponor and to the notable use, for the agriculture practice, of nitrogenous fertilizers. The study has also displayed that the agriculture practice could be responsible for the increasing of the flooding phenomena in the polje, registered in the last years.

The Forino basin is thus a very clear example of how delicate is the geo-environmental equilibrium of the polje and shows that a correct land management in this area cannot leave out of consideration a multidisciplinary study approach.

RIASSUNTO - Problemi di geologia ambientale nei polje appenninici: l'esempio della piana di Forino (Campania) - Nel presente lavoro si riportano i dati di uno studio su un tipico campo tettono-carsico (polje) appenninico (Piana di Forino) in cui notevoli sono state le variazioni ambientali prodotte negli ultimi anni dall'uomo. L'analisi stratigrafica, geomorfologica e idrogeochimica condotta ha permesso di ricostruire lo schema di circolazione idrica sotterranea e di verificare lo stato di inquinamento in atto presente nell'area determinato, principalmente, dall'immissione di acque reflue nell'inghiottitoio e dal notevole utilizzo, per la pratica agricola, di concimi azotati. Prove con traccianti, hanno evidenziato i rapporti tra l'inghiottitoio e la falda profonda.

I frequenti fenomeni di alluvionamento riscontrati negli ultimi anni, infine, sembrano anch'essi collegati a variazioni antropiche.

Parole chiave: Geologia ambientale, carsismo, vulnerabilità acquiferi, Appennino meridionale, Campania, Italia.

Key words: Environmental geology, karst, vulnerability aquifers, southern Apennines, Campania, Italy.

1. INTRODUZIONE

Il paesaggio dell'Appennino Campano-Lucano è caratterizzato dalla presenza di numerosi bacini carsici endoreici (polje) che, per le loro particolari caratteristiche morfologiche ed idrogeologiche, hanno sempre avuto problemi riguardanti la difficoltà di smaltimento delle acque superficiali e reflue con conseguenti fenomeni di inquinamento ed alluvionamento. Molto spesso, infatti, tali acque vengono immesse in inghiottitoi carsici che hanno una comunicazione diretta con falde basali come, ad esempio, nella Piana del Dragone, nel Vallo di Diano, nel Piano di Campitello Matese (Santo, 1991; Calcaterra *et al.*, 1994; Celico *et al.*, 1994).

Bisogna poi ricordare che tali bacini, negli ultimi anni, hanno avuto uno sviluppo notevole sia in termini di densità abitativa che di attività industriale ed agrico-

pastorale con conseguente aumento del potenziale carico inquinante; tale sviluppo, in mancanza di una corretta ed oculata gestione del territorio, può arrecare danni all'ambiente.

La piana di Forino è un esempio di come l'espansione urbanistica e l'intensa attività agricola degli ultimi anni abbia alterato sensibilmente l'ambiente. Lo studio stratigrafico, geomorfologico ed idrogeochimico ha permesso di tracciare un quadro, se pur preliminare, della circolazione idrica sotterranea evidenziando fenomeni di inquinamento delle acque sotterranee.

La ricerca rientra in un filone da anni attivo e perseguito da ricercatori della Sezione di Geologia Applicata del Dipartimento di Ingegneria Geotecnica della Facoltà di Ingegneria di Napoli finanziato con fondi M.U.R.S.T., responsabile prof. A. Corniello.

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE

La piana di Forino costituisce un tipico campo tettonocarsico (polje strutturale di Ford & Williams, 1989) localizzato nell'estremo settore orientale dei Monti di Sarno (Fig. 1), di superficie pari a circa 9 km².

Lo studio stratigrafico ha permesso di cartografare in dettaglio formazioni aventi caratteristiche litologiche del tutto diverse tra loro (Fig. 2). La formazione più antica, riferibile al Cretacico superiore, è rappresentata da una continua e potente serie sedimentaria di natura calcarea e calcareo-dolomitica, riferibile all'unità Monti Picentini (Bonardi *et al.*, 1988), che costituisce i complessi montuosi che circondano la piana di Forino.

Il complesso è fortemente fratturato a causa delle vicissitudini tettoniche compressive e distensive plio-quadernarie, risultando, in definitiva, suddiviso in grossi blocchi separati da faglie subverticali, spesso con interconnessione di sedimenti terrigeni (Civita *et al.*, 1969).

Le osservazioni geologiche di campagna, hanno permesso di riconoscere numerose faglie trascorrenti a movimento prevalentemente sinistro e con direzioni all'incirca est-ovest e nord-sud. Esse hanno articolato le successioni carbonatiche in vari blocchi monoclinali che risultano variamente basculati anche se nel complesso sono mediamente immergenti verso nord.

Osservazioni di tipo geomorfologico hanno evidenziato, inoltre, che le fasi tettoniche che hanno condizionato la genesi della piana di Forino, sono state attive in momenti diversi ed intervallate da periodi di relativa stasi come testimoniano alcuni versanti policiclici che conservano terrazzi di erosione sospesi a diverse quote (800, 600, 400 m s.l.m.).

In contatto stratigrafico sui versanti di strato calcarei e più spesso in contatto tettonico lungo piani di faglia, affiorano terreni miocenici in facies di flysch che sono ben osservabili in corrispondenza della collina Parianico. Qui affiorano successioni argilloso-arenacee ed argilloso-marnose, generalmente ben consolidate; tali terreni sono riferibili in letteratura alle unità irpine di età Serravalliano-Tortoniana (Civita *et al.*, 1969; Pescatore *et al.*, 1970; Patacca *et al.*, 1990).

L'analisi stratigrafica di alcune perforazioni effettuate nella piana ha mostrato come le profondità alle quali si rinviene il substrato miocenico sono bruscamente crescenti nel settore centrale e sud orientale della stessa (Figg. 3-5).

A copertura delle formazioni appena descritte insiste un complesso quaternario, il cui spessore supera i 100 m, costituito prevalentemente da depositi piroclastici rimaneggiati (Rolandi, 1997; Giulivo & Santo, 1997), da depositi alluvionali e lacustri e, in prossimità dei rilievi, da detrito di falda.

2.1 I Depositi quaternari della piana di Forino

La raccolta di numerose stratigrafie di sondaggi eseguite per la redazione del P.R.G del Comune di Forino (Fig. 4), ha permesso di differenziare vari membri nella coltre più superficiale dei terreni quaternari della conca, nei quali sono stati riconosciuti, dal basso stratigrafico: depositi detritici, depositi dell'Igimbrite campana (Tufo grigio "Auct."), un ciclo sedimentario successivo alla deposizione dell'Igimbrite campana.

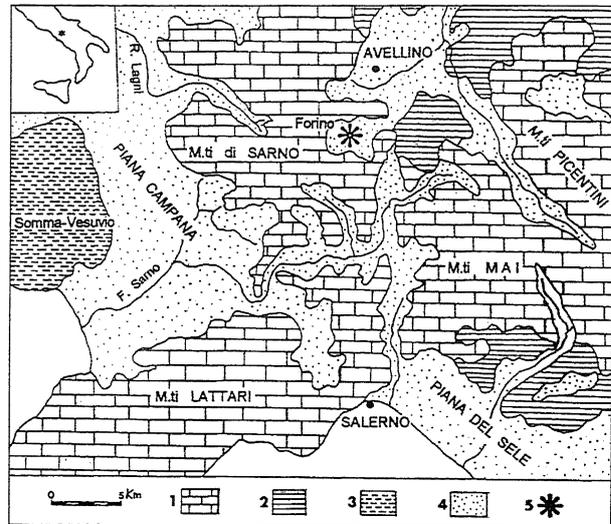


Fig. 1 - Ubicazione ed inquadramento geologico dell'area di studio: 1) depositi carbonatici (Mesozoico); 2) depositi in facies di flysch (Miocene); 3) depositi vulcanici del Somma-Vesuvio (Quaternario); 4) depositi detritico-piroclastico-alluvionali (Quaternario); 5) area studiata.

Location map and geological setting of the studied area: 1) dolomitic-limestones deposits (Mesozoic); 2) flysch deposits (Miocene); 3) Somma-Vesuvio volcanics deposits (Quaternary); 4) alluvial and reworked pyroclastic deposits (Quaternary); 5) studied area.

Il detrito di falda è composto da materiale grossolano proveniente dal disfacimento dei vicini rilievi calcarei, sia come prodotto graviclastico che di conoide avente maggiore spessore alla base dei versanti calcarei. Nelle zone più prossime esso poggia direttamente sul substrato miocenico.

Il Tufo grigio campano, essendo caratterizzato da una tipica facies e da una precisa età (37.000 anni - Decino *et al.*, 1992), risulta un marker importante per effettuare correlazioni stratigrafiche tra i terreni clastici della piana. Esso non è presente in modo continuo, ma in alcuni punti presenta uno spessore sicuramente superiore a 10 metri (Fig. 5).

Il ciclo sedimentario post tufo grigio infine, è caratterizzato da piroclastiti di provenienza sia flegrea che vesuviana, rimaneggiate, dilavate dai versanti e risedimentate nella piana. Dal punto di vista granulometrico tali depositi sono caratterizzati da alternanze di materiali sabbiosi e limosi ai quali si intercalano livelli decimetrici francamente argillosi o lenti a granulometria più grossolana di scorie e pomice, sempre rimaneggiate. Nel complesso tali depositi indicano un ambiente lacustre poco profondo, interessato, periodicamente, da apporti detritico-piroclastici.

Questi depositi, su cui insistono gran parte delle infrastrutture della conca di Forino, presentano spessori variabili in funzione della distanza dai rilievi e dell'articolazione del sottostante substrato. Nella zona prossima ai versanti, dove il substrato è più superficiale, lo spessore è variabile tra i 10-20 metri (Fig. 5), mentre nella parte orientale del bacino raggiunge spessori superiori ai 30-35 metri.

Fig. 2 - Carta geologica dell'area del bacino di Forino: 1) depositi piroclastici rimaneggiati e depositi lacustri di prevalente natura limoso-sabbiosa (Pleistocene superiore-Olocene); 2) depositi detritici e piroclastici (Pleistocene superiore-Olocene); 3) depositi in facies di flysch (Miocene); 4) calcari mesozoici; 5) giacitura di strato e valori di inclinazioni: a=0°-10°; b=10°-30°, c=30°-70°; 6) faglia diretta, tratteggiata se presunta; 7) faglia trascorrente; 8) sondaggio e relativa numerazione, le stratigrafie sono in Fig. 4; 9) sorgente; 10) inghiottitoio; 11) traccia di sezione.

Geological map of the Forino basin: 1) pyroclastic reworked deposits and silty-clayey lacustrine deposits (upper Pleistocene-Holocene); 2) slope breccias and pyroclastic deposits (upper Pleistocene-Holocene); 3) flysch deposits (Miocene); 4) limestones (Mesozoic) 5) dip of the strata : a= 0°-10°; b=10°-30°, c=30°-70°; 6) fault and presumed fault; 7) strike fault; 8) borehole and related referring number, see the stratigraphic column fig. 4; 9) spring; 10) ponor; 11) geological cross-section.

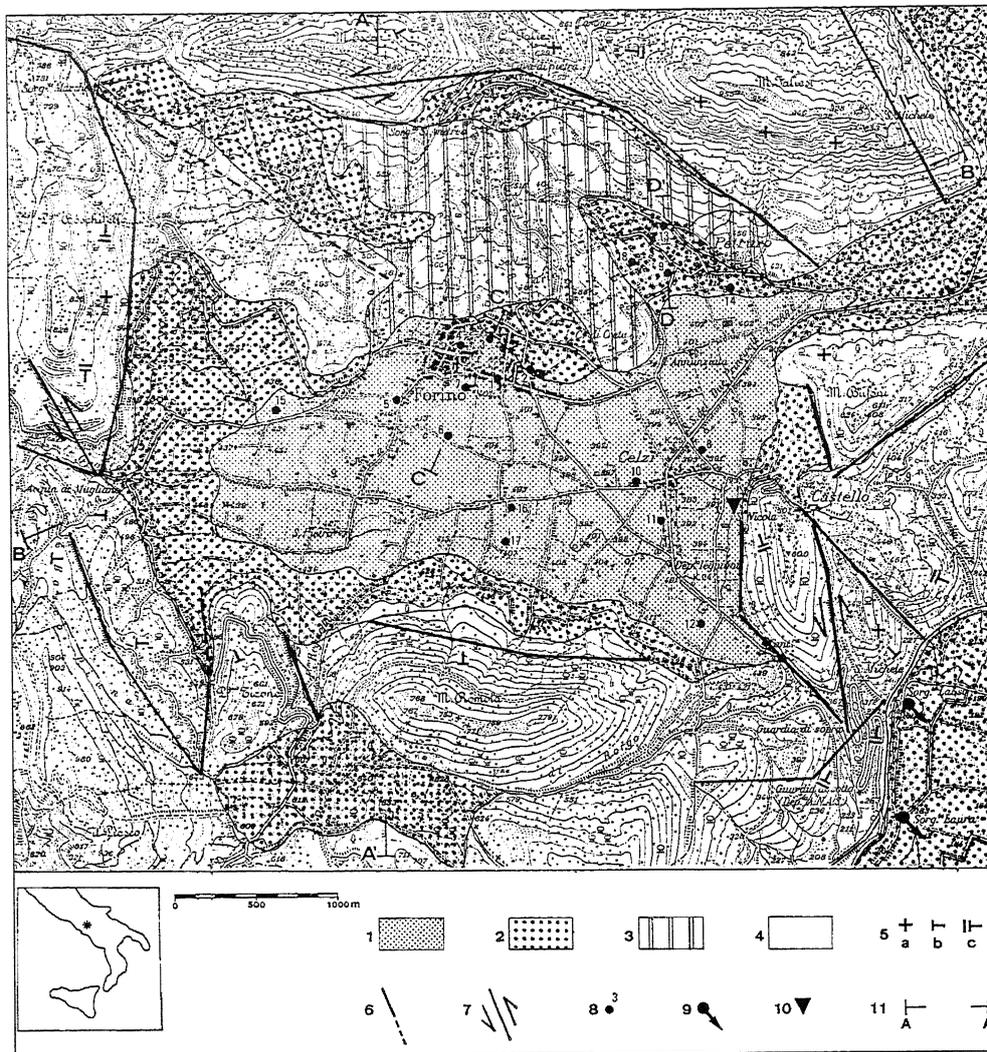
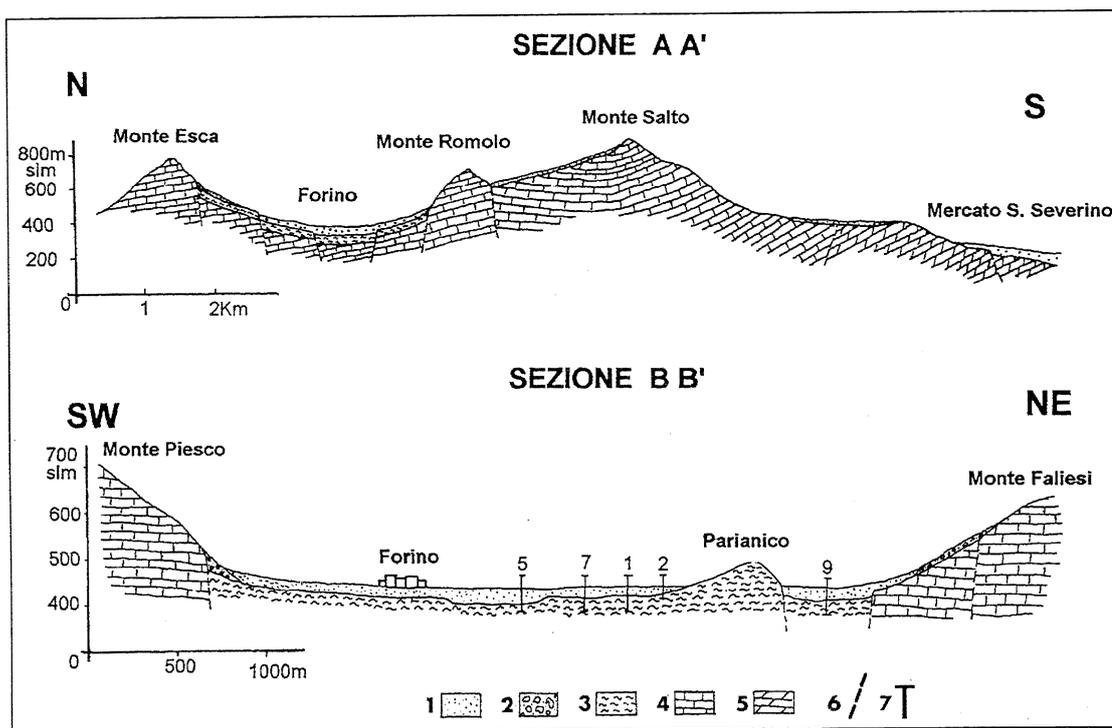


Fig. 3 - Sezioni geologiche dell'area del bacino di Forino: 1) depositi alluvionali; 2) detrito di falda; 3) flysch; 4) calcari; 5) dolomie; 6) faglia; 7) sondaggio.

Geological cross-section in the Forino basin: 1) alluvial deposits; 2) slope breccias; 3) flysch; 4) limestones; 5) dolomites; 6) fault; 7) borehole.



3. IDROGEOLOGIA DELLA PIANA DI FORINO

3.1 L'idrologia superficiale

La conca di Forino costituisce un polje strutturale nel quale le acque di ruscellamento superficiale hanno difficoltà di smaltimento avendo come unico punto di recapito l'inghiottitoio localizzato nel settore orientale della depressione (Fig. 2). I corsi d'acqua superficiali, di fatto inattivi per gran parte dell'anno, possono avere elevate portate in concomitanza di intense precipitazioni e, in alcuni casi, alluvionare la piana. L'analisi stratigrafica di alcuni sondaggi e scavi ha mostrato che gli alluvionamenti si sono avvicendati più volte negli ultimi 30.000 anni, come si deduce dalla presenza di piroclastiti rimaneggiate intervallate da livelli lacustri nel complesso poggiati sul tufo grigio campano.

L'analisi dei dati pluviometrici (Fig. 6), confrontata con l'ultimo fenomeno di alluvionamento del gennaio 97

(circa 120 mm per 48 ore - Onorati, 1997), ha evidenziato che, nel periodo 1960-1987, si sono ripetuti più volte eventi meteorici di intensità superiore a quello di riferimento. Da testimonianze locali risulta che i fenomeni di alluvionamento hanno avuto una maggiore frequenza nell'ultimo decennio e che in passato, invece, si sono verificati solo nel dicembre 1968 e nel novembre 1985. I ripetuti alluvionamenti recenti sono da imputare, probabilmente, alla ridotta capacità degli inghiottitoi di smaltire le acque a sua volta causata dall'espansione urbanistica che ha accelerato il ruscellamento superficiale e facilitato l'ostruzione del canale carsico per l'apporto di rifiuti non biodegradabili.

3.2 I complessi idrogeologici e le sorgenti dell'area della piana di Forino

Il rilevamento geologico ha permesso di accorpate i terreni in tre diversi complessi idrogeologici aventi

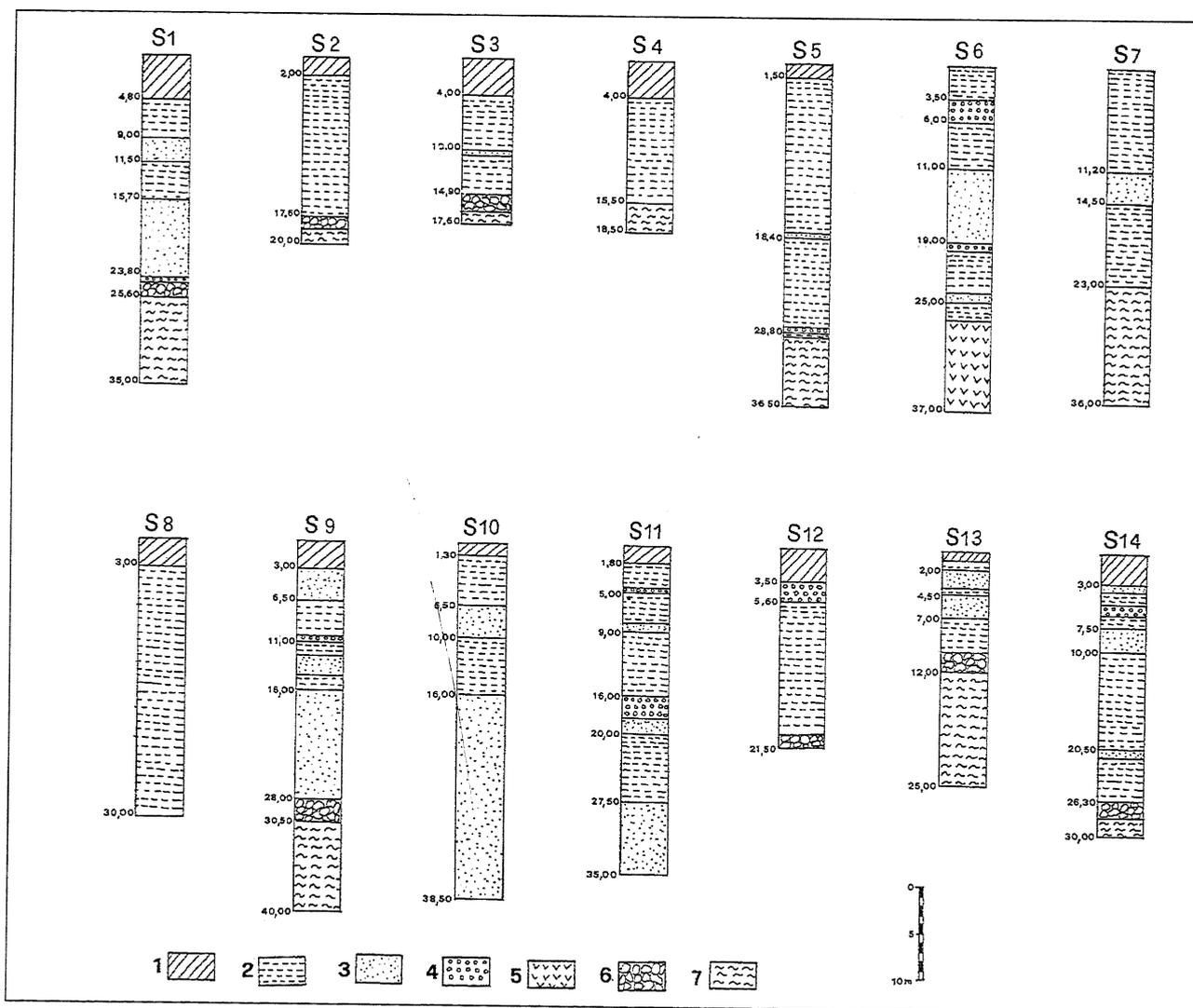


Fig. 4 - Stratigrafie dei sondaggi del P.R.G. del Comune di Forino (reinterpretati): 1) suolo; 2) limo; 3) sabbie piroclastiche rimaneggiate); 4) livelli pomiceei; 5) tufo grigio campano; 6) breccie calcaree; 7) flysch.

Stratigraphical column of the borehole drilled in the Forino basin: 1) soil; 2) silts; 3) pyroclastic sands; 4) pumiceous levels; 5) Campanian Ignimbrite; 6) calcareous slope breccias; 7) flysch.

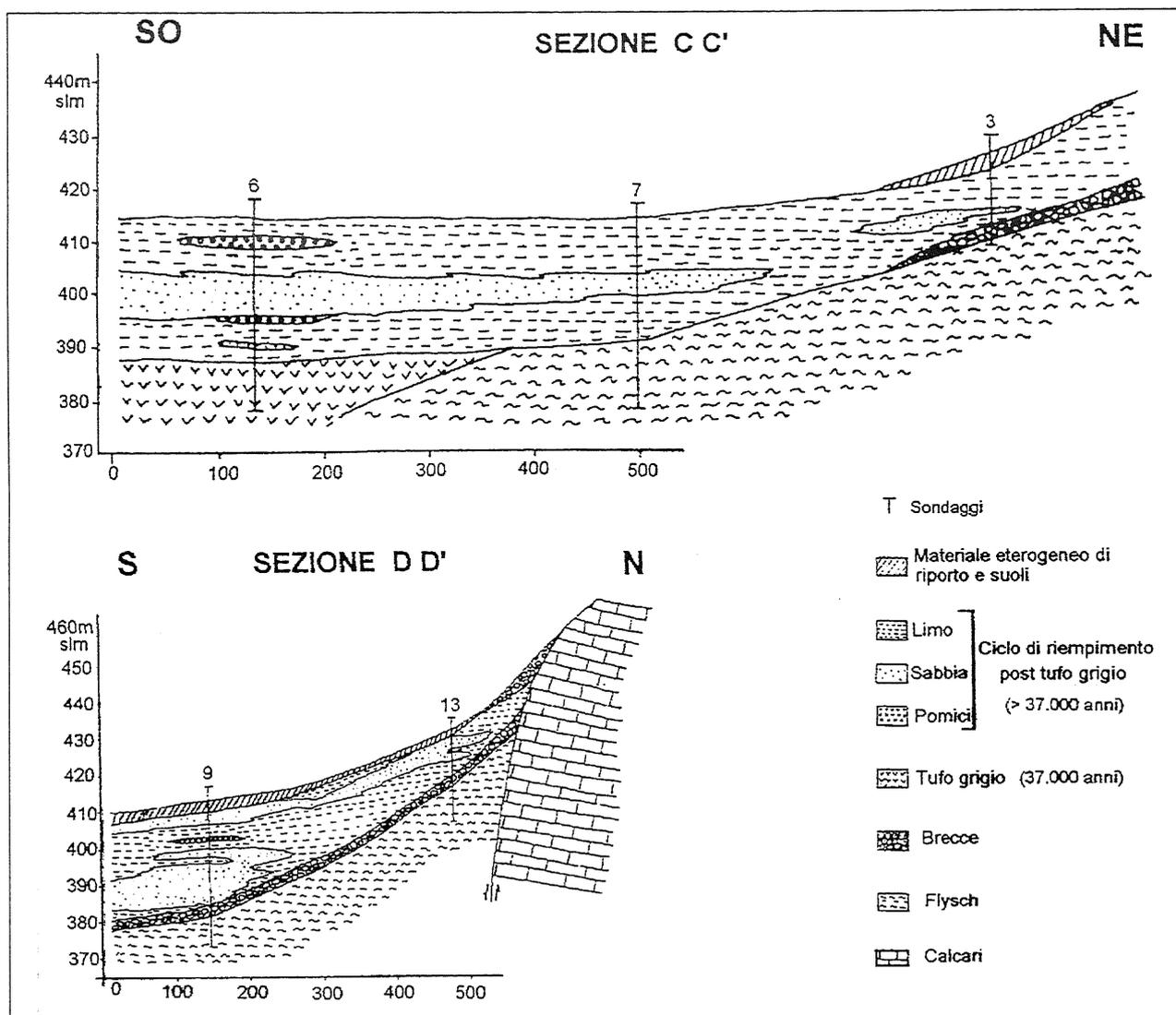


Fig. 5 - Sezioni geologiche dei sedimenti quaternari del bacino di Forino.

Geological cross section in the quaternary filling deposits of the Forino basin.

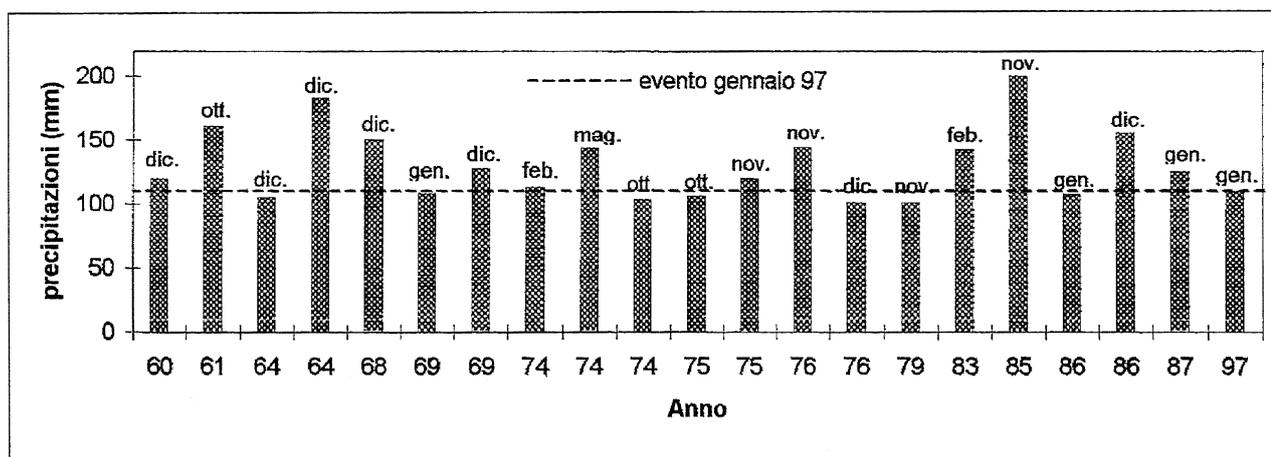


Fig. 6 - Valori di pioggia maggiori ai 100 mm nell'arco delle 48 ore relativi al periodo 1960-1997 (dati ricavati dai pluviometri di Avellino e Forino)

Rain values higher than 100mm during 48 hours, from 1960 until to 1997 (rain stations of Avellino e Forino).

diversa permeabilità (Fig. 7).

- Il complesso calcareo caratterizzato da un alto grado di permeabilità per fratturazione e carsismo a cui appartengono i calcari mesozoici che formano i rilievi che cingono la piana.

- Il complesso argilloso-marnoso-arenaceo miocenico caratterizzato da un basso grado di permeabilità relativa; esso rappresenta il principale orizzonte impermeabile affiorante nell'area in studio (Civita *et al.*, 1970).

- Il complesso piroclastico-alluvionale avente permeabilità da bassa a media perché costituito prevalentemente da materiali fini quali argille, limi e limi sabbiosi. Appartengono a questo gruppo i terreni piroclastici rimaneggiati, i depositi lacustri, i depositi alluvionali del bacino.

no.

Lungo il margine settentrionale e occidentale della piana si rilevano alcune sorgenti di modesta portata localizzate sui versanti calcarei tamponati dalle coperture mioceniche (Fig. 7). Si tratta di piccole scaturigini perenni immerse nella rete idrica a servizio del centro urbano e di alcune contrade rurali di Forino con valori di portata media compresi tra 0,10 l/s e 2,0 l/s.

Altre due importanti sorgenti (Laura e Labso - Fig. 2) sono localizzate a valle del bacino di Forino, e sfiorano al contatto tra i calcari e i terreni piroclastico-alluvionali della piana di Montoro. Esse sono in comunicazione con la piana di Forino attraverso un sistema carsico alimentato dall'inghiottitoio presente nel settore orientale

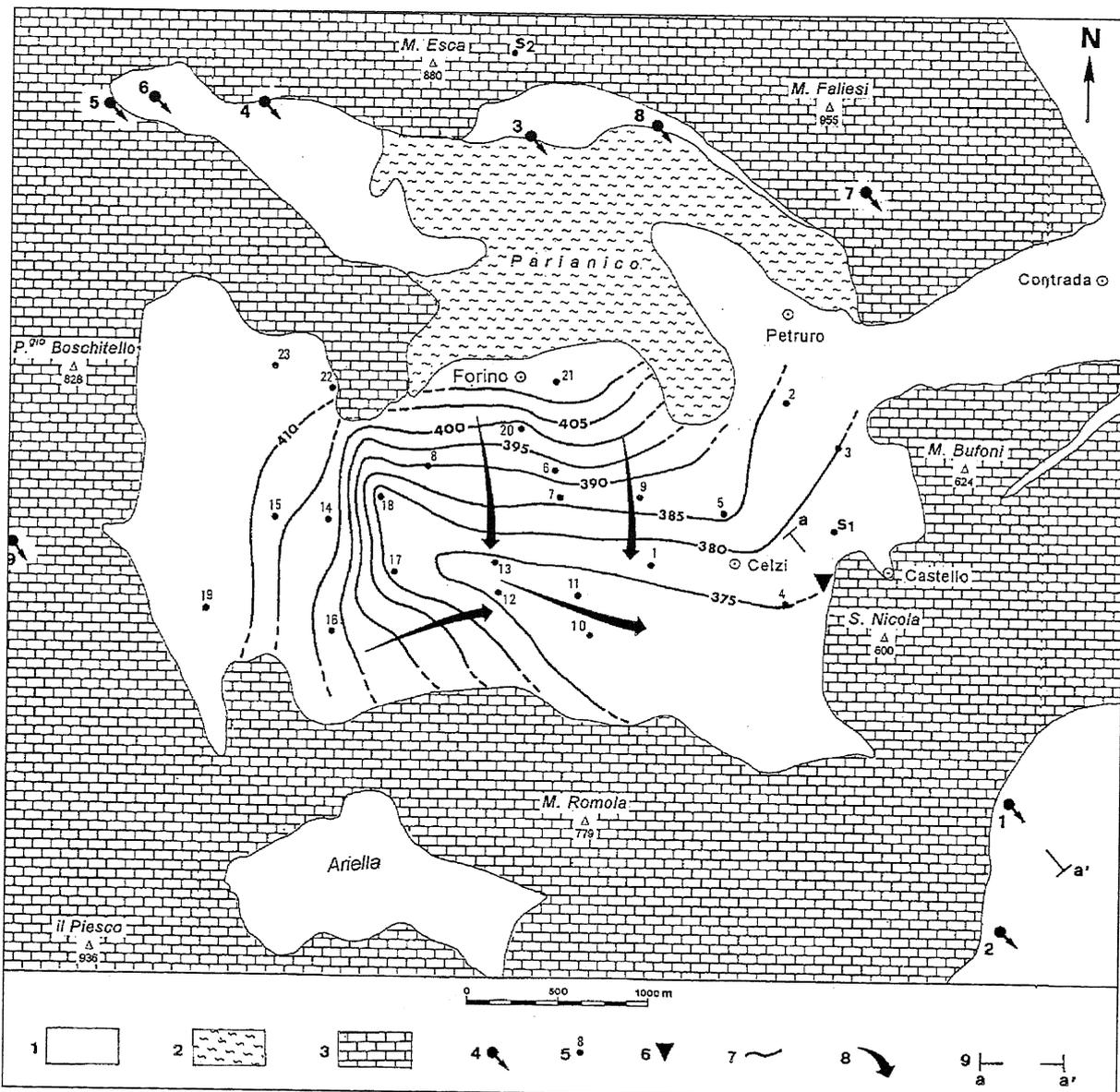


Fig. 7 - Schema idrogeologico dell'area del bacino di Forino: 1) complesso piroclastico-alluvionale; 2) complesso argilloso-marnoso-arenaceo; 3) complesso calcareo; 4) sorgente e relativa numerazione di Fig. 11; 5) pozzo; 6) inghiottitoio; 7) curva isopiezometrica; 8) direzione preferenziale di drenaggio; 9) traccia di sezione (vedi Fig. 9).

Hydrogeological sketch of the Forino basin: 1) alluvial-pyroclastic complex; 2) clayey-marly-sandy complex; 3) calcareous complex; 4) spring and related referring number; 5) borehole; 6) ponor; 7) isopiezometric curve; 8) underground flow direction; 9) geological cross section (see Fig.9).

della conca. Già Celico, (1983);

De Riso & Ducci (1992) e Celico (1996), trattando delle sorgenti Laura e Labso, rilevano la connessione di queste con l'inghiottitoio della conca endoreica di Forino, dal quale ricevono un'alimentazione consistente nel periodo invernale.

Nel corso dello studio sono state approfondite le conoscenze di questo gruppo sorgivo mediante misure di portata (Tab. 1) con cadenza quindicinale, analisi chimiche e prove con traccianti.

La curva di efflusso della sorgente Labso (Fig. 8) mostra un esaurimento ed un andamento della ricarica abbastanza lenti; le portate massime si registrano nei periodi primaverili, con un certo ritardo rispetto ai primi mesi di intense precipitazioni (novembre e dicembre). Le portate sono variabili da un massimo di 200 l/s ad un minimo di 50 l/s, ed anche l'indice di variabilità non è elevatissimo e pari a 136%. Nell'insieme questo gruppo sorgivo presenta caratteristiche dell'emergenza di una falda in rete, alimentata solo in minima parte da un sistema carsico. A tale proposito si ricorda che la sorgente Labso presenta una cospicua portata (50-100 l/sec) anche quando l'inghiottitoio è inattivo.

3.3 La piezometria

Il notevole ribassamento del substrato calcareo nella piana e la scarsa presenza di pozzi profondi non hanno consentito di ricostruire l'andamento della piezometrica della falda di base. Tuttavia, una trivellazione per ricerca di acque, realizzata a pochi metri dall'inghiottitoio (s1 di Fig. 7), ha raggiunto i carbonati sottoposti ai depositi limoso-sabbiosi ed ha permesso di accertare in questo punto che il livello piezometrico dell'acquifero basale è attestato a circa 250 m s.l.m., ad una quota di

circa 50 m più alta rispetto all'emergenza delle sorgenti Laura e Labso (Fig. 9). Un altro pozzo spinto alla profondità di circa 260 m s.l.m. eseguito nei calcari (s2 di Fig. 7) è risultato sterile. Questi pochi dati sulla falda profonda evidenziano, comunque, una notevole articolazione del livello piezometrico, come testimoniato dai diversi gradienti tra i pozzi s1-s2 e la sorgente Labso, a causa della complessa situazione strutturale.

Il censimento di numerosi pozzi distribuiti in tutta la piana effettuati soprattutto per uso irriguo e con profondità variabile dai 20 ai 50 m ha permesso di ricostruire, con maggiore precisione, la piezometria della falda superficiale attestata nei depositi quaternari del complesso piroclastico-alluvionale (Fig. 7). L'andamento delle curve isopiezometriche evidenzia una notevole pendenza ed una direzione di drenaggio della falda superficiale verso il settore orientale della piana. E' molto probabile che in quest'area si verifichi un trasferimento delle acque della falda superficiale verso la falda profonda attraverso una zona più carsificata e sepolta dei calcari.

3.4 Tentativo di valutazione dei volumi d'acqua affluenti all'inghiottitoio

Attraverso il calcolo di un bilancio idrologico di massima, i cui risultati sono riportati, in modo sintetico, in Tab. 2, si è cercato di valutare i volumi d'acqua mediamente smaltiti dall'inghiottitoio e quindi trasferiti alla falda basale.

Gli afflussi (P) nel bacino sono stati valutati considerando la media delle precipitazioni annuali relative al periodo 1970-1985 (Tab. 3) e misurate in corrispondenza del pluviometro di Forino. Il calcolo ha dato un valore di 1380 mm, e pertanto, considerato che la superficie

Tab. 1 - Valori di portata della sorgente Labso relativi al periodo aprile 1994 - febbraio 1995.

Discharge values of the Labso spring from April 1994 to February 1995.

Data	13.04.94	24.04.94	06.05.94	20.05.94	31.05.94	13.06.94	23.06.94	06.07.94	16.07.94	26.07.94	05.08.94	20.08.94	03.09.94	16.09.94
Portata (l/s)	192,64	182,00	179,76	166,88	152,88	144,48	138,32	134,40	126,56	110,32	78,96	83,44	86,80	71,12
Data	28.09.94	11.10.94	24.10.94	06.11.94	20.11.94	02.12.94	14.12.94	27.12.94	10.01.95	20.01.95	01.02.95	13.02.95	25.02.95	-
Portata (l/s)	57,12	61,60	59,92	58,24	72,24	57,68	54,32	66,64	55,44	80,64	84,56	92,96	94,08	-

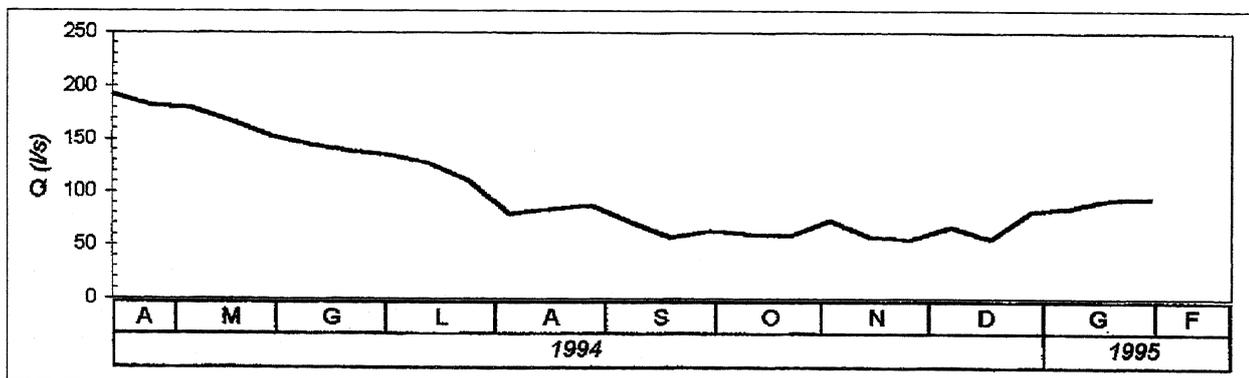


Fig. 8 - Curva di efflusso della sorgente Labso relativa al periodo aprile 1994 - febbraio 1995.

Discharge curve of the Labso spring from april 1994 to february 1995.

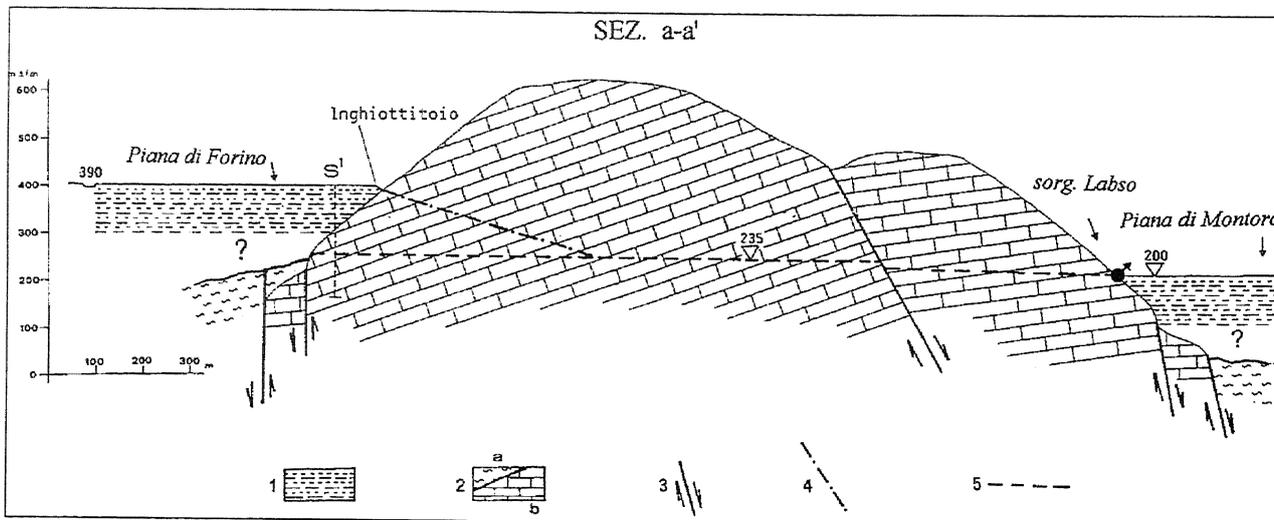


Fig. 9 - Sezione idrogeologica mostrante i rapporti tra la piana di Forino e la sorgente Labso: 1) complesso piroclastico-alluvionale; 2) complesso argilloso-marnoso-arenaceo (a), complesso calcareo (b); 3) faglia; 4) percorso ipotetico del condotto carsico; 5) superficie piezometrica.

Hydrogeological cross section between Forino plain and Labso spring: 1) alluvial-pyroclastic complex; 2) clayey-marly-sandy complex; 3) fault; 4) hypothetical course of the karstic channel; 5) water table level.

del bacino di Forino è pari a 22 km², si ottiene una quantità totale media di acque di precipitazione annue pari a 30.360.000 m³/a (963 l/s).

L'evapotraspirazione reale (Er) è stata calcolata, in prima approssimazione, con la formula di Turc, che, come è noto, si basa su dati pluviometrici e termometrici sperimentali. In assenza di una stazione termometrica nell'area oggetto di studio, i dati sono stati rilevati dalla stazione di Avellino, poco distante e ad una quota poco diversa da quella di Forino, e si riferiscono ad un perio-

do coincidente con quello osservato per il calcolo della lama media d'acqua di precipitazione (Tab. 4). Va altresì considerato che contrariamente a quanto avviene per le precipitazioni, le variazioni di temperatura sono relativamente meno influenzate dai fattori locali. Il valore della temperatura media annua dell'area (T) è pari a 13,4°; mentre il valore della temperatura media annua, corretta in funzione della piovosità (Tp), risulta pari a 11,1°. Le perdite per evapotraspirazione ammontano a 590 mm/a corrispondenti a 12.980.000 m³/a (412 l/s), per cui il

Tab. 2 - Bilancio idrologico della piana di Forino.

Hydrological balance of the Forino basin.

LITOTIPI AFFIORANTI	Km ²	P		Er		Q = P - Er		Ip			Rp		
		mm/a	10 ⁶ m ³ /a	mm/a	10 ⁶ m ³ /a	mm/a	10 ⁶ m ³ /a	% c.i.p.	mm/a	10 ⁶ m ³ /a	%	mm/a	10 ⁶ m ³ /a
Complesso piroclastico	9	1380	12,42	590	5,31	790	7,11	40	316	2,84	60	474	4,27
Complesso flyschoida	3	1380	4,14	590	1,77	790	2,37	5	40	0,12	95	751	2,25
Complesso calcareo	10	1380	13,80	590	5,90	790	7,90	80	632	6,32	20	158	1,58

Tab. 3 - Dati pluviometrici medi mensili (Pi) ed annuo (P) (in mm) per il periodo 1970-1985.

Mean monthly rain data (Pi) and mean yearly (P) (mm) from 1970 to 1985.

Stazione	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	Totale
Forino	154,2	153,1	139,7	108,7	86,9	45,3	23,9	58,9	85,7	162,1	194,0	167,5	1380,0

Tab. 4 - Dati termometrici medi mensili (Ti) ed annuo (in °C) della stazione di Avellino per il periodo 1970-1985.

Mean monthly thermometric data (Ti) and mean yearly data (T; °C) of the Avellino station from 1970 to 1985.

Stazione	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	media	media corretta Tp = Σ Pi Ti / P
Avellino	61,5	6,5	8,5	11,6	15,7	19,4	21,9	21,5	18,7	14,3	9,7	6,7	13,4	11,1

deflusso globale (Q) risulta pari a 17.380.000 m³/a (551 l/s).

La frazione di Q che si infiltra (I_p) o ruscella (R_p) è funzione delle caratteristiche idrogeologiche e morfologiche dei diversi terreni, conoscendo le quali è possibile fissare dei coefficienti convenzionali (coefficiente di infiltrazione potenziale = c.i.p.) che stabiliscono, in questi contesti geologici, le percentuali di Q destinate all'infiltrazione ed al ruscellamento (Celico, 1983). In considerazione dei litotipi affioranti e della loro superficie si avranno, quindi, diversi valori del c.i.p. e differenti aliquote di acqua di infiltrazione e di ruscellamento (Tab. 2).

Il calcolo ha fornito un valore totale delle acque di ruscellamento (R_p), pari a 8.100.000 m³/a (257 l/s), aliquota d'acqua che dovrebbe essere completamente smaltita dall'inghiottitoio. Il quantitativo delle acque di infiltrazione riferito alle piroclastiti del riempimento della piana, pari a 2.840.000 m³/a (90 l/s), dovrebbe alimentare, attraverso la falda superficiale, il settore orientale della piana dove insiste il sistema carsico. I recapiti delle acque di infiltrazione relative ai calcari, pari a 6.320.000 m³/a (200 l/s), non sono, invece, facilmente valutabili per la mancanza di dati sui circuiti profondi. Sulla base delle suddette ipotesi il quantitativo d'acqua che verrebbe smaltito attraverso il sistema carsico verso la falda basale è valutato almeno in 8.100.000 m³/a (257 l/s), quantitativo pari alle acque di ruscellamento. Tale valore, a nostro avviso, non ha nessun significato se si tiene conto del fatto che l'inghiottitoio riesce a smaltire al massimo 50-60 l/s. È ovvio allora che questi tentativi di calcolo dovrebbero tener conto anche delle diverse intensità di pioggia e quindi delle diverse aliquote di infiltrazione condizionate notevolmente dallo stato di saturazione del terreno. Allo stato attuale delle conoscenze, quindi, appare molto difficile valutare l'esatto quantitativo idrico immesso dall'inghiottitoio verso la falda basale per il cui calcolo servirebbero almeno delle misure di portata continue all'ingresso dell'inghiottitoio.

3.5 Schema di circolazione idrica sotterranea

Da quanto esposto in precedenza le aliquote di precipitazione, sottratta l'evapotraspirazione, si infiltrano in parte nei calcari, in parte nei depositi detritico-piroclastici, ed in parte ruscellano alimentando, in misura non facilmente valutabile, direttamente l'inghiottitoio. In relazione alle uscite si assumono come soli parametri le emergenze sorgive Laura e Labso dato che i consumi idrici corrispondenti ai prelievi dalla falda sono da ritenersi molto limitati per i tipi di coltura praticata (noccioleto) ed il ridotto numero di pozzi. In realtà si utilizza il valore della sola sorgente Labso in quanto da alcuni anni la sorgente Laura risulta inattiva se non in concomitanza di stagioni molto piovose (novembre 1996). Le uscite, quindi, attualmente ammontano al valore della portata media della sorgente Labso che, in base alle nostre misurazioni (Tab. 1) e ai dati di Celico, 1983; De Riso & Ducci, 1992, risulta pari a 70-100 l/s, corrispondenti a circa 3.000.000 m³/a.

Si può ritenere pertanto che, escludendo le aliquote d'infiltrazione relative ai complessi calcarei di cui non si conoscono i precisi recapiti, le restanti acque di infiltrazione relative alla coltre piroclastica della piana, dirette attraverso la falda superficiale verso il settore

sud-orientale della piana di Forino e le acque di ruscellamento, convogliate verso l'inghiottitoio, ammontano ad un totale di circa 11.000.000 m³/a. (349 l/s). Solo parte di esse (almeno 3.000.000 di m³/a - 95 l/s) vengono laminate dall'emergenza alta della falda di base, attraverso la sorgente Labso. I restanti quantitativi (circa 8.000.000 m³/a - 254 l/s) dovranno essere trasferite, con ogni probabilità e a maggiore profondità, verso l'adiacente piana di Montoro.

4. IL CHIMISMO DELLE ACQUE

Per lo studio sul chimismo delle acque sono state campionate periodicamente le sorgenti emergenti dell'area di studio; le analisi chimiche su quelle affioranti nella piana (Tab. 5) hanno valori dei rapporti Mg/Ca ed SO₄/Cl non prettamente tipici di acque circolanti in massicci carbonatici. Tale tipo di chimismo può essere spiegato, in un'area in cui sono presenti substrati calcarei, da una circolazione superficiale nei materiali di copertura. Relativamente alle emergenze Laura e Labso, più profonde, si è proceduto ad un confronto con le sorgenti di Cassano Irpino, e di altre emergenze basali del massiccio del Terminio tipiche di massicci carbonatici (Calcaterra *et al.*, 1994; D'Amore *et al.*, 1983), che ha evidenziato valori più elevati di Na e K per il contributo di acque corrivanti nei materiali clastici della piana di Forino nelle quali si immettono anche acque reflue (Fig. 10).

L'influenza delle acque reflue è dimostrata essere nettissima per la sorgente Labso mentre è molto meno evidente per la Laura. Nel caso della sorgente Labso la costante presenza di ammoniaca, tensioattivi ed elevatissime cariche batteriche ricche di specie fecali, sta a dimostrare che l'inquinamento è in atto e recente. Il potere autodepurante della falda è superato dal carico inquinante immesso con continuità.

La sorgente Laura ha invece parametri indici di inquinamento più contenuti e indice di inquinamento più

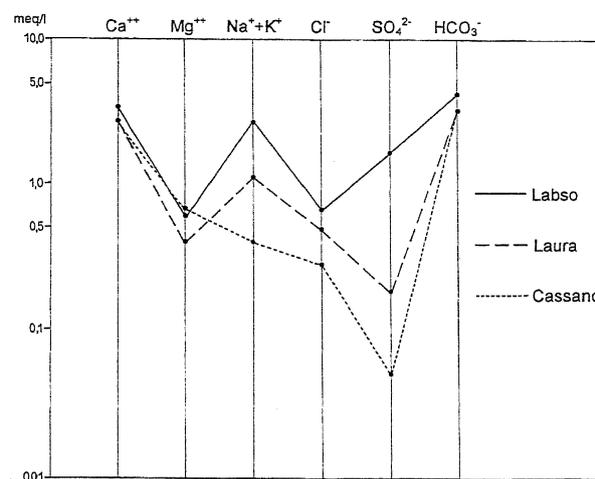


Fig. 10 - Diagramma di Schoeller- Berkaloff relativo alle sorgenti Laura, Labso e Cassano Irpino.

Schoeller-Berkaloff diagram for the springs of Laura, Labso, and Cassano Irpino.

Tab. 5 - Analisi chimiche delle principali sorgenti del bacino di Forino.

Chemical analysis of the main springs of the Forino basin.

Sorgente	Data	NH ⁺ mg/l	Nitriti mg/l	Nitrati mg/l	Cloruri mg/l	Bicarb. mg/l	Solfati mg/l	Durezza °F	Alcalinità °F	Conduc. μS/cm	Ca mg/l	Mg mg/l	Tensioat. mg/l	S. Org. mg/l	Carica col/ml	Coli tot. col/100 ml	Coli fec. col/100 ml	Streptococ. col/100 ml	Mg/Ca mg/l	SO ₄ /Cl mg/l
Marzano	17/12/91	0	0	34,90	18,5	108	40,40	11,5	8,9	253	35,2	6,50	0	0,40	6	50	0	1	0,185	2,184
"	22/01/96	0	0	35,40	17,8	104	134,30	11,5	8,5	296	38,4	4,60	0	0,48	2	11	0	0	0,120	7,545
Petruro	22/01/96	0	0	2,80	21,3	226	13,90	14,0	18,5	302	56,0	0,00	0	0,24	1	0	0	0	0,000	0,653
F. Vecchia	22/01/96	0	0	36,80	23,0	171	118,10	16,5	14,0	380	56,0	6,00	0	0,40	3	50	1	0	0,107	5,135
Le Grotte	22/01/96	0	0	1,00	16,0	165	12,70	13,0	13,5	233	48,0	2,40	0	0,34	2	4	0	0	0,050	0,794
"	03/10/97	0	0	0	20,0	179	3,19	13,4	14,7	330	48,0	3,40	0	0,80	-	-	-	-	0,071	0,160
S. Andrea	17/12/91	0	0	7,44	18,5	123	19,00	9,5	10,1	205	28,8	5,50	0	0,48	2	0	0	0	0,191	1,027
"	22/01/96	0	0	7,35	19,5	134	46,50	9,0	11,0	227	28,0	4,80	0	0,32	10	52	1	3	0,171	2,385
Parisi	17/12/91	0	0	6,90	19,5	276	5,70	20,5	22,6	345	75,2	4,08	0	0,48	15	50	0	0	0,054	0,292
"	22/01/96	0	0	21,30	22,4	281	30,00	22,0	23,0	406	76,0	7,20	0	0,40	3	8	0	0	0,095	1,339
Marchesa	17/12/91	0	0	6,40	19,5	189	12,80	15,1	15,5	258	48,4	7,20	0	0,40	7	80	0	0	0,149	0,656
"	22/01/96	0	0	6,60	21,3	193	34,50	14,8	15,0	285	50,0	5,50	0	1,04	2	4	1	1	0,110	1,620
Laura	02/03/94	0	0	13,62	18,5	210	9,00	16,0	17,2	350	56,0	4,80	0	0,40	4	200	34	2	0,086	0,488
Labso	01/02/93	5,00	0,07	5,07	27,0	244	21,00	18,1	20,0	466	68,8	4,08	0,64	2,56	1000000	1406000	700000	70000	0,059	0,778
"	02/03/94	3,23	0,87	16,48	24,8	249	21,30	18,4	20,4	433	65,6	4,80	nd	1,68	-	-	-	-	0,073	0,859
"	06/03/94	3,43	0,94	16,79	23,7	237	19,50	19,0	19,4	429	65,6	6,24	nd	2,40	-	-	-	-	0,095	0,823
"	01/03/96	4,68	1,50	13,80	24,8	268	80,90	20,0	22,0	480	68,0	7,20	nd	2,40	-	-	-	-	0,106	3,262

remoto (nitrati). Una ulteriore notazione riguarda l'inquinamento della falda superficiale dovuta a nitrati. Le sorgenti che emergono in terreni coltivati a castagneto o in bosco hanno valori contenuti mentre quelle che emergono in terreno agricolo o nocciuolo ed anche i pozzi della piana di Forino hanno valori di nitrati elevati ed in alcuni casi (pozzo n.3) tali da rendere l'acqua non idonea all'uso potabile (Fig. 11, Tab. 6).

Il problema dell'inquinamento nell'area indagata riveste quindi due importanti aspetti, quello legato agli scarichi fognari e quello legato all'uso dei concimi azotati usati nelle pratiche agricole locali.

5. PROVE CON TRACCIANTI

Allo scopo di accertare sperimentalmente gli eventuali collegamenti tra l'inghiottitoio ubicato nel margine sud-orientale della piana di Forino e le sorgenti Laura e Labso, al margine settentrionale della piana di Montoro, si è proceduto all'esecuzione di alcune prove con traccianti di vario tipo. Bisogna ricordare innanzitutto che già Galasso, 1979, attraverso una serie di prelievi e di analisi chimiche evidenziò un forte stato di inquinamento alla sorgente Labso, molto probabilmente da correlare allo scarico fognario di Forino che si riversava nell'in-

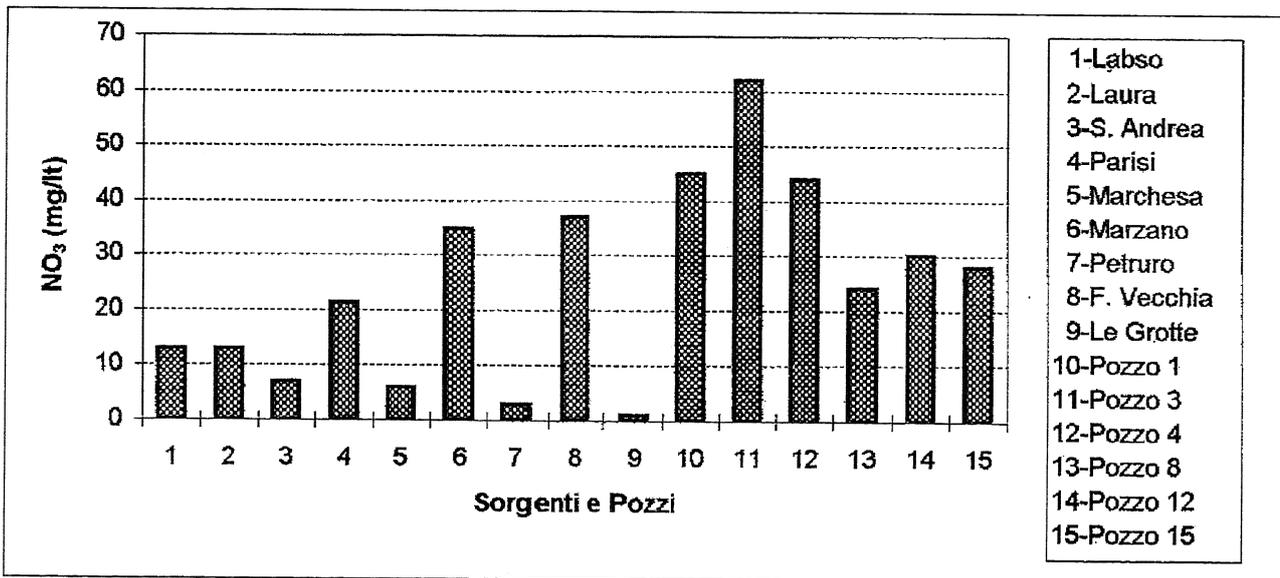


Fig. 11 - Contenuto in nitrati delle acque campionate.

Nitrate content of the sampled waters.

ghiottitoio della piana omonima. La costanza dei dati ottenuti durante i due anni di osservazione evidenziava che il fenomeno non era episodico e accidentale, ma perdurava nel tempo. Nello stesso periodo si tentò una prova con fucsina che poteva essere decisiva per stabilire la relazione tra le immissioni a monte e l'inquinamento a valle ma che ebbe esito negativo.

In questo studio sono state effettuate altre prove (Tab. 7) utilizzando acquisitori automatici (Vigna, 1991) e moderne metodologie (Uggeri & Vigna, 1991; Calcaterra *et al.*, 1994).

Una prima prova è stata eseguita nel mese di novembre 1993 immettendo 100 Kg di NaCl nell'inghiottitoio e registrando in continuo la conducibilità e la temperatura delle acque alla sorgente Labso con un acquisitore automatico modello Thermos Data della D.a.s.. Nel periodo di registrazione durato 65 ore, non si sono avute variazioni di conducibilità delle acque e la temperatura media rilevata è risultata di 13°. Questa prima prova, quindi, ha avuto esito negativo. Durante l'esecuzione di questa prova, comunque, si è rilevata nelle acque dell'inghiottitoio la notevole presenza di oli minerali esausti che sono stati rilevati nelle acque della sorgente Labso campionate due giorni dopo e sottoposte ad una cromatografia liquida ad alta pressione (Fig. 12).

Nel mese di marzo 1996 è stata eseguita una seconda prova con traccianti salini immettendo 400 Kg di NaCl nell'inghiottitoio. La registrazione in continuo alla sorgente Labso, durata circa 210 ore, anche questa volta ha mostrato una costanza nel valore di temperatura (12°-13°) ma non ha fornito una chiara curva di restituzione del tracciante salino, soprattutto a causa dell'alterazione dei dati dovuta all'esecuzione di alcuni lavori effettuati presso la sorgente; per tale motivo anche questa seconda prova è stata considerata negativa.

Un'ultima prova è stata eseguita nel mese di novembre 1996 utilizzando questa volta candeggianti ottici. Sono stati immessi 5 kg di tinopal nell'inghiottitoio

di Forino e prelevati campioni, opportunamente protetti dalla luce, alle sorgenti Labso e Laura ad intervalli temporali crescenti. L'analisi dei campioni allo spettrometro di massa ha rilevato la presenza di tinopal su alcuni campioni ed ha permesso di costruire una curva di restituzione del tracciante (Fig. 13). Il tempo di transito del tinopal si è rilevato minore a 12 ore con permeabilità apparente $K = 4 \times 10^{-2}$ m/s quindi molto elevata e tipica

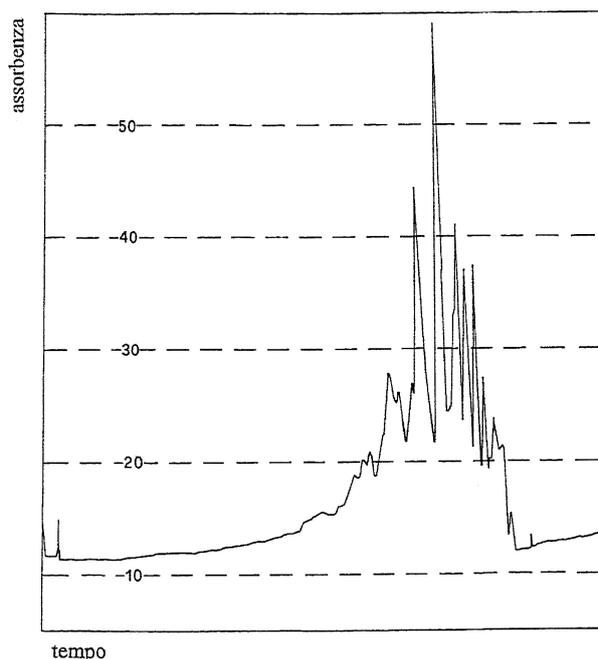


Fig. 12 - Cromatogramma effettuato sulle acque della sorgente Labso.

Cromatogramma for the water of the Labso spring.

Tab. 6 - Analisi chimiche di alcuni pozzi del bacino di Forino.

Chemical analysis of some boreholes in the Forino basin.

Pozzo	Data	NH ₃ mg/l	Nitriti mg/l	Nitrati mg/l	Cloruri mg/l	Bicarb. mg/l	Solfati mg/l	Durezza °F	Alcalinità °F	Conduc. μS/cm	Ca mg/l	Mg mg/l	Tensioat. mg/l	S. Org. mg/l	Prof. falda dal p.c. (m)
1	03/10/97	0	0	44,6	21,3	238,0	36,6	19,8	19,5	566	64,0	9,12	0	0,80	-24
3	03/10/97	0	0	61,9	18,8	256,2	49,7	25,5	21,0	652	90,0	7,20	0	0,56	-15
4	03/10/97	0	0	43,9	19,5	158,6	46,7	17,5	13,0	492	52,0	10,80	0	0,64	-15
8	03/10/97	0	0	24,3	23,1	244,0	47,7	24,5	20,0	625	86,4	6,96	0	0,72	-27
12	03/10/97	0	0	30,4	16,7	189,1	17,4	15,0	15,5	430	60,0	3,84	0	0,80	-41
15	03/10/97	0	0	28,2	17,8	128,1	21,1	11,4	10,5	356	36,0	5,76	0	0,80	-21

Tab. 7 - Quadro riassuntivo delle prove con traccianti effettuate tra l'inghiottitoio di Celzi e la sorgente Labso.

Synthesis of the tracing test between the ponor of Celzi and Labso spring.

Data	Tipo prova	Quantità tracciante (kg)	Durata (ore)	Esito prova	K app. (m/s)	Q ingh. (l/s)	Q Labso (l/s)	Q Laura (l/s)
13/11/93	NaCl	100	65	negativo	-	20	-	-
17/03/96	NaCl	400	210	negativo	-	-	-	-
04/03/97	Tinopal	5	160	positivo	4×10^{-2}	40	150	50
nov. 93	oli minerali	-	-	positivo	-	-	-	-

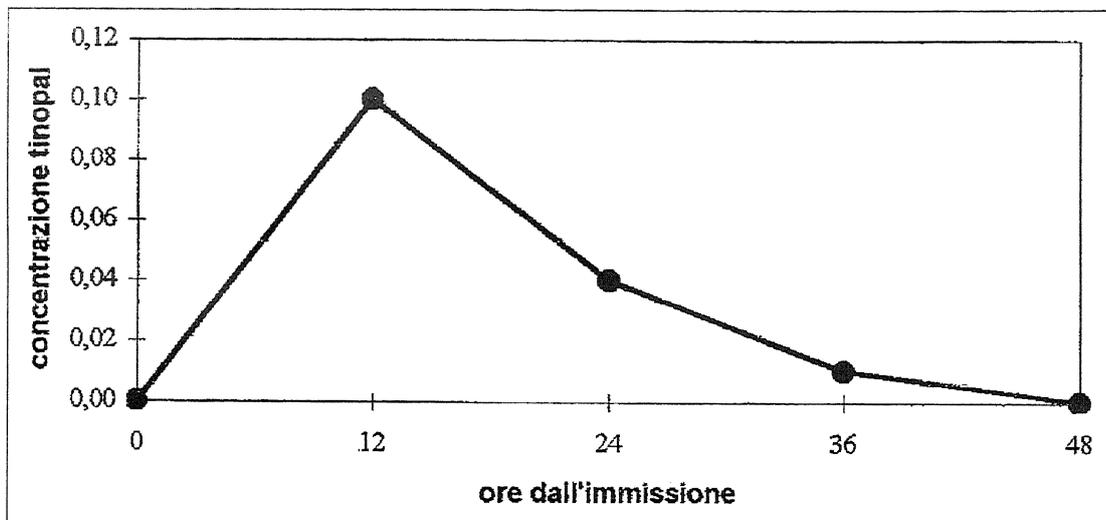


Fig. 13 - Curva di restituzione del tracciante tinopal.

Restitution curve of "tinopal" tracing test.

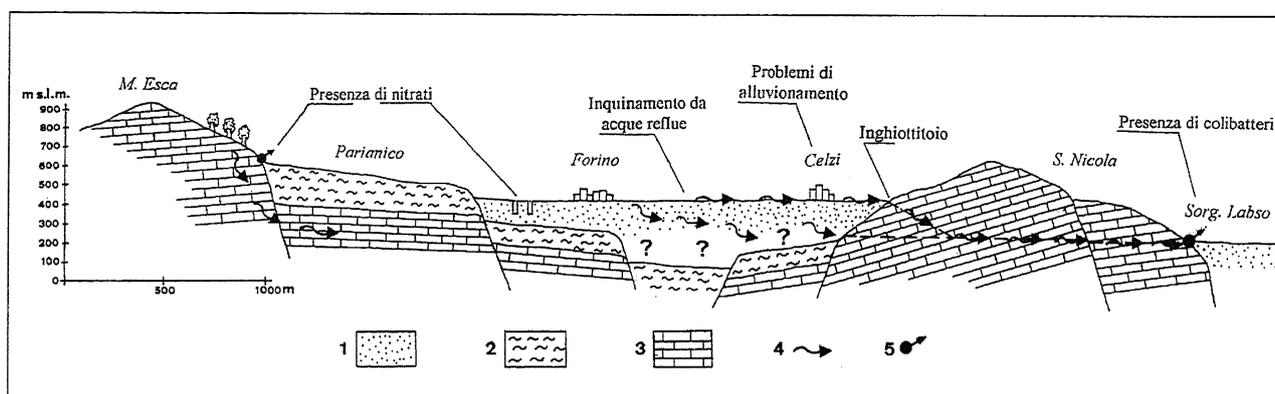


Fig.14 - Schema idrogeologico e rappresentazione schematica dei problemi ambientali del bacino di Forino: 1) complesso piroclastico-alluvionale; 2) complesso argilloso-marnoso-arenaceo; 3) complesso calcareo; 4) fonti di inquinamento; 5) sorgenti.

Hydrogeological sketch and environmental problems of the Forino basin: 1) alluvial-pyroclastic complex; 2) clayey-marly-sandy complex; 3) calcareous complex; 4) font of water pollution; 5) springs.

di circuiti carsici. Nessuna traccia di tinopal è stata, invece, rilevata sui campioni prelevati alla sorgente Laura anche dopo 200 ore dall'immissione del tracciante.

Le prove con traccianti permettono, quindi, di accertare definitivamente e sperimentalmente la comunicazione tra l'inghiottitoio di Forino e la sorgente Labso, evidenziando l'elevata velocità di transito e quindi la scarsa tendenza alla autodepurazione dell'acquifero.

6. CONCLUSIONI

Lo studio geo-ambientale della piana di Forino ha consentito di distinguere diverse formazioni nei sedimenti quaternari caratterizzati da ripetuti livelli lacustri che testimoniano il susseguirsi di momenti di alluvionamento già attivi sicuramente nel tardo Pleistocene superiore. In questo periodo, alle fasi francamente lacustri si sono alternati periodi di maggiore apporto piroclastico, il cui rimaneggiamento verso la piana, ha prodotto un graduale sollevamento del livello topografico del bacino, con un tasso di sedimentazione di circa 1mm/a

come si deduce dalla profondità del tetto del Tufo grigio campano la cui età risale a circa 37000 anni fa.

Nei depositi clastici si attesta una falda superficiale il cui disegno piezometrico evidenzia un drenaggio preferenziale verso il settore orientale della piana con travasi verso la falda profonda.

Lo schema di circolazione idrica sotterranea ed un tentativo di bilancio, hanno permesso di accertare che tutte le acque di infiltrazione e ruscellamento alimentano in parte il gruppo sorgivo Labso-Laura, ed in maggiore misura si riversano in profondità verso la piana di Montoro.

L'analisi chimica delle sorgenti e di alcuni pozzi della piana ha rilevato un inquinamento da attività agricola legata al diffuso utilizzo di concimi chimici. Attraverso le prove con traccianti è stato possibile verificare inoltre, sperimentalmente, il collegamento tra l'inghiottitoio di Forino e la sorgente Labso, accertando, quindi, la causa del suo inquinamento.

Il presente studio ha evidenziato, pertanto, come l'attività antropica negli ultimi anni ha sensibilmente variato la qualità delle risorse idriche ed, inoltre, ha consentito di accertare che parte delle sostanze inquinanti

sono trasferite in profondità anche verso settori più profondi dell'acquifero basale (Fig. 14). Unitamente al problema dell'inquinamento in atto è stato evidenziato l'aumento, negli ultimi anni, dei fenomeni di alluvionamento dovuti, probabilmente, anche essi ad alterazioni ambientali causate dalla crescente urbanizzazione che ha favorito la diminuzione del tempo di corrivazione delle acque con conseguente maggiore trasporto solido verso l'inghiottitoio.

La piana di Forino, dunque, risulta essere un esempio di un'area carsica a delicato equilibrio geoambientale, nelle quale lo sviluppo antropico e la conseguente pianificazione territoriale non possono prescindere da studi preliminari multidisciplinari propri della geologia, dell'idraulica e delle scienze ambientali.

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia il Prof. A. Corniello per gli utili consigli forniti durante il corso della ricerca.

Lavoro stampato con fondi M.U.R.S.T. 60%, Responsabile: Prof. A. CORNIELLO.

BIBLIOGRAFIA

- Bonardi G., D'Argenio B. & Perrone V., 1988 - *Carta geologica dell'Appennino Meridionale in scala 1:250.000*. Mem. Soc. Geol. It., 41.
- Calcaterra D., De Riso R., Ducci D., Santo A. & Aquino S., 1994 - *Analisi dell'idrodinamica di massicci carsici mediante uso integrato di dati: un esempio nel settore S.E. del Monte Terminio (Appennino Meridionale)*. Atti del IV Convegno Internazionale di Geoingegneria "Difesa e Valorizzazione del Suolo e degli Acquiferi". Politecnico di Torino 10-11 marzo 1994.
- Celico F., 1996 - *Considerazioni sulle problematiche inerenti alla delimitazione delle aree di salvaguardia delle opere di captazione in acquiferi carbonatici*. Geologia tecnica & ambientale n. 2/96, 5-15.
- Celico F., Celico P. & Aquino S., 1994 - *Carta della vulnerabilità all'inquinamento del massiccio carbonatico del Terminio-Tuoro (Campania) - scala 1:25.000*. Atti del IV Convegno Internazionale di Geoingegneria "Difesa e Valorizzazione del Suolo e degli Acquiferi". Politecnico di Torino 10-11 marzo 1994.
- 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 Casmez, 4/2, 225.
- Civita M., De Riso R. & Nicotera P., 1970 - *Sulla struttura idrogeologica alimentante le sorgenti del F. Sarno e le falde pedemontane profonde della parte sud-orientale della Conca Campana*. Convegno internazionale sulle acque sotterranee, Palermo, 6-8 dicembre 1970.
- Civita M., Lucini P. & Spada L., 1969 - *Segnalazione di flysch cretacico nell'incisione del vallone di Salto, tra Bracigliano e Forino (Campania)*. Boll. Soc. Natur. in Napoli, 78, 3-9, 2.
- D'Amore F., Scandiffo G. & Panichi C., 1983 - *Some observations on the chemical classification of ground water*. Geothermics, 12, 1983, Pergamon Press, Great Britain.
- Decino A., Curtis G. & Rosi M., 1992 - *40Ar / 39Ar Dating of the Campanian Ignimbrite Campanian Region. Italy*. I.G.C. Kyoto Japan 24 aug. - 3 sept. 1992 abstr. Vol. III.
- De Riso R. & Ducci D., 1992 - *Schema idrogeologico dell'Alto Sarno (T. Solofrana-Campania)*. Geologia tecnica & ambientale n. 3/92, 29-38.
- Ford D. & Williams P., 1989 - *Karst geomorphology and hydrology*. 601 pp. Chapman and Hall Ed.
- Galasso M., 1979 - *Lo smaltimento di acque reflue nel sottosuolo. Effetto sulle falde di substrati calcarei*. Riv. Inquinamento, Anno XXI, n. 10, ottobre 1979.
- Giulivo I. & Santo A., 1997 - *Stratigrafia del sottosuolo e problemi geomorfologico - applicativi della città di Avellino*. Atti convegno "Geologia delle grandi aree urbane", Bologna (in corso di stampa).
- Onorati G., 1997 - *Relazione sull'evento idrometeorologico del settembre 1996 - gennaio 1997 in Campania*, a cura del Servizio Idrografico dello Stato.
- Patacca E., Sartori R. & Scandone P., 1990 - *Tyrrhenian basin and Apenninic arcs: kinematic relation since late Tortonian times*. Mem. Soc. Geol. Ital., 45, 425-451.
- Pescatore T., Sgrosso I. & Torre M., 1970 - *Lineamenti di tettonica e sedimentazione nel Miocene dell'Appennino campano-lucano*. Mem. Soc. Natur. in Napoli suppl. boll. 78, 337-408.
- Rolandi G., 1997 - *The eruptive history of Somma-Vesuvius volcanism and Archeology in mediterranean area*. Ed. De Vivo & Cortini.
- Santo A., 1991 - *Karst processes and potential vulnerability of the Campanian carbonatic aquifers: the state of knowledge*. Estratto da: Proceedings of the International Conference on Environmental Changes in Karst areas I.G.U. - U.I.S. - Italy 15-27 sept. 1991; Quaderni del Dipartimento di Geografia n. 13. Università di Padova, 95-107.
- Uggeri A. & Vigna B., 1991 - *Nuovi traccianti ed esperienze di valutazione della velocità di flusso in acquiferi carbonatici*. Conv. Ric. e protez. delle ris. Idriche sotterr. delle aree montuose, Brescia, 1, 29-51.
- Vigna B., 1991 - *Gli acquisitori automatici portatili: applicazioni e risultati ottenuti nello studio delle rocce fessurate*. Conv. Ric. e protez. delle ris. Idriche sotterr. delle aree montuose, Brescia, 2, 277-296.

Ms: ricevuto il: 15 luglio 1998
Testo definitivo ricevuto il: 25 gennaio 1999

Ms received: July 15, 1998
Final text received: January 25, 1999