

Monografia / 2

Caratteristiche dei corpi idrici sotterranei



Redazione

Dott.ssa Alessandra
Santucci
Dott.ssa Sonia Renzi
Dott. Nicola Morgantini
Dott. Roberto Checcucci

Contributi**Validazione**

Dott. Angiolo Martinelli

Verifica

Dott. Giancarlo Marchetti
Dott. Alberto Micheli
Dott. Adriano Zavatti

Versione:
Luglio 2005

1.	SINTESI	1
2.	OBIETTIVI DELL'ANALISI ED ELEMENTI SIGNIFICATIVI A SUPPORTO DEL PTA	2
3.	STATO DELLE CONOSCENZE SUGLI ACQUIFERI UMBRI	2
3.1	Introduzione	2
3.2	Alta Valle del Tevere	3
3.2.1.	Studi	3
3.2.2.	Quadro conoscitivo risultante	3
3.2.2.1	Caratteristiche dell'acquifero	3
3.2.2.2	Piezometrie	4
3.2.2.3	Idrochimica	4
3.2.2.4	Scambi con il reticolo idrografico e con gli acquiferi contigui	5
3.3	Conca Eugubina	5
3.3.1	Studi	5
3.3.2	Quadro conoscitivo derivante	5
3.3.2.1	Caratteristiche dell'acquifero	5
3.3.2.2	Piezometrie	6
3.3.2.3	Idrochimica	6
3.3.2.4	Scambi con il reticolo idrografico e con gli acquiferi contigui	7
3.4	Media Valle del Tevere	7
3.4.1	Studi	7
3.4.2	Quadro conoscitivo derivante	8
3.4.2.1	Caratteristiche dell'acquifero	8
3.4.2.2	Piezometrie	9
3.4.2.3	Idrochimica	9
3.4.2.4	Scambi con il reticolo idrografico e con gli acquiferi contigui	10
3.5	Valle Umbra	11
3.5.1	Studi	11
3.5.2	Quadro conoscitivo derivante	11
3.5.2.1	Caratteristiche dell'acquifero	11
3.5.2.2	Piezometrie	12
3.5.2.3	Idrochimica	13
3.5.2.4	Scambi con il reticolo idrografico e con gli acquiferi contigui	13
3.6	Conca Ternana	14
3.6.1	Studi	14
3.6.2	Quadro conoscitivo derivante	14
3.6.2.1	Caratteristiche dell'acquifero	14
3.6.2.2	Piezometrie	15
3.6.2.3	Idrochimica	15
3.6.2.4	Scambi con il reticolo idrografico e con gli acquiferi contigui	16
3.7	Acquiferi carbonatici	16
3.7.1	Studi	16
3.7.2	Quadro conoscitivo derivante	17
3.7.2.1	Caratteristiche degli acquiferi	17
3.7.2.2	Idrochimica	19
3.7.2.3	Scambi con il reticolo idrografico e con gli acquiferi contigui	19
3.8	Acquifero vulcanico	20
3.8.1	Studi	20
3.8.2	Quadro conoscitivo derivante	20
3.8.2.1	Caratteristiche degli acquiferi	20
3.8.2.2	Piezometrie	21
3.8.2.3	Idrochimica	21
4	MONITORAGGIO PERIODICO DEI PRINCIPALI ACQUIFERI	22
4.1	Il monitoraggio delle acque sotterranee	22
4.2	Elaborazione dei dati	23
4.3	Caratteristiche chimiche di base	24
4.3.1	Inquadramento idrogeochimico dell'Alta Valle del Tevere	24
4.3.2	Inquadramento idrogeochimico della Conca Eugubina	25
4.3.3	Inquadramento idrogeochimico della Media Valle del Tevere	27
4.3.4	Inquadramento idrogeochimico della Valle Umbra	29
4.3.5	Inquadramento idrogeochimico della Conca Ternana	31
4.3.6	Inquadramento idrogeochimico degli acquiferi carbonatici	32
4.3.7	Inquadramento idrogeochimico dell'acquifero vulcanico	34
4.4	Diagrammi eh-ph e stabilità delle principali fasi che controllano la distribuzione di Mn, Fe, N e S. ...	35

4.4.1	Acquiferi alluvionali	35
4.4.2	Acquiferi carbonatici	36
4.4.3	Acquifero vulcanico	37
4.5	Indicatori di inquinamento diffuso: i nitrati	39
4.5.1	Acquifero alluvionale dell'Alta Valle del Tevere.....	39
4.5.2	Acquifero alluvionale della Conca Eugubina	40
4.5.3	Acquifero alluvionale della Media Valle del Tevere Nord.....	41
4.5.4	Acquifero alluvionale della Media Valle del Tevere Sud	42
4.5.5	Acquifero alluvionale della Valle Umbra.....	43
4.5.6	Acquifero in pressione di Cannara	45
4.5.7	Acquifero alluvionale della Conca Ternana.....	46
4.5.8	Acquiferi carbonatici	47
4.5.9	Acquifero vulcanico	48
4.6	Microinquinanti	48
4.6.1	Presenza di microinquinanti nelle acque sotterranee.....	48
5.	BIBLIOGRAFIA	49

1. SINTESI

Il presente rapporto ha l'obiettivo di fornire un quadro conoscitivo dei principali corpi idrici sotterranei umbri con particolare riferimento alle caratteristiche qualitative delle acque sia naturali sia derivanti da fenomeni di inquinamento.

I corpi idrici sotterranei principali nel territorio regionale possono essere distinti nelle seguenti tipologie:

- Acquiferi alluvionali, che hanno sede all'interno delle principali aree vallive della regione: Valle del Tevere, Valle Umbra, Conca Eugubina, Conca Ternana.
- Acquiferi carbonatici, che hanno sede sia nella dorsale carbonatica dell'Appennino Umbro Marchigiano, che interessa la fascia orientale e meridionale della regione, sia nelle strutture calcaree minori.
- Acquifero vulcanico, ospitato all'interno dei depositi di origine vulcanica dell'orvietano.

Nella prima parte della monografia per ogni corpo idrico viene presentata una sintesi delle conoscenze acquisite attraverso varie attività di studio effettuate negli ultimi decenni, tentando una ricostruzione delle caratteristiche geometriche, litologiche, idrogeologiche e idrochimiche dei corpi idrici.

Nella seconda parte viene presentata l'elaborazione dei dati del monitoraggio qualitativo effettuato nel periodo 1998-2003 sui corpi idrici dichiarati significativi ai sensi del DLgs 152/99. Tale analisi ha consentito di ottenere una conoscenza di maggiore dettaglio delle caratteristiche idrochimiche naturali dei corpi idrici, e di individuare eventuali processi modificatori della qualità delle acque indotti dall'attività antropica.

In sintesi, gran parte delle acque degli acquiferi alluvionali sono di tipo bicarbonato alcalino terroso indicando come il processo geochimico principale è rappresentato dalla dissoluzione di minerali carbonatici. Si individuano trend di arricchimento in alcalini (in particolare sodio), ben evidenti in Media Valle del Tevere sud e nell'acquifero artesiano di Cannara, che indicano processi di scambio ionico per la presenza di matrice argillosa nel corpo acquifero. Altro trend di arricchimento è quello in solfati e cloruri rappresentato da alcuni campioni prelevati nell'acquifero artesiano di Cannara e nella porzione meridionale della Valle Umbra dove è nota la presenza di livelli acquiferi confinati, e legato all'interazione con materiali argilloso-siltosi a bassa permeabilità. L'alimentazione sia dai corsi d'acqua sia dagli acquiferi carbonatici viene in genere evidenziata da una riduzione della salinità.

Quasi tutte le acque degli Acquiferi carbonatici sono di tipo bicarbonato calcico indicando come processo geochimico dominante la dissoluzione della calcite. Alcune sorgenti della struttura dei Monti delle Valli del Topino e del Menotre presentano un evidente arricchimento in magnesio e solfati, legato a processi di miscela con acque di circolazione idrica più profonda per le quali il processo geochimico dominante è la dedolomitizzazione.

Tutti i campioni dell'acquifero vulcanico, infine, sono di tipo bicarbonato alcalino-terroso, anche con spostamento verso termini bicarbonato alcalini.

I diagrammi Eh-pH mostrano che:

- A parte pochissime eccezioni i campioni degli acquiferi alluvionali variano tra le condizioni di neutralità assoluta e il campo delle soluzioni riducenti (neutre o debolmente alcaline). I campioni che presentano le condizioni più riducenti appartengono principalmente agli acquiferi artesiani di Cannara e della Valle Umbra sud.
- Tutti i campioni degli acquiferi carbonatici presentano una debole alcalinità rispetto agli equilibri acido-base. I valori di Eh indicano condizioni che variano tra la neutralità e il campo delle soluzioni debolmente riducenti (basiche).
- Gran parte dei campioni dell'acquifero vulcanico ricadono nel campo delle soluzioni riducenti, vicine alla neutralità o debolmente alcaline.

Il più diffuso fenomeno di inquinamento è rappresentato dalla contaminazione da nitrati, fenomeno critico per gran parte degli acquiferi alluvionali freatici umbri. Le concentrazioni in nitrati si mantengono invece basse, compatibili con valori naturali, negli acquiferi carbonatici e nell'acquifero artesiano di Cannara. Intermedi, ma i dati a disposizione sono ancora pochi, nell'acquifero vulcanico.

Limitatamente agli acquiferi più critici, l'andamento della mediana delle concentrazioni nel periodo 1998-2003 evidenzia:

- un leggero trend crescente nell'Acquifero dell'Alta Valle del Tevere
- un trend decrescente lieve negli acquiferi della Conca Eugubina della Conca Ternana e della Media Valle del Tevere Nord,
- un trend decrescente molto più chiaro nell'acquifero della Media Valle del Tevere Sud
- nessun trend evidente nell'acquifero freatico della Valle Umbra

L'analisi statistica dei dati ha permesso di separare in questi acquiferi la "popolazione di background" dalla "popolazione di anomalia" separate da valori soglia quasi sempre compatibili con concentrazioni naturali in nitrati. Importante evidenza è che la "popolazione di anomalia", interpretata come interessata da fenomeni di inquinamento, comprende in tutti questi corpi idrici una percentuale di campioni molto elevata compresa tra il 71 e il 91% del totale.

2. OBIETTIVI DELL'ANALISI ED ELEMENTI SIGNIFICATIVI A SUPPORTO DEL PTA

L'obiettivo dell'analisi è stato quello di fornire un quadro il più esaustivo possibile delle caratteristiche idrogeologiche e idrochimiche dei corpi idrici sotterranei umbri da utilizzare come conoscenza di base per tutte le analisi, elaborazioni e azioni presenti nel Piano in materia di acque sotterranee.

3. STATO DELLE CONOSCENZE SUGLI ACQUIFERI UMBRI

3.1 Introduzione

La morfologia del territorio umbro è prevalentemente montuosa nella sua parte orientale (27% della superficie regionale) e collinare in quella centrale e occidentale (55% della superficie regionale). Aree pianeggianti di limitata estensione si sviluppano con forma stretta e allungata per lo più nella parte centrale della regione, in corrispondenza dei principali corsi d'acqua.

La fascia orientale della regione è occupata dalla dorsale carbonatica dell'Appennino Umbro Marchigiano. Le massime quote, che solo localmente superano i 2.000 m s.l.m., si raggiungono nel settore sud orientale in corrispondenza dei Monti Sibillini. A ovest della catena appenninica sono presenti altri rilievi carbonatici, con quote che superano solo localmente i 1.000 m s.l.m. (Monti di Gubbio, Monte Subasio, dorsale dei Monti Martani, e dorsale Narnese Amerina). La morfologia è generalmente aspra, in particolare in corrispondenza dei rilievi a maggiore elevazione. Le sommità sono generalmente tondeggianti a bassa acclività, mentre i versanti hanno acclività variabile, talora elevata. Questi si possono raccordare ai fondovalle in modo diretto con un contatto brusco o più frequentemente con un passaggio graduale attraverso l'interposizione di coperture detritiche a bassa pendenza. Le litologie più diffuse sono calcari, calcari marnosi, calcari selciferi e marne.

I principali sistemi collinari, localizzati lungo il settore nord-orientale e occidentale della regione, con direzione prevalente NO-SE, sono caratterizzati da litologie marnoso arenacee in varie proporzioni. La morfologia nel complesso appare dolce ma a scala maggiore si presenta complessa, articolata in una serie di strutture minori individuate da numerosi solchi vallivi che tagliano le strutture principali. Il maggiore agente morfogenetico di queste aree è il processo erosivo, in particolare l'erosione lineare a opera delle acque correnti che, agendo su un substrato variamente erodibile, determina una morfologia accidentata.

Al passaggio da questi sistemi collinari alle aree pianeggianti nonché, con maggiore estensione, in tutta la porzione sudoccidentale della regione, affiorano depositi fluvio lacustri che danno luogo a una morfologia collinare molto dolce, prodotto di un'azione erosiva regolare e continua su litologie a granulometria prevalentemente fine, incoerenti, facilmente erodibili. I rilievi sono poco elevati con versanti uniformi, debolmente inclinati e ben raccordati ai fondovalle.

Le aree pianeggianti sono caratterizzate da morfologia sub orizzontale o debolmente inclinata, dolci rotture di pendio in corrispondenza dei bordi frequentemente caratterizzati dalla presenza di più ordini di terrazzi fluviali, con frequenti conoidi alluvionali allo sbocco dei corsi d'acqua nella valle. Dal punto di vista litologico sono caratterizzati dalla presenza di materassi alluvionali a granulometria fortemente eterogenea e spessore variabile all'interno dei quali sono frequenti antiche strutture sedimentarie quali paleoalvei e paleoconoidi.

Infine, la porzione sud occidentale della regione, è occupata da depositi di origine vulcanica formati a seguito delle eruzioni vulcaniche dell'area Vulsina, che hanno dato origine a potenti banchi di piroclastici.

Dal punto di vista morfologico è caratterizzata da elevata uniformità e appare come un tabulato immergente circa verso nord con modesta pendenza, interrotto al suo interno da incisioni e forre dovute all'attività erosiva dei corsi d'acqua.

Le caratteristiche morfologiche del territorio regionale, unitamente a quelle litologiche e strutturali, condizionano, naturalmente, la localizzazione e le caratteristiche dei corpi idrici sotterranei. Nel territorio regionale possono essere distinte le seguenti tipologie di acquifero

- Acquiferi alluvionali, che hanno sede all'interno delle principali aree vallive della regione: Alta Valle del Tevere (dal confine regionale a Città di Castello), Media Valle del Tevere (da Umbertine a Todi,

suddivisibile in due settori distinti a nord e a sud di Perugia), Valle Umbra, Conca Eugubina e Conca Ternana.

- Acquifero vulcanico, ospitato all'interno dei depositi di origine vulcanica dell'orvietano.
- Acquiferi carbonatici, che hanno sede sia nella dorsale carbonatica dell'Appennino Umbro Marchigiano che interessa la fascia orientale e meridionale della regione sia nelle strutture calcaree minori.
- Acquiferi minori ospitati nei depositi detritici e dei fondovalle alluvionali, e nei depositi a maggiore permeabilità presenti nelle zone collinari della regione

In questo paragrafo viene fatta una sintesi delle conoscenze acquisite nell'ambito dei principali studi effettuati negli ultimi decenni sugli acquiferi della regione Umbria. Per ogni corpo idrico si tenta di ricostruire sulla base di questi studi le caratteristiche geometriche, idrogeologiche, idrochimiche nonché le relazioni con altri corpi idrici sia superficiali che sotterranei.

Per gli acquiferi alluvionali e carbonatici della regione i principali studi sono stati effettuati a partire dagli anni '70. Il quadro conoscitivo qui descritto è, pertanto, quello disponibile all'entrata in vigore del DLgs 152/99 ed è in base a queste conoscenze che è stata definita la rete di monitoraggio regionale.

Per l'acquifero vulcanico, invece, all'entrata in vigore del decreto si disponeva di un quadro conoscitivo incompleto. Solo recentemente, nell'ambito del progetto "Realizzazione di perforazioni esplorative-produttive e completamento dello studio geologico-idrogeologico dell'acquifero vulcanico nel territorio della Regione Umbria", ancora in corso, sono stati effettuati studi più approfonditi

3.2 Alta Valle del Tevere

3.2.1. Studi

L'acquifero è stato oggetto di vari studi e ricerche di carattere idrogeologico e geochimico a partire dal 1973 quando nell'ambito di Ricerca operativa sulle acque sotterranee (Idrotecneco RPA, 1974; Idrotecneco RPA, 1975) sono state effettuate misure piezometriche e di cond. Elettrica.

Altre campagne, con acquisizione di dati piezometrici e di cond.elettrica, sono state effettuate nel 1979-1980 e nel 1981 (Idrogeocoop, 1980; M. Della Martera 1980; M Spadoni 1981).

Le principali attività di studio si sono svolte comunque negli anni '90.

La prima, conclusasi nel 1991, nell'ambito del "Progetto finalizzato alla valutazione degli effetti nell'Alta Valle del Tevere conseguenti all'esercizio dell'invaso di Montedoglio" (AA.VV.,1991) promosso dalle regioni Umbria e Toscana con l'ausilio di tutti gli enti locali, la seconda, nel periodo 1992-93, finalizzata alla redazione della Carta della vulnerabilità all'inquinamento (AA.VV.,1995) ad opera dell'Unità Operativa 4.11 del GNDICI-CNR, facente capo alla Regione dell'Umbria.

Nell'ambito del progetto di ricerca "Progetto finalizzato alla valutazione degli effetti nell'Alta Valle del Tevere conseguenti all'esercizio dell'invaso di Montedoglio" è stata individuata una rete di monitoraggio del reticolo idrografico superficiale costituito di 20 stazioni, monitorate tra novembre 90 ed ottobre 91 con cadenza bimestrale, e un reticolo di monitoraggio dell'acquifero alluvionale costituito di 95 stazioni su cui sono state eseguite 5 campagne di monitoraggio quali-quantitativo nel periodo 1990-1992.

Le elaborazioni comprendono cartografie (scala 1:25.000) delle piezometrie e della distribuzione della conducibilità elettrica e dei nitrati per ciascuna delle tre campagne di misura del 1990-1991, una carta della piezometria media del periodo ed una delle fluttuazioni dei livelli di falda.

Ai fini della redazione della Carta di Vulnerabilità è stata sviluppata e completata l'indagine idrogeochimica e sono state realizzate carte di distribuzione dei principali elementi chimici delle acque di falda ed una carta delle differenziazioni chimiche areali.

L'elaborazione di tutti i dati, unitamente a quelli sulle attività antropiche ha portato alla realizzazione della Carta della Vulnerabilità all'inquinamento dell'acquifero alluvionale dell'Alta Valle del Tevere.

3.2.2. Quadro conoscitivo risultante

3.2.2.1 Caratteristiche dell'acquifero

L'Alta Valle del Tevere è una ampia zona alluvionale che si estende dalla stretta di Montedoglio fino all'altezza di Città di Castello per circa 130 Km². Di questa superficie un 40% ricade al di fuori della Regione Umbria.

I terreni che bordano i depositi alluvionali nel settore orientale sono rappresentati da formazioni flyschoidi della serie Umbro-Marchigiana e di quella Toscana s.l.; nella porzione nord-occidentale sono costituiti da terreni argilloso-calcarei, argillo-scistosi e metamorfici della serie ofiolitifera alloctona ligure formante i Monti Rognosi. Depositi fluvio-lacustri si rinvengono, nel settore occidentale, da Anghiari a Citerna, e, in quello meridionale, all'altezza di Città di Castello.

Per quanto riguarda i depositi alluvionali, si rilevano situazioni differenti all'interno della piana. E' presente

una fascia, posta lungo il margine orientale da S.Sepolcro, in Toscana, a Città di Castello, costituita da alluvioni antiche terrazzate giacenti a quote fino a 50 metri al di sopra di quelle attuali; la massima ampiezza del deposito si osserva a partire dalla porzione a sud di S.Giustino. Tra queste alluvioni e l'alveo attuale del Tevere, si interpongono altre alluvioni terrazzate con una elevazione inferiore rispetto al fiume. Situazione analoga si ripete in destra del Tevere ma interessa fasce arealmente ridotte.

La parte centrale della piana è caratterizzata da un materasso alluvionale con spessori massimi superiori a 100 metri, ben sviluppato nel settore centro-settentrionale della valle.

In destra idrografica del Tevere, nella porzione compresa tra l'asta del fiume e il Torrente Cerfone, le alluvioni sono prevalentemente ghiaiose e raggiungono spessori massimi di circa 130 metri nell'area di S.Romano. Spostandosi verso sud si rinvencono ghiaie in matrice argillosa o alternate a livelli argillosi; la componente fine diventa progressivamente più abbondante. Nella zona della confluenza Tevere-Cerfone il materasso ghiaioso si riduce drasticamente a non più di venti metri.

In sinistra idrografica del Tevere, tra Sansepolcro e Selci, i depositi ghiaioso-sabbiosi hanno uno spessore ridotto. Le alluvioni terrazzate costituiscono una esigua copertura dei depositi del precedente ciclo sedimentario continentale (delta fluvio-lacustri) che a sua volta poggia a ridotte profondità sul substrato costituito dalle formazioni marnose ed arenacee mioceniche. In prossimità del Torrente Afra si hanno i massimi spessori di terreni a granulometria grossolana. Nell'area tra Selci e Città di Castello prevalgono le condizioni erosive e solo in prossimità dei corsi d'acqua si osservano depositi recenti a granulometria variabile e ridotto spessore. Il litotipo principale è un deposito a granulometria grossolana di tipo conglomeratico riconducibile ad ambiente deltizio con spessore massimo di circa 80 m.

Nella zona meridionale della valle, fino alla stretta a sud di Città di Castello, le alluvioni presentano spessori estremamente ridotti e sono prevalentemente fini. I massimi spessori si osservano in prossimità dell'alveo del Tevere e non superano 10 metri. In destra idrografica il fiume scorre a contatto con il substrato conglomeratico. In sinistra idrografica, al margine della valle, si rinviene il deposito deltizio osservato più a nord.

3.2.2.2 Piezometrie

Il primo quadro piezometrico a disposizione è quello ricostruibile sulla base delle indagini effettuate nel periodo 1975-1982, che fornisce informazioni importanti sul comportamento della falda alluvionale. I principali elementi sono la presenza, nella parte settentrionale, di un asse di deflusso principale parallelo al fiume Tevere a ovest dell'attuale alveo, e l'esistenza di gradienti molto diversi tra la parte centro-meridionale, dove i valori sono estremamente bassi, e le porzioni nord occidentale e orientale.

Sulla base degli stessi dati la soggiacenza nei depositi alluvionali nella fascia centrale della valle risultava in genere inferiore a 10 metri, nell'area ad ovest di Sansepolcro si manteneva più superficiale per la presenza di strati argillosi che determinavano condizioni locali di risalienza, mentre nella zona della conoide del Torrente Lama raggiungeva valori dell'ordine di 20 metri.

Le piezometrie realizzate sui dati del periodo 1990-1992 forniscono ulteriori informazioni.

Il principale asse di deflusso coincide con l'attuale alveo del Tevere esclusivamente nel settore meridionale della valle, mentre nella parte settentrionale si conferma l'andamento già osservato

Si individuano fenomeni locali di risalienza sia a margine della valle, legate a circuiti minori con scarsi scambi con l'acquifero principale sia nell'area compresa tra le conoidi dei torrenti Afra e Lama legati in questo caso alla intercalazione di livelli meno permeabili.

I dati piezometrici di questo periodo consentono inoltre un confronto tra situazione di morbida e di magra. L'andamento delle isopieze mostra modifiche stagionali significative indotte dalla diversa entità della ricarica da parte del fiume Tevere e degli affluenti laterali. Le oscillazioni del livello di falda si mantengono nell'ordine di 2 metri nella porzione centrale della valle, in prossimità del fiume Tevere, sono più ampie nel settore orientale della piana.

3.2.2.3 Idrochimica

I primi dati di tipo idrochimico risalgono agli studi effettuati nel 1975, 1980 e 1982 e sono relativi al parametro conducibilità elettrica delle acque. Da questi dati emergono delle prime indicazioni. Si evidenzia un progressivo peggioramento della qualità delle acque procedendo da nord a sud. Le zone a conducibilità minore sono ubicate in quattro zone: in destra del Tevere fino a S.Fista, lungo il torrente Sovara fino all'altezza di Citerna, in parte della conoide del Torrente Lama ed all'estremo settentrionale della valle. A sud della confluenza Tevere-Cerfone la conducibilità elettrica cresce significativamente. Due massimi sono ubicati a nord est e a nord di Città di Castello.

Una caratterizzazione idrochimica più completa viene fornita dai monitoraggi effettuati nell'ambito "Progetto finalizzato alla valutazione degli effetti nell'Alta valle del Tevere conseguenti all'esercizio dell'invaso di Montedoglio".

L'analisi classificativa individua un solo gruppo omogeneo di acque bicarbonato alcalino terrose da cui si

discostano solo pochi campioni tendenzialmente più cloruratici o più alcalini.

La nube che raccoglie tutti i restanti punti presenta una frangia di dispersione sia verso tenori prettamente bicarbonato alcalino-terrosi, che verso termini solfatici. Questi ultimi sono quelli che hanno salinità maggiore assieme alle acque della zona di Città di Castello.

Gli andamenti delle curve di isovalori di salinità, durezza totale, ioni Cloro e Solfati mostrano un minimo principali nel settore settentrionale e centrale della valle in destra idrografica del Tevere e un aumento dei tenori procedendo sia verso sud che verso i margini laterali della valle.

Stesso andamento si osserva nella distribuzione dei nitrati. Ammoniaca e nitriti, di origine presumibilmente non naturale, sono presenti in pochi punti in concentrazioni molto basse.

3.2.2.4 Scambi con il reticolo idrografico e con gli acquiferi contigui

Sulla base dei dati 1975-1982, nella zona compresa tra l'ingresso del Tevere nella piana e la direttrice S.Sepolcro-Gricignano risultava chiara l'alimentazione della falda da parte del fiume Tevere. Tale alimentazione è stata stimata tra 650 e 800 l/s nel tratto compreso tra Anghiari ed Ponte Anghiari. Le misure idrometriche sul Tevere confermavano questa alimentazione che, nel tratto Montedoglio-Ponte Anghiari, veniva stimata in circa 500-1000 l/s, evidenziano l'equilibrio falda-fiume tra Ponte Anghiari e la confluenza con il Torrente Afra, e l'alimentazione del fiume da parte della falda, stimata in circa 600-1800 l/s, più a sud.

I dati del periodo 1990-1992 confermano l'alimentazione dell'acquifero da parte del fiume nell'area nord-occidentale in destra idrografica mentre in sinistra idrografica il rapporto falda-fiume risulta invertito.

In generale i terreni che bordano l'acquifero alluvionale sono caratterizzati da bassa permeabilità e sono sede di acquiferi poco estesi e consistenti. Pertanto l'alimentazione laterale al sistema alluvionale da parte di questi non è significativa. Modeste ricariche si verificano in corrispondenza delle conoidi formate da corsi d'acqua secondari, quali i torrenti Afra e Lama, al loro ingresso in valle.

3.3 Conca Eugubina

3.3.1 Studi

Nel periodo novembre 1994 - aprile 1997, nell'ambito del progetto VAZAR, l'Unità Operativa 4.11 del GNDCI-CNR in collaborazione con la U.S.L. n.1, il Comune di Gubbio e la A.R.U.S.I.A., ha effettuato una serie di indagini di tipo idrogeologico e idrochimico finalizzate alla redazione della "Carta di vulnerabilità all'inquinamento degli acquiferi della Conca Eugubina" (AA.VV.,1997).

Dati pregressi provengono dai lavori di Perigeo (1987), Scandellari (1986), Idrotecneco - RPA (1974 e 1975), RPA (1986-88-90), e dagli archivi dei laboratori dell'Unità Sanitaria Locale e del Presidio Multizonale Prevenzione competente per territorio.

3.3.2 Quadro conoscitivo derivante

3.3.2.1 Caratteristiche dell'acquifero

La Conca Eugubina è delimitata a nord ovest dalla struttura dei Monti di Gubbio caratterizzata dalle formazioni calcaree e marnose della Serie Umbro-Marchigiana.

Il resto della Conca è delimitato dalla Formazione della Marnosa Arenacea costituita da marne con intercalazione di orizzonti arenacei e calcarenitici. La formazione della Marnosa Arenacea costituisce il substrato dei depositi continentali che colmano la Conca Eugubina.

I depositi detritico-alluvionali a ridosso dei rilievi calcarei hanno uno spessore superiore ai 200 m che decresce verso valle, dove questi si intercalano ai depositi fluvio-lacustri più fini; le relazioni tra i due tipi di deposito continentale sono di difficile interpretazione. Nella zona meridionale della Conca, fino all'altezza di Gubbio, la copertura alluvionale dei terreni fluvio-lacustri è esigua ed anzi, a parte i materiali depositi dal F. Chiascio nei pressi di Branca, possiamo parlare più di depositi colluviali che alluvionali; i corpi conglomeratici vengono ricondotti a paleodelta associati ad ambiente lacustre. Nel settore settentrionale i dati a disposizione non consentono di distinguere il passaggio tra i depositi alluvionali e i più antichi depositi fluvio lacustri.

Nell'area di affioramento dei depositi alluvionali sono state distinte tre zone.

La prima, ghiaioso-detritica, corrisponde alla fascia a ridosso delle coltri detritiche dove sono presenti cospicui orizzonti grossolani originatisi dal rimaneggiamento in ambiente fluviale dei detriti di falda. Dal punto di vista idraulico tali terreni non hanno un buon comportamento a causa dell'elevato contenuto in matrice fine. Lo spessore totale dei depositi va da un minimo di circa 60 metri a valori massimi che superano i 100 metri.

La seconda zona, sabbioso-limosa, si protende verso sud-est lungo il margine orientale della piana in una stretta fascia prossima ai rilievi della Marnosa Arenacea. E' caratterizzata da spessori ridotti (mediamente 20

metri), se si eccettuano delle piccole conoidi a ridosso del pendio.

La terza, infine, situata nella parte meridionale, è rappresentata dalla stretta valle del Chiascio dove si rinvengono depositi alluvionali a granulometria variabile poggiati sul substrato della Marnosa Arenacea ad un massimo di 50 m di profondità. Pur se litologicamente più grossolano e consistente questo deposito ha scarse caratteristiche idrogeologiche.

3.3.2.2 Piezometrie

Sulla base dei dati piezometrici relativi al periodo 1994-95 è stato ricostruito l'andamento della superficie di falda e la direzione delle principali linee di flusso sia per la fascia detritica che per l'area alluvionale.

Nella porzione ad ovest e nord-ovest di Gubbio, la soggiacenza decresce da nord-est a sud-ovest; le isopieze sono meglio definibili nelle alluvioni (dove presentano un basso gradiente idraulico) che a ridosso del pendio detritico. Indicano che il flusso principale è convergente verso la zona di Raggio. Il limite sudorientale è rappresentato da uno spartiacque sotterraneo che separa questo settore dal resto dell'acquifero.

Nella porzione ad est e sud-est di Gubbio, lo spessore del non saturo decresce verso sud; i gradienti idraulici sono regolari ed il flusso principale è diretto verso sud, dove alimenta il Torrente Saonda. Al contatto con i depositi fluvio-lacustri si ha emergenza della falda.

Nella piana alluvionale del Chiascio lo spessore del non saturo decresce verso sud; il flusso principale è diretto sempre verso sud ed è evidente lo scambio idraulico con il Fiume.

Nelle zone in cui si hanno depositi fluvio-lacustri (porzione sudoccidentale e meridionale della Conca) il non saturo è variabile e localmente mal definibile per la presenza di condizioni risalenti.

Il confronto con le piezometrie pregresse, risalenti al 1974 e al 1986-1987, è difficile a causa della scarsa confrontabilità delle misure, dovuta alla incertezza delle quote dei punti di misura, e non consente di individuare trend evolutivi chiari della superficie piezometrica.

Sono invece evidenti forti abbassamenti del livello piezometrico in alcune zone interessate da prelievi destinati ad alimentare acquedotti pubblici. Nella zona del campo pozzi di Raggio la piezometrica, nel periodo compreso tra il 1987 ed il 1994-95, ha subito un abbassamento di quasi 10 metri; in questo periodo è stato realizzato un nuovo campo pozzi, ubicato a monte di quello esistente, che ha consentito un incremento dei prelievi. La conseguenza è stata la modifica dell'andamento delle linee di flusso principali del settore settentrionale della conca, che fino al 1974 si dirigevano verso le aste fluviali dei torrenti Saonda e Assino, e la creazione di un flusso centripeto verso il campo pozzi.

Anche nei pozzi di Mocaiana nella parte settentrionale della Conca e nel pozzo Branca al limite meridionale della stessa le variazioni del livello della falda sono significative (circa 20 metri).

Nel pozzo Casamorcia infine, che attinge la falda dei calcari il livello di falda nel 1996 è risultato 12 metri inferiore a quello rilevato nel 1975, anno di costruzione del pozzo.

3.3.2.3 Idrochimica

Per lo studio idrochimico delle acque (Giaquinto et al., 1996; AA.VV. 1997) sono stati presi in esame 30 parametri chimico-fisici comprendenti gli elementi principali, le specie azotate, elementi minori e metalli pesanti. Sono stati individuati tre gruppi idrochimici indicanti circolazioni sotterranee differenti:

- il gruppo A₁: acque a composizione bicarbonato alcalino terrosa prevalentemente calciche a salinità da bassa a media (5-20 meq/l);

- il gruppo A₂: acque bicarbonato alcalino terrose a salinità piuttosto costante (circa 10 meq/l) con valori più elevati in fluoruri, litio, magnesio e solfati;

- il gruppo B: acque bicarbonato alcalino terrose a tendenza solfato-clorurata a salinità variabile medio alta (17-30 meq/l).

I primi due gruppi sono legati all'alimentazione dai circuiti calcarei e detritici; il chimismo subisce modifiche in funzione dei tempi di permanenza e degli input dalla superficie, sia di natura meteorica che inquinante. La qualità peggiora gradualmente allontanandosi dalla struttura calcarea con un significativo aumento di salinità e specie azotate.

Il terzo gruppo è riconducibile a circuiti molto più poveri di risorse idriche, caratterizzati dalla presenza di condizioni riducenti. Queste acque hanno valori di salinità piuttosto elevati, conseguenza diretta delle caratteristiche degli acquiferi e dei tempi di residenza.

Si individuano due settori distinti all'interno della Conca, uno con risorse idriche significative, l'altro con risorse scarse e di qualità scadente.

Analisi batteriologiche suggeriscono che possa essere consistente in gran parte della piana l'arrivo in falda di inquinanti di origine organica. Le possibili cause vengono individuate nei sistemi di smaltimento dei reflui domestici e nell'attività zootecnica.

Associato all'inquinamento batteriologico c'è quello da specie azotate, dovuto, in primo luogo, all'attività agricola, ma anche a smaltimento di reflui nel sottosuolo, a perdite del sistema fognario o a sversamenti

occasionalmente da insediamenti civili. La consistenza delle falde acquifere e le velocità di deflusso, così come il grado di protezione offerto dal non saturo, influiscono sulla distribuzione delle concentrazioni.

Nelle carte di distribuzione dei nitrati, nel settore alluvionale che attualmente drena verso Raggio, la zona a massima concentrazione si trova ad ovest di Gubbio. Nel settore centro-meridionale si osservano elevati valori in nitrati nella zona di Branca e altri massimi, di tipo puntuale non facilmente interpretabili a causa della complessa configurazione idrogeologica dell'acquifero.

L'indagine isotopica condotta sul ^{15}N dello ione nitrato, ha evidenziato che non c'è un inquinamento marcato da concimi chimici quanto piuttosto da mineralizzazione della materia organica contenuta nel suolo.

Lo ione ammonio, presenta valori molto elevati associati generalmente a Ferro e Manganese nelle zone caratterizzate da condizioni riducenti.

Nel campionamento di ottobre '95 sono stati ricercati anche i metalli pesanti (Zinco, Rame, Piombo, Manganese, Cadmio, Mercurio, Arsenico, Ferro e Cromo). Ad eccezione del manganese e del ferro, tutti hanno presentato valori molto bassi spesso al di sotto della soglia di sensibilità strumentale.

3.3.2.4 Scambi con il reticolo idrografico e con gli acquiferi contigui

Alcuni dati rilevati nel 1975 (Idrotecneco, RPA, 1975) sul torrente Assino, sul Canale di Raggio e sul Fosso della Contessa indicavano che il T. Assino riceveva una ricarica dalla falda nel primo tratto di attraversamento della valle (lungo circa 1,5 km), che il Canale di Raggio riceveva una alimentazione mediamente di 110-140 l/s, che il Fosso Contessa, all'ingresso nella piana, alimentava la falda detritica ed alluvionale.

Nel periodo 1994-1995, nell'ambito degli Studi sulla vulnerabilità degli acquiferi, è stata effettuata un'indagine idrochimica delle acque di alcuni corsi d'acqua che costituiscono il reticolo idrografico dell'area.

Sono stati considerati tre sistemi: il sistema settentrionale della Conca, con i Torrenti Assino, Saonda "nord", S. Donato e Canale di Raggio, la zona centro meridionale relativa al bacino del Saonda "sud", con gli affluenti Bottaccione e Rio Acquina, la piana del Chiascio.

Il chimismo delle acque superficiali è stato messo a confronto con quello delle acque sotterranee dello stesso sistema al fine di individuare evidenze di interazione falda-fiume.

Nel primo sistema, il chimismo delle acque dei torrenti Assino allo sbocco nella valle e S. Donato non indicava processi di interazione con le acque sotterranee né dell'acquifero alluvionale né di quello calcareo; indizi di scambio idraulico con le acque dell'acquifero alluvionale, invece, si avevano per il torrente Assino nel tratto più a valle e per il torrente Saonda "nord" per i quali nel periodo di magra veniva ipotizzata una alimentazione falda-fiume di alcuni litri al secondo; per il Canale di Raggio, infine, si avevano indizi di scambio idraulico con le acque dell'acquifero contenuto nei depositi fluvio lacustri.

Per il secondo sistema si avevano evidenze di una generale alimentazione al reticolo idrografico dalla falda. In particolare, per il T. Saonda "sud", è stata messa in evidenza, mediante bilanci di massa, l'alimentazione da parte della falda con caratteristiche intermedie tra l'idrotipo alluvionale e quello fluvio-lacustre. L'entità di tale ricarica viene stimata in circa 100 l/s in periodo di magra nel tratto a monte di Ponte d'Assi, e aumenta nel tratto di valle.

Per quanto concerne lo scambio con le falde acquifere contigue al sistema alluvionale, molto importante è l'alimentazione del sistema da parte dell'acquifero calcareo della struttura dei monti di Gubbio. Tale alimentazione si verifica attraverso la fascia detritica pedemontana, ed è ben visibile dall'andamento delle piezometrie realizzate nei vari studi esaminati.

In questi studi viene ipotizzato che i travasi dai calcari siano di tipo localizzato e che la faglia marginale, che delimita la struttura dei monti di Gubbio a sud ovest, abbia il ruolo di tamponare la falda calcarea; le zone dove si verificano i travasi sarebbero caratterizzate dalla presenza di piani di taglio attivi trasversali alla faglia principale.

Non significativa è invece l'alimentazione da parte delle aree di affioramento della formazione della Marnoso Arenacea. Questa, infatti, ha scarse caratteristiche idrogeologiche in quanto la frazione marnosa blocca la circuitazione idrica. Ospita modeste falde, localizzate negli strati arenacei e calcarenitici, che alimentano numerose sorgenti con modesta portata.

3.4 Media Valle del Tevere

3.4.1 Studi

I primi dati di tipo idrogeologico e idrochimico relativi all'intera Media Valle del Tevere, da Città di Castello a Todi, sono riferiti alle attività condotte negli anni '70 su iniziativa della Regione Umbria (Idrotecneco, RPA, 1974) e sono riportati nel volume "Le acque sotterranee in Umbria" (AA.VV., 1991). Nell'ambito di tali studi, tra il 1974 ed il 1975, è stato effettuato il censimento di 400 pozzi localizzati su tutta la Valle quasi tutti con profondità inferiore a 20 m. Su di essi sono state eseguite 2 campagne con misure piezometriche e determinazione dei parametri durezza e salinità.

I dati stratigrafici sono relativi a 50 perforazioni, rappresentate dai sondaggi della Ge.mi.na. (Ge.mi.na., 1962) e da pozzi pubblici a uso potabile, alcune delle quali superano i 100 m di profondità. Sull'intera valle sono stati effettuati circa 300 sondaggi elettrici verticali i cui dati sono stati elaborati per realizzare carte delle resistività apparenti e profili geoelettrici interpretativi che evidenziano le differenti geometrie dei depositi nei diversi tratti della valle.

Informazioni sulle caratteristiche idrodinamiche degli acquiferi derivano da alcune prove effettuate su pozzi pubblici ubicati nel tratto compreso tra Umbertide e Torgiano.

Campagne di misura successive hanno sempre interessato porzioni diverse dell'area in esame.

Alla fine degli anni '80 nell'ambito del PUC (Piano Urbanistico Comprensoriale), il Comune di Perugia ha condotto un'indagine idrogeologica nel settore compreso tra Pierantonio e Deruta; successivamente, la Media Valle Umbra a nord di Perugia, nell'ambito di tesi di laurea del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Perugia (A.L. Grignetti, 1990), è stata oggetto di indagini idrogeologiche e idrochimiche che hanno utilizzato i pozzi dello stesso reticolo di monitoraggio.

Altra attività conoscitiva di dettaglio di carattere idrochimico è stata effettuata nel 1993 nel territorio della IXa Circostrizione del Comune di Perugia (Peruzzi ...).

Nel 1997, nell'ambito dello studio "Carta di Vulnerabilità degli acquiferi della Media Valle del Tevere – Indagini Idrogeologiche preliminari" (Peruzzi et al., 1997), la Regione Umbria ha effettuato una indagine idrogeologica e idrochimica sull'intera valle. Essa ha previsto il censimento di 258 pozzi, un lago di falda e 9 sezioni di alvei superficiali per i quali è stata redatta una scheda monografica. Su ognuno di questi è stata effettuata la misura del livello piezometrico, un prelievo e analisi delle acque (anioni principali e specie azotate). I dati sono stati elaborati con realizzazione di una carta piezometrica, della distribuzione dei nitrati e dell'andamento degli ioni principali.

3.4.2 *Quadro conoscitivo derivante*

3.4.2.1 *Caratteristiche dell'acquifero*

La struttura valliva in esame si estende longitudinalmente per circa 85 km con un'ampiezza media piuttosto ridotta; questa, infatti, è inferiore a 3 km tra Città di Castello e Ponte S.Giovanni e pari a circa 4 km tra Ponte S.Giovanni e Todi.

Il fiume Tevere rappresenta l'asta fluviale principale della valle. Scorre lungo il suo margine destro, tra Umbertide e Ponte Valleceppi, e si sposta lungo quello sinistro tra Torgiano e Pantalla. In posizione contrapposta al Tevere si trovano depositi alluvionali terrazzati disposti su almeno due diversi ordini.

I depositi alluvionali del Tevere si ritrovano lungo tutta la valle ma la loro estensione ed il loro spessore varia nei diversi settori. Procedendo da nord verso sud, fino all'altezza di Umbertide si rinvengono depositi dallo spessore piuttosto esiguo, limitato a poche decine di metri.

Nel tratto di valle compreso tra Umbertide e Ponte Felcino, i depositi sabbiosi e ghiaiosi si alternano a banchi argillosi e limo-argillosi difficilmente correlabili. I primi sono percentualmente inferiori agli altri ma si ritrovano, con spessori superiori a 10 m, anche ad oltre 100 m di profondità.

Il settore della valle compreso tra P.Felcino e P.S.Giovanni è colmato da una scarsa copertura alluvionale in genere terrazzata.

Da P.S.Giovanni fino a Deruta la coltre alluvionale è caratterizzata da spessori piuttosto consistenti (superiori a 100 m) che, procedendo verso sud, si riducono fino a 25-30 m. All'interno delle alluvioni recenti, che in quest'area poggiano sui depositi villafranchiani, sono presenti paleoalvei e estesi depositi terrazzati.

Tra Marsciano e Todi-Ponte Rio, infine, i depositi alluvionali risultano poco consistenti.

Le alluvioni del Tevere sono bordate da terreni costituiti in prevalenza da depositi fluvio-lacustri plio-pleistocenici a granulometria prevalentemente fine (limi ed argille). Sono frequenti anche le paleostrutture deltizie a conglomerati e sabbie: le principali costituiscono il colle di Perugia e quello di Montemigiano a NW di Umbertide. Nei pressi di Pierantonio si ritrovano facies a travertini e a ligniti intercalate ai litotipi prevalenti. Consistente risulta anche la presenza dei terreni flyschoidi miocenici, in particolar modo lungo il margine destro prospiciente la struttura anticlinalica calcarea di M.Acuto-M.Tezio, fino all'altezza di Ponte S.Giovanni. Tale formazione è in genere scarsamente permeabile. Tuttavia, la presenza di strati arenacei può determinare locali condizioni di maggiore permeabilità. Queste situazioni, assieme alle porzioni più grossolane dei depositi fluvio lacustri, sono sede di limitati circuiti idrici che forniscono una modesta alimentazione agli acquiferi alluvionali.

La circolazione idrica all'interno dei depositi alluvionali è condizionata dalla presenza dei terreni flyschoidi che fungono da barriere impermeabili, suddividendo la Media Valle del Tevere in settori idrogeologici autonomi. La soglia in corrispondenza di Ponte S.Giovanni, all'altezza di Perugia in particolare divide la valle in due settori idrogeologici praticamente indipendenti: la Media Valle del Tevere Nord e la Media Valle del Tevere Sud.

Nella Media Valle del Tevere Nord, il tratto compreso tra Città di Castello ed Umbertide è caratterizzato dalla presenza di piccole falde circolanti all'interno dell'esiguo acquifero alluvionale.

Tra Umbertine e Ponte Felcino sono presenti localmente acquiferi multifalda; in particolare, nei pressi di Pierantonio si ritrovano falde confinate a profondità superiori a 100 m, a causa dell'alternanza di depositi ghiaiosi con consistenti banchi argillosi e limosi.

Nella Media Valle del Tevere Sud la presenza di acquiferi piuttosto consistenti si rileva solamente nella porzione di valle compresa tra Ponte S.Giovanni e Deruta; procedendo verso sud, infatti, si incontrano solamente modeste falde. All'altezza di Montemolino un'altra soglia separa la porzione Pian di Porto – Todi dall'acquifero principale.

3.4.2.2 Piezometrie

Le curve isopieze e le linee di flusso principali relative al 1974, indicano che l'asse di drenaggio principale coincide in genere con l'asse del Tevere sia nella Media Valle del Tevere nord che in quella sud. Si delineano, inoltre, linee di flusso secondarie trasversali all'asse della valle: nella zona a nord di Perugia, in prossimità degli affluenti orientali, nella zona a sud, all'altezza di Torgiano e all'altezza di Marsciano dove è visibile una direttrice molto netta legata all'ingresso nella valle del F. Nestore.

Le indagini effettuate tra il 1987 ed il 1989 dal Comune di Perugia hanno interessato l'area valliva tra Pierantonio e Pontevalleceppi, ovvero la porzione centrale e meridionale della Media Valle del Tevere nord, evidenziando l'alimentazione della falda al fiume lungo l'intero tratto.

Le indagini idrogeologiche effettuate nel 1992-93 in un'area a sud di P.S.Giovanni contigua ad un tratto di fiume Tevere di soli 4 km, hanno consentito una ricostruzione della piezometria della zona più settentrionale della Media Valle del Tevere sud. Le isopieze all'interno delle alluvioni terrazzate mostrano in quest'area un deflusso verso sud, parallelo all'asse del Tevere. All'interno delle alluvioni recenti l'andamento delle isofreatiche mostra, all'altezza di S. Martino in Campo, un drenaggio della falda da parte del fiume Tevere e, nei pressi di S. Maria Rossa, un alto piezometrico. Nella piana alluvionale la profondità della falda dal piano campagna è in genere compresa tra 6 e 7 metri e si riduce a circa 2 m nei pressi di S. Maria Rossa. Nei terreni fluvio-lacustri, invece, lo spessore del non saturo oscilla tra 10 e 30 m.

La campagna piezometrica effettuata nel 1997 sull'intera valle è rappresentativa di una condizione di magra. La ricostruzione delle curve isopiezometriche conferma un generale deflusso dai margini della valle verso il Fiume. Nel solo settore di S. Martino in Campo si sono evidenziate linee di flusso parallele al Tevere che interessavano anche le alluvioni terrazzate. Già in passato era stato ipotizzato in questa zona la presenza di paleoalvei sepolti. Nella zona di S. Maria Rossa i pozzi mostrano locali condizioni di risalienza. La profondità della falda dal piano campagna è generalmente compresa tra 2 e 10 metri, con un valore medio di 5-6 metri. La falda principale è pertanto superficiale ospitata nei depositi grossolani sia recenti che terrazzati del Tevere, con spessori produttivi dell'ordine dei 10 metri. A maggiore profondità, a partire da 15- 20 metri dal piano campagna, sono stati rinvenuti altri livelli acquiferi.

3.4.2.3 Idrochimica

Le prime misure idrochimiche su tutta l'area sono state effettuate a metà degli anni '70 e sono relative ai parametri durezza totale e salinità.

Nella Media Valle del Tevere nord, i valori più bassi di salinità si osservano a nord di Ponte Pattoli con valori minimi alla confluenza del Torrente Assino e all'altezza della struttura carbonatica di M.Tezio. Nella Media Valle del Tevere sud le condizioni migliori si registrano in prossimità del fiume Tevere e, a sud di Deruta, in prossimità del margine occidentale. In alcuni pozzi poco profondi nei pressi di Torgiano è stato misurato un contenuto salino più elevato, confrontabile con quello delle acque circolanti nei depositi villafranchiani o nei versanti a Marnosa Arenacea.

I valori più elevati di durezza, prossimi a 50°F, sono stati misurati in alcuni punti a nord di Umbertide. I dati chimici relativi alle acque di un pozzo idropotabile in prossimità di Torgiano (pozzo Torgiano 1) evidenziano l'esistenza di una marcata stratificazione della falda: nei campioni prelevati a 50, 70, 90, 115 e 130 metri di profondità si ha un progressivo aumento del residuo solido, che passa da 0.4 g/l a 1 g/l, e dei cloruri, che vanno da 23 mg/l fino a 150 mg/l.

Indagini idrochimiche più dettagliate sono state condotte nel dicembre '89 nella Media Valle del Tevere nord nel tratto compreso tra il Pian d'Assino (a sud di Umbertine) e Perugia. I parametri analizzati riguardano pH, Conduttività el., Residuo solido, Durezza totale, cloruri, solfati, fosfati, specie azotate, ferro e manganese. A questi si aggiungono le analisi batteriologiche. Da questa indagine è emerso che il tenore in nitrati definisce due gruppi di acque: uno con valori medio-bassi (fino a circa 30-35 mg/l), a cui appartengono quasi tutti i campioni del tratto centrale dell'area considerata ed uno con tenori elevati (tra 40 e 80 mg/l), in cui ricadono i campioni del tratto più a sud. I valori massimi sono stati misurati nella zona di Resina, dove, in due campioni, sono stati superati i 100 mg/l.

La presenza di ammoniaca, ferro e manganese è limitata ai pozzi profondi poco a sud Pierantonio, dove sono state misurate concentrazioni elevate.

In sintesi il quadro idrochimico risultante è abbastanza buono per le acque riconducibili a circuiti superficiali, caratterizzati da una buona circolazione e ricarica ad eccezione di alcune situazioni locali. Falde con condizioni riducenti si rinvennero solo nei pozzi profondi di Pierantonio.

L'indagine idrochimica effettuata tra il 1992 e il 1993 nella porzione settentrionale della Media Valle del Tevere sud, ha utilizzato un reticolo di 80 pozzi; circa la metà di questi captano acque circolanti nelle alluvioni terrazzate, circa metà captano la falda delle alluvioni attuali del Tevere, un numero limitato di pozzi captano le acque circolanti nel fluvio lacustre.

La composizione delle acque circolanti nelle alluvioni è bicarbonato alcalino terrosa. Le acque del fluvio lacustre, invece, presentano composizione che tende verso termini clorurato-solfatici e/o alcalini e salinità più elevata.

I parametri conducibilità elettrica e durezza risultano ben correlati. Nel settore settentrionale della zona considerata decrescono costantemente dai terreni terrazzati verso l'asta del Tevere; in quello meridionale aumentano verso il margine orientale.

I nitrati costituiscono il principale indicatore di deterioramento della qualità delle acque di falda. Sono state misurate concentrazioni superiori a 50 mg/l in gran parte dell'area di studio. La massima concentrazione (superiore a 200 mg/l) è stata riscontrata nei pressi di S. Martino in Campo.

I parametri microbiologici indicano un avanzato stato di degrado delle acque sotterranee; la presenza di forme di chiara origine inquinante, quelle fecali, interessa dal 40 % al 90 % dei pozzi campionati.

L'indagine condotta nel 1997 fornisce importanti informazioni idrochimiche sulle acque sotterranee dell'intera valle.

La carta della distribuzione della conducibilità elettrica mostra come la Media Valle del Tevere Nord presenti valori mediamente inferiori rispetto alla porzione sud della valle. All'interno di ciascuno dei due acquiferi, inoltre, si osserva un generale aumento di conducibilità, andando da nord verso sud e dal centro della valle verso i suoi margini. Questo è probabilmente legato alla maggiore permeabilità dei terreni della fascia prossima al Tevere. Non si notano variazioni significative dei valori di conducibilità in corrispondenza degli affluenti del Tevere.

Nella Media Valle del Tevere sud si osservano valori elevati in cloro nella porzione meridionale e valori elevati in solfati nel settore centrale a sud di Torgiano probabilmente legati a particolari caratteristiche stratigrafiche locali.

Per quanto riguarda i nitrati, nella Media Valle del Tevere Nord le concentrazioni sono in genere comprese tra 5 e 75 mg/l con alcuni massimi superiori a 100 mg/l; valori molto bassi sono presentati da pochi punti. Le aree con valori superiori a 50 mg/l sono in genere di limitata estensione indicando una contaminazione di tipo locale. L'area inquinata più estesa si trova nella zona di Ponte Pattoli - Casa del Diavolo.

Nella Media Valle del Tevere Sud gran parte dei valori sono dispersi tra 20 e 100 mg/l, con un massimo superiore a 200 mg/l. Anche in questo caso un numero limitato di campioni presenta valori molto bassi.

La distribuzione delle concentrazioni in nitrati mostra che valori superiori a 50 mg/l si trovano nell'area delle alluvioni terrazzate e che le massime concentrazioni si verificano nell'area a sud di Ponte S. Giovanni, nel territorio della IXa Circostrizione del Comune di Perugia, confermando i risultati delle indagini pregresse. In quest'area valori elevati si riscontrano anche nelle acque delle alluvioni recenti. L'inquinamento interessa in modo diffuso tutta l'area anche se sono individuabili massimi locali.

Al di fuori di quest'area valori di nitrati superiori a 100 mg/l sono rari ed in genere puntuali.

I campioni con bassi valori in nitrati presentano elevati valori in ammoniaca. In questi casi si ipotizzano condizioni riducenti della falda. I diagrammi nitrati-ammoniaca ed ammoniaca-profondità evidenziano condizioni riducenti a profondità maggiori di 20 metri. In alcuni casi la presenza di ammoniaca è associata a elevati valori in nitrati. Questi casi vengono interpretati come miscela tra le acque di livelli acquiferi a diversa profondità e con condizioni ossido riduttive diverse che vengono captati dallo stesso pozzo.

L'area interessata dalla presenza di livelli acquiferi meno superficiali con condizioni riducenti è la fascia orientale della valle tra il fiume e le alluvioni terrazzate.

3.4.2.4 Scambi con il reticolo idrografico e con gli acquiferi contigui

L'insufficienza e la frammentarietà dei dati non permettono di definire in modo dettagliato le relazioni esistenti tra l'acquifero alluvionale e quelli contigui, così come delle relazioni con il reticolo idrografico del Tevere. Con i dati a disposizione si possono trarre delle indicazioni.

In generale i terreni che bordano i due acquiferi sono caratterizzati da bassa permeabilità e sono sede di falde acquifere limitate e poco consistenti.

Nella Media Valle del Tevere Nord, la geochimica indica una possibile alimentazione alla falda alluvionale da parte del Torrente Assino al suo ingresso nella valle e, più a sud, in corrispondenza della struttura calcarea di Monte Tezio, l'ingresso in falda di acque a bassa salinità. I rapporti falda-fiume Tevere sembrano indicare un drenaggio della falda da parte del fiume per l'intero tratto.

Nella Media Valle del Tevere Sud è evidente l'alimentazione laterale all'ingresso del fiume Nestore nella valle.

All'interno delle alluvioni terrazzate il deflusso della falda è normalmente orientato dai margini verso il centro della valle indicando una possibile continuità idraulica con le alluvioni recenti.

La fascia di alluvioni recenti, di ridotta ampiezza e spessore, è in relazione con il F. Tevere. In generale il rapporto falda-fiume è variabile.

3.5 Valle Umbra

3.5.1 Studi

La Valle, individuata sin dai primi anni settanta come area strategica per l'approvvigionamento potabile dell'Umbria, è stata oggetto negli ultimi decenni di un gran numero di studi finalizzati a definire le potenzialità e le caratteristiche qualitative della risorsa idrica. Le indagini, per molti anni, hanno riguardato tutta la valle alluvionale, successivamente sono state concentrate in specifiche porzioni di essa che in base alle risultanze dello studio generale erano risultate le più significative da un punto di vista idrogeologico. In quanto tali sono stati oggetto di studi di dettaglio.

I principali dati stratigrafici sono relativi a 15 perforazioni sui sedimenti alluvionali con profondità fino 150-200 m, a cui si aggiungono informazioni stratigrafiche sui depositi fluvio-lacustri derivanti dalle perforazioni della Ge.mi.na. (Ge.mi.na., 1962). I dati geofisici derivano da campagne di prospezione geoelettrica con circa 500 sondaggi elettrici verticali e sono stati oggetto di molteplici elaborazioni. I prodotti principali sono la Carta delle Resistenze Trasversali Totali, le Carte delle Resistività Apparenti, rappresentative della geometria dei corpi a profondità diverse, e alcune sezioni geoelettriche interpretative.

Nell'ambito dei vari studi, sono state effettuate prove di emungimento in varie zone: nelle aree del campo pozzi di Petrignano (9 pozzi) e del campo pozzi di Cannara (6 pozzi), in alcuni pozzi a nord di Cannara, in 1 a sud di Foligno e in 1 al margine sud-orientale dell'acquifero poco a nord di Spoleto.

Indagini idrogeologiche, con campagne piezometriche, sono state effettuate a partire dai primi anni settanta nella porzione settentrionale della valle. Sono state estese, a partire dai primi anni ottanta, anche alla porzione meridionale con individuazione di un reticolo costituito di 400 pozzi che interessava l'intera valle. Nel 1985, nell'ambito della definizione del modello matematico di flusso dell'acquifero, è iniziato il monitoraggio quantitativo e qualitativo delle acque sotterranee della Valle Umbra su un reticolo di controllo costituito da 54 pozzi (scelti tra i 400 censiti) e 16 sezioni d'alveo; nel periodo 1985-1989 su questo reticolo di controllo sono stati effettuati 12 campionamenti con determinazione di 32 parametri chimico-fisici comprensivi dei parametri principali, specie azotate e fosforo, metalli pesanti, ossigeno disciolto, tensioattivi e fenoli. Nel 1987, in occasione degli studi per la redazione della Carta di Vulnerabilità degli Acquiferi della Valle Umbra Nord (circa 160 km² dei 330 totali), sono state effettuate due campagne piezometriche con determinazione della salinità su circa 200 pozzi; all'interno di quest'area successivi studi di dettaglio hanno interessato l'acquifero del campo pozzi di Petrignano di Assisi, con campionamento su 140 pozzi distribuiti in un'area di circa 2.500 ha, e l'acquifero del campo pozzi di Cannara, dove dal 1990 viene effettuato un monitoraggio mensile su un reticolo di 30 pozzi. Nel 1989-1990 è stato invece approfondito lo studio della Valle Umbra Sud, sempre finalizzato alla redazione della Carta di Vulnerabilità degli Acquiferi con misure piezometriche e campionamenti su circa 250 pozzi.

3.5.2 Quadro conoscitivo derivante

3.5.2.1 Caratteristiche dell'acquifero

La Valle Umbra ha un'estensione di circa 330 km². E' compresa tra i rilievi occidentali dei Monti Martani e quelli orientali del M.te Subasio-M.ti di Foligno e Spoleto.

I principali corsi d'acqua sono il Maroggia a sud, il Topino nella parte centrale ed il Chiascio a nord. Il deflusso superficiale dell'intera valle avviene nella parte nord-occidentale attraverso il Fiume Chiascio.

Il margine orientale è caratterizzato dalle formazioni carbonatiche mesozoiche della serie Umbro-Marchigiana che sono a contatto con i depositi alluvionali mediante interposizione di spesse coltri detritiche. Lungo tale margine le formazioni flyschoidi cenozoiche, caratterizzate da bassa permeabilità, si rinvengono solamente in corrispondenza della struttura del M. Subasio. Tali formazioni costituiscono invece i rilievi occidentali della Valle ed il letto dei depositi alluvionali.

Nella piana alluvionale si possono individuare quattro settori caratterizzati dalla presenza di depositi permeabili con spessori compresi tra 100 e 200 metri sede di acquiferi significativi.

In quello meridionale sono presenti i depositi del Fiume Maroggia che poggiano su un substrato di tipo fluvio lacustre e che sono in contatto idraulico con le conoidi detritiche del margine orientale.

Nella zona centrale, all'altezza di Foligno, si trova la paleo-conoide del Fiume Topino, costituita da depositi franco-argillosi nella parte a nord e franco-limosi in quella a sud, secondo una direttrice corrispondente all'attuale alveo del fiume.

Un'altra zona si trova in prossimità del margine orientale della valle all'altezza di Cannara. È individuata da una lunga e stretta fascia di depositi di paleoalveo del fiume Topino. Questi sono costituiti essenzialmente da ghiaie e sabbie con intercalazioni irregolari di limi ed argille, che diventano più consistenti lungo i margini della fascia stessa. I depositi permeabili, quindi, si assottigliano allontanandosi dall'asse di maggior spessore, parallelo al corso del Topino, e si estendono in profondità verso est. Al di sopra è presente una copertura costituita da depositi limo-argillosi con spessori che variano da un massimo di 30 m nel settore settentrionale, ad un minimo di 15 m in quello meridionale. Indagini geofisiche hanno rilevato un collegamento tra i depositi permeabili di questa area e quelli della paleo-conoide del Topino.

Infine, nella parte settentrionale della Valle Umbra, in destra dell'attuale asta fluviale del Chiascio, si rinvengono i depositi permeabili del paleo-Chiascio, con spessori superiori a 100 m. I depositi ghiaiosi si interdigitano a materiali mediamente fini di spessore variabile con una buona continuità laterale caratterizzati da bassa permeabilità. Localmente è presente una copertura a bassa permeabilità, costituita da suolo e da materiali fini.

Litotipi a bassa permeabilità caratterizzano la zona tra Trevi e Montefalco. Qui sono presenti depositi argillosi originatisi in ambiente prevalentemente lacustre, determinato dalla presenza della conoide del F. Topino che ostacolava il deflusso superficiale a valle.

3.5.2.2 Piezometrie

L'elaborazione dei dati piezometrici provenienti dal monitoraggio effettuato nel periodo 1985-1989 (13 campagne su 54 pozzi), hanno permesso di confermare la presenza di distinti settori idrogeologici all'interno della Valle: quelli collegati ai principali corsi d'acqua (bacino del Maroggia a sud, conoide del Topino nella zona centrale e bacino del Chiascio a nord), quelli riconducibili a situazioni confinate (acquifero artesiano di Cannara) e quelli caratterizzati da depositi argillosi (zona tra Trevi e Montefalco).

L'andamento della piezometria mostra linee di flusso in genere parallele alle direzioni del deflusso superficiale e alle direzioni di sviluppo dei principali corpi sedimentari (paleo-alvei). Gran parte delle aste fluviali vengono alimentate dalla falda.

Nel settore meridionale, nell'area dei depositi del torrente Maroggia, si osservano gradienti piuttosto elevati che, procedendo verso nord, diminuiscono rapidamente. All'altezza delle sorgenti del Clitunno si rinviene una falda confinata dai contorni e relazioni non conosciute.

A nord di Trevi, fino all'asta del Topino, la piezometria non è ben definita per la scarsità di punti di misura e l'esiguità delle falde, solo nella zona prossima a Foligno sono ben visibili linee di flusso da est verso la parte centrale della Valle.

Il deflusso nella conoide del Topino è diretto verso nord, anche nel tratto all'altezza di Foligno in cui l'asta fluviale ha direzione NE-SW. L'andamento della piezometrica, coerentemente con quanto indicato dalle indagini geofisiche, indica che le acque che circolano nella conoide vanno ad alimentare l'acquifero artesiano di Cannara, fluendo al di sotto della copertura a bassa permeabilità.

All'altezza della confluenza del T. Chiona e dell'abitato di Bevagna si hanno le prime evidenze di condizioni di falda confinata. In questa area il flusso sotterraneo si separa andando ad alimentare una falda epidermica freatica ed una profonda in pressione. All'altezza di Cannara le quote piezometriche dei due acquiferi si differenziano in modo significativo.

Lungo il margine occidentale dell'acquifero di Cannara esiste un contatto idraulico tra il sistema confinato e quello freatico, contenuto nei terreni villafranchiani più permeabili; viene attribuito a strutture tipo paleodelta-paleoconoidi che si estendono fin sotto i depositi che fungono da tetto impermeabile dell'acquifero in pressione.

In coincidenza con l'entrata in funzione del campo pozzi di Cannara, nell'estate '88, sono stati effettuati studi di dettaglio idrogeologici, con prove di portata sui pozzi che hanno permesso di definire le caratteristiche idrodinamiche e geometriche dell'acquifero, gli input di ricarica principali e secondari.

I risultati forniti dai dati idrodinamici mostrano come l'emungimento dell'acquifero artesiano di Cannara, anche se ancora a regimi ridotti, produceva un disequilibrio della falda in pressione provocando abbassamenti consistenti della piezometrica, in particolare lungo il margine occidentale dell'acquifero. Tutto il settore meridionale dell'artesiano presentava quote piezometriche più elevate e linee di flusso dirette da S e S-E verso N.

Nel settore settentrionale della valle i depositi permeabili del paleo-Chiascio ospitano l'acquifero di Petrignano d'Assisi, uno dei più importanti della regione. Nella parte a nord di Petrignano d'Assisi l'acquifero ha uno spessore ridotto ed è in condizioni freatiche, mentre, a partire dall'altezza del centro abitato, l'approfondimento del substrato genera una situazione multifalda con condizioni semiconfinite degli orizzonti acquiferi inferiori. Il campo pozzi di Petrignano, in funzione dal 1975, ha prodotto una depressione che è risultata, nel tempo, in continua espansione con abbassamenti consistenti della superficie piezometrica nel settore meridionale della valle. Nel campo pozzi di Petrignano di Assisi è stata effettuata nel 1993

un'indagine idrodinamica, con prove in regime stazionario e transitorio. I risultati ottenuti sui pozzi e piezometri con vari metodi di analisi sono piuttosto disomogenei. L'acquifero è risultato di tipo semiconfinato.

3.5.2.3 Idrochimica

L'elaborazione geochimica dei dati dei monitoraggi effettuati nel periodo 1985-89 (13 campagne di monitoraggio su 54 pozzi), ha permesso di definire i caratteri chimici delle falde, differenziare il sistema alluvionale in relazione alla sua vulnerabilità, individuare le specie ioniche più rappresentative della variabilità del sistema acquifero nonché valutare l'esistenza di trend modificatori del chimismo e della qualità delle acque.

Sulla base di diagrammi classificativi di Langelier-Ludwig e delle relative sezioni di salinità sono state evidenziate situazioni distinte in regime di morbida e di magra.

In regime di morbida si individuano due famiglie, una a carattere bicarbonato alcalino-terroso (gruppo A), che comprende il maggior numero di campioni, ed una con un evidente spostamento verso termini alcalini (gruppo B) rappresentata da un numero molto più limitato di campioni. Non rientrano in questi due gruppi alcuni campioni con salinità molto elevate e le acque del Fiume Clitunno, a carattere solfato alcalino terroso.

In regime di magra si osserva una maggiore differenziazione composizionale e si evidenzia un gruppo a carattere chimico intermedio (gruppo AB), ed un gruppo con arricchimento in solfati (gruppo C) che è composto da campioni di acque superficiali prelevati nel Timia e Topino a valle della confluenza con il fiume Clitunno.

Rispetto al gruppo bicarbonato alcalino-terroso (A), le acque dei gruppi B ed AB sono caratterizzate da più alti tenori in sodio, magnesio e cloro, da più bassi valori in solfati, calcio e nitrati, e dalla presenza di specie ridotte quali NH_4^+ , Fe^{++} e Mn^{++} . Il gruppo B si genera per processi ossido-riduttivi legati ai sedimenti limo-argillosi che permettono gli scambi calcio-sodio, la trasformazione dei nitrati in ammoniaca e la distruzione dello ione solfato ad opera dei batteri anaerobi.

L'andamento dell'azoto e della salinità individuano tre settori con valori massimi. Il primo in destra del fiume Chiascio (Petrignano di Assisi), il secondo nella parte centrale della valle tra Assisi e Spello, il terzo nella zona sudoccidentale della valle tra Trevi e Montefalco, caratterizzata da litotipi a bassa permeabilità.

A sud di Foligno e nel settore sudorientale della valle l'andamento della salinità indica due zone di minimo ricollegabili alla alimentazione sotterranea da parte dei rilievi carbonatici.

La sovrapposizione dell'informazione geochimica con quella idrogeologica ha portato alla individuazione di cinque sottogruppi di acque con specifiche caratteristiche idrochimiche.

Le acque a carattere bicarbonato alcalino terroso, caratterizzate da condizioni ossidanti, vengono distinte in tre sottogruppi: A1 presente nei depositi del Chiascio, A2 nei depositi della paleo-conoide del Fiume Topino, e A3 nei depositi del fiume Marroggia a nord di Spoleto.

Le acque con arricchimento in alcalini ed evidenze di condizioni riducenti, vengono distinte in due sottogruppi: B1 caratteristico della parte settentrionale dell'acquifero di Cannara e B2 della zona sudoccidentale della valle tra Trevi e Montefalco.

Lo studio delle variazioni chimiche nell'arco del periodo 1985-89, è basato sull'andamento dei valori medi nei campioni prelevati nei cinque settori individuati e dei valori medi totali di alcuni parametri significativi (salinità, nitrati, cloro). Il quinquennio si è concluso con un periodo di siccità. La riduzione dell'alimentazione meteorica influenza fortemente l'evoluzione chimica in particolare nei settori in cui rappresenta la principale componente della ricarica dell'acquifero.

La salinità media presenta, nel quinquennio, un trend positivo sia se si considera la media totale sia le medie per sottogruppo.

Per i nitrati il trend positivo è ben visibile sia nei tre sottogruppi A che nel sottogruppo B2.

Per il cloro si osserva un costante aumento dei tenori nelle acque dei depositi del Chiascio (A1), della parte settentrionale dell'acquifero di Cannara (B1) e della zona sudoccidentale della valle (B2). Rimangono invece costanti per le acque della paleo-conoide del Fiume Topino (A2), e dei depositi del fiume Marroggia (A3).

3.5.2.4 Scambi con il reticolo idrografico e con gli acquiferi contigui

Lungo il versante orientale della Valle Umbra, centrale e meridionale, l'acquifero alluvionale viene alimentato dall'acquifero carbonatico attraverso le fasce detritiche pedemontane. Le zone dove l'alimentazione è maggiore sono il settore all'altezza di Foligno e quello tra Campello e Spoleto.

Tale ricarica, stimata complessivamente in circa $2.5 \text{ m}^3/\text{s}$, costituisce la componente più importante dell'alimentazione di questi settori dell'acquifero.

Alle Fonti del Clitunno, a sud di Trevi, si ha una importante emergenza sorgentizia di acque riferite alla falda di base delle strutture carbonatiche.

Lungo il versante occidentale l'acquifero alluvionale viene alimentato solo in corrispondenza delle conoidi conglomeratiche. Si tratta di una alimentazione poco significativa stimata nel complesso in circa $0.7 \text{ m}^3/\text{s}$.

Le relazioni tra le falde e le acque superficiali sono abbastanza ben definite.

Nel settore settentrionale della Valle Umbra, il F. Chiascio ricarica l'acquifero di Petrignano d'Assisi nel tratto tra l'ingresso in valle e l'abitato di Bastia, con volumi stimati in 200-400 l/s, mentre nel suo tratto di valle si hanno condizioni di equilibrio o di alimentazione del fiume da parte della falda.

Nella parte centrale della valle, il sistema del F. Topino alimenta in modo significativo la falda al suo ingresso nella valle. Nel tratto finale, nella zona dell'artesiano di Cannara, i rapporti falda-fiume si invertono.

Nel settore meridionale non si evidenziano collegamenti tra il sistema Marroggia-Clitunno-Teverone e l'acquifero alluvionale. Il reticolo idrografico è in gran parte canalizzato e scorre a quote superiori al piano campagna. Solamente il torrente Marroggia nel suo tratto iniziale ha un ruolo di ricarica della falda, più a valle, nel tratto prospiciente le estese conoidi orientali, il rapporto si inverte.

3.6 Conca Ternana

3.6.1 Studi

I dati idrogeologici ed idrochimici pregressi relativi alla Conca Ternana, sono stati raccolti dal Servizio Idrografico dello Stato, in collaborazione con il Servizio Geologico d'Italia, il Comune di Narni, il Comune di Sangemini, la Regione dell'Umbria, il Compartimento ANAS di Perugia, l'ASM Terni, il Consorzio Idrico dell'Amerino e la Comunità Montana di Terni.

Ulteriori dati sono contenuti nel volume "Le acque sotterranee in Umbria" (AA.VV., 1991).

Tra febbraio '92 e giugno '93, l'Unità Operativa 4.11 del GNDCI-CNR facente capo alla Regione dell'Umbria, in collaborazione con l'Azienda Servizi Municipalizzati di Terni e con l'Università degli Studi di Perugia, ha effettuato studi idrogeologici e idrogeochimici nella Conca, nell'ambito delle ricerche sulla conoscenza degli acquiferi alluvionali regionali e definizione della loro vulnerabilità all'inquinamento e stato di conservazione (progetto VAZAR).

Nel febbraio '92 è stato attivato un reticolo di monitoraggio di 321 punti, su una superficie di circa 130 km^2 . Questo progetto ha interessato la piana alluvionale del F. Nera, la fascia pedemontana dei M. Martani tra Terni e Sangemini ed i rilievi collinari tra Sangemini e Narni e tra Narni e Terni.

In seguito il reticolo è stato ridotto a 101 punti, corrispondenti a pozzi, sorgenti, sezioni d'alveo del reticolo idrografico e laghi di falda. Su questi, tra giugno e novembre del 1992, sono state effettuate due campagne di campionamento e tre campagne freatiche. Sui campioni sono stati determinati 30 parametri chimico-fisici tra elementi principali, specie azotate, elementi minori e metalli pesanti.

Per ogni punto del reticolo è stata inoltre redatta una scheda monografica.

Nello stesso periodo sono state eseguite prospezioni geofisiche mediante SEV, prospezioni stratigrafiche, carotaggi con prove infiltrometriche nei suoli della piana e test idrodinamici sui principali pozzi idropotabili.

Nell'ambito dello stesso progetto è stato condotto uno studio, al fine di definire l'interazione tra la falda alluvionale ed il Fiume Nera.

Con i dati raccolti è stata elaborata la Carta della Vulnerabilità all'inquinamento degli acquiferi della Conca Ternana ed è stata redatta una monografia (AA.VV., 1994).

3.6.2 Quadro conoscitivo derivante

3.6.2.1 Caratteristiche dell'acquifero

La Conca Ternana ha un'estensione di circa 100 chilometri quadrati. La morfologia dell'area è caratterizzata da una zona alluvionale pianeggiante centrale e da una fascia al contorno a debole acclività. Questa fa da raccordo ai rilievi calcarei che bordano per gran parte la depressione.

Il Fiume Nera rappresenta l'asta fluviale principale e attraversa la Conca da est verso sud ovest.

La piana alluvionale può essere suddivisa in diversi settori, in base allo spessore delle alluvioni, alla natura della copertura e al tipo di substrato.

Nel settore orientale, all'altezza di Terni, è presente una copertura sabbiosa e limosa di circa 10 metri di spessore. Al di sotto si rinvengono ghiaie di circa 30 m di spessore, che si assottigliano procedendo verso est. Le ghiaie poggiano su un'alternanza di terreni conglomeratici e terreni limo-argillosi consolidati che raggiungono 120-130 m di profondità dal piano campagna e vengono interpretati come paleo-conoide del Nera. A questa profondità si rinvengono i calcari rosati della Scaglia che costituiscono il substrato roccioso. Potenzialmente siamo in presenza di 3 livelli acquiferi ospitati, il più superficiale nei depositi alluvionali, il secondo nei terreni conglomeratici, ed il più profondo nel substrato calcareo della Scaglia.

Nella parte occidentale di questo settore, nei pressi di Cospea, i depositi conglomeratici della paleo-conoide si interdigitano ai terreni fini dei depositi fluvio-lacustri (argille).

Un altro settore si trova a sud della città di Terni. E' caratterizzato dalla presenza di alluvioni terrazzate

(terrazzo delle Grazie) costituito da sabbie, limi sabbiosi e limi argillosi che raggiungono circa 120 m di profondità e poggiano su conglomerati.

Nella parte centrale della Conca, la copertura, costituita essenzialmente da sabbie, non è arealmente continua e, dove è presente, è caratterizzata da un ridotto spessore. Al di sotto si trovano ghiaie con spessori superiori a 30 m, che tendono a diminuire nei pressi di Colleluna. Al loro interno, nell'area compresa tra Maratta e Cerasola, si rinviene un livello argilloso abbastanza continuo, il cui spessore varia tra 3 e 6 metri. In questo settore, al di sotto delle ghiaie, si rinvengono terreni limo-argillosi.

Lungo le zone marginali della Conca, la copertura è costituita da livelli prevalentemente limo-sabbiosi di tipo eluviale, di spessore ridotto.

Nella parte settentrionale della Conca lo spessore delle alluvioni è compreso tra 10 e 15 m. La loro natura varia da fine, ad ovest, a ghiaiosa nella parte centrale. A nord si interdigitano con il detrito di falda della fascia pedemontana dei monti Martani. In questo settore il substrato è costituito da terreni fluvio-lacustri prevalentemente fini.

La parte occidentale della piana può essere suddivisa in due distinti settori. Il primo che è caratterizzato dalla presenza dei depositi ghiaiosi del fiume Nera (spessore inferiore a 20 m). Il secondo, localizzato in destra idrografica del fiume, è rappresentato dalla conoide del torrente Caldaro, costituita prevalentemente da depositi argillosi terrazzati con spessore inferiore a 10 m poggianti sulle alluvioni del Nera. In tutto il settore occidentale della piana, il substrato è costituito dai depositi fluvio-lacustri argillosi.

Il detrito di falda è localizzato nella parte settentrionale della Conca Ternana, nella fascia pedemontana dei Monti Martani. Lo spessore della coltre detritica è superiore a 50 m, in prossimità della struttura calcarea, e diminuisce verso la piana, diventando molto esiguo. Al passaggio con le alluvioni, il detrito di falda è costituito prevalentemente da terre rosse e ciottoli calcarei, a cui si associano livelli di ghiaie e sabbie, derivanti dal rimaneggiamento dei detriti in ambiente fluviale.

Il detrito poggia su litotipi fini e conglomeratici fluvio-lacustri, all'interno dei quali si rinvengono consistenti banchi travertinosi. Nella fascia meridionale del detrito è stato riscontrato un deposito di travertino con spessore di circa 30 m sede di un acquifero confinato.

Procedendo verso sud, il detrito di falda scompare e, sotto un ridotto spessore di depositi limo-sabbiosi, si rinvengono i terreni fluvio lacustri. Il substrato è costituito essenzialmente da argille.

Il detrito non è sede di un acquifero significativo; la falda principale è invece ospitata nei travertini sottostanti. Pertanto il ruolo principale delle coltri detritiche è consentire l'infiltrazione in falda degli afflussi meteorici.

Fatta eccezione per l'area di affioramento dei detriti, l'area valliva è circondata da colline in cui affiorano i depositi fluvio lacustri.

Nella zona di Sangemini e al margine orientale della Conca affiorano depositi in facies conglomeratica. Depositi prevalentemente in facies argillo-sabbiosa affiorano in tutto il margine meridionale e in quello settentrionale nella zona a ovest della struttura dei monti Martani. Al margine nord occidentale sono invece presenti depositi in facies argillosa.

3.6.2.2 Piezometrie

Le misure freatiche eseguite nel febbraio del '92 hanno permesso di definire l'andamento della superficie piezometrica e le variazioni dello spessore del non saturo, di individuare le principali linee di flusso e di effettuare una differenziazione areale della Conca, sulla base dei gradienti idraulici.

Sono stati così individuati tre distinti settori: la piana alluvionale del Nera, la fascia pedemontana dei Martani e le zone collinari occidentale e meridionale.

Il primo settore è caratterizzato da bassi gradienti idraulici. Il flusso principale è diretto da est ad ovest e il non saturo decresce lungo la stessa direttrice. Il livello di falda passa da 25 m di profondità dal piano campagna, nella parte orientale della Conca, a meno di 5 m in quella occidentale. Fa eccezione la conoide del torrente Caldaro, dove il non saturo supera 10 m di spessore.

Nel secondo settore i gradienti idraulici sono superiori in particolare nella zona orientale. Lo spessore del non saturo decresce da nord verso sud.

Il terzo settore, infine, è caratterizzato da gradienti idraulici medio-elevati. Lo spessore del non saturo varia in funzione della stratigrafia locale: risulta esiguo in presenza di piccole falde confinate in terreni argillosi, che determinano condizioni di risalienza, considerevolmente maggiore in presenza di litotipi conglomeratici.

I dati freatiche raccolti durante le campagne successive, hanno rilevato ridotte oscillazioni della superficie piezometrica; locali differenze sono riconducibili alle variazioni dell'intensità dei prelievi dei principali campi pozzi ad uso idropotabile ed industriale.

L'elaborazione dei dati freatiche storici raccolti dal Servizio Idrografico e Mareografico di Roma nel periodo 1955-1992 ha evidenziato l'assenza di trend evolutivi dei livelli di falda, ma la presenza di variazioni cicliche pluriennali.

3.6.2.3 Idrochimica

Sulla base dei dati relativi ai monitoraggi effettuati nel periodo 1992-1993, le acque si differenziano in tre

gruppi idrochimici principali.

Il primo, al quale appartiene la quasi totalità dei campioni prelevati a ridosso dei rilievi calcarei, è caratterizzato da una composizione bicarbonato alcalino-terrosa, con basse concentrazioni in magnesio e salinità medio-bassa, compresa tra 8 e 20 meq/l.

Il secondo gruppo, costituito dai campioni prelevati nella piana alluvionale e nelle acque superficiali, presenta composizione bicarbonato alcalino-terrosa, salinità poco variabile e compresa tra 10 e 16 meq/l.

Il terzo gruppo, al quale appartengono i campioni prelevati nella fascia collinare fluvio lacustre e in alcuni corsi d'acqua della parte occidentale della Conca, è bicarbonato solfato-cloruratico. La salinità è medio-alta e varia tra 20 e 40 meq/l. Questo gruppo è rappresentativo di un sistema molto differenziato, caratterizzato da lunghi tempi di residenza e arricchimento in contenuto salino.

L'andamento della durezza totale mostra che i valori massimi (superiori a 50°F) si rilevano nelle acque circolanti all'interno dei rilievi collinari e che nella zona pedemontana dei Martani si ha un graduale incremento procedendo verso valle.

Per quanto riguarda le specie azotate, circa il 30 % dei pozzi campionati presenta tenori in nitrati superiori a 50 mg/l e circa lo stesso numero di punti, è caratterizzato da concentrazioni in nitriti ed ammoniaca superiori al limite.

I valori più elevati di concentrazione in nitrati si registrano nell'area dei rilievi collinari meridionali, nella zona del detrito nei pressi di Colleluna e nell'area della conoide T. Caldaro. Per tutte queste aree è ipotizzabile che gli elevati tenori in nitrati siano dovuti alla bassa permeabilità dei depositi che favorisce la concentrazione degli inquinanti immessi in falda. Analogamente i valori più bassi nella zona di interazione con il fiume Nera vengono spiegate, non tanto come minore immissione di inquinante, ma come effetto della sua diluizione.

Anche i massimi di ammoniaca si osservano nell'area di affioramento dei depositi fluvio-lacustri.

Frequentemente è stata riscontrata la presenza contemporanea delle tre specie azotate e in vari casi, elevate concentrazioni di nitriti non risultano associate a presenza di ammoniaca. Le condizioni redox dell'acquifero sono il fattore determinante la speciazione dell'azoto. Informazioni al proposito vengono fornite dalla carta dell'andamento dell'Ossigeno Disciolto dove si osserva che i minimi (indicatore di condizioni riducenti) sono localizzati nelle aree di affioramento dei depositi fluvio lacustri in facies argillosa.

3.6.2.4 Scambi con il reticolo idrografico e con gli acquiferi contigui

Informazioni fornite dagli indicatori idrochimici e dai gradienti piezometrici, hanno permesso di definire i rapporti tra l'acquifero alluvionale e gli acquiferi marginali.

Lungo il margine meridionale della Conca, la falda alluvionale viene alimentata dalla falda contenuta nei depositi fluvio-lacustri sabbioso argillosi che costituiscono i rilievi collinari.

Lungo il margine occidentale e settentrionale, invece, la prevalenza di litotipi essenzialmente argillosi impedisce qualunque scambio idrico per lunghi tratti.

Gli scambi sono limitati anche lungo la fascia pedemontana detritica dove non si hanno evidenze di ricariche sotterranee consistenti né tra la struttura calcarea e la fascia detritica né tra questa e la piana alluvionale.

L'acquifero ospitato nei travertini al di sotto del detrito, è in condizioni confinate e la sua alimentazione è prevalentemente verticale.

Per quanto riguarda i rapporti con il reticolo idrografico, si evidenzia l'alimentazione alla falda alluvionale da parte di alcuni corsi d'acqua secondari: il Torrente Serra, nel tratto a valle del suo ingresso nella valle al suo margine nord-orientale, il Fosso Tarquinio, a nord, il Torrente Caldaro e il Torrente dell'Aia, affluenti del Nera rispettivamente in destra e sinistra, al margine occidentale della Conca.

Per studiare i rapporti idraulici tra la falda alluvionale e il fiume Nera sono state realizzate una serie di sezioni idrogeologiche lungo il corso del fiume. Da questa ricostruzione è emerso che nei pressi di Terni la falda è vari metri al di sotto del livello del fiume. A partire dall'area di presa del Canale Recentino, fin oltre metà della piana, si ha contatto idraulico in sinistra idrografica, mentre in destra la falda è ribassata di almeno 2-3 metri. Nella zona di Narni Scalo le differenze di quota diventano minime, inferiori al metro, indice di un equilibrio falda-fiume. È stato stimato che il Fiume Nera alimenta la falda per almeno 1000 l/s. Questa alimentazione consente un importante ricambio delle acque di falda, i cui tempi di residenza piuttosto ridotti. Allontanandosi dal corso del fiume, i tempi crescono gradualmente.

3.7 Acquiferi carbonatici

3.7.1 Studi

Alla fine degli anni ottanta la Regione dell'Umbria ha completato il quadro delle conoscenze sulle risorse idriche sotterranee, promuovendo una serie di studi sui principali massicci carbonatici nell'ambito della definizione del Piano ottimale di utilizzazione delle risorse idriche (Regione dell'Umbria, 1989). Le indagini hanno previsto uno studio geologico generale, uno studio idrogeologico, l'analisi delle fratture mediante

fotointerpretazione, uno studio geomorfologico e climatico e indagini dirette di campagna per l'acquisizione di dati idrogeologici e idrochimici. Sono stati raccolti tutti i dati sulle sorgenti calcaree disponibili presso i vari Enti e altri soggetti gestori dei servizi acquedottistici. In base ai risultati delle elaborazioni di questi dati, sono state selezionate 50 sezioni di misura lungo i principali corsi d'acqua drenanti i massicci calcarei e 25 sorgenti puntuali. Su questi punti nel periodo luglio 1988 - gennaio 1989 sono state effettuate mensilmente misure di portata e determinazioni chimico-fisiche di campagna (pH, temperatura, conducibilità elettrica) e due campionamenti per analisi chimiche di laboratorio (residuo fisso a 180 °C, nitrati, cloruri, solfati, bicarbonati, silice, litio, sodio, potassio, calcio, magnesio).

3.7.2 Quadro conoscitivo derivante

3.7.2.1 Caratteristiche degli acquiferi

I principali rilievi carbonatici sono rappresentati dalle dorsali montuose che occupano la parte orientale e meridionale della regione. Caratterizzano, a sud, l'intera Valnerina fino al monte Vettore e si diramano, a ovest, nelle dorsali dei Monti Martani e dei monti di Narni e di Amelia. Strutture carbonatiche minori sono rappresentati da massicci isolati di limitata estensione che si elevano nella parte settentrionale e centro occidentale della regione: i Monti di Gubbio, la struttura di Monte Malbe-Monte Tezio e il Monte Subasio.

Ad ovest, i rilievi carbonatici si estendono con continuità sia nelle Marche che nel Lazio settentrionale e costituiscono il dominio geologico umbro-marchigiano-sabino.

L'attuale assetto tettonico delle dorsali è il prodotto di un complesso processo evolutivo che si è sviluppato prima, durante e dopo la sedimentazione della serie Umbro Marchigiana (Miocene-Pliocene) e che ha prodotto una fratturazione omogenea, di elevata densità (da 2.5 a 4 Km di fratturazione per Km²), estesa a tutti gli affioramenti calcarei. Risultano ben individuabili due direzioni preferenziali di fratturazione, una orientata NNW-SSE e l'altra ENE-WSW.

Le rocce carbonatiche assumono, di conseguenza, un'elevata capacità di assorbimento delle acque meteoriche ed una netta predisposizione al carsismo, che si accentua dove le condizioni morfologiche e strutturali ne favoriscono lo sviluppo. Questo si verifica in particolare nella Valnerina e nel settore meridionale del sistema Spoleto-Scheggia. La presenza di questo fenomeno è testimoniata da caratteristiche forme epidermiche quali doline, uvala ed inghiottitoi.

A grande scala la distribuzione della fratturazione risulta uniforme. Da questo deriva che anche la distribuzione della permeabilità sia sostanzialmente omogenea. Non è stata identificata, alcuna direttrice tettonica regionale che possa favorire il flusso delle acque sotterranee lungo vie preferenziali.

Tali caratteristiche fanno sì che i rilievi carbonatici costituiscono sia buone aree di infiltrazione delle precipitazioni sia potenziali serbatoi di acque sotterranee.

In considerazione delle caratteristiche litologiche e strutturali, vengono distinti più complessi idrogeologici sede di importanti acquiferi localmente in contatto idraulico tra loro.

Il primo complesso, costituito dalla serie carbonatica stratificata, è costituito prevalentemente da calcari micritici, calcari marnosi stratificati e calcareniti, al suo interno comprende livelli marnoso-argillosi poco permeabile e potenti fino ad alcune decine di metri, che condizionano notevolmente le caratteristiche idrogeologiche del complesso. Lo spessore del complesso è molto variabile, da 250 m nella serie completa, alla totale assenza, in quella ridotta.

Questi calcari, fessurati e carsificati, assorbono tra 400 e 700 mm/anno per precipitazioni variabili tra 800 e 1.300 mm. Sono sede di acquiferi estesi e articolati che alimentano sorgenti localizzate e lineari. Le intercalazioni meno permeabili distinguono più falde variamente interconnesse e influenzano la circolazione idrica sotterranea.

Il secondo complesso è rappresentato da una formazione calcarea massiva più antica costituita da calcari micritici e granulari in grosse bancate, passanti localmente a calcari dolomitici e dolomie. Affiora generalmente al nucleo delle anticlinali, dove si presenta intensamente fessurato e carsificato con spessore variabile tra 500 e 800 m, privo di intercalazioni pelitiche e molto fessurato. La sua capacità di assorbimento delle acque meteoriche viene stimata superiore a 600 mm/anno, per precipitazioni medie di 1.100 mm/anno. Questo costituisce un serbatoio continuo, di enorme potenzialità, esteso alla base della serie carbonatica stratificata.

Al di sotto della serie carbonatica, il substrato evaporitico triassico è ricco di solfati e cloruri. Questi vengono lisciviati da acque di circolazione profonda, che risalgono verso la superficie lungo le principali linee tettoniche e si mescolano con le acque del ciclo più epidermico. Tale fenomeno, particolarmente sviluppato nel settore Sud-occidentale, rende inutilizzabili per l'uso potabile gran parte delle risorse idriche sotterranee della regione.

Arealmente gli affioramenti carbonatici sono stati suddivisi in sette strutture idrogeologiche distinte:

- Struttura "A" - Sistema della Valnerina;
- Struttura "B" - Sistema dell'Umbria Nord-orientale (Spoleto- Scheggia);
- Struttura "C" - Sistema dei Monti Martani;

- Struttura "D" - Sistema dei Monti di Amelia e di Narni;
- Struttura "E" - Unità del Monte Subasio;
- Struttura "F" - Unità del Monte Malbe - Monte Tezio;
- Struttura "G" - Unità dei Monti di Gubbio.

Il sistema della Valnerina (A) è la più estesa ed imponente struttura idrogeologica dell'Umbria. Si sviluppa tra la linea tettonica Ancona-Anzio e quella della Valnerina. La sua superficie in territorio umbro è di circa 1.100 km² ma la struttura ha una notevole estensione anche al di fuori dei confini regionali.

L'intera dorsale è prevalentemente costituita da strutture carbonatiche, interessate da una tettonica complessa. Queste costituiscono sia il serbatoio che le aree di ricarica delle acque sotterranee. Il sistema è idraulicamente chiuso a SE dal sovrascorrimento della serie mesozoica umbra sui depositi torbiditici della Laga. Nella zona di Triponzo, una faglia diretta ha fatto sì che il substrato triassico arrivasse molto vicino alla superficie topografica. In questo settore si è sviluppata un'intensa attività idrotermale che ha dato origine a potenti depositi di travertino.

Il sistema idrogeologico dell'Umbria Nord-Orientale (B), ha una superficie in territorio umbro di circa 700 Km². A ovest, il sistema è limitato da un motivo tettonico distensivo nella parte meridionale e dal passaggio stratigrafico a terreni a bassa permeabilità in quella settentrionale. A est, invece, si estende ben al di fuori dei limiti territoriali regionali dove è delimitato dal passaggio stratigrafico a terreni meno permeabili. Al suo interno si rinviene un sistema di faglie trasversali.

All'interno della dorsale, la presenza di livelli a bassa permeabilità e giacitura sub-verticale, sebbene interessati da un reticolo di faglie, ostacolano il flusso delle acque sotterranee verso la periferia del sistema, contribuendo a mantenere elevati i potenziali degli acquiferi.

La struttura idrogeologica dei Monti Martani (C) si estende per una superficie di circa 200 Km². E' una emianticlinale a nucleo triassico che, verso est, evolve in una larga sinclinale a nucleo miocenico.

Il sistema è idraulicamente chiuso nel settore nord orientale dal passaggio stratigrafico a terreni a bassa permeabilità, mentre lungo il margine sud-occidentale è delimitato da un sistema tettonico distensivo.

Al margine del sistema sono presenti potenti depositi di travertino intercalati a depositi lacustri, che poggiano sulla struttura a quote superiori a 300 m.

La struttura è priva di sorgenti con portate significative. Il livello di saturazione del serbatoio carbonatico si colloca al di sotto dei 200 metri dal piano campagna. L'acquifero principale, che satura il nucleo della struttura, è caratterizzato da acque naturalmente scadenti per eccessiva mineralizzazione. Presumibilmente, l'acquifero drena a sud-ovest verso un livello di base posto nella struttura dei Monti di Narni e di Amelia, alimentando le grandi sorgenti delle gole del Nera.

Il sistema idrogeologico dei monti di Narni e Amelia (D) è rappresentato da una dorsale carbonatica che si estende su una superficie in territorio umbro di circa 240 Km². La dorsale si estende e prosegue a SE nel Lazio, dove si raccorda con la struttura dei Monti Sabini.

Il sistema, caratterizzato da estesi affioramenti di Calcere Massiccio, costituisce un'estesa area di infiltrazione ed immagazzinamento di risorse idriche. Al nucleo della struttura si rinvengono i terreni della serie carbonatica umbra di età triassica. Il settore umbro della struttura è quasi interamente circondato da depositi plio-pleistocenici.

Il limite di permeabilità che delimita la struttura carbonatica si rinviene a quote variabili tra 300 e 400 metri, fatta eccezione per la zona di Narni, dove si abbassa fino a 75 metri slm. Qui il Nera solca trasversalmente la struttura carbonatica, incidendo profonde gole (Gole del Nera) che assumono il ruolo di livello di base regionale. In esse si riversano nell'alveo del fiume almeno 13 m³/s di acqua, erogata da un insieme di sorgenti localizzate e lineari (sorgenti di Stifone-Montoro). Tale portata sarebbe un patrimonio idrico prezioso se la qualità dell'acqua fosse buona. Purtroppo le acque di tali emergenze sono caratterizzate da mineralizzazione molto elevata (2-3 grammi per litro).

L'Unità del Monte Subasio (E), si estende su una superficie di 48 Km². E' costituita da litotipi carbonatici mesozoici; lungo il margine nord-orientale è delimitata dal passaggio stratigrafico a depositi terrigeni a bassa permeabilità, mentre, lungo il margine sud-occidentale, è delimitata da una faglia diretta. La struttura, certamente saturata da un acquifero di fondo, è priva di sorgenti con portate significative, sia all'interno che lungo i margini.

Il sistema Monte Malbe-Monte Tezio (F) ha una superficie complessiva di circa 60 Km². E' costituito da frammenti di una serie carbonatica sensibilmente diversa da quella tipica umbra. E' stato accertato che le dorsali sono formate da scaglie tettoniche sradicate dal loro substrato.

Il Monte Malbe è formato prevalentemente da sedimenti carbonatici triassici e cretaci, circondati da depositi terrigeni. E' probabile che la struttura carbonatica sia saturata da un acquifero di fondo, sebbene, sia al suo interno che alla periferia, non si rinvengano sorgenti con portate significative.

Le strutture di Monte Tezio e Monte Acuto sono prevalentemente costituite da litotipi carbonatici del Cretacico e sono delimitate da depositi terrigeni. Anche in questo caso, non si hanno sorgenti significative.

Il sistema dei Monti di Gubbio (G) è una piccola struttura carbonatica che si estende per circa 15 Km². La dorsale è costituita da un'anticlinale rovescia, all'interno della quale si rinvencono litotipi calcarei e calcareo-marnosi. La struttura è delimitata, lungo il margine occidentale, da una faglia diretta e lungo quello orientale, da formazioni a bassa permeabilità. La catena dei monti di Gubbio costituisce un'interessante area di infiltrazione di risorse idriche. All'interno della sequenza carbonatica sono presenti più acquiferi localmente in contatto idraulico tra loro che alimentano la coltre detritica. Sono stati individuati quattro sottobacini sotterranei aventi circolazione parzialmente o completamente separata: un sottobacino settentrionale che riversa le sue acque nella valle dell'Assino e alimenta i pozzi Mocaiana nel Comune di Gubbio; un sottobacino che va dal Monte Foce al Monte Casamorcia, che alimenta l'area delle ex sorgenti di Raggio (circa 100 l/s) e dei pozzi Casamorcia a S. Donato; due sottobacini meridionali di minor estensione, che non hanno prelievi diretti e due sole restituzioni sorgentizie e che, probabilmente, alimentano la fascia detritica prospiciente. Sorgenti con portate significative, se pur poco consistenti (pochi l/s), sono Bottaccione, Suelle e S. Marco.

3.7.2.2 Idrochimica

Le acque delle principali sorgenti carbonatiche sono state analizzate al fine di definire la tipologia degli acquiferi, le principali modalità di circolazione e la qualità delle acque.

Sono stati individuati quattro idrotipi:

- Il primo, bicarbonato calcico, a bassa salinità ($S < 10$ meq/l) tipico di acquiferi superficiali delle strutture idrogeologiche "A", "B", "C" e "G".
- Il secondo idrotipo, bicarbonato calcico, a salinità media ($10 < S < 25$) che indica una circolazione meno superficiale, all'interno delle stesse strutture.
- Il terzo, solfato-calcico a salinità media, rilevato nei sistemi A", "B" ed "E", indice di circolazione profonda.
- Il quarto solfato-clorurato alcalino, con elevato contenuto salino ($S > 25$ meq/l), rilevato nel sistema dei monti di Narni e Amelia, che indica una circolazione profonda.

Lo ione nitrato, elemento guida dei fenomeni di inquinamento, è stato rilevato in concentrazioni sempre inferiori a 30 mg/l.

La qualità delle acque è risultata generalmente buona in tutto il sistema della Valnerina (A). Gli studi idrochimici hanno messo in evidenza un'anomalia geochemica all'altezza di Triponzo sul Nera, nel basso Corno. Nelle acque del fiume si registra, infatti, un netto incremento della salinità totale, dovuto principalmente all'aumento del tenore in solfati. Questo incremento è in evidente relazione con l'intensa attività idrotermale presente nella zona, dove è localizzata una sorgente che eroga circa 20 l/s di acqua a 30°C, con salinità di 1.300 mg/l.

La qualità delle acque del sistema idrogeologico dell'Umbria nord-orientale (B), è generalmente molto buona, come rivela il chimismo di sorgenti quali Scirca (Monte Cucco), alimentata da un reticolo carsico molto sviluppato e Alzabove (Foligno), alimentata, invece, da un reticolo epidermico. Fanno eccezione alcune sorgenti le cui acque sono caratterizzate da maggiore salinità e elevato contenuto in solfati, indizio di una circolazione profonda che interessa anche il substrato triassico: la sorgente del Clitunno, localizzata nel settore occidentale del sistema, le cui acque sono caratterizzate da un contenuto in solfati superiore a 200 mg/l e da salinità totale pari a 730 mg/l, e la sorgente Rasiglia (Monti di Foligno) con salinità totale pari a 500 mg/l ed tenore in solfati di circa a 150 mg/l.

L'acquifero che satura la struttura dei Monti Martani (C) è caratterizzato da acque mineralizzate con alti tenori in solfati, dovuti all'intensa attività idrotermale del passato. Lungo i margini settentrionale ed orientale, le acque intercettate dalle perforazioni profonde hanno mostrato livelli di falda con chimismo di tipo bicarbonato calcico a bassa salinità.

Le acque delle sorgenti dell'acquifero del sistema dei monti di Narni e Amelia (D), sono caratterizzate da una mineralizzazione molto elevata, che raggiunge anche 3 grammi per litro. In alcuni settori, tuttavia, si registrano condizioni più favorevoli. Ad esempio nel settore settentrionale della struttura, presso il Lago di Corbara, è stato intercettato un acquifero con buone caratteristiche chimiche delle acque.

3.7.2.3 Scambi con il reticolo idrografico e con gli acquiferi contigui

Il sistema della Valnerina, entro i confini regionali, alimenta emergenze per una portata complessiva di circa 15.3 m³/s (periodo di magra). A queste si aggiungono quelle presenti a monte del limite regionale, per circa 4.000 l/s, e quelle provenienti dalla valle del Vigi (circa 1.500 l/s).

Gran parte di queste acque vengono drenate dal fiume Nera, corso d'acqua principale della valle e livello di base del sistema. Anche il sistema idrografico Corno-Sordo, suo principale affluente, riceve una alimentazione sotterranea per portate notevoli. Oltre alle emergenze in alveo, nella struttura della Valnerina,

si trovano numerose emergenze puntuali, che erogano complessivamente alcune centinaia di litri al secondo.

Nel sistema idrogeologico dell'Umbria Nord-Orientale, le principali emergenze lungo il versante della Valnerina sono localizzate nell'alto corso del Vigi, per una portata delle emergenze variabile tra 1.000 e 1.500 l/s e nel T.Argentina, suo affluente, dove è stata misurata una portata variabile tra 300 e 600 l/s.

Nel settore occidentale, si hanno importanti emergenze sia lineari che puntuali che alimentano, qualora non captate, il reticolo idrografico del bacino del Topino e del Chiascio.

Nell'alto Chiascio, sul versante occidentale del Monte Cucco, importante è la sorgente Scirca che rilascia 80-200 l/s. Portate minori sono presentate dalle sorgenti Vaccara e Rumore poste più a sud.

Nel bacino del Topino, le sorgenti lineari rilasciano complessivamente circa 1.500 l/s nell'alto Topino, nell'alto Menotre e nel Clitunno.

Lungo la dorsale si hanno importanti sorgenti puntuali: nell'Alto corso del fiume Menotre sono localizzate le grandi sorgenti di Rasiglia (portata media 600 l/s) e Alzabove (portata 150 l/s), nell'Alto corso del Topino le sorgenti San Giovenale (portata di 300 l/s) e Bagnara

Nel bacino del torrente Sentino, entro i limiti regionali, è stato verificato un incremento delle portate in alveo del torrente variabile tra 150 e 300 l/s.

Infine, il sistema dell'Umbria Nord-Orientale alimenta lungo il suo margine occidentale gli acquiferi sotterranei della Valle Umbra nel settore compreso tra Foligno e Spoleto.

La struttura dei monti Martani drena a Sud-Ovest, verso un livello di base posto all'esterno del sistema, riconoscibile nelle grandi sorgenti delle gole del Nera, presso Narni, a quote variabili tra 70 e 90 m s.l.m.

La risorsa idrica del Monte Subasio alimenta gli acquiferi sotterranei della Valle Umbra, attraverso il margine occidentale del rilievo. Il deflusso avviene lungo due direttrici ubicate nei settori meridionale e settentrionale.

Il sistema idrogeologico dei monti di Gubbio alimenta l'acquifero contenuto nei depositi vallivi della Conca Eugubina, lungo tutto il bordo occidentale della struttura attraverso la fascia detritica pedemontana.

3.8 Acquifero vulcanico

3.8.1 Studi

Il più importante sistema acquifero vulcanico presente nel territorio regionale è quello relativo all'apparato vulcanico dei Vulsini, che si estende nel settore sud-occidentale della regione.

Il principale studio idrogeologico di questa area è quello realizzato all'inizio degli anni 90 dalla Regione dell'Umbria nell'ambito del Piano ottimale di utilizzazione delle risorse idriche della regione "Indagini geoidrologiche preliminari - Area vulcanica di Orvieto"

Successivamente alla redazione di tale studio sono state realizzate 3 perforazioni esplorative produttive, che hanno permesso di definire meglio le caratteristiche e le potenzialità dell'acquifero vulcanico.

Attualmente (anni 2004-2005) è in corso il progetto "Realizzazione di perforazioni esplorative-produttive e completamento dello studio geologico-idrogeologico dell'acquifero vulcanico nel territorio della Regione Umbria" finanziato nell'ambito degli interventi di Emergenza Idrica del periodo 2002-2004.

3.8.2 Quadro conoscitivo derivante

3.8.2.1 Caratteristiche degli acquiferi

Il complesso vulcanico vulsino interessa marginalmente la Regione Umbria nell'area compresa tra Orvieto, Castel Giorgio e Bolsena per una superficie di circa 500 chilometri quadrati. L'acquifero, contenuto nella coltre di depositi piroclastici e colate laviche, poggianti su un substrato costituito da sedimenti argillosi ed argillo-sabbiosi plio-pleistocenici, è caratterizzato da una classe di permeabilità d'insieme non elevata, con valori intorno a 1×10^{-4} m/s, e una buona capacità di immagazzinamento con valori medi di porosità efficace stimabili pari al 10 % del volume totale disponibile. Gli spessori dell'acquifero sono pari ad alcune decine di metri nel settore orientale, mentre superano i 250 m nell'area occidentale. L'andamento morfologico del tetto del substrato delle vulcaniti presenta le massime quote nella parte settentrionale, in corrispondenza della terminazione degli affioramenti dell'apparato vulcanico, e si deprime più o meno regolarmente verso Ovest e verso Sud. La superficie piezometrica è soggiacente da alcune decine di metri fino a 100-150 metri dal piano campagna. Si individuano due linee di drenaggio principali una verso la Valle del Paglia e l'altra verso il Lago di Bolsena. Nei limiti regionali l'acquifero vulcanico alimenta sorgenti localizzate con una portata complessiva di circa 200-250 l/s e lineari per circa 100 l/s.

L'assetto idrogeologico è sintetizzabile con la presenza di una sequenza di depositi piroclastici e colate laviche, con permeabilità differenziate in funzione della porosità e grado di fatturazione, sovrapposta ad un basamento sedimentario prevalentemente costituito dai terreni argillosi plio-pleistocenici impermeabili. I depositi piroclastici sono caratterizzati da una permeabilità d'insieme mediamente più elevata rispetto alle colate laviche, che, ove presentano una struttura compatta, possono svolgere un ruolo locale di acquitardo rispetto alla circolazione idrica sotterranea.

Oltre gli studi già a disposizione tre perforazioni profonde, che hanno raggiunto il substrato impermeabile, realizzate dalla Regione dell'Umbria hanno permesso di dettagliare maggiormente la ricostruzione delle caratteristiche idrogeologiche dell'acquifero, evidenziando come i depositi vulcanici costituiscano una sequenza acquifera multistrato, con una prima falda generalmente di tipo freatico. Le trasmissività rilevate indicano valori compresi in un range abbastanza ampio tra i 300 e i 3000 mc/g, portate specifiche di 1-3 l/s per metro di abbassamento e un coefficiente di immagazzinamento medio di 0.001. Un'ulteriore perforazione realizzata nei primi mesi del 2005 nell'ambito del progetto regionale sopra citato, relativo agli interventi dell'Emergenza Idrica, ha permesso di stabilire i seguenti valori dei parametri idrodinamici: trasmissività di 2100 mc/g, una conducibilità idraulica di 3×10^{-4} e coefficiente di immagazzinamento intorno a 5×10^{-5} .

I quantitativi maggiori prelevati sono collegati all'utilizzo idropotabile e idrominerale delle sorgenti di Sugano e Tione, mentre il prelievo da pozzi per i diversi utilizzi risulta minimo ad esclusione di alcune captazioni per acquedotti pubblici.

Nell'ambito del "Piano ottimale di utilizzazione delle risorse idriche della regione" è stata valutata una disponibilità residua da destinare all'uso privilegiato idropotabile di circa 250 l/s, fatta salva la presenza, accertata in parte in alcuni pozzi, di significative concentrazioni di nitrati collegabili alla generalizzata alta vulnerabilità del sistema all'inquinamento. Sono inoltre attentamente da valutare possibili situazioni di elevata mineralizzazione delle acque, e/o la presenza di elementi indesiderabili dovuti alle condizioni naturali di circolazione profonda nei depositi vulcanici.

3.8.2.2 Piezometrie

Il quadro piezometrico più completo dell'area risulta essere quello effettuato nel recente progetto "Realizzazione di perforazioni esplorative-produttive e completamento dello studio geologico-idrogeologico dell'acquifero vulcanico nel territorio della Regione Umbria", con il quale tramite una campagna di rilevamento eseguita nel novembre 2004 su 122 punti d'acqua sono state tracciate le curve idroisipse della falda di base del settore umbro dell'acquifero vulcanico.

Gli elementi principali desumibili dall'andamento delle curve idroisipse sono i seguenti:

- le quote piezometriche sono situate intorno ai 450 m.s. l.m. all'altezza di Castel Giorgio, e decrescono al di sotto dei 300 m.s.l.m. in corrispondenza del bordo orientale della struttura
- lo spartiacque idrogeologico principale che separa i deflussi verso i limiti degli affioramenti del apparato vulsino (valle del F. Paglia), da quelli verso il lago di Bolsena e zone limitrofe, risulta essere ubicato nel settore centro meridionale dell'area a sud dell'allineamento Castel Giorgio – Porano
- nel settore settentrionale dell'area è presente un asse di deflusso principale che, dalla zona estrema occidentale dell'acquifero, si dirige verso le sorgenti posta in zona Sugano e Tione
- nell'area meridionale la circolazione idrica sotterranea è diretta verso il lago di Bolsena.

Le emergenze principali del deflusso idrico sotterraneo corrispondono alle sorgenti di Tione e Sugano, con portate medie complessive di 150-200 l/s, l'insieme delle sorgenti lineari hanno una portata valutabile in circa 100 l/s.

3.8.2.3 Idrochimica

Sulla base dell'analisi chimiche effettuate da ARPA nella campagna di rilevamento del 2003 è stata effettuata una classificazione delle acque sotterranee da cui sono emerse le seguenti risultanze:

- le acque sotterranee presenti nell'acquifero vulcanico vulsino ricadono nei tipi chimici bicarbonato alcaline e bicarbonato alcaline terrose
- la differente concentrazione degli ioni calcio e solfato da una parte, e gli ioni sodio e potassio dall'altra differenziano i due diversi idotipi, con lo ione fluoro che caratterizza in particolare l'evoluzione delle acque a maggiore contenuto di potassio
- sono state pertanto individuati i seguenti tipi chimici a trend evolutivo differenziato:
 - acque bicarbonato alcaline e alcalino terrose con trend evolutivo alcalino
 - acque bicarbonato alcaline e alcalino terrose con trend evolutivo alcalino terroso e solfatico
 - bicarbonato alcaline e alcalino terrose, con composizione intermedia rispetto alle precedenti, con trend evolutivo solfato-calcico e alcalino.

La conducibilità elettrica delle acque è compresa tra i 200 e i 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

4 MONITORAGGIO PERIODICO DEI PRINCIPALI ACQUIFERI

4.1 Il monitoraggio delle acque sotterranee

Nel 1998 nell'ambito del Progetto Interregionale PRISMAS è stata istituita la rete di monitoraggio in discreto dei principali corpi idrici sotterranei alluvionali e carbonatici della regione.

Su tale rete, nel periodo 1998-1999 sono state effettuate campagne di monitoraggio qualitativo e quantitativo a cadenza trimestrale.

Nel 1999 esce il decreto legislativo 152/99 che prevede l'individuazione dei corpi idrici sotterranei significativi e l'attivazione su di essi di un monitoraggio semestrale ai fini della definizione degli obiettivi di qualità ambientale.

Con il documento di Aggiornamento del Piano Regionale di Risanamento delle Acque (approvato con DGR 1629/2000) vengono individuati i corpi idrici significativi della Regione Umbria:

- Tra gli acquiferi alluvionali l'acquifero dell'Alta Valle del Tevere, della Conca Eugubina, della Media Valle del Tevere a nord e a sud di Perugia, della Valle Umbra e della Conca Ternana.
- Per gli acquiferi calcarei sono stati individuati gli acquiferi dei Monti delle Valli del Topino e del Menotre, del Monte Cucco e dei Monti della Valnerina nella struttura carbonatica occidentale della regione, l'acquifero della più piccola struttura dei Monti di Gubbio, e quelli della struttura dei Monti Martani e dei Monti di Narni e d'Amelia nell'Umbria centro meridionale.
- E' stato infine dichiarato "significativo" l'acquifero del Complesso vulcanico Orvietano.

Per gli acquiferi alluvionali e carbonatici è stata adottata come rete regionale di monitoraggio periodico la stessa rete istituita nell'ambito del Progetto PRISMAS adeguatamente ottimizzata, mentre per l'acquifero vulcanico, a inizio 2003, è stato effettuato uno studio idrogeologico e idrochimico preliminare su una rete di 38 punti dalla quale sono stati selezionati 13 punti di monitoraggio significativi che sono entrati a far parte della rete regionale.

Tab.1 – Rete regionale di monitoraggio qualitativo e quantitativo in discreto delle acque sotterranee

Tipo acquifero	Denominazione Corpo Sotterraneo	Sottobacino	Punti di misura
Alluvionale freatico	Alta valle Tevere	Alto Tevere	16
	Conca Eugubina	Alto Tevere	9
		Chiascio	9
	Conca Ternana	Nera	31
	Media Valle Tevere Nord	Alto Tevere	8
	Media Valle Tevere Sud	Alto Tevere	7
		Medio Tevere	22
Nestore		2	
Valle Umbra	Chiascio	18	
	Topino Marroggia	57	
Alluvionale in pressione	Cannara (Valle Umbra)	Topino Marroggia	13
Carbonatico	Monte Cucco	Chiascio	1
		Potenza	1
	Monti delle Valli del Topino e Menotre	Topino Marroggia	8
	Monti di Gubbio	Alto Tevere	1
		Chiascio	1
	Monti Martani	Nera	0
	Monti della Valnerina	Nera	4
Monti di Narni e d'Amelia	Medio Tevere	0	
	Nera	0	
Vulcanico	Vulcanico Orvietano	Paglia Chiani	13

Sui punti della rete di monitoraggio in discreto vengono eseguite campagne di monitoraggio a cadenza semestrale di tipo qualitativo e quantitativo.

Il monitoraggio quantitativo consiste nella misura del livello statico dei pozzi e di portata delle sorgenti costituenti la rete.

Il monitoraggio qualitativo prevede la determinazione di alcuni parametri direttamente in campagna e il prelievo di campioni d'acqua per determinazioni di laboratorio.

Vengono determinati i parametri di base contenuti nel seguente elenco comprensivi di quelli previsti dal Decreto Legislativo 152/99 (tab. 19 Allegato 1):

- Temperatura

- Conducibilità elettrica
- Ossigeno disciolto
- PH
- Potenziale RedOx
- Bicarbonati
- Alcalinità
- Ione ammonio
- Nitrati
- Calcio
- Cloruri
- Magnesio
- Ortofosfati
- Potassio
- Sodio
- Solfati
- Ferro
- Manganese

Per quanto riguarda i parametri addizionali viene effettuato il monitoraggio delle seguenti sostanze o gruppi di sostanze:

- Nitriti (2 volte l'anno)
- Arsenico, Cadmio, Cromo, Mercurio, Nichel, Piombo, Rame, Selenio, Zinco (1 volta l'anno)
- Prodotti fitosanitari (due volte l'anno)
- Composti organo alogenati volatili (1 volta l'anno)
- Fenoli (2 volte l'anno)
- Fluoruri (1 volta l'anno)
- IPA (1 volta l'anno)

4.2 Elaborazione dei dati

L'attività di monitoraggio sopra descritta consente di disporre di una serie pluriennale di dati chimico fisici e chimici omogenei su gran parte dei principali corpi idrici sotterranei umbri. Tali dati sono stati oggetto di varie elaborazioni.

La finalità è stata duplice, da una parte ottenere una conoscenza di maggiore dettaglio delle caratteristiche idrochimiche naturali dei corpi idrici, dall'altra individuare eventuali processi modificatori della qualità delle acque indotti dall'attività antropica.

Mediante i diagrammi classificativi di Langelier Ludwig per ogni corpo idrico sono state individuate le famiglie di acque e i principali trend di miscela tra acque di origine e caratteristiche chimiche diverse acquisendo pertanto importanti informazioni sui processi di alimentazione dei corpi idrici.

Importanti informazioni vengono invece forniti dai valori di potenziale redox e pH delle acque campionate confrontati con i campi di stabilità delle principali fasi che controllano la distribuzione di Mn, Fe, N e S. I diagrammi Eh-ph, infatti oltre a dare indicazioni qualitative sullo stato di speciazione dei soluti (ovvero la ripartizione caratteristica delle varie specie ioniche e/o neutre presenti in una soluzione acquosa) e sui loro equilibri con le fasi condensate, possono essere estremamente utili nella comprensione dei fenomeni geochimici in atto negli acquiferi monitorati. E' necessario, tuttavia, considerare che la metastabilità persistente di alcune fasi e il disequilibrio indotto dall'attività biologica, oltre che la complessità chimica delle soluzioni acquose, portano alcuni problemi nell'interpretazione rigorosa dello stato di speciazione.

Per il raggiungimento del secondo obiettivo, è stato preso in considerazione il parametro "nitrati", principale indicatore di inquinamento diffuso rilevato dall'attività di monitoraggio effettuata nel periodo 1998-2003.

Per rappresentare l'andamento dei nitrati nei cinque anni considerati, è stato diagrammato il valore della mediana delle concentrazioni di inquinante di ogni campagna, fornendo quest'ultima una buona stima della tendenza centrale di un set di dati ed essendo influenzata in minor misura, rispetto alla media aritmetica, da valori anomali.

Successivamente per gli acquiferi per i quali si disponeva di un sufficiente numero di dati analitici (Alta Valle del Tevere, Conca Eugubina, Media Valle del Tevere Sud, Valle Umbra e Conca Ternana), si è tentato un diverso approccio statistico utilizzando il metodo di Sinclair e il t-test di Siechel.

Tramite il metodo di Sinclair, con l'individuazione del punto di flessione nella curva di probabilità cumulativa, si ha una stima della proporzione tra le popolazioni presenti nel dataset. Vengono quindi determinati il logaritmo della media, la varianza, la percentuale di ciascuna di queste sul totale dei dati ed il valore di separazione tra le popolazioni ("soglia di anomalia"). La distribuzione log-normale dei campioni rende necessario l'utilizzo del t-test di Siechel, per una più corretta stima della media di ogni popolazione.

Mediante cronogrammi relativi al periodo 1998-2003, sono state infine confrontate le variazioni dei valori della media di ciascuna popolazione così calcolati, con quelli della media aritmetica. Ciò ha permesso di confrontare e valutare la bontà dei due diversi approcci statistici.

Per gli acquiferi in cui dall'andamento della mediana non si apprezzava una variabilità significativa, l'approccio probabilistico è stato applicato all'intero dataset. Nei casi in cui, invece, l'andamento della mediana presentava una marcata variabilità tali metodologie sono state applicate ai dati di ogni singola campagna di campionamento. Questo perché in questi casi varia anche nel tempo la composizione delle diverse popolazioni, quindi, considerare l'intero dataset avrebbe portato a perdere informazioni su questa variabilità.

Per quanto riguarda i microinquinanti, possibili indicatori di inquinamento localizzato, il basso numero di positività riscontrate non ha consentito di effettuare analisi statistiche dei dati.

4.3 Caratteristiche chimiche di base

4.3.1 Inquadramento idrogeochimico dell'Alta Valle del Tevere

In Alta Valle del Tevere sono stati utilizzati 325 dati analitici, ottenuti nel corso delle campagne di campionamento effettuate tra il 1998 e il 2001 (10 campagne) su circa 30 punti di prelievo distribuiti nell'intera valle, mentre nel periodo successivo sui soli 16 punti localizzati nella porzione umbra dell'acquifero.

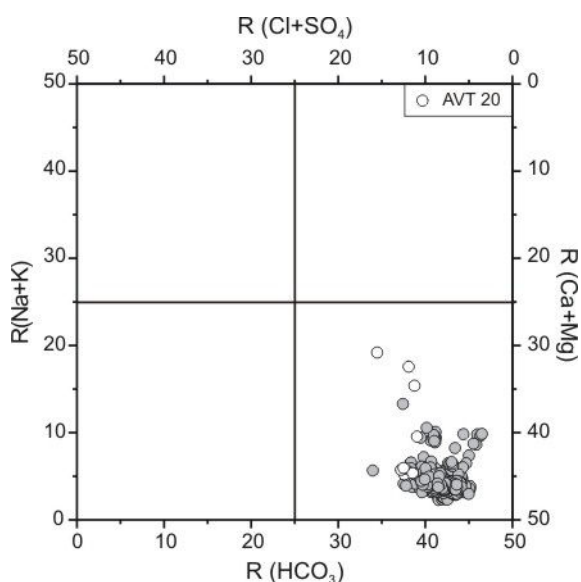


Fig. 1 – Diagramma Langelier-Ludwig: acquifero dell'Alta Valle del Tevere

Dai diagrammi Langelier-Ludwig è possibile classificare le acque come bicarbonato alcalino-terrose, chimismo controllato dagli equilibri della calcite e delle specie carbonatiche in soluzione. Si possono tuttavia notare alcuni trend di dispersione. In particolare i campioni del punto AVT 20, presentano i contenuti in solfati più elevati, per questo punto nelle ultime quattro campagne si osserva un significativo aumento in cloro e nei termini alcalini accompagnati da una riduzione in solfati e magnesio. I punti AVT 4, 8, 30 e 31 presentano una composizione che tende verso termini alcalini.

Le salinità per il 92% dei campioni sono comprese tra 0.4 e 0.8 g/l (10-21 meq/l). I campioni con salinità più bassa sono localizzati nella parte settentrionale della valle e in prossimità del fiume Tevere a testimonianza di un processo di interazione falda fiume che produce un effetto di diluizione nelle acque sotterranee.

Nelle zone più marginali e nel settore meridionale della valle, dove non sono evidenti fenomeni di scambio con il fiume, le acque mostrano un incremento in alcalini, in solfati e magnesio.

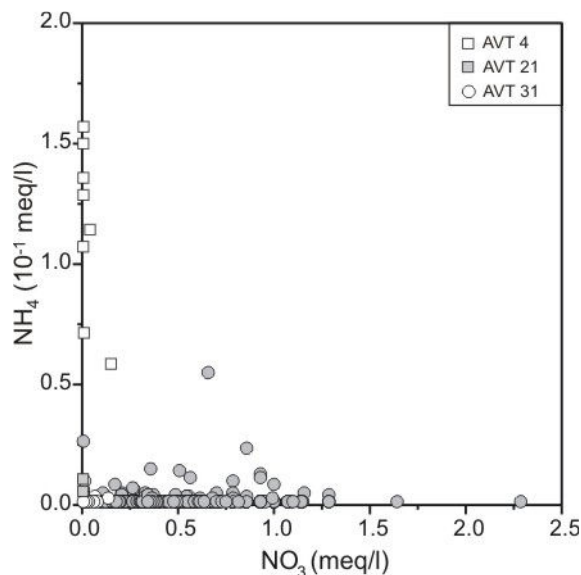


Fig. 2 – Diagramma NO3 vs NH4 : acquifero dell'Alta Valle del Tevere

Dal diagramma NO3 vs NH4 è evidente come la quasi totalità delle acque campionate presenti valori dello ione ammonio prossimi al limite di sensibilità analitica. Fanno eccezione le acque dei pozzi AVT 4, AVT 21 e AVT 31, per i quali i valori Eh e di NH4+, indicano condizioni prossime alla neutralità o debolmente riducenti. Per questi tre pozzi, che presentano basse concentrazioni in nitrati e salinità elevata, si può ipotizzare che intercettino anche livelli acquiferi in condizioni confinate.

Nel grafico Salinità vs NO3, i campioni relativi a questi tre punti individuano un gruppo distinto dal resto del dataset, che presenta un aumento della salinità a nitrati costanti. La correlazione positiva salinità-nitrati è invece ben evidente per tutti gli altri campioni.

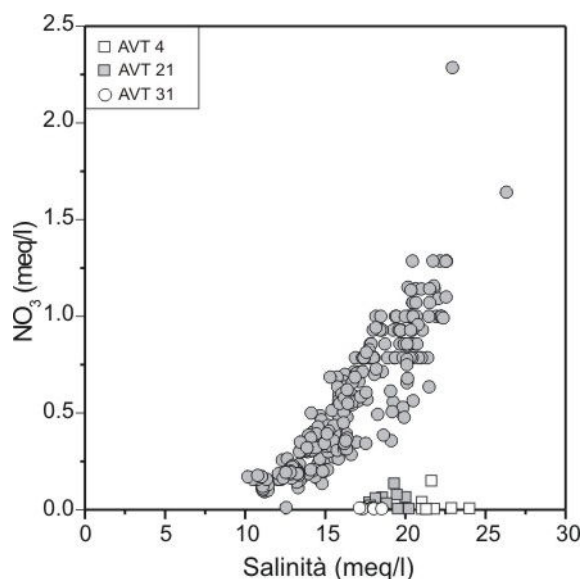


Fig. 3 – Diagramma Salinità vs NO3: acquifero dell'Alta Valle del Tevere

4.3.2 Inquadramento idrogeochimico della Conca Eugubina

L'elaborazione idrogeochimica delle acque sotterranee della Conca Eugubina è stata eseguita sulla base di 251 campioni prelevati tra il 1998 ed il 2003.

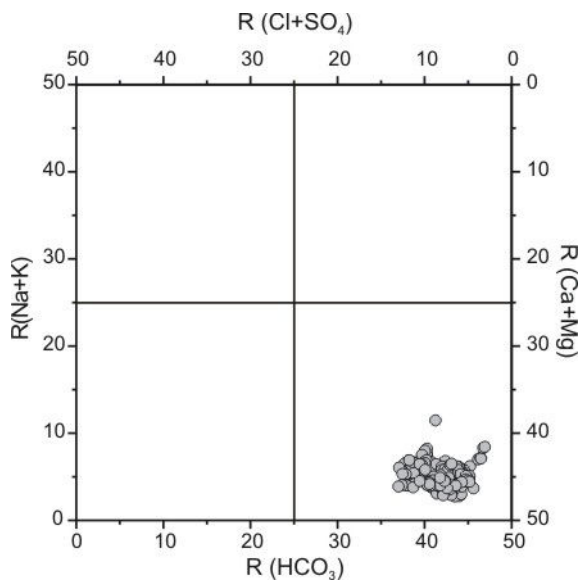


Fig. 4 – Diagramma Langelier-Ludwig: acquifero della Conca Eugubina

Il diagramma classificativo Langelier-Ludwig (Fig.2) evidenzia come tutte le acque campionate appartengano ad un idrotipo bicarbonato alcalino-terroso (Ca(Mg)-HCO₃), con valori di salinità piuttosto dispersi, per cui è stato possibile riconoscere due gruppi che si differenziano sulla base di questo parametro.

I punti a salinità più bassa, con valori tra 6 e 13 meq/l, sono disposti lungo la fascia pedemontana orientale della valle (CEU 8, 9, 10, 19). Per questi risulta probabile una diretta alimentazione dagli acquiferi carbonatici. In base al diagramma Ca vs Mg (Fig.vv) si può fare un'ulteriore suddivisione in due sottogruppi con diversi rapporti Ca/Mg, che si mantengono sostanzialmente stabili nel tempo e che riflettono probabilmente sistemi di alimentazione con profondità diverse.

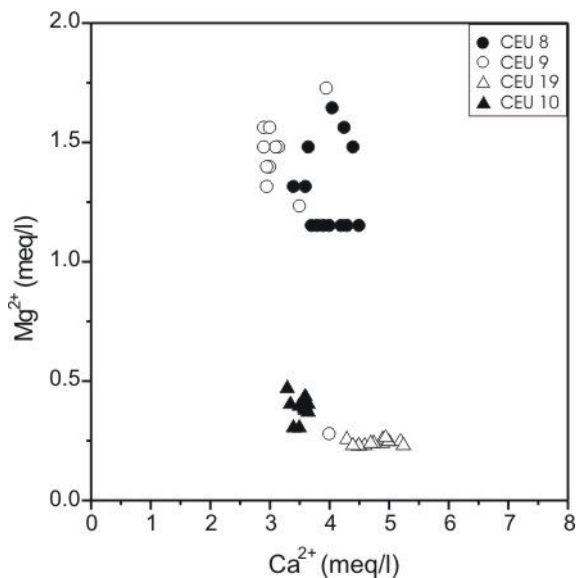


Fig. 5 – Acquifero della Conca Eugubina: Diagramma Ca vs Mg per il gruppo a bassa salinità (< 13 meq/l).

La maggior parte delle acque campionate, relative alla piana alluvionale, appartengono al secondo gruppo con valori di salinità compresi tra 13 e 19 meq/l. La salinità maggiore è dovuta probabilmente a circolazione lenta delle acque nei depositi alluvionali e fluvio-lacustri, in alcuni casi anche in condizioni tendenzialmente riducenti.

Solamente le acque del punto CEU 22 presentano valori di salinità superiori ai 20 meq/l, riconducibili oltre che a processi di interazione acqua-roccia, anche ad inquinamento di probabile origine agricola, come fa supporre la presenza di elevate concentrazioni in NO₃.

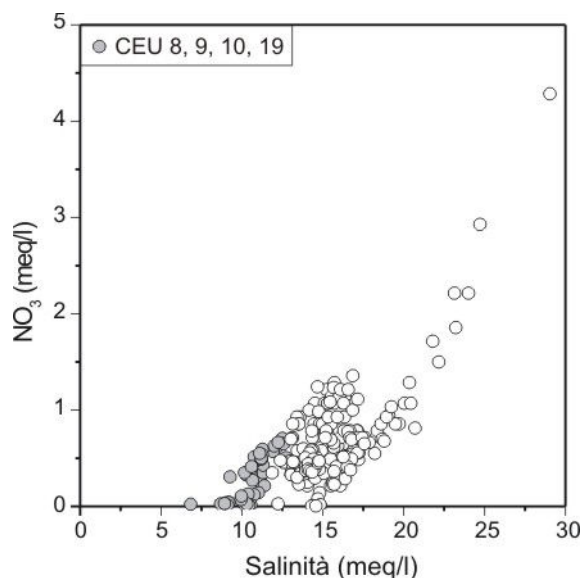


Fig. 6 – Diagramma Salinità vs NO₃: acquifero della Conca Eugubina

Dal diagramma Salinità vs NO₃ si nota che, sull'intero dataset, la concentrazione in nitrati aumenta all'aumentare della salinità. Inoltre si osserva come le acque circolanti sulla fascia detritica della Conca e caratterizzate da minore salinità, presentino le più basse concentrazioni in NO₃. Allontanandosi da questa area lungo le linee di flusso principali aumenta sia il tenore in nitrati che la salinità indicando il peggioramento di qualità delle acque con l'aumentare dei tempi di circolazione.

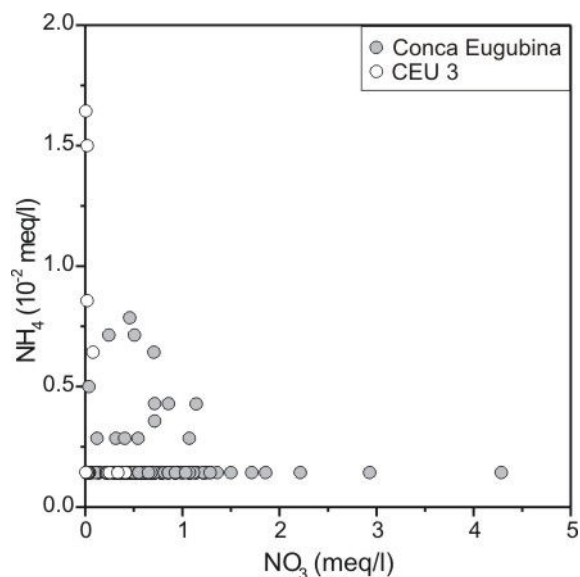


Fig. 7 – Diagramma NO₃ vs NH₄: acquifero della Conca Eugubina

Dal diagramma NO₃ vs NH₄ si vede che tutte le acque campionate presentano bassi valori di ammoniaca, con concentrazioni prossime alla soglia analitica (circa il 93% dei campioni presenta concentrazioni in NH₄ inferiore alla soglia analitica di 0.00286 meq/l), ad eccezione delle acque del pozzo CEU 3, che presentano una certa variabilità stagionale nel contenuto in NH₄. Questo può essere dovuto alla presenza di un piccolo orizzonte acquifero che risente molto della stagionalità della ricarica meteorica, oppure alla presenza di livelli torbosi che producono un inquinamento organico locale.

4.3.3 Inquadramento idrogeochimico della Media Valle del Tevere

La trattazione idrogeochimica della Media Valle del Tevere è stata effettuata sulla base di 538 dati analitici, di cui 430 rappresentativi della Media Valle del Tevere sud e 108 della porzione settentrionale della valle.

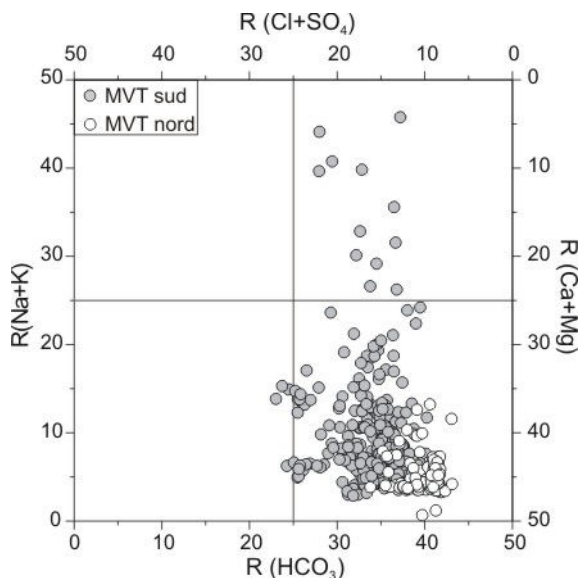


Fig. 8 – Diagramma Langelier-Ludwig: acquifero della Media Valle del Tevere

Nel diagramma classificativo Langelier-Ludwig si vede come la totalità dei campioni della Media Valle del Tevere nord ricada nel campo delle acque bicarbonato alcalino-terrose. Per i punti della Media Valle del Tevere sud, invece, si individua un gruppo principale nel campo bicarbonato alcalino-terroso ed alcuni trend di dispersione verso gli altri idrotipi.

Il trend principale si registra verso i termini bicarbonato-alcalini ed è dovuto ai pozzi MVT 17, 37, 40 e 41, che presentano i maggiori rapporti Na/Ca del dataset (diagramma Na vs Ca). La dispersione verso composizione bicarbonato alcalina può essere ricondotta a processi di scambio ionico per la presenza di matrice argillosa nel corpo acquifero.

Per il pozzo MVT 17, situato a sud di Perugia, la composizione chimica risulta stabile durante tutto il periodo considerato, mentre per gli altri, localizzati a sud di Marsciano, si registra una forte dispersione della composizione, tra i campi bicarbonato alcalino-terroso e bicarbonato alcalino. Inoltre, per gli stessi punti si registrano variazioni del potenziale redox, che, nel caso di MVT 37, indicano ripetute oscillazioni tra condizioni ossidanti e riducenti (cronogramma redox), nel caso di MVT 40 e 41, indicano una progressiva riduzione del potenziale redox con passaggio da condizioni ossidanti a riducenti nel periodo di osservazione. L'andamento delle concentrazioni del sodio, calcio e magnesio, è ben correlato a quello del potenziale redox: alla diminuzione del potenziale redox si associa un aumento della concentrazione in sodio ed una diminuzione delle concentrazioni di calcio e magnesio e viceversa.

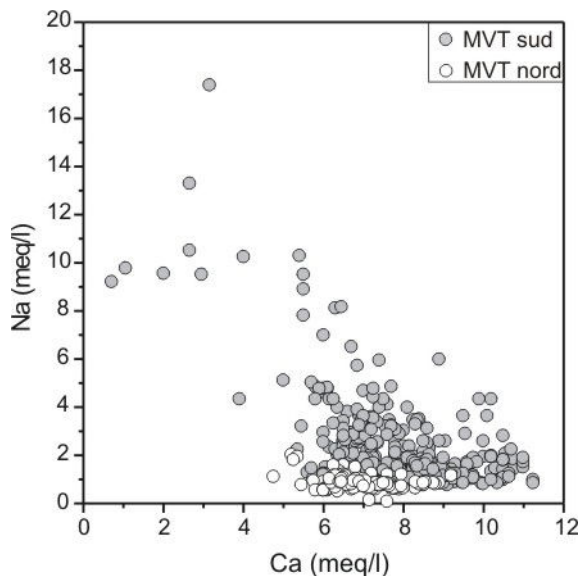


Fig. 9 – Diagramma Ca vs Na: acquifero della Media Valle del Tevere

Composizione intermedia tra solfato calcica e bicarbonato alcalina-terrosa è presentata dalle acque dei pozzi MVT 32 e MVT 34, localizzati lungo il fiume Tevere pochi chilometri a sud di Deruta, che hanno le maggiori concentrazioni in solfati. Composizione simile è presentata dal pozzo MVT 39, a sud di Marsciano, che però è spostato verso termini più clorurati.

Dal grafico NO_3 vs NH_4 si osserva che la quasi totalità dei campioni presenta concentrazioni dello ione ammonio molto basse. Fanno eccezione i pozzi MVT 23 e 41 in Media Valle del Tevere sud, per i quali i campioni delle ultime quattro campagne mostrano un aumento della concentrazione.

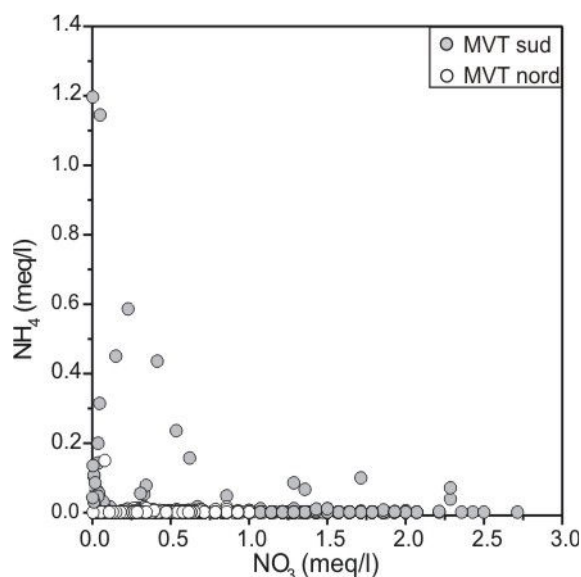


Fig. 10 – Diagramma NO_3 vs NH_4 : acquifero della Media Valle del Tevere

4.3.4 Inquadramento idrogeochimico della Valle Umbra

La classificazione idrogeochimica delle acque sotterranee della Valle Umbra è stata effettuata sulla base di 1134 dati analitici, ottenuti nel corso delle 14 campagne di campionamento effettuate tra il 1998 ed il 2003 sulla rete di monitoraggio regionale. Di questi, 164 dati sono riferibili all'acquifero artesiano di Cannara e 970 al resto della Valle Umbra.

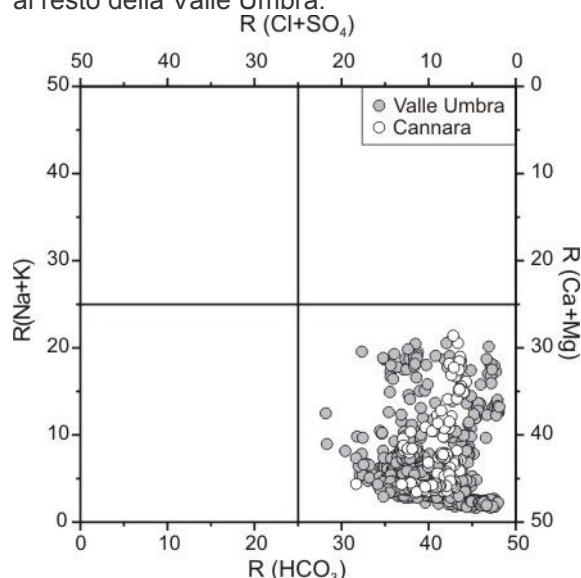


Fig. 11 – Diagramma Langelier-Ludwig: acquifero della Valle Umbra

Tali dati, distinti in artesiano di Cannara (di seguito “Cannara”) e freatico della Valle Umbra (di seguito “Valle Umbra”), sono stati inseriti nel diagramma Langelier-Ludwig (Fig.11), dal quale è evidente come la totalità dei campioni considerati sia caratterizzata da una composizione bicarbonato alcalino-terrosa, anche se è possibile riconoscere trend evolutivi diversi:

Gruppo $\text{Ca}(\text{Mg})\text{-HCO}_3$, che comprende circa l'80% del totale dei dati ed in particolare, circa l'85% dei dati relativi alla Valle Umbra e il 67% di quelli di Cannara, per il quale il processo geochimico principale è rappresentato dalla dissoluzione dei minerali carbonatici. La presenza di campioni prelevati in pozzi riferiti all'artesiano di Cannara è probabilmente imputabile al fatto che in alcuni casi i pozzi captano anche livelli acquiferi più superficiali freatici, in altri, pur captando l'acquifero artesiano, sono ubicati nella porzione

marginale occidentale dell'acquifero artesiano, che risente della ricarica laterale da parte dell'acquifero freatico (Conoide del Topino).

Gruppo $\text{Ca}(\text{Na})\text{-HCO}_3$, comprendente campioni il cui chimismo è riconducibile a processi di scambio ionico, oltre che alla dissoluzione dei minerali carbonatici. Tali processi sono particolarmente significativi per le acque appartenenti all'acquifero artesiano di Cannara.

Gruppo $\text{Ca}(\text{Mg})\text{-Cl}(\text{SO}_4)$, comprendente campioni prelevati sia in pozzi dell'artesiano di Cannara sia in pozzi localizzati nella porzione meridionale della Valle Umbra (Spoletino), dove è nota la presenza di livelli acquiferi confinati.

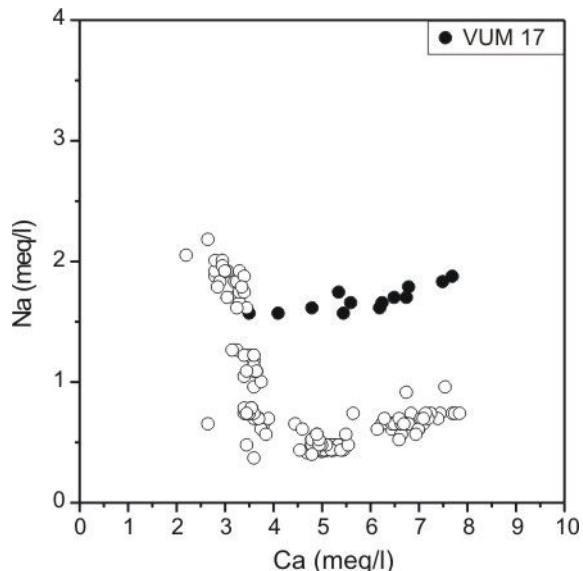


Fig. 12 – Diagramma Ca vs Na: acquifero della Valle Umbra

Dal diagramma Ca vs Na per i pozzi di Cannara, si nota un trend di arricchimento in sodio con corrispondente diminuzione della concentrazione dello ione calcio, imputabile a processi di scambio ionico. Si nota anche che il pozzo VUM 17 presenta concentrazioni di Ca molto disperse nel tempo. Il fenomeno, osservato anche per gli altri ioni, sembra correlato alle oscillazioni del livello piezometrico.

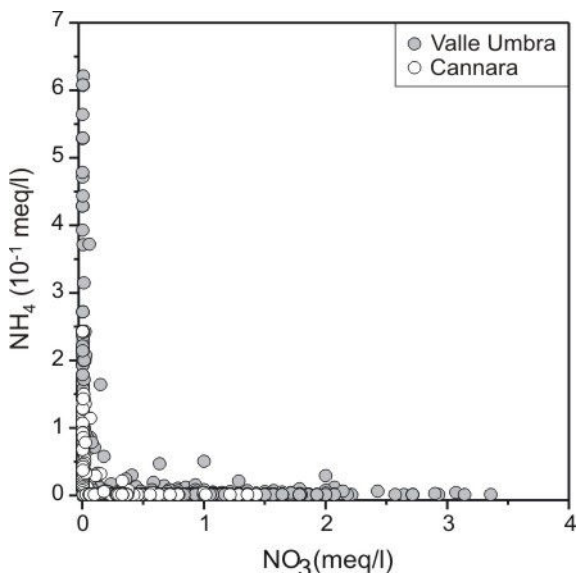


Fig. 13 – Diagramma NO_3 vs NH_4 : acquifero della Valle Umbra

Il diagramma NO_3 vs NH_4^+ (Fig. 13) mostra come le acque campionate seguano due trend distinti, uno con arricchimento in ione ammonio e l'altro con arricchimento in nitrato. Il primo andamento è in genere tipico di acquiferi in condizioni confinate, mentre il secondo è riconducibile ad acquiferi freatici. La maggior parte dei punti dell'acquifero artesiano di Cannara, infatti, ricade nel primo gruppo. Fanno eccezione alcuni campioni prelevati in punti localizzati al margine orientale dell'acquifero, che ricadono nel secondo gruppo, probabilmente risentendo dell'alimentazione laterale da parte dell'acquifero freatico.

I punti dell'acquifero freatico ricadono per la quasi totalità nel secondo gruppo. Fanno eccezione alcuni campioni appartenenti a punti localizzati principalmente nell'area di Cannara e subordinatamente ad ovest di Trevi e a nord di Spoleto, probabilmente da imputare alla presenza di livelli acquiferi in condizioni confinate captati dagli stessi pozzi.

4.3.5 Inquadramento idrogeochimico della Conca Ternana

Lo studio idrogeochimico della Conca Ternana è stato effettuato sulla base di 391 analisi chimiche delle acque sotterranee eseguite nel periodo 1998-2003.

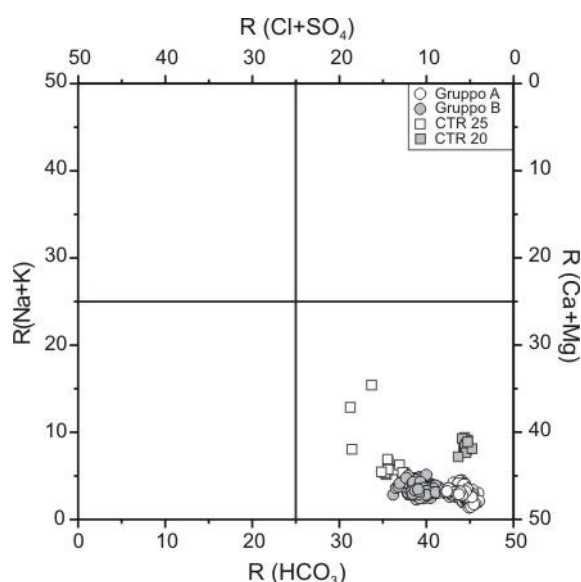


Fig. 14 – Diagramma Langelier-Ludwig: acquifero della Conca Ternana

Il diagramma classificativo Langelier-Ludwig evidenzia che la totalità dei campioni ricade nel campo delle acque a chimismo bicarbonato alcalino-terroso (Ca(Mg)-HCO₃), per i quali il processo geochimico principale è la dissoluzione dei minerali carbonatici.

Tuttavia è possibile distinguere un sottogruppo A ($VrHCO_3 > 42$) a chimismo prettamente bicarbonato alcalino-terroso con bassi contenuti in Mg e SO₄, costituito da campioni prelevati su punti localizzati sul detrito di falda della fascia pedemontana della struttura calcarea dei monti Martani. La salinità media di questo sottogruppo è circa 13 meq/l.

E' riconoscibile inoltre un sottogruppo B tendente verso termini più solfatici (con tenore in Cl costante) e relativamente più ricco in Mg (Fig.15), con salinità leggermente superiore a quella del sottogruppo A e pari a circa 15 meq/l. I pozzi appartenenti a quest' ultimo gruppo sono ubicati nella piana alluvionale il cui acquifero risente del processo di miscela con le acque del Fiume Nera, a chimismo bicarbonato alcalino terroso, ma caratterizzate da rapporti Mg/Ca e SO₄/HCO₃ più elevati (Froncini e Giaquinto, 1995; Giaquinto, Martinelli, 1995).

Il solo pozzo CTR 20 ha un chimismo tendente verso termini bicarbonato alcalini, con salinità leggermente superiore a quella degli altri campioni. Le concentrazioni relativamente elevate di NH₄⁺ e il basso contenuto di ioni SO₄ riscontrati, indicano condizioni riducenti delle acque, probabilmente dovute a condizioni confinate. La profondità del pozzo (60 m) è superiore a quella mediamente raggiunta dagli altri pozzi che captano l'acquifero alluvionale.

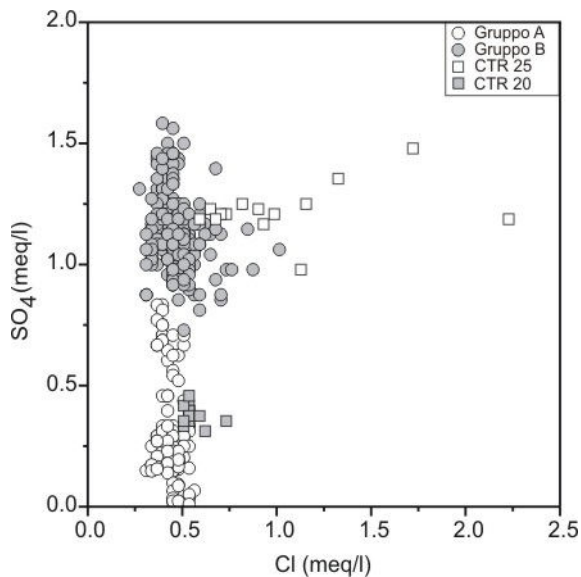


Fig. 15 – Diagramma Cl vs SO₄: acquifero della Conca Ternana

Il pozzo CTR 25 presenta le più elevate concentrazioni in cloro, che crescono ulteriormente nel corso delle ultime tre campagne (AUT02, PRIM03 e AUT03), accompagnato dal contemporaneo aumento del sodio.

Le acque dello stesso pozzo mostrano basse concentrazioni in nitrati e concentrazioni in ammonio superiori al rimanente dataset.

Tutti gli altri campioni sono infatti caratterizzati da concentrazioni in ammonio molto basse e mostrano un chiaro trend di arricchimento in nitrati tipico di acquiferi in condizioni ossidanti, come mostrato nel diagramma NO₃ vs NH₄⁺ (Fig. xx).

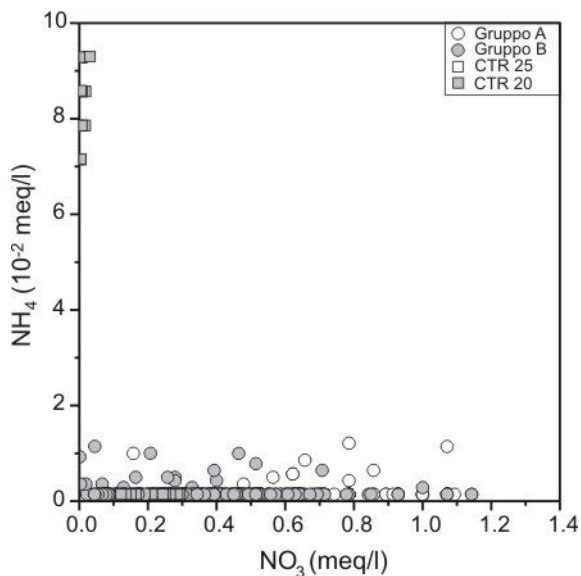


Fig. 16 – Diagramma NO₃ vs NH₄: acquifero della Conca Ternana

4.3.6 Inquadramento idrogeochimico degli acquiferi carbonatici

Nella presente trattazione sono stati presi in considerazione i dati relativi ai punti di monitoraggio degli acquiferi carbonatici della Valnerina (4 punti d'acqua), della Valle dei fiumi Topino e Menotre (8 punti d'acqua) e del Monte Cucco (2 sorgenti), per un totale di 167 dati analitici.

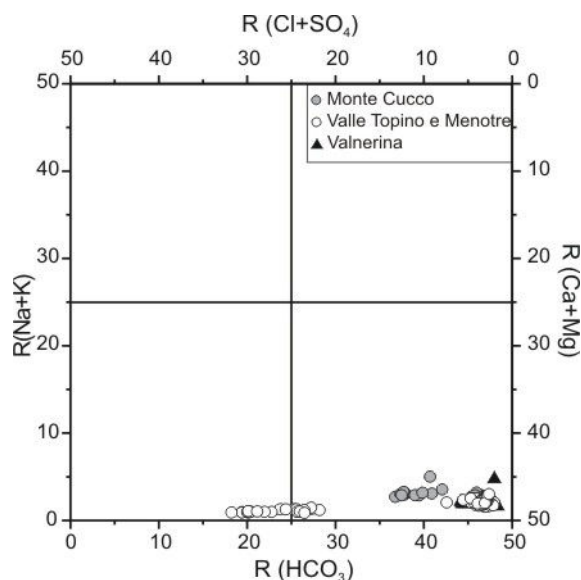


Fig. 17 – Diagramma Langelier-Ludwig: acquiferi carbonatici

Dal diagramma Langelier-Ludwig (Fig.xx) si individuano due diversi gruppi:

- Gruppo Ca-HCO₃, nel quale ricade la totalità dei campioni degli acquiferi della Valnerina e del Monte Cucco e gran parte di quelli appartenenti all'acquifero della Valle del Topino e Menotre. Il chimismo di questo gruppo, caratterizzato da bassi valori di salinità (tra 6 e 10 meq/l), è riconducibile al processo di dissoluzione della calcite in condizioni di equilibrio in sistemi aperti rispetto alla CO₂. All'interno di questo gruppo, la sorgente di Scirca (struttura del Monte Cucco) presenta un evidente arricchimento verso termini più solfatici.
- Gruppo Ca(Mg)-SO₄, costituito dalle sorgenti di Rasiglia Capovena e delle Fonti del Clitunno, caratterizzate da salinità comprese tra 14 e 20 meq/l. Queste acque sono ricollegabili a processi di mixing con acque di circolazione idrica più profonda, che interessano probabilmente anche le formazioni triassiche per le quali il processo geochimico dominante è rappresentato dalla dedolomitizzazione che porta ad un arricchimento in magnesio e solfati.

Nel grafico Mg vs SO₄ (Fig. 18) i campioni del secondo gruppo si distinguono nettamente dagli altri presentando i maggiori valori nei due ioni. Nello stesso grafico si osserva come i campioni delle sorgente Pacce nella struttura della Valnerina si discostino dal trend di arricchimento solfati-magnesio, presentando valori in magnesio mediamente elevati accompagnati da tenori in solfati molto bassi.

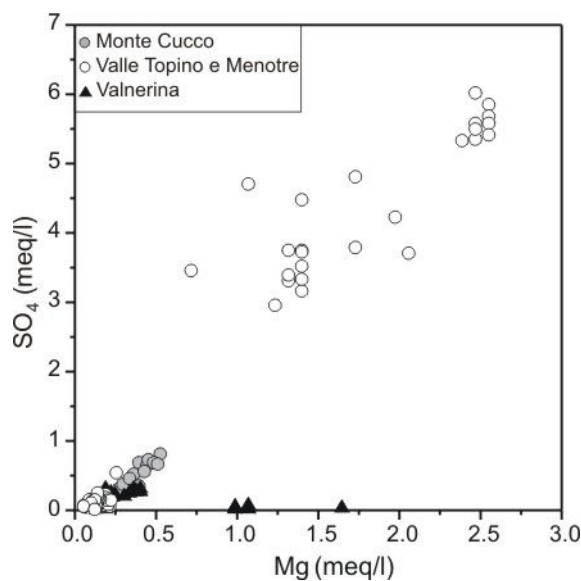


Fig. 18 – Diagramma Mg vs SO₄: acquiferi carbonatici

4.3.7 Inquadramento idrogeochimico dell'acquifero vulcanico

Dal diagramma classificativo Langelier-Ludwig (Fig.19), si nota come tutti i campioni ricadano nel campo bicarbonato alcalino-terroso, anche se spostati verso termini bicarbonato alcalini.

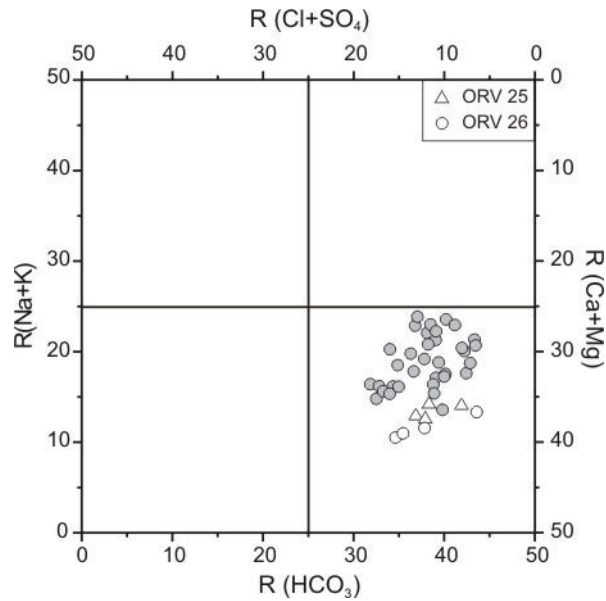


Fig. 19 – Diagramma Langelier-Ludwig: acquifero vulcanico

Questa composizione chimica viene acquisita dalle acque durante la circolazione nelle vulcaniti, costituite essenzialmente da strati di lapilli, scorie, cineriti e colate di lava della serie potassica ed alta in potassio. L'idrolisi dei minerali silicatici è uno dei principali processi geochimici che avvengono durante l'interazione acqua-roccia; è funzione del grado di alterazione dei minerali presenti (principalmente feldspati e clinopirosseni) e localmente può anche portare all'argillificazione di alcuni livelli piroclastici. L'alterazione dei minerali silicatici è inoltre influenzata dalla CO₂ disciolta nelle acque.

La quasi totalità dei campioni considerati presenta bassi valori di salinità, compresi tra 4 e 6 meq/l, indice di una circolazione idrica superficiale.

Nel diagramma Ca vs Mg si osserva che quasi tutti i campioni si dispongono secondo un unico trend di arricchimento nei due ioni i cui valori più elevati sono presentati dai campioni di ORV33.

Si discostano da questo trend i campioni dei punti ORV 25 e ORV 26, localizzati nel settore orientale dell'area, che sono caratterizzati da salinità più elevata, pari a circa 10 meq/l. In particolare presentano le più elevate concentrazioni in Ca e un chimismo più spiccatamente bicarbonato alcalino-terroso.

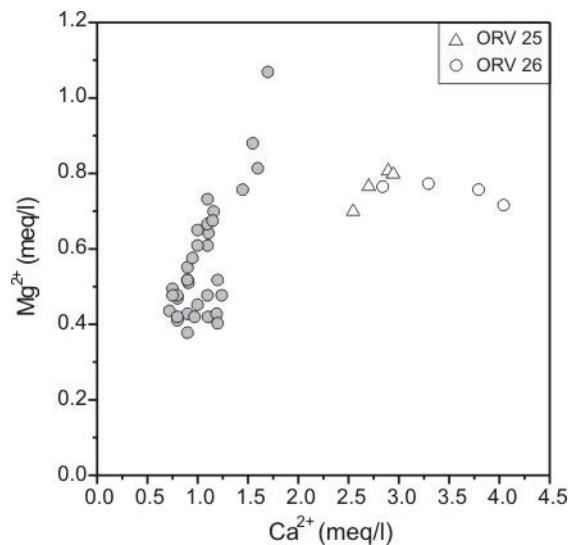


Fig. 20 – Diagramma Ca vs Mg: acquifero vulcanico

I pozzi ORV 33 e ORV 17 hanno una composizione spostata verso termini più clorurati.

Il diagramma NO₃ vs NH₄ mostra un trend di arricchimento in nitrati concentrazioni dello ione ammonio che si mantiene, in quasi tutti i campioni, inferiori al limite di sensibilità strumentale. Fanno eccezione alcuni campioni della campagna AUT03, per i quali sono state misurate, concentrazioni più elevate in NH₄, comunque sempre inferiori a 0.5 mg/l. Il trend di arricchimento in nitrati non raggiunge tuttavia valori elevati, e solamente i pozzi ORV 17, 25 e 33 superano concentrazioni di 30 mg/l.

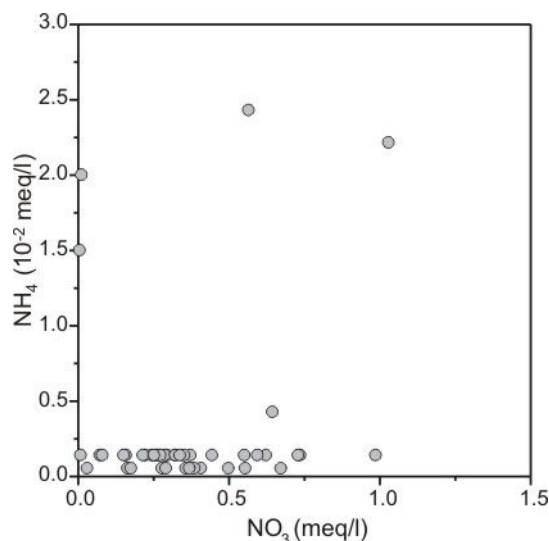


Fig. 21 – Diagramma NO₃ vs NH₄: acquifero vulcanico

4.4 Diagrammi eh-ph e stabilità delle principali fasi che controllano la distribuzione di Mn, Fe, N e S.

4.4.1 Acquiferi alluvionali

Nei diagrammi Eh-pH (Fig. 22) si osserva che tutte le soluzioni sono vicine alle condizioni di neutralità rispetto agli equilibri acido-base. Per quanto riguarda le condizioni redox queste sono invece nel complesso molto variabili con valori che vanno da circa -300 mV fino oltre i 500 mV.

In particolare, i campioni relativi all'Alta Valle del Tevere ed alla Conca Ternana presentano simili condizioni Eh-pH, con valori del potenziale redox che variano da circa -120 mV fino a +250 mV. Nella Conca Eugubina i valori di Eh si mantengono invece generalmente più alti, variando tra circa 6 e 270 mV.

Si distinguono per valori particolarmente elevati di Eh, alcuni campioni (CEU9, AVT18, VUM71 e VUM58) che, in alcune campagne di campionamento, ricadono pienamente nel campo delle soluzioni ossidanti basiche. I valori elevati di Eh indicano la presenza di O₂, in conseguenza della permeabilità del non-saturo e della profondità della falda.

Tutti i rimanenti campioni variano tra le condizioni di neutralità assoluta e il campo delle soluzioni riducenti (neutre o debolmente alcaline). I campioni che presentano le condizioni più riducenti appartengono principalmente agli acquiferi artesiani di Cannara e della Valle Umbra, dove localmente possono sussistere le condizioni per la formazione di H₂S(g), NH₄⁺ e (in alcuni casi) CH₄(g). Condizioni piuttosto riducenti si riscontrano, pur se in misura minore, anche in alcuni campioni della Media Valle del Tevere (MVT 40 e MVT 41).

Per quanto riguarda le principali fasi che controllano la distribuzione di Mn, Fe, N e S, si osserva che:

- solo alcuni campioni degli acquiferi artesiani della Valle Umbra e di Cannara presentano condizioni in cui la fase stabile è NH₄⁺, in tutti gli altri casi è possibile la coesistenza di nitrato e ione ammonio metastabili, o del solo ione nitrato per i valori più elevati di Eh; la specie nitrito è sempre metastabile;
- il Fe può esistere in soluzione sia come catione bivalente che come trivalente, la fase principale che controlla la solubilità del ferro è F₂O₃ (ematite), cui si aggiungono FeS₂ (pirite) e FeS (pirrotite) a condizioni estremamente riducenti (per valori di Eh simili o leggermente inferiori si ha la riduzione solfati-solfuri);
- il manganese è presente nelle soluzioni solo come catione bivalente e la sua mobilità non è controllata da alcuna fase solida. Solo i campioni CEU9 e AVT18 cadono in prossimità del campo di stabilità di MnO₂.

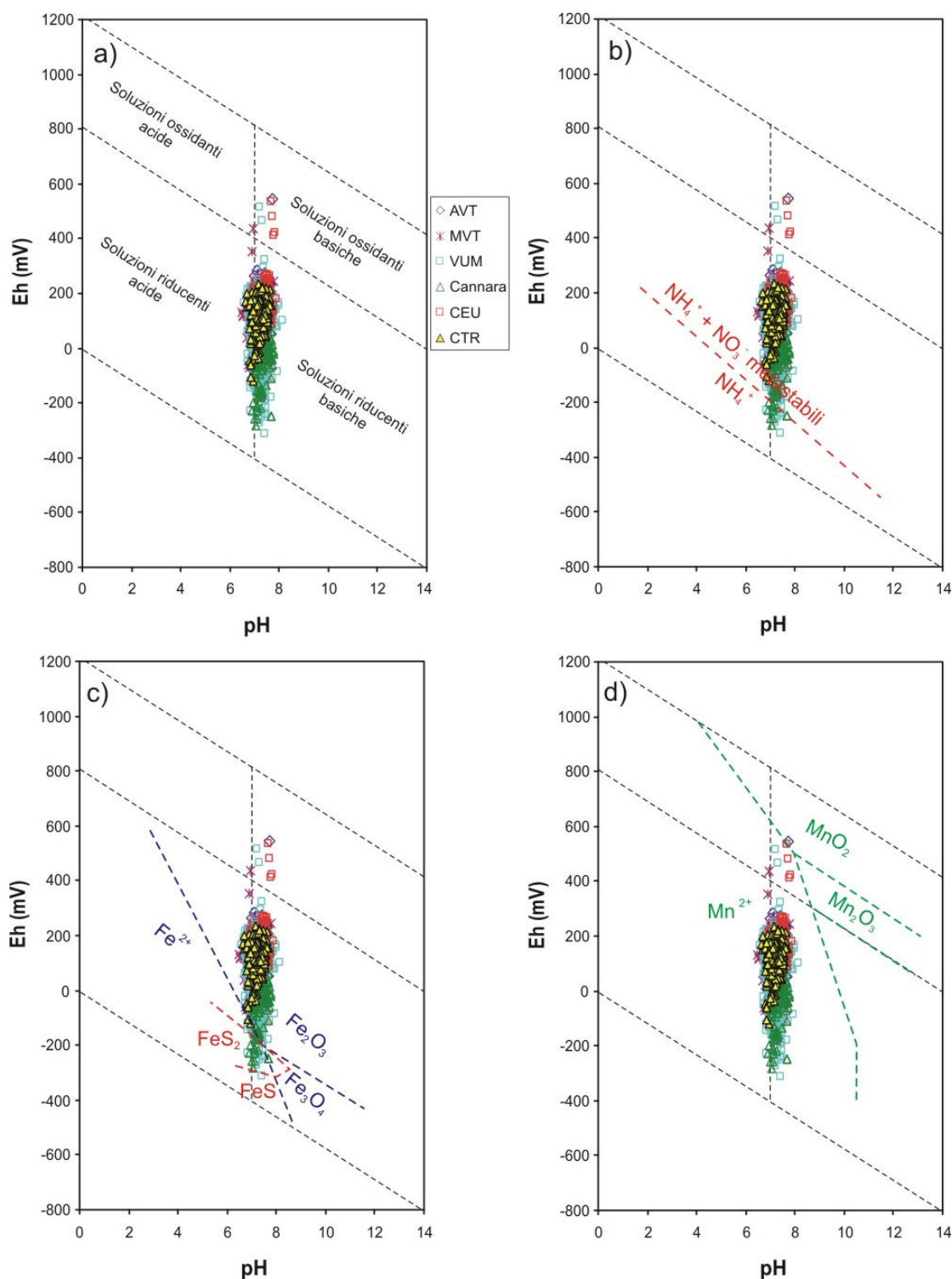


Fig. 22 - Diagrammi Eh-pH per gli acquiferi alluvionali: a) confronto con il campo di stabilità dell'acqua per $T=25^{\circ}\text{C}$ e $P_{tot}=1\text{ bar}$; b) sistema N-O-H; c) sistemi Fe-O-H e Fe-S-O-H; d) sistema Mn-O-H.

4.4.2 Acquiferi carbonatici

Dal diagramma Eh-pH si nota come tutti i campioni (suddivisi in Valli del Topino e Menotre, Monte Cucco e Monti della Valnerina) presentino una debole alcalinità rispetto agli equilibri acido-base. I valori di Eh compresi tra 70 mV e circa 270 mV, indicano condizioni che variano tra la neutralità e il campo delle soluzioni debolmente riducenti (basiche).

Per quanto riguarda le principali fasi che controllano la distribuzione di Mn, Fe, N e S nelle soluzioni acquose, si osserva che:

- per tutti i campioni è possibile la coesistenza degli ioni nitrato ed ammonio;
- la fase principale che controlla la solubilità del ferro è l'ematite (Fe_2O_3);

- il manganese è presente nelle soluzioni solo come catione bivalente e la sua mobilità non è controllata da alcuna fase minerale solida.

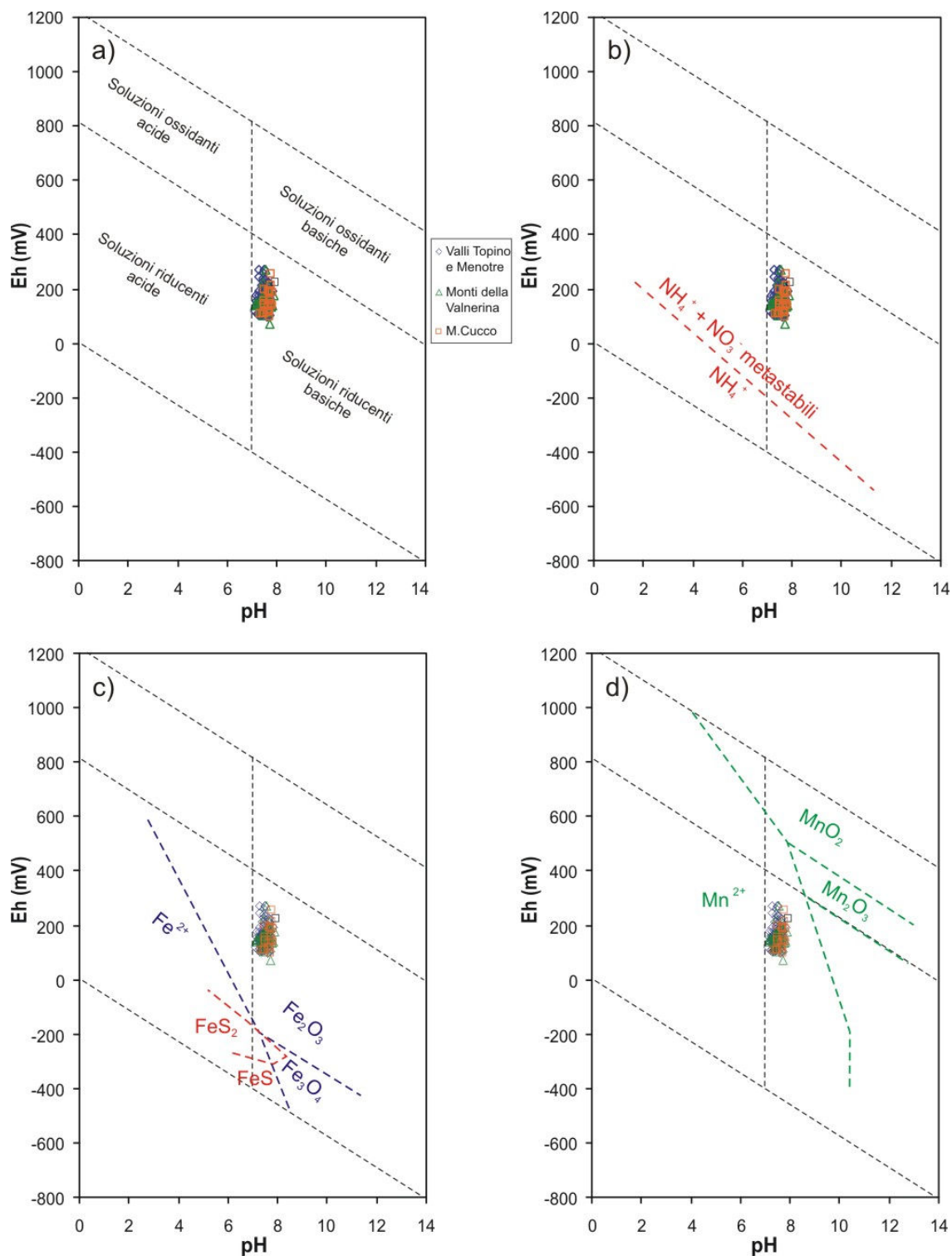


Fig. 23 - Diagrammi Eh-pH per gli acquiferi carbonatici: a) confronto con il campo di stabilità dell'acqua per $T=25^{\circ}\text{C}$ e $P_{\text{tot}}=1 \text{ bar}$; b) sistema N-O-H; c) sistemi Fe-O-H e Fe-S-O-H; d) sistema Mn-O-H.

4.4.3 Acquifero vulcanico

Si può osservare che la gran parte dei campioni ricade nel campo delle soluzioni riducenti, vicine alla neutralità o debolmente alcaline per ciò che riguarda il comportamento acido-base, con valori di Eh variabili tra circa 100 mV e 180 mV. Fa eccezione il campione ORV11, per il quale l'elevato valore di Eh indica condizioni prossime alla neutralità assoluta.

Se confrontiamo i valori di Eh e pH delle acque campionate con i campi di stabilità relativi all'N, Fe, S e Mn, si nota che:

- per quanto riguarda il sistema N-O-H, tutti i campioni ricadono nel campo in cui è possibile la presenza in forma metastabile degli ioni nitrato ed ammonio;
- tutti i campioni rientrano pienamente nel campo di stabilità del Fe_2O_3 ;
- il Mn^{2+} rappresenta l'unica fase in cui può essere presente il manganese per le acque campionate; la precipitazione di fasi solide avviene infatti solo per pH o per Eh molto elevati.

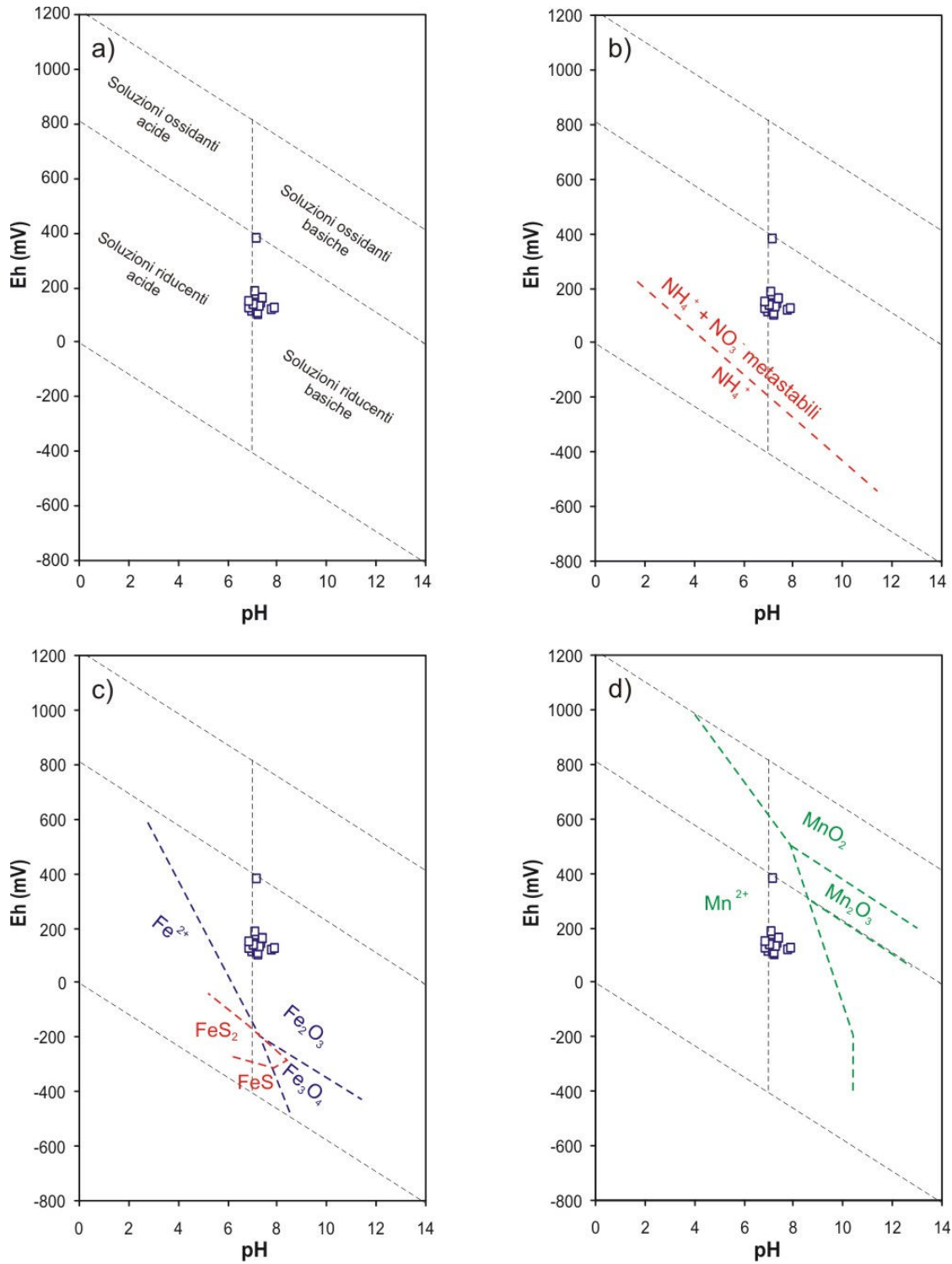


Fig. 24 - Diagrammi Eh-pH per gli acquiferi vulcanici: a) confronto con il campo di stabilità dell'acqua per $T=25^\circ\text{C}$ e $P_{\text{tot}}=1$ bar; b) sistema N-O-H; c) sistemi Fe-O-H e Fe-S-O-H; d) sistema Mn-O-H.

4.5 Indicatori di inquinamento diffuso: i nitrati

4.5.1 Acquifero alluvionale dell'Alta Valle del Tevere

La mediana delle concentrazioni in nitrati delle acque dell'Alta Valle del Tevere presenta, nel periodo compreso tra la primavera '98 e l'autunno del 2003, un leggero trend di crescita nella concentrazione in nitrati, anche se la variabilità si mantiene bassa.

Il valore della mediana delle concentrazioni di nitrati si attesta intorno a 24 mg/l tra la primavera '98 e l'autunno '99; successivamente, fino alla primavera '01, si ha un leggero aumento, con valori della mediana che oscillano intorno a 25 mg/l. Il valore minimo (20.4 mg/l) si registra nell'autunno '01, ma già dalla campagna successiva si assiste ad un aumento delle concentrazioni di inquinante fino alla primavera '03, quando la mediana raggiunge il valore massimo (30.8 mg/l). Infine, nell'autunno '03, tale valore scende nuovamente sotto i 30 mg/l, raggiungendo un valore poco più elevato rispetto a quello registrato durante la prima campagna (PRI'98 M=21,9; AUT'03 M=27,5).

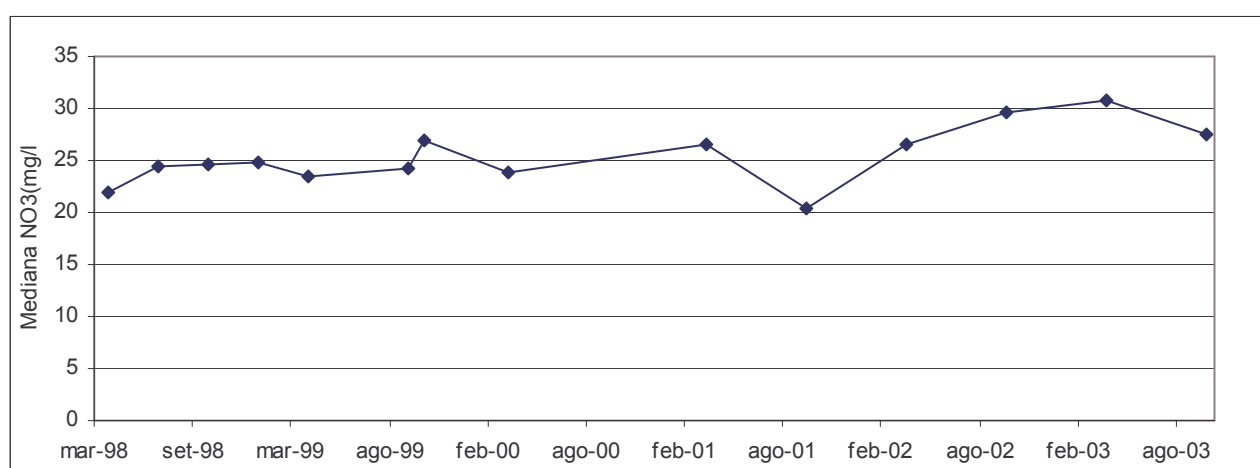


Fig.25 - Andamento della mediana delle concentrazioni di nitrati nel periodo 1998-2003 in Alta Valle del Tevere.

Considerando la bassa variabilità dei valori di concentrazione in nitrati nell'arco di tempo considerato e l'esiguo numero di dati relativi a ciascuna campagna di campionamento, si è deciso di effettuare la suddivisione in diverse popolazioni, considerando i dati nel loro insieme. Sono state individuate due popolazioni, una che rappresenta le concentrazioni più elevate di nitrati ("anomalia") ed una che rappresenta il tenore di fondo in nitrati ("background"), separate da una soglia di circa 4.5 mg/l che è effettivamente compatibile con il passaggio da tenori in nitrati naturali a quelli legati a fenomeni di inquinamento:

- popolazione di background, che costituisce il 9% circa della totalità dei dati, con un valore medio pari a 0.5 mg/l;
- popolazione di anomalia, che comprende il 91% dei dati, con un valore medio di 34.5 mg/l.

Visto l'elevato numero di valori al di sotto del limite di sensibilità strumentale, che rappresenta il 5% del totale dei dati e circa il 50% della popolazione di background, la definizione del valore medio di questa popolazione è incerta, in ogni caso le due popolazioni sono ben distinte.

Dall'andamento della curva di probabilità cumulativa, si nota come una percentuale relativamente bassa dei campioni (circa il 18%), presenta concentrazioni superiori al limite di 50 mg/l.

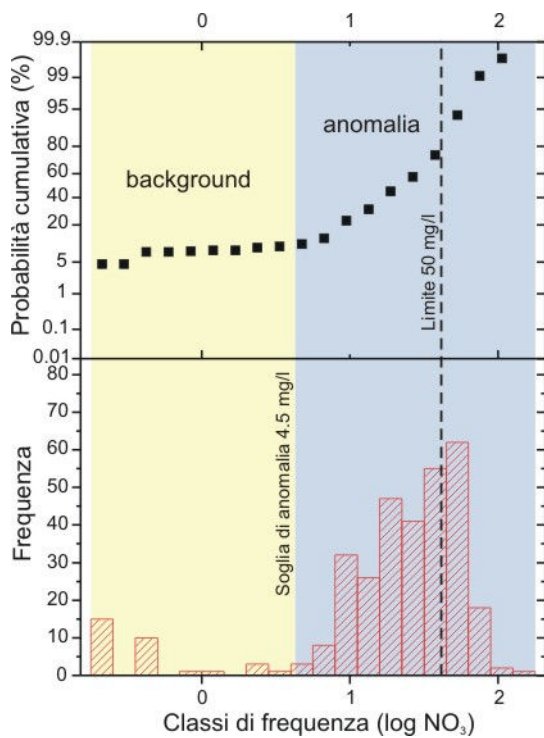


Fig. 26 - Istogramma di distribuzione dei nitrati in Alta Valle del Tevere relativi al periodo 1998-2003.

4.5.2 Acquifero alluvionale della Conca Eugubina

Il valore della mediana oscilla tra 35 e 30 mg/l per tutto il periodo di osservazione con un lieve trend decrescente. Fanno eccezione due minimi, il primo nell'autunno del '99 (26.6 mg/l), il secondo nell'autunno '01 (23.9 mg/l). Anche nell'autunno '98 si osserva un minimo relativo. Questo andamento suggerisce la presenza di una ciclicità stagionale delle concentrazioni in nitrati. L'assenza del dato relativo all'autunno 2000 e l'anomalo andamento delle precipitazioni nell'ultimo biennio (siccità), non consente di confermare per ora tale ipotesi.

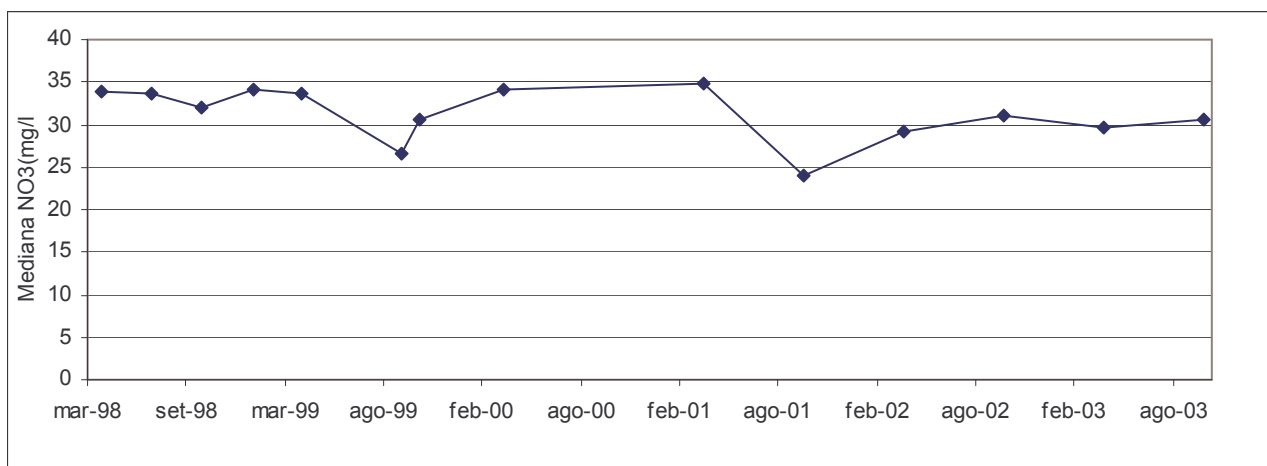


Fig.27 - Andamento della mediana delle concentrazioni di nitrati nel periodo 1998-2003 in Conca Eugubina.

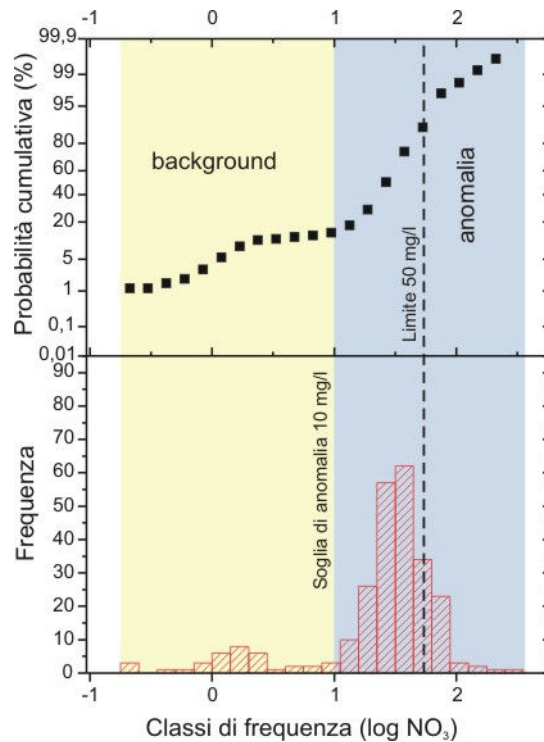


Fig. 28 - Istogramma di distribuzione dei nitrati in Conca Eugubina relativi al periodo 1998-2003.

Anche in questo caso, pur essendoci una certa variabilità nell'andamento del valore della mediana, l'esiguo numero di dati riferiti a ciascuna campagna di misure, non consente di effettuare la trattazione statistica sui dati per singola campagna.

Considerando quindi il dataset nel suo insieme, vengono individuate due diverse popolazioni, separate da un valore di soglia pari a circa 10 mg/l:

- popolazione di background, a cui appartiene circa il 13% dei campioni, aventi valore medio pari a 1.8 mg/l;
- popolazione anomala, che comprende l'87% dei campioni con media pari a circa 40 mg/l.

I campioni aventi una concentrazione in nitrati superiore al limite di 50 mg/l, rappresentano il 20% del totale. In questo caso il numero di valori inferiori al limite di sensibilità strumentale è basso e non interferisce sulla interpretazione dei dati.

Il valore soglia è più elevato di quello osservato per l'Alta valle del Tevere, tuttavia, è ancora compatibile con concentrazioni naturali.

4.5.3 Acquifero alluvionale della Media Valle del Tevere Nord

L'andamento della mediana delle concentrazioni in nitrati della Media Valle del Tevere nord, presenta un generale trend decrescente ed è caratterizzata da una marcata variabilità.

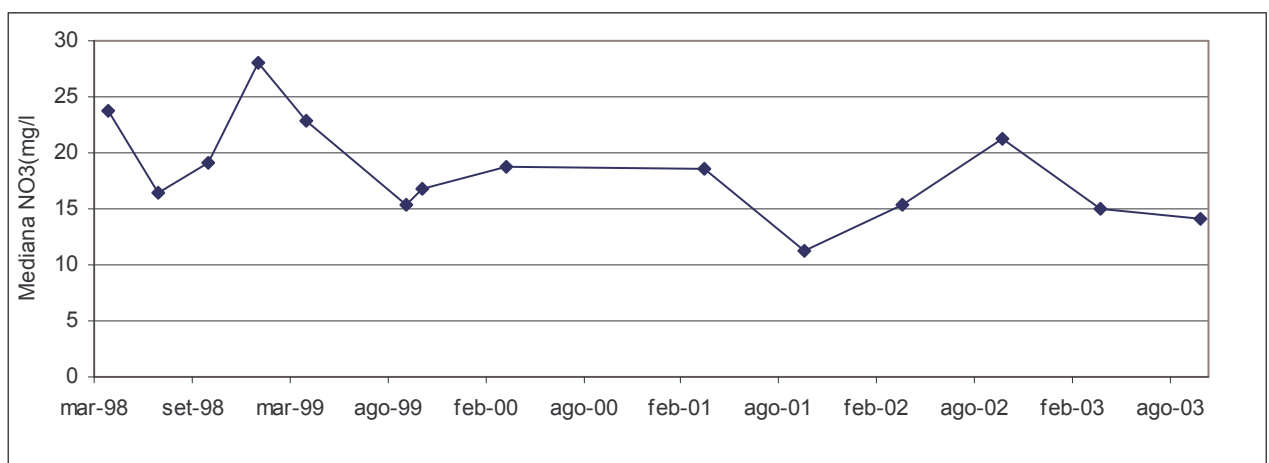


Fig.29 - Andamento della mediana delle concentrazioni di nitrati nel periodo 1998-2003 in Media Valle del Tevere nord

Fino all'autunno '01, la variabilità ha un evidente andamento stagionale con minimi nel periodo autunnale e massimi in quello primaverile.

Nel 2002, invece, caratterizzato da un andamento delle precipitazioni fortemente anomalo, in autunno si osservano valori di concentrazioni di nitrati maggiori rispetto a quelli in primavera.

Circa il 10% dei dati presenta concentrazioni superiori al limite di 50 mg/l.

Si è scelto di non effettuare una trattazione statistica dei dati, vista l'esiguità del loro numero, che risulta inferiore a 10 per ogni singola campagna.

4.5.4 Acquifero alluvionale della Media Valle del Tevere Sud

Nell'acquifero alluvionale della Media Valle del Tevere Sud il tenore in nitrati è notevolmente diminuito dal 1998 al 2003, infatti il valore della mediana delle concentrazioni è passato da 70.9 mg/l della prima campagna a 26.1 mg/l dell'ultima.

Questa diminuzione, comunque, non è regolare. Infatti, nei primi due anni di monitoraggio il trend decrescente è ben evidente, segue un periodo, tra la primavera '00 e quella del '01, in cui il valore della mediana si mantiene sostanzialmente stabile (compreso tra 46 e 48.7 mg/l) mentre nel successivo biennio riprende il trend decrescente, fino a portare la mediana, nell'ottobre '03, ad un valore di concentrazione pari a 26 mg/l.

Inoltre si osserva come le concentrazioni in nitrati sono generalmente più alte nella campagna primaverile rispetto a quella autunnale. Nell'arco di un anno diminuiscono in modo consistente, passando, ad esempio, da 70.8 mg/l nella primavera '98 a 53.1 mg/l nell'autunno'98, o da 57.6 mg/l nell'inverno'99 a 41.6 mg/l nel Novembre'99. Nel 2001, all'opposto, in autunno le concentrazioni in nitrati risultano maggiori rispetto a quelle misurate in primavera.

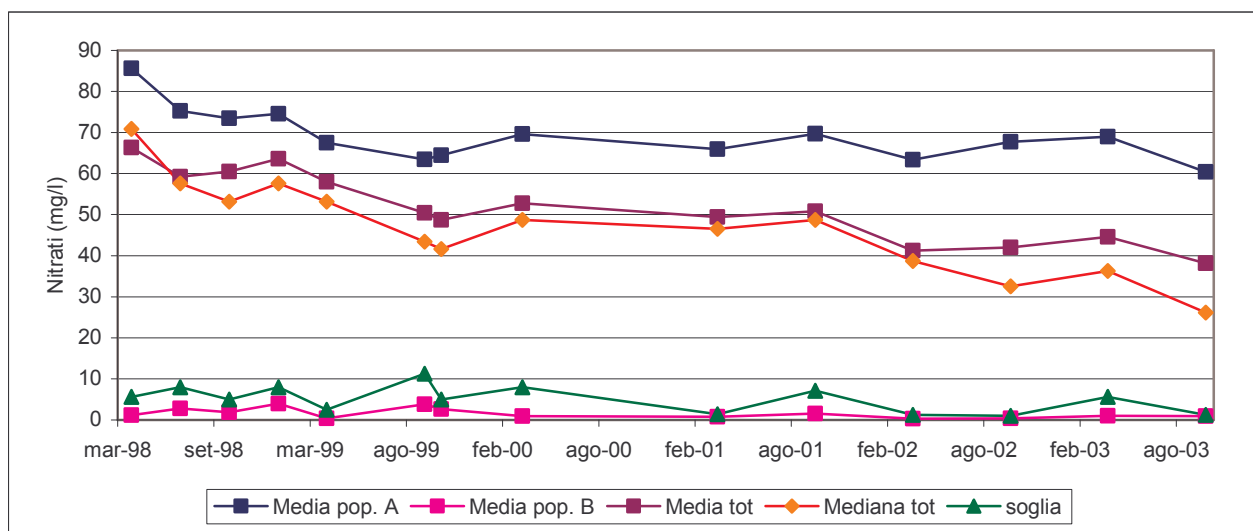


Fig. 30 - Andamento dei valori medi stimati per le due popolazioni, della media aritmetica e della mediana dei nitrati nel periodo 1998-2003 in Media Valle del Tevere sud

La presenza di un trend decrescente e di una marcata variabilità del valore della mediana delle concentrazioni, ha reso necessaria una trattazione statistica dei dati per singole campagne.

Per ciascuna campagna sono state individuate una popolazione di background ed una che rappresenta i valori più elevati di concentrazione di nitrati, separate da una soglia compresa tra 1 (Ott.'02) e 11 mg/l (Ott.'99):

- background naturale, comprendente dal 10% (Apr.'99) al 25% (Ott.'03) dei campioni e con un valore medio di concentrazione compreso tra 0.31 mg/l (Apr.'02) e 4 mg/l (Gen.'99);
- anomalia, comprendente dal 75% (Ott.'03) al 90% (Apr.'99) dei campioni e caratterizzata da un valore medio compreso tra 60.4 mg/l (Ott.'03) e 85.6 mg/l (Apr.'98).

Il valore medio della popolazione di background si mantiene molto basso, compatibile con concentrazioni in nitrati di origine naturale.

Nei cronogrammi dei valori medi delle due popolazioni e dell'intero dataset, riportati in figura, è evidente come l'andamento dei valori della media della popolazione A (anomalia), sia ben correlato a quello della media aritmetica calcolata sull'intero dataset di ogni campagna. Questo conferma il fatto che la maggior parte dei nitrati presenti nell'acquifero, sia di origine esterna ad esso.

Il valore della media della popolazione di background invece, presenta una bassa variabilità. Tuttavia si osserva un leggero trend decrescente anche per questo parametro. Questo potrebbe indicare una, seppur minima, sovrapposizione delle due popolazioni che comporta che anche questo dato, che dovrebbe

rappresentare solo il tenore di fondo in nitrati naturalmente presente nell'acquifero, risente della variazione nel tempo dell'apporto esterno dei nitrati (inquinamento).

Circa il 50% dell'intero dataset presenta concentrazioni in nitrati superiori a 50 mg/l; tale percentuale risulta essere la più elevata rispetto a quella stimata negli altri acquiferi studiati, a conferma dell'entità del fenomeno di inquinamento della falda acquifera.

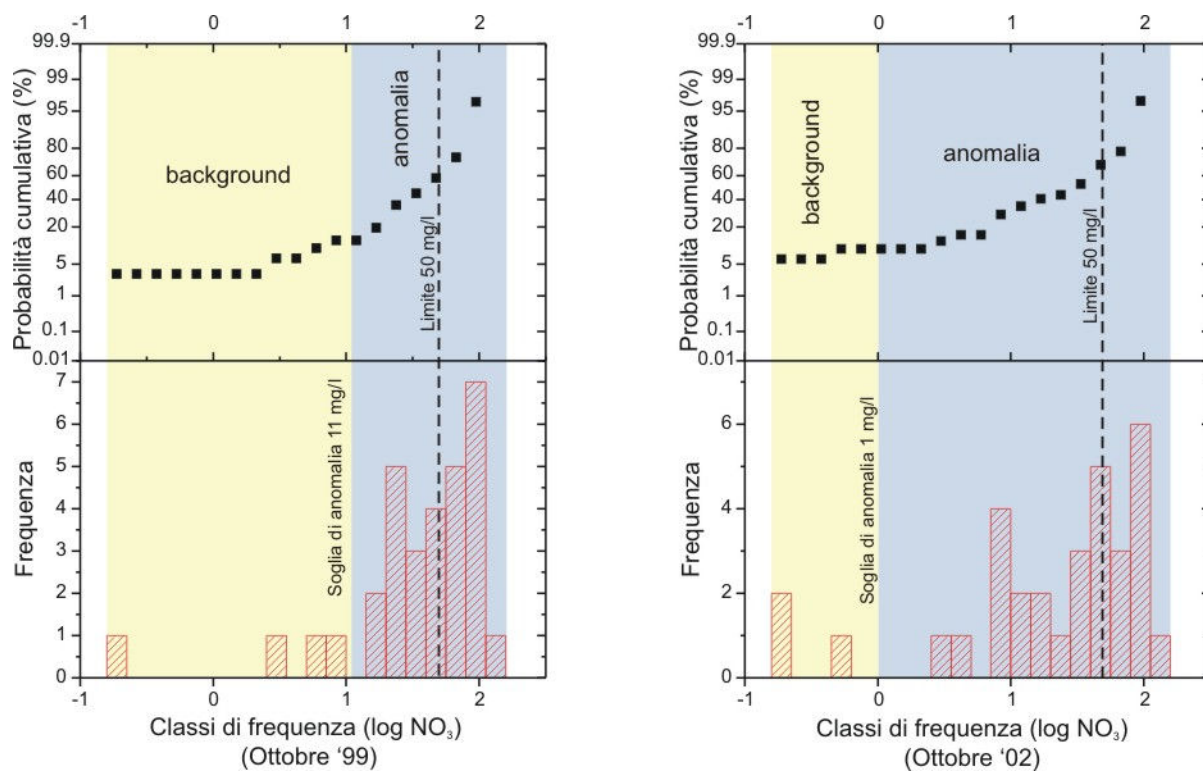


Fig.31 - Istogrammi di distribuzione dei nitrati campagne ottobre 1999 e ottobre 2002 in Media Valle del Tevere sud.

4.5.5 Acquifero alluvionale della Valle Umbra

L'andamento della mediana delle concentrazioni di nitrati nell'acquifero della Valle Umbra non sembra subire significative variazioni nell'arco dei cinque anni di osservazione, tuttavia si registrano situazioni diverse di anno in anno.

Durante il 1998, la mediana aumenta di quasi 10 mg/l dalla primavera all'autunno, per poi tornare a valori prossimi a quelli della prima campagna nell'inverno dell'anno successivo. Dalla primavera del '99 a quella del 2000 rimane costante. In seguito si registra una diminuzione consistente del valore della mediana, da 48.7 mg/l della primavera'00 a 34.5 mg/l dell'autunno'01, quando vengono raggiunti i valori minimi di concentrazione di tutto il periodo di osservazione. Da qui si verifica un nuovo aumento durante tutto il 2002, fino alla primavera'03, quando la mediana supera i 45 mg/l, per poi diminuire nuovamente fino a 37.6 mg/l nell'autunno'03.

Nel caso della Valle Umbra, visto l'elevato numero di dati a disposizione, si è deciso comunque di trattare singolarmente ogni campagna, nonostante la bassa variabilità dei dati a disposizione.

Mediante l'utilizzo delle metodologie geostatistiche precedentemente indicate (Sinclair e Siechel), è possibile individuare per tutte le campagne considerate, due popolazioni, separate da un valore di soglia compreso tra 11 mg/l (Ott.'03) e 24 mg/l (Apr.'98):

- popolazione di background (B), che comprende dal 21% (Nov. '99) al 29% (Apr.'02) dei campioni, e con valori medi di concentrazione dei nitrati compresi tra 4.79 mg/l (Ott.'03) e 17.1 mg/l (Ott.'98).
- popolazione anomala (A), rappresenta la maggior parte dei dati, comprendendo infatti dal 71% (Apr.'02) al 79% (Nov.'99) dei campioni e con valori medi dei nitrati compresi tra 53.1 mg/l (Ott.'03) e 71.3 mg/l (Ott.'98).

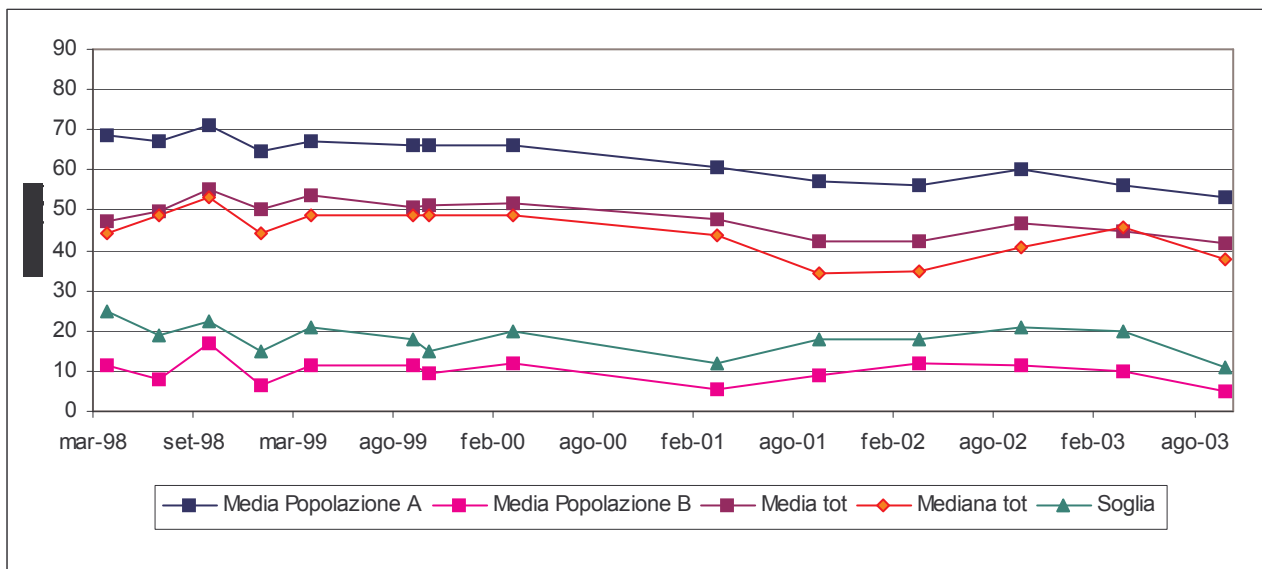


Fig. 32 - Andamento dei valori medi stimati per le due popolazioni, della media aritmetica e della mediana dei nitrati nel periodo 1998-2003 nell'acquifero freatico della Valle Umbra.

Esaminando gli andamenti delle medie stimate per le due popolazioni, si vede come questi siano generalmente concordi con l'andamento della media aritmetica calcolata per ciascuna campagna.

L'interpretazione della curva di probabilità cumulativa per basse concentrazioni in nitrati è resa difficile sia dall'esiguità del numero di dati, che dalla presenza, in ogni campagna, di un consistente numero di campioni (circa il 7%) aventi concentrazione in nitrati inferiore al limite di sensibilità strumentale. Questo comporta un certo grado di incertezza sia nell'individuazione del valore soglia che separa le due popolazioni sia nella stima del valore medio per la popolazione di background.

Le due popolazioni, al contrario di quanto osservato per la Media Valle del Tevere Sud, sono parzialmente sovrapposte, infatti in alcuni casi i valori più alti del background possono essere superiori a quelli più bassi dell'anomalia. Se confrontiamo i valori medi del background della Media Valle del Tevere Sud con quelli della Valle Umbra, si vede che quest'ultimi sono ben più elevati. Tale differenza non è spiegabile semplicemente considerando le diverse caratteristiche geolitologiche e idrogeologiche delle due aree. La popolazione di background della Valle Umbra, potrebbe essere in realtà composta da due popolazioni diverse, ma non distinguibili, una che rappresenta il reale tenore di fondo naturale in nitrati, l'altra che rappresenta un inquinamento diffuso di basso grado.

Per questo motivo l'andamento della media della popolazione di background risulta piuttosto concorde a quello della popolazione anomala, che rappresenta in modo specifico il fenomeno di inquinamento.

Dall'andamento delle diverse curve di probabilità cumulativa, si nota come circa il 50% dei campioni presenti concentrazioni in nitrati superiori a 50 mg/l; ciò sta ad indicare una qualità della risorsa idrica inferiore rispetto a quella degli altri acquiferi considerati.

In figura vengono mostrati gli istogrammi e le curve di probabilità cumulativa relative alle due campagne che hanno mostrato il valore massimo e minimo di soglia di anomalia.

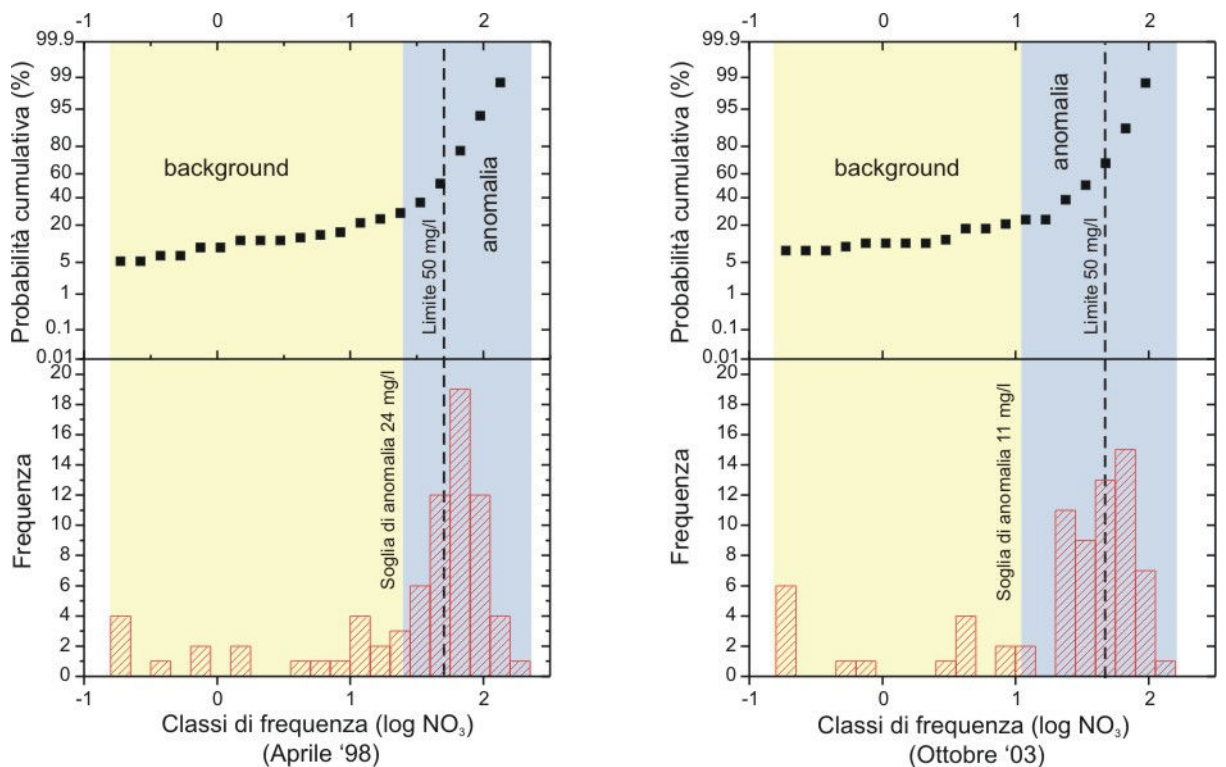


Fig. 33 - Istogrammi di distribuzione dei nitrati campagne aprile 1998 e ottobre 2003 nell'acquifero freatico della Valle Umbra.

4.5.6 Acquifero in pressione di Cannara

L'acquifero di Cannara, come si può osservare in figura, è caratterizzato da basse concentrazioni in nitrati, come ci si poteva aspettare dai valori di Eh-pH che indicavano per questo acquifero condizioni in cui la fase stabile dell'azoto è NH_4^+ .

L'andamento della mediana, sempre inferiore a 7 mg/l, mostra la presenza di alcuni picchi relativi di concentrazione in corrispondenza dell'estate'98, dell'autunno'99 e della primavera del 2002, ma l'aumento è molto contenuto, non essendo superiore a 2 mg/l e già nelle campagne successive a tali periodi, si registrano nuove diminuzioni delle concentrazioni. Un più consistente aumento della mediana, pari a circa 5 mg/l, si registra tra l'autunno'02 e la primavera del 2003; solo il proseguo dell'attività di monitoraggio potrà indicare se rappresenti l'inizio di un trend di crescita.

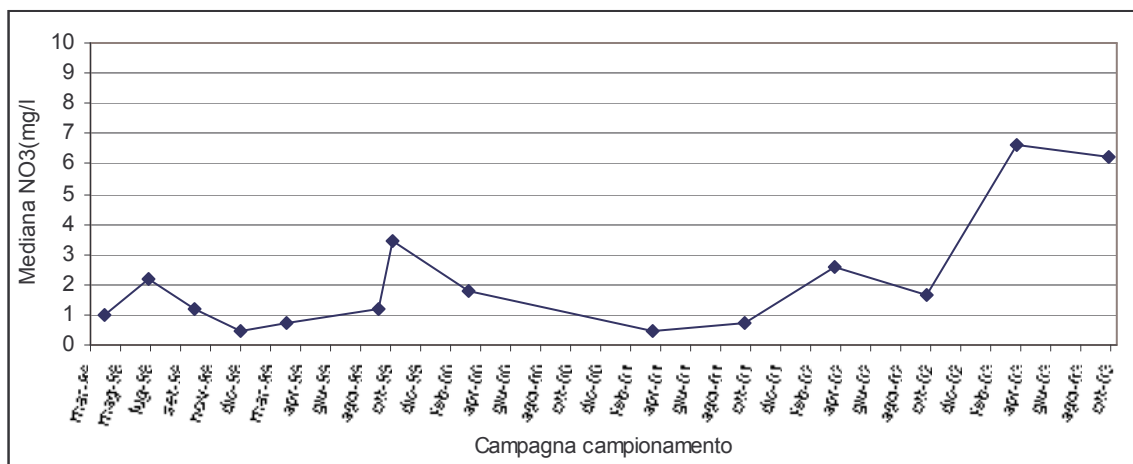


Fig. 34 - Andamento della mediana delle concentrazioni di nitrati nel periodo 1998-2003 nell'acquifero artesiano di Cannara.

Non è stata effettuata la suddivisione in popolazioni mediante l'approccio probabilistico, a causa del numero di dati relativamente basso e per il fatto che una percentuale troppo elevata di questi (circa 30% del totale)

presenta concentrazioni al di sotto del limite di sensibilità strumentale. Non sarebbe possibile quindi definire correttamente la popolazione di background e di conseguenza non si potrebbe individuare il valore di soglia tra le due popolazioni.

Solamente il 5% dei dati presenta concentrazioni in nitrati superiori ai 50 mg/l ed è relativo ad un solo punto di campionamento situato al margine orientale dell'acquifero.

4.5.7 Acquifero alluvionale della Conca Ternana

Nell'acquifero alluvionale della Conca Ternana, tra il 1998 ed il 2003, si rileva una generale diminuzione delle concentrazioni in nitrati, evidenziata dal fatto che il valore della mediana è passato da un massimo di 28,8 mg/l nell'estate '98, ad un minimo di 11,3 mg/l nella primavera '03. In realtà, dall'autunno del'98 fino alla primavera del 2000, il valore della mediana è sempre oscillato tra i 20 e i 25 mg/l, mentre, a partire dalla primavera del 2001, si è verificato un vero e proprio abbassamento delle concentrazioni che, nell'arco di un anno, ha portato ad una diminuzione del valore della mediana pari a 14 mg/l.

A causa della variabilità del valore della mediana nel tempo, si rende necessario effettuare una trattazione statistica dei dati considerando separatamente ogni campagna. Tuttavia per alcune di queste (Lug. '98, Ott. '99, Nov.'99 e Ott.'01), le curve di probabilità cumulativa sono risultate molto difficili da interpretare tanto da indurre a non stimare parametri che sarebbero risultati troppo incerti.

Sono state individuate una popolazione di background naturale ed una anomala, per i dati delle campagne effettuate fino ad Aprile '01:

- popolazione di background, che comprende dal 14% (Apr.'99) al 20% (Ott.'98 e Apr.'01) dei dati, con valore medio compreso tra 3.6 mg/l (Apr.'99) e 7.1 mg/l (Apr.'00);
- popolazione di anomalia, comprendente dall' 80% (Ott.'98 e Apr.'01) all' 86% (Apr.'99) dei campioni, con concentrazioni medie comprese tra 30 mg/l (Apr.'01) e 36.2 mg/l (Ott.'98).

Per le ultime quattro campagne (da Apr.'02 a Ott.'03) l'andamento delle curve di probabilità non ha permesso la distinzione tra popolazione di background e popolazione di anomalia. Questo è probabilmente legato al fatto che il valore di concentrazione in nitrati è mediamente diminuito. Nonostante questa generale diminuzione va evidenziato che il fenomeno inquinante in questo periodo ha interessato anche quei pozzi che precedentemente presentavano concentrazioni di background. Per queste campagne è stato stimato un valore medio di concentrazione compreso tra 21.4 e 24.5 mg/l sull'intero dataset.

Considerando i dati di tutto il periodo di monitoraggio la percentuale che supera il limite di 50 mg/l è piccola, pari a circa il 10% del totale.

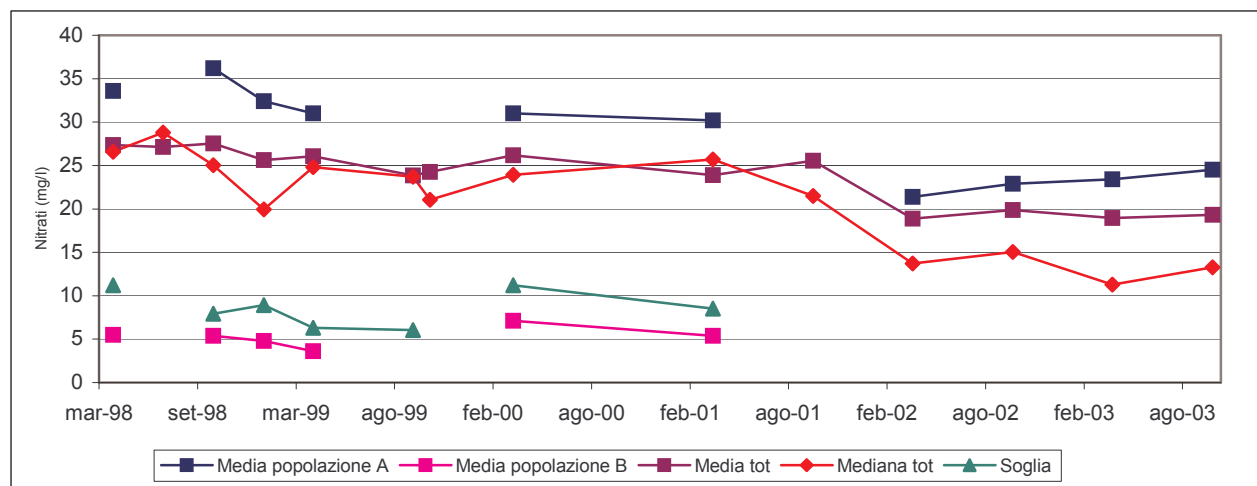


Fig. 35 - Andamento dei valori medi stimati per le due popolazioni, della media aritmetica e della mediana dei nitrati nel periodo 1998-2003 in Conca Ternana.

In figura vengono mostrati gli istogrammi e le curve di probabilità cumulativa relative alle due campagne che hanno mostrato il valore massimo e minimo di soglia di anomalia.

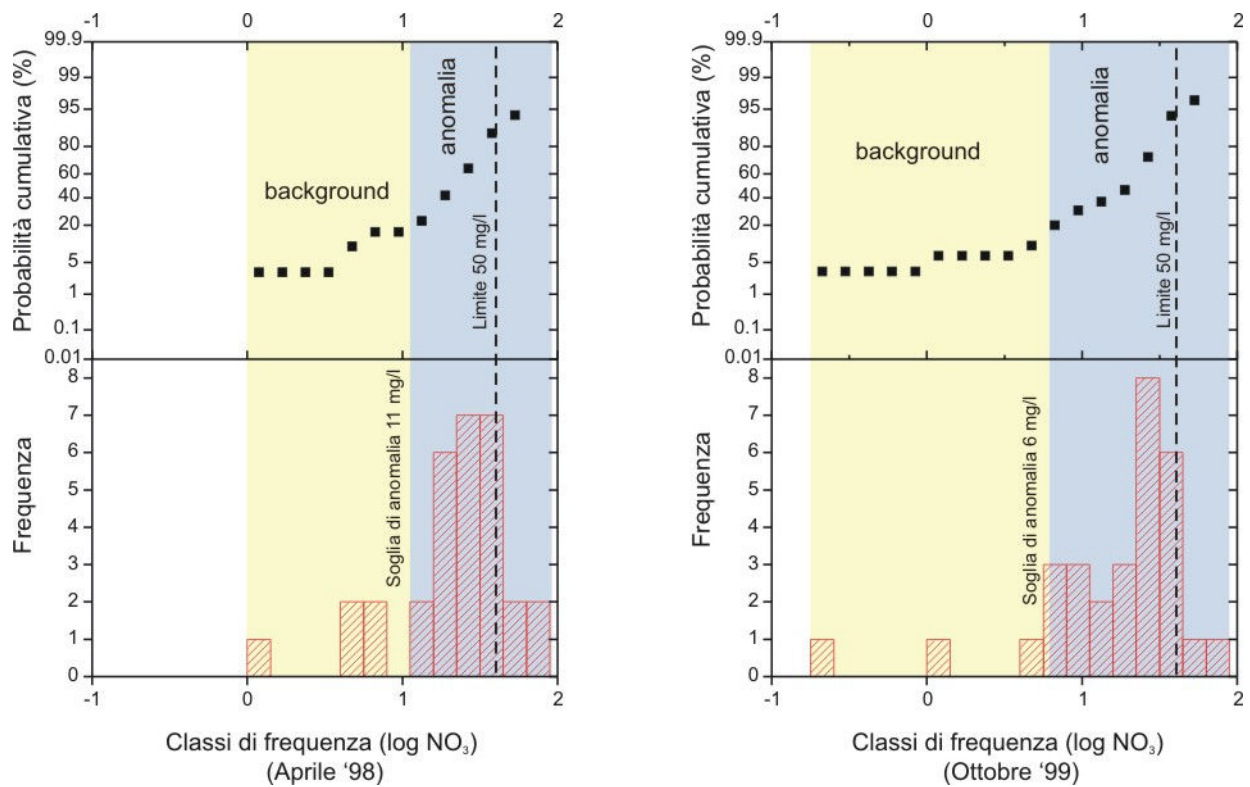


Fig.36 - Istogrammi di distribuzione dei nitrati campagne aprile 1998 e ottobre 1999 in Conca Ternana.

4.5.8 Acquiferi carbonatici

In questo lavoro sono stati trattati complessivamente i dati di tutti gli acquiferi carbonatici monitorati: Monti delle Valli del Topino e Menotre, Monti della Valnerina e Monte Cucco.

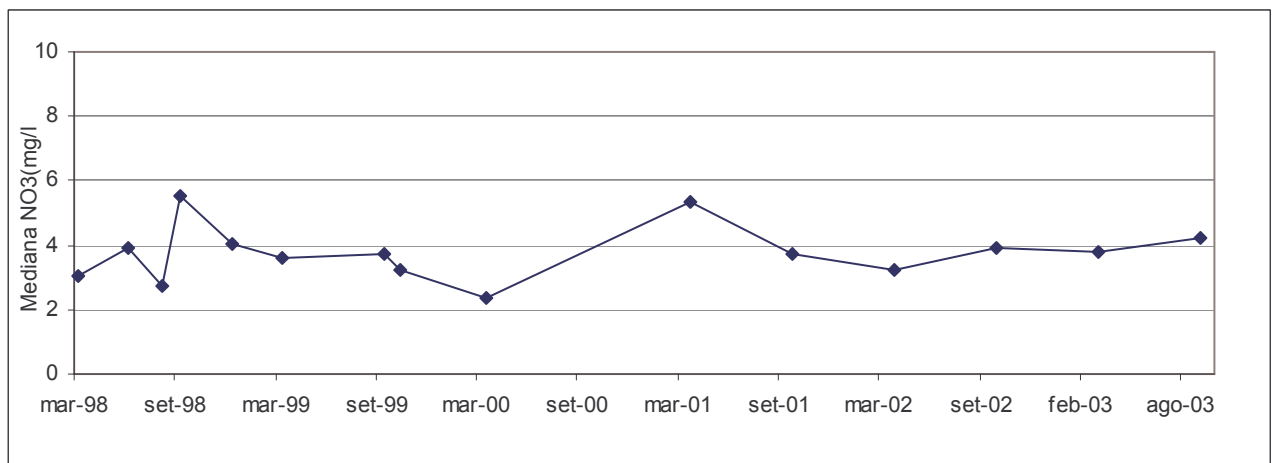


Fig. 37 - Andamento della mediana delle concentrazioni di nitrati nel periodo 1998-2003 negli acquiferi carbonatici.

Come si può vedere dalla figura, le concentrazioni in nitrati negli acquiferi carbonatici sono molto basse, con valori della mediana compresi tra 2.7 e 5.5 mg/l in tutto l'arco dei cinque anni considerati. Sono presenti due picchi relativi in corrispondenza dell'autunno'98 e della primavera'01, in cui il valore della mediana ha raggiunto, rispettivamente, 5.5 mg/l e 5.3 mg/l.

Non è stata effettuata la suddivisione in popolazioni mediante l'approccio probabilistico, a causa del numero di dati molto basso e che i dati non mostrano evidenze di fenomeni di inquinamento da nitrati.

4.5.9 Acquifero vulcanico

Per l'acquifero vulcanico, di cui si dispone di dati solo a partire dal 2003, è stato possibile solo verificare l'andamento della media e della mediana dei valori dei nitrati. Nel dataset sono stati inseriti anche i dati relativi all'ultima campagna disponibile effettuata nel mese di agosto 2004.

Il dataset è così costituito da un totale di 43 analisi distribuiti in quattro campagne.

Se si fa eccezione per la prima campagna (studio preliminare) nella quale media e mediana assumono quasi lo stesso valore, le due grandezze mostrano lo stesso andamento con valori della media di poco superiori alla mediana. Dopo una iniziale riduzione dei valori si osserva, a partire dall'estate 2003 un trend di crescita. Il periodo di osservazione è, tuttavia, troppo breve per consentire l'interpretazione di tale andamento.

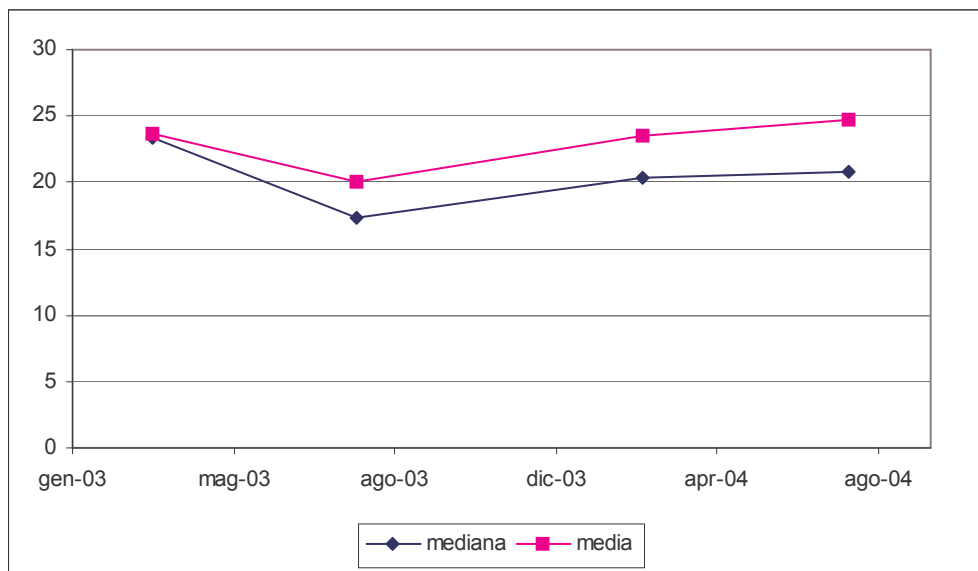


Fig. 38 - Andamento della mediana delle concentrazioni di nitrati nel periodo 2003-2004 nell'acquifero vulcanico

4.6 Microinquinanti

4.6.1 Presenza di microinquinanti nelle acque sotterranee

La presenza di prodotti fitosanitari risulta estremamente variabile. Percentuali di rilevazione dell'ordine del 10% riguardano gli acquiferi della Valle Umbra, della Media Valle del Tevere e dell'Alta Valle del Tevere mentre in Conca Eugubina vi sono solo rilevazioni sporadiche e nessuna rilevazione è stata fatta in Conca Ternana.

Le percentuali di rilevazione maggiori per gli idrocarburi riguardano la Conca Eugubina e, in misura minore la Media e Alta Valle del Tevere; percentuali inferiori e legate a situazioni locali sono presenti in Valle Umbra e Conca Ternana.

I composti organo-alogenati volatili sono invece molto presenti in Conca Ternana, dove assumono le caratteristiche di inquinamento diffuso. Le percentuali di rilevazione superano il 40% in media nel periodo 1998-2003 e riguardano principalmente il tetracloroetilene. I dati delle ultime due campagne indicano comunque una diminuzione del numero di campioni con presenza di composti organo-alogenati volatili. Per quanto riguarda gli altri acquiferi percentuali di rilevazione significativamente alte sono presenti in Conca Eugubina (circa 25%) e Valle Umbra (oltre il 15%) dove il numero di campioni positivi non mostra variazioni significative nel tempo.

Tra i metalli pesanti non si evidenziano situazioni particolarmente preoccupanti, tuttavia si segnala la presenza in alcuni campioni di Cromo totale, in concentrazioni rilevabili ma inferiori ai limiti di legge. Per questi campioni è opportuno effettuare uno studio di speciazione del cromo, vista la differente "pericolosità" di questo elemento in funzione del suo stato di speciazione.

5. BIBLIOGRAFIA

Ge.mi.na, 1962

Ligniti e torbe dell'Italia continentale, Geomineraria nazionale, Roma.

Idrotecneco, RPA, 1974

Ricerca operativa sulle acque sotterranee, Regione dell'Umbria, Rapporto interno, Perugia.

Idrotecneco, RPA, 1975

Ricerca operativa sulle acque sotterranee. Seconda parte, Regione dell'Umbria, Rapporto interno.

Idrogeocoop, 1980

Situazione idrogeologica nell'Alta Valle del Tevere, in Indagini sugli aspetti idrogeologici connessi al problema della navigabilità del fiume Tevere conseguentemente alla realizzazione di grandi invasi sul bacino, Regione Lazio, Rapporto interno.

M. Della Martera 1980; M Spadoni 1981

Aquater, RPA, 1984

Studio idrogeologico della Valle Umbra Sud, Regione dell'Umbria, Rapporto interno.

Aquater, RPA, 1986

Modello matematico del sistema acquifero alluvionale della Valle Umbra, Regione dell'Umbria, Rapporto interno, Perugia.

Consorzio CIRPAM, 1986

Costruzione di n. 5 pozzi a scopo irriguo nell'Alta Valle del Tevere, Ente di sviluppo agricolo dell'Umbria, Rapporto interno, Perugia.

Perigeo (1987), Scandellari (1986)

Angeletti A., Chiodini G., Giaquinto S., Marchetti G., Mattioli B., 1987

Studi idrogeochimici nell'area geotermica di Torre Alfina, in "Quaderni Regione dell'Umbria", serie Ricerche sul territorio, 4, Perugia.

Regione dell'Umbria, 1989

Piano ottimale di utilizzazione delle risorse idriche della regione (I stralcio) - I fase operativa. Studi sulle strutture carbonatiche, Assessorato Difesa del Suolo, Ambiente e Infrastrutture, Perugia.

RPA (1986-88-90),

Marchetti G., Martinelli A., 1990

Vulnerabilità dell'acquifero alluvionale nell'area di Petrignano di Assisi. Scala 1:10.000, in Atti del I convegno nazionale sulla protezione e gestione delle acque sotterranee: metodologie, tecnologie e obiettivi, vol. 1, Marano sul Panaro (Modena), pp. 279- 289.

Marchetti G., Martini E., 1990

Carta di vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento della Valle Umbra Nord, GNDCI-CNR (pubbl. n. 256), Perugia.

Chiodini G., Giaquinto S., Marchetti G., Martinelli A., 1990

Il monitoraggio idrogeologico ed idrochimico del sistema alluvionale della Valle Umbra (Umbria): prima analisi dei risultati in Atti del 1° convegno nazionale sulla protezione e gestione delle acque sotterranee: metodologie, tecnologie e obiettivi, vol. 2, Marano sul Panaro (Modena), pp. 277-291.

Del Giudice C., Marchetti G., Martini E., Pizzi G., 1990

Pianificazione e gestione delle risorse idriche sotterranee mediante modelli matematici di simulazione, in "Studi e Informazioni", III, 5, gennaio-aprile, pp. 9-17.

???, 1993???

Indagine sulla qualità delle acque sotterranee nel territorio della IX Circoscrizione

A.L.Grignetti, 1990

Aspetti Idrogeologici della valle del Tevere a Nord di Perugia, Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Perugia – Tesi di laurea

Boni C., Falcone M., Giaquinto S., Martini E., Zoppis L., 1991

Risorse idriche sotterranee dei massicci carbonatici umbri, in AA.VV., Le acque sotterranee in Umbria, a cura di S. Giaquinto, G. Marchetti, A. Martinelli, E. Martini, Protagon - GNDCI-CNR (pubbl. 413), Perugia, pp. 49-64.

Chiodini G., Del Giudice C., Giaquinto S., Marchetti G., Martinelli A., Martini E., 1991

Il monitoraggio idrogeologico ed idrochimico del sistema alluvionale della Valle Umbra, in AA.VV., Le acque sotterranee in Umbria, a cura di S. Giaquinto, G. Marchetti, A. Martinelli, E. Martini, Protagon - GNDCI-CNR (pubbl. 413), Perugia, pp. 83- 94.

Marchetti G., Martinelli A., 1991

Gli acquiferi alluvionali dell'Umbria, in AA.VV., Le acque sotterranee in Umbria, a cura di S. Giaquinto, G. Marchetti, A. Martinelli, E. Martini, Protagon - GNDCI-CNR (pubbl. 413), Perugia, pp. 13-48.

AA.VV., 1991

Le acque sotterranee in Umbria, a cura di S. Giaquinto, G. Marchetti, A. Martinelli, E. Martini, Protagon - GNDCI-CNR (pubbl. 413), Perugia.

AA.VV., 1991

Progetto di ricerca finalizzato alla valutazione degli effetti nell'Alta Valle del Tevere conseguenti all'esercizio dell'invaso di Montedoglio, Regione Toscana - Regione dell'Umbria, Rapporto interno.

Giaquinto S., Martinelli A., 1991

Studi sull'acquifero artesiano di Cannara, in AA.VV., Le acque sotterranee in Umbria, a cura di S. Giaquinto, G. Marchetti, A. Martinelli, E. Martini, Protagon - GNDCI-CNR (pubbl. 413), Perugia, pp. 145-167.

Marchetti G., Martini A., 1991

Carta di vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento della Valle Umbra Sud, GNDCI-CNR (pubbl. n. 468), Perugia.

Regione dell'Umbria, 1991

Piano ottimale di utilizzazione delle risorse idriche della regione (I stralcio) - I fase operativa. Indagini geoidrologiche preliminari - Area vulcanica di Orvieto, Assessorato Difesa del Suolo, Ambiente e Infrastrutture, Perugia. Uso della risorsa idrica

Martinelli A., 1993

Analisi idrogeochimica del reticolo di base dei pozzi dell'Alta Valle del Tevere, CNR - GNDCI - U.O. 4.11, Regione dell'Umbria, Rapporto interno, Perugia.

Froncini F., Giaquinto S., 1994

Qualità delle acque: analisi degli indici di inquinamento, in AA.VV., Studi della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento, N. 10. La Conca Ternana, a cura di G. Marchetti, Quaderni di tecniche ambientali, n. 47, GNDCI-CNR (pubbl. n. 1068), Pitagora, Bologna, pp. 119-134.

Giaquinto S., Martinelli S., 1994

Studio della falda alluvionale e delle interazioni con il fiume Nera, in AA.VV., Studi della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento, N. 10. La Conca Ternana, a cura di G. Marchetti, Quaderni di tecniche ambientali, n. 47, GNDCI-CNR (pubbl. n. 1068), Pitagora, Bologna, pp. 101-118.

AA.VV., 1994

Studi sulla vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento. N. 10. La Conca Ternana, a cura di G. Marchetti, Quaderni di tecniche ambientali, n. 47, Pitagora - GNDCI-CNR (pubbl. 1068), Bologna.

Froncini F., Giaquinto S., 1994

Quadro idrochimico generale, in AA.VV., Studi della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento, N. 10. La Conca Ternana, a cura di G. Marchetti, Quaderni di tecniche ambientali, n. 47, GNDCI-CNR (pubbl. n. 1068), Pitagora, Bologna pp.

Martinelli A., Santucci A., 1994

Idrogeologia delle sequenze continentali, in AA.VV., Studi sulla vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento. N. 10. La Conca Ternana, a cura di G. Marchetti, Quaderni di tecniche ambientali, n. 47, Pitagora - GNDCI-CNR (pubbl. 1068), Bologna.

AA.VV., 1995

Acquifero alluvionale dell'Alta Valle del Tevere - Carta di vulnerabilità all'inquinamento, GNDCI-CNR (pubbl. 1115), Città di Castello.

Giaquinto S., Checcucci R., Peruzzi L., 1996

Valutazione della vulnerabilità degli acquiferi della Conca Eugubina. Caratteristiche idrogeologiche ed idrochimiche degli acquiferi ed analisi degli indici di inquinamento, Regione dell'Umbria, Rapporto interno, Perugia.

Martinelli A., 1996

Valutazione della vulnerabilità degli acquiferi della Conca Eugubina. Studio preliminare per la valutazione delle aree di ricarica della struttura calcarea dei monti di Gubbio, Regione dell'Umbria, Rapporto interno, Perugia.

AA.VV., 1997

Carta di vulnerabilità all'inquinamento degli acquiferi della Conca Eugubina, GNDCI-CNR (pubbl. 1814)

Peruzzi L., Santucci A., 1997

Carta di Vulnerabilità degli acquiferi della Media Valle del Tevere – Indagini Idrogeologiche preliminari, Regione dell'Umbria, Rapporto interno, Perugia.