

TAB. 2 - Carichi specifici di azoto per Comune, derivanti dal comparto zootecnico e suolo coltivato e dal comparto urbano-industriale. - Nitrogen specific loads at municipal level from cattle breeding and cultivated fields and urban-industrial sectors.

	agricolo-zootecnico (kg/a/ha)	urbano-industriale (kg/a/ha)
ALLUMIERE	137	98
ANGUILLARA SABAZIA	442	37
BRACCIANO	122	49
CAMPAGNANO DI ROMA	228	22
CANALE MONTERANO	65	47
CAPENA	32	24
CASTELNUOVO DI PORTO	27	53
CERVETERI	55	47
CIVITAVECCHIA	26	59
CIVITELLA SAN PAOLO	29	51
FIANO ROMANO	61	22
FILACCIANO	56	57
FIUMICINO	132	12
FORMELLO	64	45
LADISPOLI	120	55
MAGLIANO ROMANO	33	162
MANZIANA	67	23
MAZZANO ROMANO	39	10
MORLUPO	24	93
NAZZANO	44	89
PONZANO ROMANO	34	46
RIANO	28	13
RIGNANO FLAMINIO	56	90
ROMA	60	348
SACROFANO	42	41
SANTA MARINELLA	63	33
SANT'ORESTE	26	139
TOLFA	63	55
TORRITA TIBERINA	111	51
TREVIGNANO ROMANO	39	73
media	77	65

agricolo dei Comuni di Roma e Fiumicino ricade in classe 2 così come quello dei comuni del versante tirrenico (escluso Civitavecchia).

Per la valutazione del carico specifico di azoto derivante dal comparto urbano-industriale (fig. 6), i valori specifici sono stati rappresentati sulle aree urbanizzate (Provincia di Roma, 1994) e su quelle industriali e produttive (fonte: SIRA), compresa la vasta area aeroportuale di Fiumicino e le aree estrattive (fonte: CLC94).

Nella figura spicca l'area urbano-industriale di Roma, in cui il valore calcolato supera largamente la soglia di 150 kg/a/ha (348 kg/a/ha); valori intermedi caratterizzano i Comuni di Civitavecchia e Ladispoli sulla costa, Allumiere, Tolfa, ed una serie di piccole aree nei Comuni del settore orientale. Nel Comune di Magliano Romano il valore specifico elevato (161 kg/a/ha) è dovuto al fatto che il carico totale viene rapportato ad una ridottissima area urbano-produttiva.

4.3.2. - Carico organico

I valori specifici calcolati per il carico organico (abitanti equivalenti /ha) proveniente da fonti diffuse (comparto zootecnico) e puntuali (comparto urbano-industriale) sono mostrati in figura 7 e figura 8 ("Carichi organici specifici derivanti dalla zootecnia" e "Carichi organici specifici derivanti dal comparto urbano-industriale") suddivisi in 3 classi dimensionali (< 10; 11 - 50; > 50 ab_equiv/ha) e in tabella 3.

Analogamente a quanto esposto per la distribuzione del carico di azoto, i valori specifici dei carichi organici derivanti dal comparto zootecnico sono stati calcolati in rapporto alla SAU, mentre i carichi organici derivanti dal comparto urbano-industriale sono stati rapportati alla superficie complessiva delle aree urbanizzate e produttive per ciascun Comune.

Per quello che riguarda i carichi organici di provenienza zootecnica (fig. 7) i valori calcolati sono piuttosto modesti e variano da 3 a 16 ab_equiv/ha SAU, con il valore più elevato in corrispondenza di Anguillara Sabazia. Valori più elevati sono stati ottenuti per i carichi di provenienza urbano-industriale (fig. 8), dove si fa manifesta la presenza dell'agglomerato urbano di Roma con 109 ab_equiv/ha, mentre per gli altri Comuni i valori calcolati si mantengono generalmente molto al di sotto dei 50 ab_equiv/ha.

5. - ATTIVITÀ SPERIMENTALI E ELABORAZIONE DEI DATI RELATIVI

5.1. - GENERALITÀ

La programmazione delle attività sperimentali sui punti d'acqua ha avuto come fase preparatoria l'acquisizione dei dati disponibili presso i diversi Enti pubblici operanti sul territorio. Purtroppo si è rilevato che nell'area di studio non esiste un censimento organico e completo dei punti d'acqua. Gli unici riferimenti erano relativi al censimento dei pozzi effettuato a seguito del

TAB. 3 - Carichi organici specifici per Comune, derivanti dal comparto zootecnico e dal comparto urbano-industriale.
- Specific organic loads at municipal level from cattle breeding and urban-industrial sectors.

	zootecnico (ab_equiv/ha)	urbano- industriale (ab_equiv/ha)
ALLUMIERE	6	26
ANGUILLARA SABAZIA	16	11
BRACCIANO	5	16
CAMPAGNANO DI ROMA	12	8
CANALE MONTERANO	7	11
CAPENA	4	9
CASTELNUOVO DI PORTO	3	16
CERVETERI	6	14
CIVITAVECCHIA	4	17
CIVITELLA SAN PAOLO	4	14
FIANO ROMANO	6	7
FILACCIANO	7	15
FIUMICINO	12	4
FORMELLO	9	12
LADISPOLI	11	14
MAGLIANO ROMANO	4	48
MANZIANA	8	6
MAZZANO ROMANO	4	2
MORLUPO	3	32
NAZZANO	6	27
PONZANO ROMANO	4	12
RIANO	3	6
RIGNANO FLAMINIO	7	21
ROMA	7	109
SACROFANO	5	11
SANTA MARINELLA	7	8
SANT'ORESTE	4	34
TOLFA	6	15
TORRITA TIBERINA	11	15
TREVIGNANO ROMANO	6	17
media	6	19

Dlgs. 275/1993, acquisito presso l'Assessorato Ambiente della Provincia di Roma, ma che per le sue caratteristiche non è stato ritenuto di rilievo ai fini di questo studio.

Presso l'Autorità di Bacino del Fiume Tevere e l'Autorità dei Bacini Regionali del Lazio esistono inoltre gli archivi dei pareri alle richieste di concessione all'estrazione di acque pubbliche, con informazioni, a volte relativamente dettagliate, circa i punti di prelievo; questi costituiscono tuttavia solo un minimo *subset* del totale dei pozzi esistenti ed attivi.

Informazioni sulla localizzazione dei punti d'acqua esistono inoltre nell'ambito dei lavori, scientifici e/o tecnici, riferiti agli aspetti idrogeologici che peraltro risultano spesso di difficile utilizzazione a causa del posizionamento incerto.

Un'altra importante fonte di informazione sui punti d'acqua, essenzialmente di tipo quantitativo, è rappresentata dagli studi promossi dalla Regione Lazio ai fini dell'aggiornamento del Piano Regolatore Generale degli Acquedotti; questi contengono gli schemi dei prelievi attuali e di quelli in previsione per il 2015 con l'ubicazione dei punti di presa e delle portate addotte. I punti di presa idropotabili e le loro aree di alimentazione costituiscono delle zone di particolare sensibilità nell'ottica di questo studio.

Per quanto riguarda il monitoraggio delle acque sotterranee, al momento di avvio della ricerca, la Regione Lazio - Dip. Ambiente e Protezione Civile - nell'ambito del Piano di Tutela delle Acque stava programmando l'individuazione di una rete di monitoraggio, sia per gli aspetti quantitativi che qualitativi.

L'informazione disponibile riguardava soltanto i punti di prelievo idropotabile nei quali, ai sensi del DPR 236/88, erano controllati alcuni parametri chimico-fisici e batteriologici ai fini della potabilità. Una parte significativa di questi dati, relativi al periodo 1991-1998, sono stati reperiti presso il PMP di Roma USL - RM5.

Le informazioni in argomento hanno rappresentato la base conoscitiva iniziale per l'avvio delle attività di campagne sperimentali che hanno comportato la sistematica e reiterata interlocuzione con tutti i gestori dell'approvvigionamento idrico pubblico e con i maggiori utilizzatori di acque sotterranee per impieghi agricoli e industriali. L'obiettivo era di individuare attraverso un processo iterativo un certo numero di punti d'acqua (pozzi e sorgenti) rappresentativi ai fini della ricerca.

Nell'individuazione dei punti d'acqua d'interesse per la ricerca sono state privilegiate le situazioni in cui la risorsa viene utilizzata da gestore pubblico per uso potabile, per i seguenti motivi:

- il gestore pubblico generalmente è più propenso ad autorizzare un campionamento periodico nell'ambito di un programma di monitoraggio;
- l'uso potabile è quello che nell'area di studio risulta prevalente e quindi quello sul quale si è ritenuto opportuno focalizzare gli obiettivi della rete;
- le condizioni di manutenzione per i pozzi ad uso potabile pubblico sono senz'altro garantite;
- i punti di attingimento per uso potabile per continuità di esercizio e volumi estratti assumono un ruolo di elevata significatività e rappresentatività.

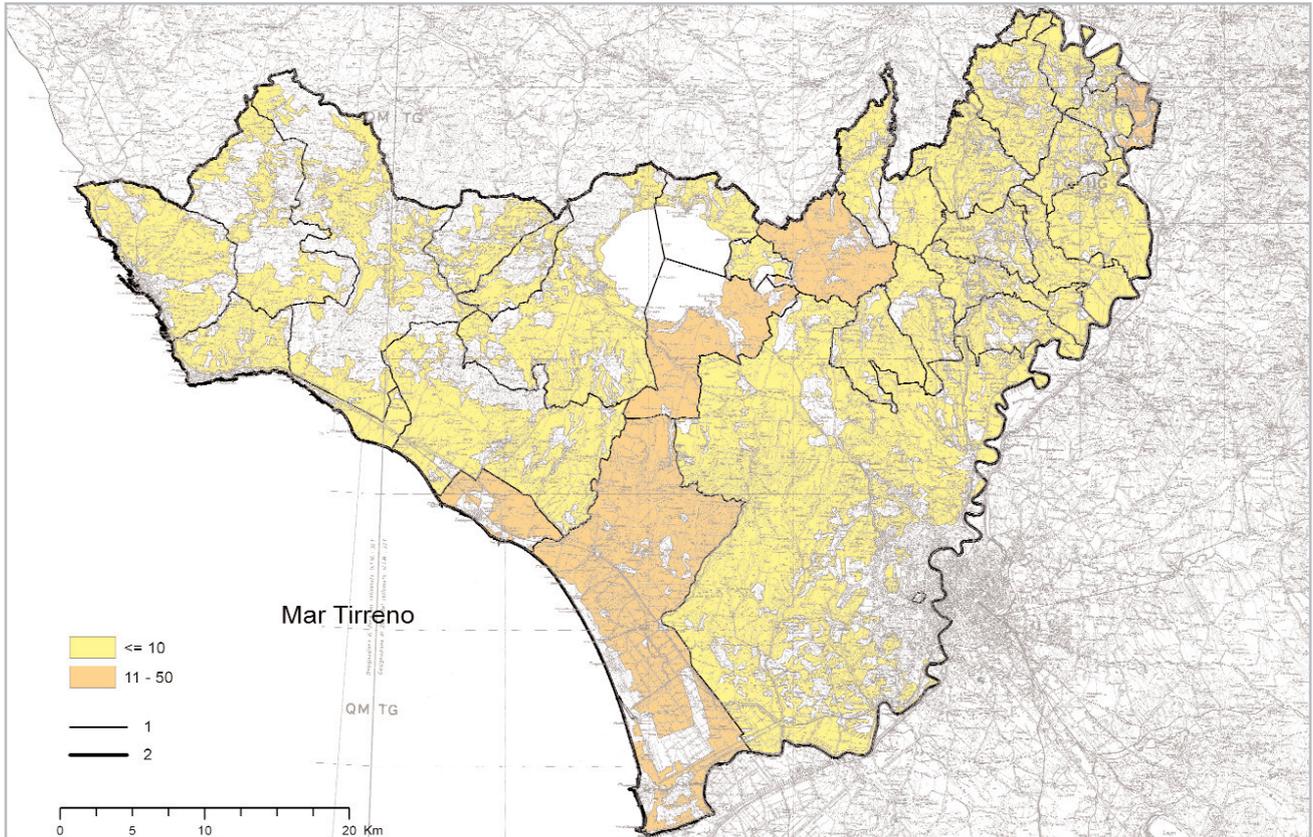


Fig. 7 - Carichi organici specifici derivanti dalla zootecnia. In legenda le classi in abitanti equivalenti per ha. 1) Limiti comunali; 2) limite area di studio.
- Specific organic loads from cattle breeding. In the legend classes are expressed in equivalent inhabitants per ha. 1) Administrative boundaries; 2) study area boundary.

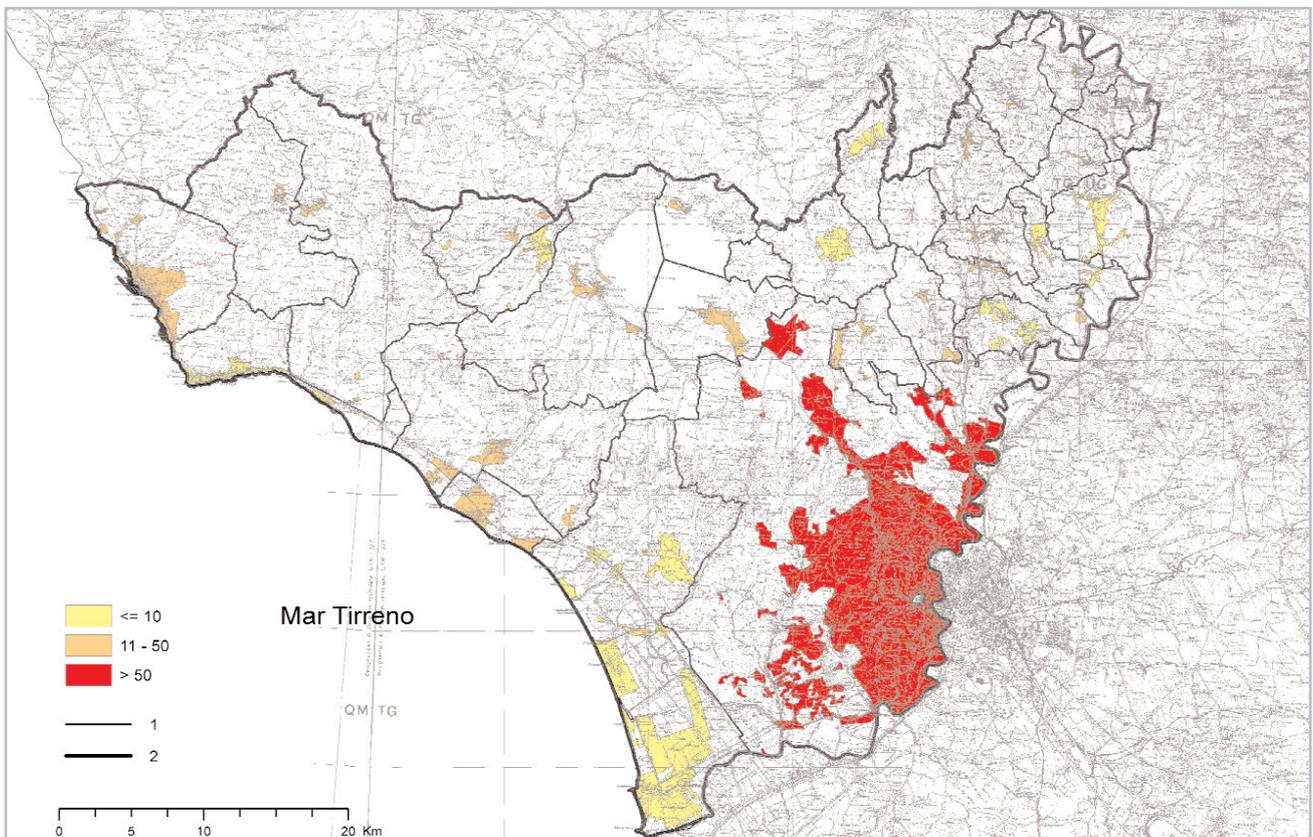


Fig. 8 - Carichi organici specifici derivanti dal comparto urbano industriale. In legenda classi in abitanti equivalenti per ha. 1) Limiti comunali; 2) limite area di studio.
- Specific urban and industrial organic loads. In the legend classes are expressed in equivalent inhabitants per ha. 1) Administrative boundaries; 2) study area boundary.

Si sottolinea in particolare la pressoché assoluta mancanza di informazioni organiche sullo stato qualitativo delle acque sotterranee e sulle facies idrochimiche rappresentative.

5.2. - CAMPAGNE DI MONITORAGGIO

In definitiva sulla base dell'informazione documentale raccolta, dei sopralluoghi di verifica e dei risultati di attività di rilevamento diretto, sono stati selezionati 121 punti d'acqua (fig. 9). Su questi sono state eseguite misure *in situ*, di livello idrico e di parametri fisico-chimici, e determinazioni di laboratorio sui campioni d'acqua prelevati che hanno portato a diverse elaborazioni e valutazioni relative sia agli aspetti quantitativi che qualitativi, descritte nel seguito. In particolare, queste valutazioni hanno fornito la base conoscitiva originale dello stato qualitativo delle acque sotterranee che rappresenta uno degli aspetti fondamentali per la individuazione di una rete efficace.

Dei 121 punti selezionati 57 sono ad uso potabile, 29 irriguo, 5 zootecnico, 7 industriale/servi-

zi, 4 domestico e 12 sono punti d'acqua liberi (tab. 4). I 57 punti d'acqua utilizzati a scopo potabile (tab. 5) comprendono 38 pozzi e 19 sorgenti.

La maggior parte di queste risorse è gestita direttamente dai Comuni, altre (17) da società private in concessione. La portata emunta o derivata dai singoli punti d'acqua è estremamente variabile, con valori compresi tra 1 l/s e 100 l/s, per una portata complessiva di circa 800-900 l/s.

In dettaglio le attività di campagna hanno riguardato:

- 29 punti d'acqua, individuati dal codice "00XX" disponibili da rilevamenti pregressi;
- 55 punti d'acqua, individuati dal codice "RMXXX" (relativi al periodo 2002-2003);
- 32 punti d'acqua, individuati dal codice "LIT0XXX" (anch'essi del periodo 2002-2003), campionati con l'obiettivo specifico di approfondire le problematiche del litorale romano;
- 5 punti d'acqua, individuati dal codice "DELXXX" (relativi al 2003), campionati per integrare l'informazione nelle zone carenti di punti di osservazioni.

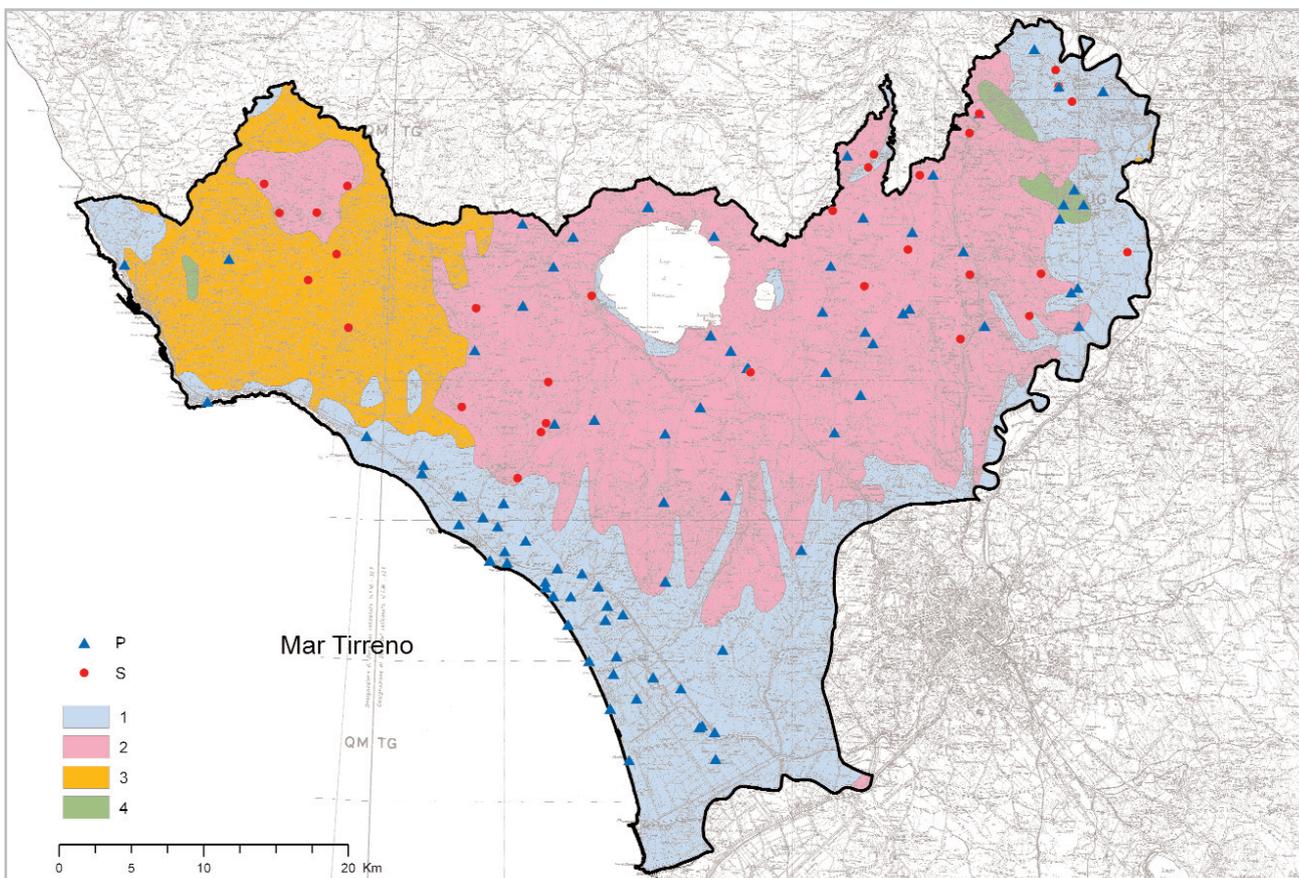


Fig. 9 - Schema geolitologico e punti di campionamento. P = pozzi; S = sorgenti; 1 = formazioni sedimentarie plio-quaternarie; 2 = vulcaniti plio-quaternarie; 3 = complesso dei flysch; 4 = formazioni carbonatiche meso-cenozoiche. - *Geolithological sketch and sampling point location. P = wells; S = springs; 1 = Plio-Quaternary sedimentary formations; 2 = Plio-Quaternary volcanites; 3 = flysch complex; 4 = Meso-Cenozoic limestones.*

TAB. 4 - Tipologia, gestore ed uso dei punti d'acqua censiti nelle diverse campagne. P = pozzo; S = sorgente; Pub = pubblico; Priv = privato; Pot = potabile; Irr = irriguo; Ind = industriale; Dom = Domestico; Zoot = zootecnico.
 - Type and use of sampled water points in the different surveys. P = well; S = spring; Pub = public; Priv = private; Pot = drinking; Irr = irrigation; Ind = industrial; Dom = domestic; Zoot = cattle breeding.

Campagna	Codice	Punti d'acqua			Gestore			Uso					
		Tot	P	S	Pub	Priv	Libero	Pot	Irr	Ind	Dom	Zoot	Libero
2000-2001	00XX	29	19	10	18	9	2	24		2			3
2002-2003	RMXXX	55 ¹	34	21	20	26	9	33	6	4	1	1	8
2003	LIT0XXX	32	32	0		32			19	1	4	4	
2003-2004	DELXXX	5	4	1		4	1		4				1
TOTALE		121	89	32	38	71	12	57	29	7	5	5	12

5.3. - METODI ANALITICI

Il campionamento delle acque è stato eseguito seguendo i protocolli standardizzati indicati nei "Metodi analitici per le acque" (APAT-IRSA, 2003); i campioni sono stati raccolti in bottiglie in polietilene precedentemente condizionate per 24 ore con HCl 2 M. Il prelievo è stato eseguito presso i pozzi o le sorgenti in seguito ad uno spurgo adeguato della captazione e della tubazione di mandata nel caso risultasse non attiva al momento del prelievo.

Tutti i campioni sono stati filtrati in pressione con corrente di azoto con filtri in policarbonato da 47 mm di diametro, aventi porosità di 0,4 µm. Per ogni punto d'acqua sono prelevate due distinte aliquote in contenitori di polietilene da 100 ml, destinate all'analisi delle concentrazioni anioniche e cationiche. Il campione destinato all'analisi delle concentrazioni cationiche è stato addizionato con HNO₃ di grado ultrapuro per evitare la precipitazione dei metalli presenti nella soluzione come idrossidi, la formazione di complessi o l'adsorbimento di tali sostanze sulle superfici del contenitore.

Per ogni campione sono state eseguite determinazioni sul campo ed in laboratorio di parametri ed analiti come esposto nella tab. 6. I risultati delle determinazioni per ogni punto d'acqua sono contenuti nel CD-ROM in tasca.

5.4. - INDIVIDUAZIONE DELLE FACIES IDROCHIMICHE

Ai fini della caratterizzazione idrochimica delle acque sotterranee dell'area sono stati considerati 55 punti d'acqua relativi alla campagna di monitoraggio "RM", scelti in quanto campionati in un

arco di tempo ristretto (dicembre 2002 - febbraio 2003) e distribuiti omogeneamente nell'area di studio. I campioni analizzati appartengono prevalentemente alla famiglia bicarbonato-alcalino-terrosa (fig. 10), tuttavia è stato possibile individuare dei caratteri distintivi delle facies idrochimiche dei principali complessi idrogeologici.

I campioni provenienti da acquiferi vulcanici hanno mostrato in generale valori del rapporto K/Na elevati (superiori a 0,16) a causa della lisciviazione delle vulcaniti alcalino-potassiche ricche in K, mentre quelli prelevati negli acquiferi sedimentari (acquifero carbonatico del M. Soratte, depositi sedimentari plio-quadernari, sedimenti flyschoidi) presentano valori inferiori.

Per distinguere ulteriormente le acque provenienti dai diversi complessi sedimentari è stato utilizzato il metodo grafico di SCHOELLER - BERKALOFF (fig. 11) che ha permesso di distinguere le acque del complesso flyschoidi, quelle dei depositi sedimentari plio-quadernari, le acque della zona costiera (che risentono dell'intrusione salina) e le acque del Monte Soratte.

In fig. 12 i punti utilizzati per la individuazione delle facies idrochimiche, vengono rappresentati sullo schema geolitologico dell'area contraddistinti per facies. Il chimismo delle acque appartenenti ai distinti acquiferi è stato rappresentato in sintesi attraverso il diagramma di Piper (fig. 13) dove sono riportate le composizioni relative ad alcuni campioni ritenuti rappresentativi di ciascuna tipologia di acquifero.

In sintesi le caratteristiche peculiari delle acque appartenenti alle facies individuate sono:

- facies delle vulcaniti: le acque prelevate dai pozzi e dalle sorgenti che captano l'acquifero

TAB. 5 - *Dettaglio delle captazioni per uso potabile. P = pozzo; S = sorgente.*
 - Abstraction points for drinking water supply.
 P = well; S = spring.

Codice	Tipo	Nome risorsa	Comune	Gestore	Q (l/s)
0061	P	Celsino 1	Trevignano	Comune	18
0062	P	Celsino 2	Trevignano	Comune	40
0063	P	La Fiora 1	Bracciano	Comune	85
0064	P	La Fiora 5	Bracciano	Comune	65
0067	S	Mola Bassa	Manziana	Comune	12
0068	S	Mola Bassa 1	Manziana	Sicea	5
0069	P	La Dolce 5	Manziana	Comune	30,3
0070	P	Ponte mariano	Manziana	Comune	2,5
0072	P	Casalini 2	Canale M.	Comune	4
0073	S	Braccio di Mare B.	Cerveteri	Comune	32,6
0075	S	Cinque Bottini	Allumiere	Sicea	4,5
0076	P	Montano 2	Anguillara S.	Comune	20
0077	P	Montano 6	Anguillara S.	Comune	40
0078	P	Colle Sabazio 7	Anguillara S.		10
0081	S	Mola Antica	Anguillara S.		
0087	P	Cristello	Magliano R.	Comune	5
0088	S	Attici	Magliano R.	Comune	1,5
0090	S	Mola Maggiorana	Campagnano	Comune	15
0091	P	Salvatore	Campagnano	Comune	6
0092	P	Ponte Mad. Basso	Formello	Segesta	1,6
0093	P	Castelli	Formello	Segesta	1,9
0094	P	Matiera	Sacrofano	Comune	6,8
0095	P	Boschetto	Sacrofano	Comune	8,6
0097	P	Gramiccia	Fiano	Comune	10,7
RM0001	P	Statua	Ladispoli	Sicea	70
RM0002	P	Spanora	Cerveteri	Sicea	41
RM0003	S	Castel Giuliano	Bracciano	Sicea	21,5
RM0004	P	Pozzo Dominicci 1	Bracciano	Sicea	33
RM0005	S	Monte Cucco	Cerveteri	Sicea	
RM0006	P	Sabatini	Bracciano	Sicea	6
RM0007	P	Breccia	Cerveteri	Sicea	7
RM0008	P	S. Severa	Tolfà	Sicea	30/100
RM0010	S	Ferrata	Allumiere	Sicea	3
RM0014	S	Cisterna	Bracciano	Comune	2
RM0016	P	Biadaro 3	Anguillara S.	Comune	26
RM0017	P	Ponton dell'Elce 4	Anguillara S.	Comune	10
RM0019	S	Orti Biondi	Mazzano R.	Comune	4
RM0022	P	Fontane Nuove	S. Oreste	Comune	10
RM0028	P	Assura	Morlupo	Comune	10
RM0030	S	Primare (Monterone)	Ponzano	Acquaterm	1
RM0031	S	Madonnella	Ponzano	Acquaterm	3
RM0032	P	Madonnella	Ponzano	Acquaterm	5
RM0033	S	Pantano	Ponzano	Acquaterm	2
RM0034	P	Monte Primo	Riano	Comune	0,3
RM0036	P	Gramiccia	Fiano R.	Comune	24
RM0037	P	Val Casale	Fiano R.	Comune	10
RM0039	P	Monti	Filacciano	Comune	7
RM0040	P	Bandita grande	Mazzano R.	Comune	7
RM0041	P	Maleranca	Capena	Comune	6
RM0042	P	Passo Cavallone	Capena	Comune	4
RM0043	S	Cammorata	Capena	Comune	1,5
RM0044	P	Montinallo	Civitella S. Paolo	Comune	10
RM0045	S	Caccaviello	Rignano F.	Comune	4,5
RM0046	P	Torre Busson	Rignano F.	Comune	12
RM0047	P	S. Lucia	Castelnuovo di P.	Comune	5
RM0048	S	Valle Muta	Castelnuovo di P.	Comune	1,5
RM0049	S	Fontana Giglio	Castelnuovo di P.	Comune	7

vulcanico hanno una composizione bicarbonato-alcalino-terrosa tendente a bicarbonato alcalina. Si distinguono dalle facies sedimentarie per un elevato rapporto K/Na, una conducibilità elettrica media di 560 $\mu\text{S}/\text{cm}$, elevate concentrazioni di alcuni elementi minori derivanti dall'interazione con le rocce di natura vulcanica quali As, V, F;

- facies sedimentaria plio-quadernaria: le acque hanno salinità media (TDS = 260-600 mg/l) e facies tipicamente bicarbonato-calcica;

- facies costiera: la falda è interessata da fenomeni di salinizzazione, che spostano la facies dal tipo bicarbonato-alcalino terroso verso le acque di tipo clorurato - alcalino, e da contaminazione da nitrati;

- facies del Monte Soratte: le acque prelevate dai pozzi che captano l'acquifero carbonatico del Monte Soratte (TDS = 750-1500 mg/l) si distinguono da quelle dei depositi sedimentari plio-quadernari, oltre che per la salinità più alta, per le elevate concentrazioni di SO_4 , Cl, Na, Mg probabilmente in relazione alla lisciviazione delle evaporiti triassiche sottostanti; inoltre la temperatura è risultata di circa 3°C superiore a quella misurata in altri pozzi circostanti. Il Monte Soratte è sede di una falda libera con livello piezometrico più basso di quella del complesso vulcanico-sedimentario e che presenta una facies intermedia fra il tipo bicarbonato-alcalino terroso e solfato - clorurato - alcalino terroso;

- complesso flyschoid: le acque circolanti hanno salinità contenuta (TDS = 150-300 mg/l) e basse concentrazioni di Ca e di HCO_3 ; il complesso è sede di circolazione idrica discontinua e limitata. Si tratta quindi di risorse modeste e di carattere locale, che sono state tuttavia campionate e classificate come acque di tipo clorurato - alcalino terroso.

TAB. 6 - *Parametri chimico-fisici, elementi chimici analizzati e rispettive strumentazioni.*
 - Physico-chemical parameters, chemical elements analysed and instruments used.

Tipo di analisi	Elementi e parametri analizzati		Strumentazione
Analisi di campo	Temperatura		conducimetro portatile WTW (mod. LF 330/340)
	Conducibilità elettrica		conducimetro portatile WTW (mod. LF 330/340)
	pH		pH-metro portatile WTW (mod. pH 340 Ion Set) elettrodo combinato (SenTix 21)
	Eh		elettrodo redox combinato (mod. SenTix ORP) platino-cloruro d'argento
	O ₂		misuratore portatile WTW (mod. Oxi 330/340)
	Alcalinità totale		titolazione con HCl e metil arancio
Analisi di laboratorio	Anioni	F, Cl, NO ₂ , NO ₃ , PO ₄ , SO ₄	cromatografo ionico Dionex Mod. DX 120
	Cationi	Li, B, Na, Mg, Si, K, Ca, V, Mn, Zn, As, Rb, Sr, Ba	ICP-MS Agilent technologies 7500c

5.5. - CONTAMINAZIONE DELLE ACQUE SOTTERRANEE

Lo stato reale di contaminazione ai fini dell'indagine sulla rete di monitoraggio è stato valutato considerando tra i numerosi analiti esaminati le concentrazioni di alcune sostanze guida ritenute rappresentative di processi di contaminazione in atto su tutti i 121 punti d'acqua selezionati nell'area di studio. In base all'uso reale del suolo (prevalentemente agricolo - zootecnico, con le aree ad uso urbano o industriale di rilievo situate nel Comune di Roma, di Fiumicino - zona aeroportuale - e lungo la fascia litoranea fino a Civitavecchia) è stato dato particolare rilievo nelle elaborazioni ai nitrati, da porre in relazione all'im-

patto diffuso di origine agricola e a quello più localizzato di origine civile, ai cloruri, indicatori di eccessivo o scorretto sfruttamento della risorsa nella fascia litorale, e all'arsenico, contaminante specifico che nella zona è presente per cause endogene in relazione a fenomeni di interazione acqua-roccia.

Per quanto riguarda la concentrazione dei nitrati (fig. 14), circa il 20% delle acque campionate mostrano concentrazioni che superano la soglia di potabilità (50 mg/l, Dlgs. 31/2001), in particolare nella zona litoranea dove la pressione agricola (Piana di Maccarese) e civile (centri abitati costieri) è relativamente elevata.

La concentrazione dei cloruri delle acque campionate viene mostrata in fig. 15. I valori più elevati si riscontrano nella fascia costiera, dove la concentrazione è raramente inferiore a 25 mg/l, frequentemente supera i 100 mg/l e in alcuni casi supera i 250 mg/l (valore soglia per i cloruri, considerati "parametro indicatore" dal Dlgs. 31/2001) a causa di fenomeni di ingressione marina. L'origine della salinizzazione sarebbe attribuibile all'intrusione delle acque marine attuali: le concentrazioni dei cloruri più elevate sono state osservate in corrispondenza dei pozzi più profondi. Nella zona del delta del Tevere, che si estende da Fiumicino a Ladispoli, la situazione è più complessa; tuttavia è stato possibile identificare una falda nel complesso ghiaioso pleistocenico sottostante il corpo del delta. Questo livello ghiaioso non supera mai i 10 m di spessore e probabilmente è presente solo nel settore meridionale (zona Piana Del Sole), mentre nel settore settentrionale (da Maccarese in poi) il delta sembra poggiare direttamente sulle argille plioceniche, come confermato dai dati tratti da Ventriglia

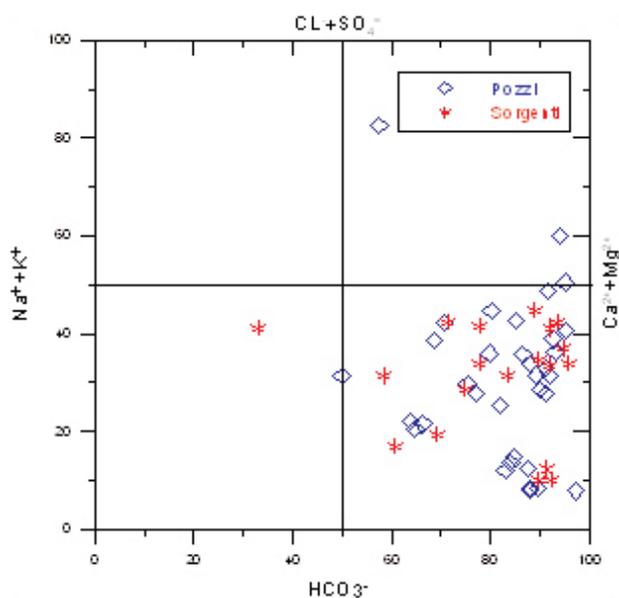


Fig. 10 - Diagramma di Chebotarev dei 55 campioni considerati.
 - Chebotarev diagram of the 55 samples considered.

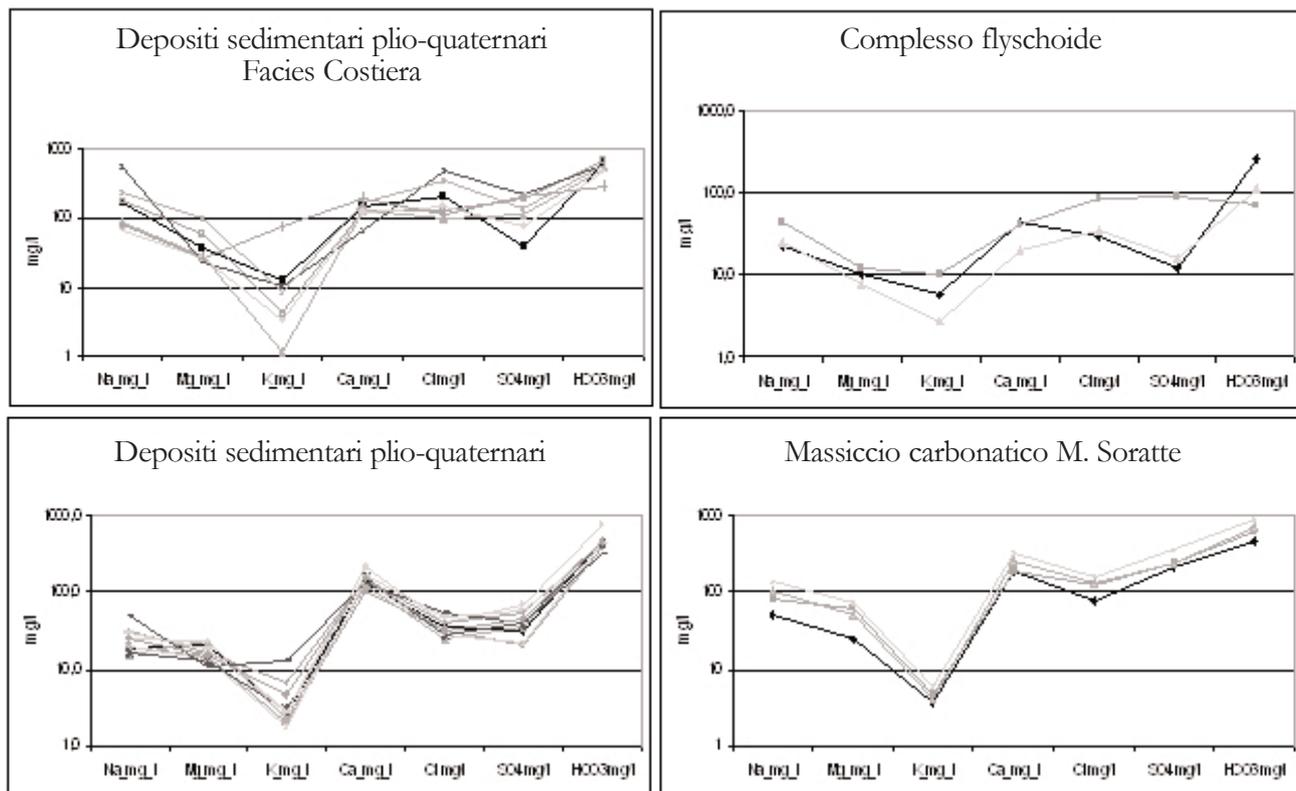


Fig. 11 - Diagrammi di Schoeller delle facies idrochimiche sedimentarie. - *Schoeller diagram of the sedimentary hydrochemical facies.*

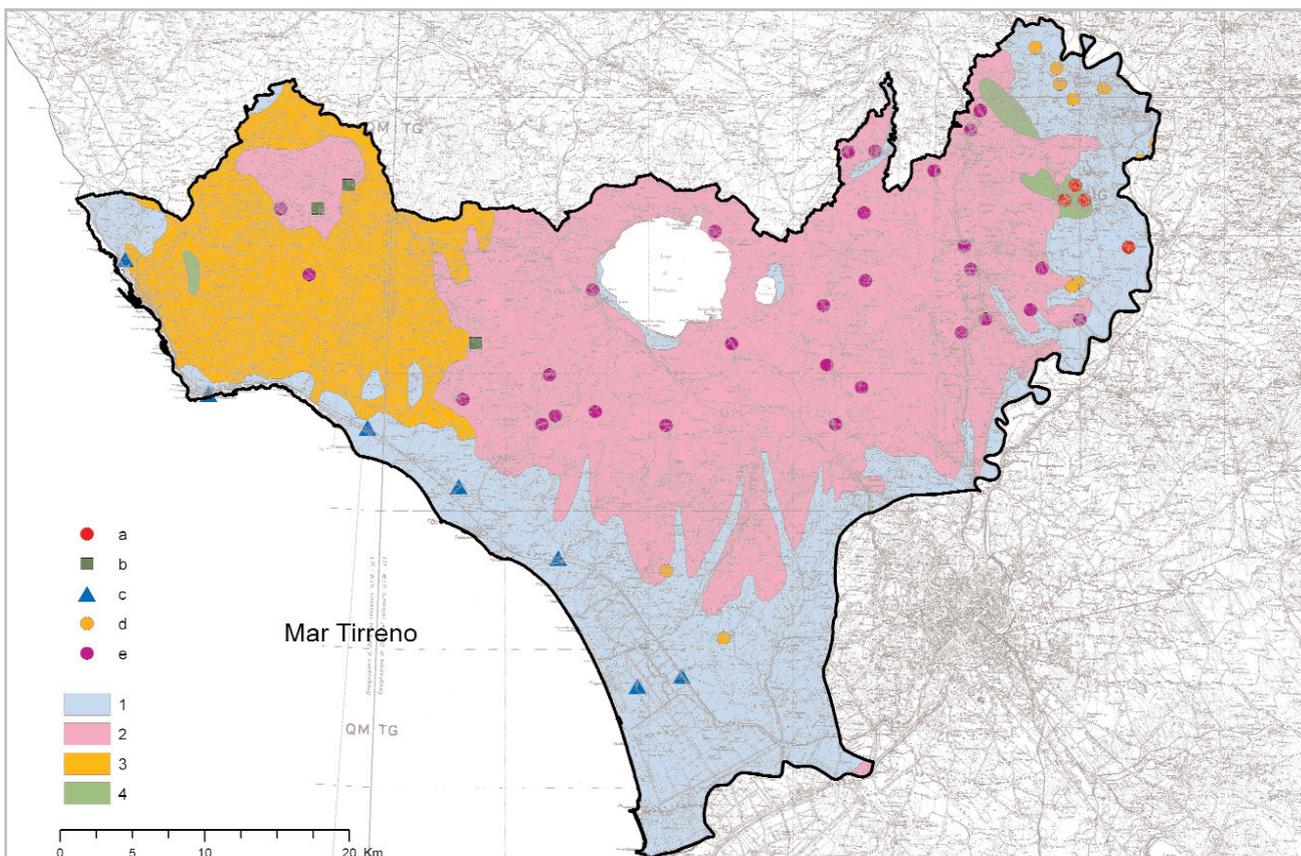


Fig. 12 - Carta delle facies idrochimiche: a = facies del Monte Soratte; b = facies flyschoido; c = facies costiera; d = facies sedimentarie plio-quadernaria; e = facies delle vulcaniti. Schema geolitologico: 1 = formazioni sedimentarie plio-quadernarie; 2 = vulcaniti plio-quadernarie; 3 = complesso dei flysch; 4 = formazioni carbonatiche meso-cenozoiche. - *Hydrochemical facies map: a = Monte Soratte facies; b = flysch facies; c = coastal facies; d = Plio-Quaternary sedimentary facies; e = volcanic facies. Geolithological sketch: 1 = Plio-Quaternary sedimentary formations; 2 = Plio-Quaternary volcanites; 3 = flysch complex; 4 = Meso-Cenozoic calcareous formations.*

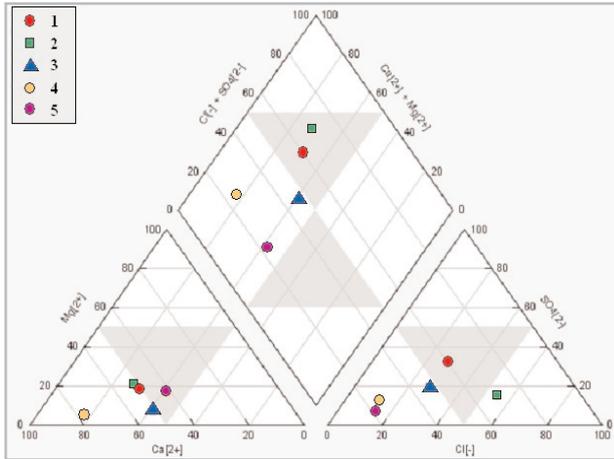


Fig. 13 - Classificazione di Piper per i punti rappresentativi delle diverse facies idrochimiche individuate.
 1 = facies del Monte Soratte; 2 = facies flyschoidie; 3 = facies costiera; 4 = facies sedimentaria plio-quaternaria; 5 = facies delle vulcaniti.
 - Piper classification for the samples representative of the different hydrochemical facies.
 1 = Monte Soratte facies; 2 = flysch facies; 3 = coastal facies; 4 = Plio-Quaternary sedimentary facies; 5 = volcanic facies.

(1988-90) relativi ad un pozzo ubicato nei pressi di Palo Laziale. La permeabilità modesta della successione deltizia può proteggere questa unità da fenomeni di infiltrazione di contaminanti dalla superficie topografica, ma non dall'intrusione di acque marine, come testimoniato dai valori elevati di conducibilità (oltre 7000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) riscontrati in alcuni pozzi.

Valori relativamente elevati di cloruri (fra 77 e 161 mg/l) sono stati inoltre riscontrati nel settore orientale dell'area, in pozzi che captano la falda del Monte Soratte, caratterizzata come già esposto da un chimismo particolare, con concentrazioni elevate di SO_4 , Cl, Na, Mg legate presumibilmente a fenomeni di lieve termalismo e all'interazione con livelli evaporitici triassici.

La concentrazione dell'altro elemento preso in considerazione, l'arsenico (fig. 16), supera la soglia di 10 $\mu\text{g}/\text{l}$ (limite di potabilità rispetto al Dlgs. 31/2001) nell'area vulcanica ed in diversi casi anche nella fascia litorale (il 50% dei campioni circa), ma rimane al di sotto dei 20 $\mu\text{g}/\text{l}$ nel 75% dei casi e solo il 5% dei campioni esaminati eccede i 50 $\mu\text{g}/\text{l}$. Si tratta di un elemento tossico, che nell'area vulcanica è

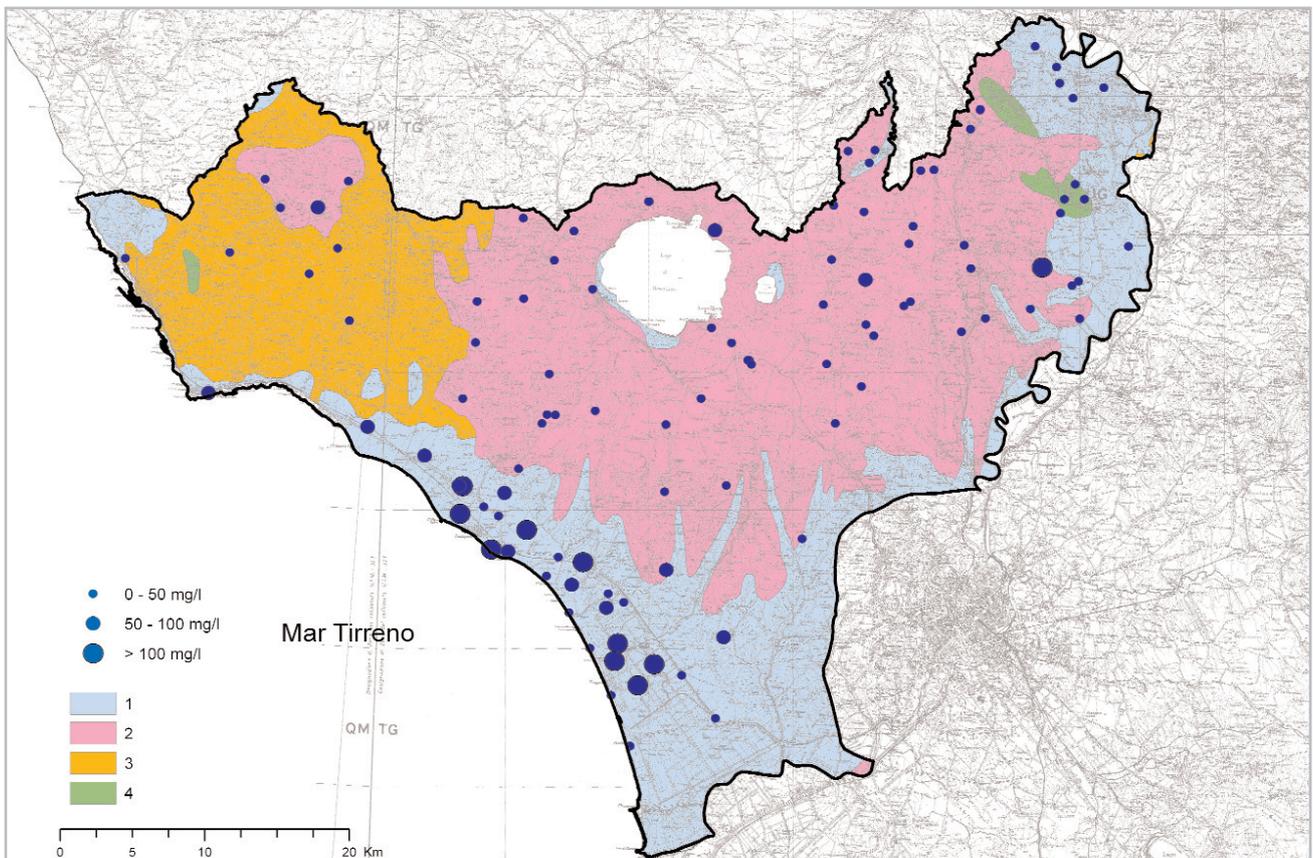


Fig. 14 - Carta delle concentrazioni dei nitrati. Schema geolitologico: 1 = formazioni sedimentarie plio-quaternarie; 2 = vulcaniti plio-quaternarie; 3 = complesso dei flysch; 4 = formazioni carbonatiche meso-cenozoiche.
 - Nitrate concentration map. Geolithological sketch: 1 = Plio-Quaternary sedimentary formations; 2 = Plio-Quaternary volcanites; 3 = flysch complex; 4 = Meso-Cenozoic calcareous formations.

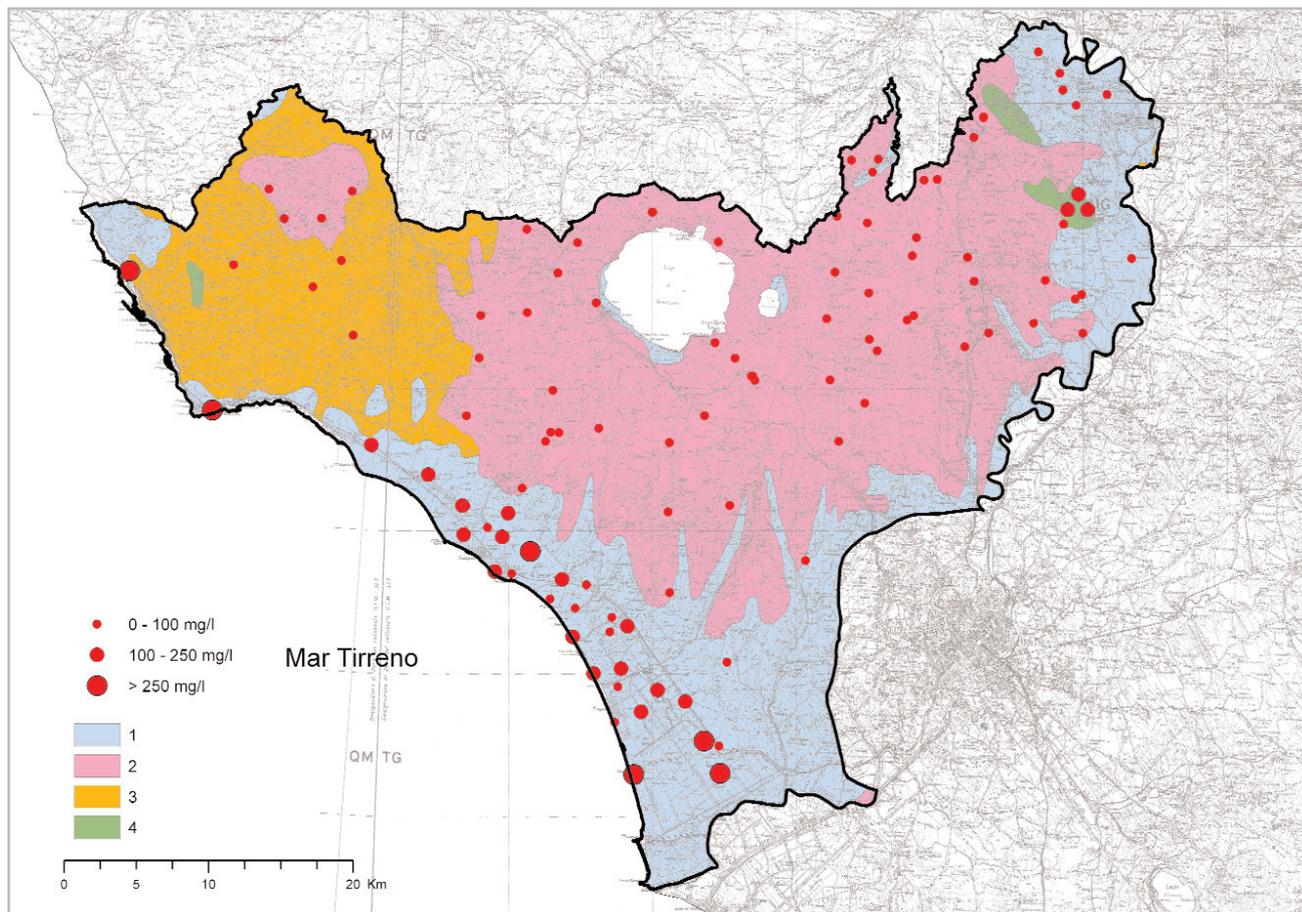


Fig. 15 - Carta delle concentrazioni dei cloruri. Schema geolitologico: 1 = formazioni sedimentarie plio-quaternarie; 2 = vulcaniti plio-quaternarie; 3 = complesso dei flysch; 4 = formazioni carbonatiche meso-cenozoiche.
 - Chloride concentration map. Geolithological sketch: 1 = Plio-Quaternary sedimentary formations; 2 = Plio-Quaternary volcanites; 3 = flysch complex; 4 = Meso-Cenozoic calcareous formations.

presente per cause endogene, spesso associato al fluoro, e sulla cui origine ed evoluzione sono in corso studi di approfondimento (VIVONA *et alii*, 2004; PREZIOSI *et alii*, 2005). La sua presenza nella zona litoranea potrebbe indicare una parziale connessione idraulica con l'acquifero vulcanico.

In particolare su punti d'acqua della rete esecutiva (vedi cap. 7) sui quali sono disponibili i dati relativi anche ad un secondo campionamento, è stato possibile analizzare le variazioni del chimismo nel periodo considerato (2 anni).

In fig. 17, fig. 18 e fig. 19 è mostrata la correlazione fra i valori della concentrazione rispettivamente di Cl, NO₃ e As misurati nei punti scelti per la rete esecutiva nelle due campagne. Nei grafici è riportata anche la retta Y = X, che indica l'uguaglianza fra le due serie di valori. I punti si posizionano generalmente lungo questa retta, specie ai bassi valori, mentre per i valori più elevati aumenta la dispersione, ma non si manifesta una tendenza sistematica verso la diminuzione o l'aumento della concentrazione. Questo suggerisce

che la concentrazione dei parametri chimici considerati è sostanzialmente invariata nelle due campagne, confermando che si tratta di sostanze legate a processi, naturali o antropici, soggetti a scarsa variabilità nel tempo ovviamente in relazione al periodo di osservazione.

5.6. - ASSETTO PIEZOMETRICO DELLE ACQUE SOTTERRANEE

La valutazione dello stato piezometrico delle falde acquifere è stata effettuata su tutti i 26 pozzi per i quali è stato possibile, durante le diverse campagne, misurare il livello piezometrico, e per le 30 sorgenti di cui è nota la portata derivata e/o è stato possibile stimare il rilascio (fig. 20, tab. 7, tab. 8). Solo in alcuni di questi punti (12 pozzi e 13 sorgenti), individuati dall'asterisco nelle tabelle (che sono entrati successivamente a far parte della rete esecutiva), è stato possibile effettuare una seconda misura dei livelli idrici nei pozzi o della portata delle sorgenti.

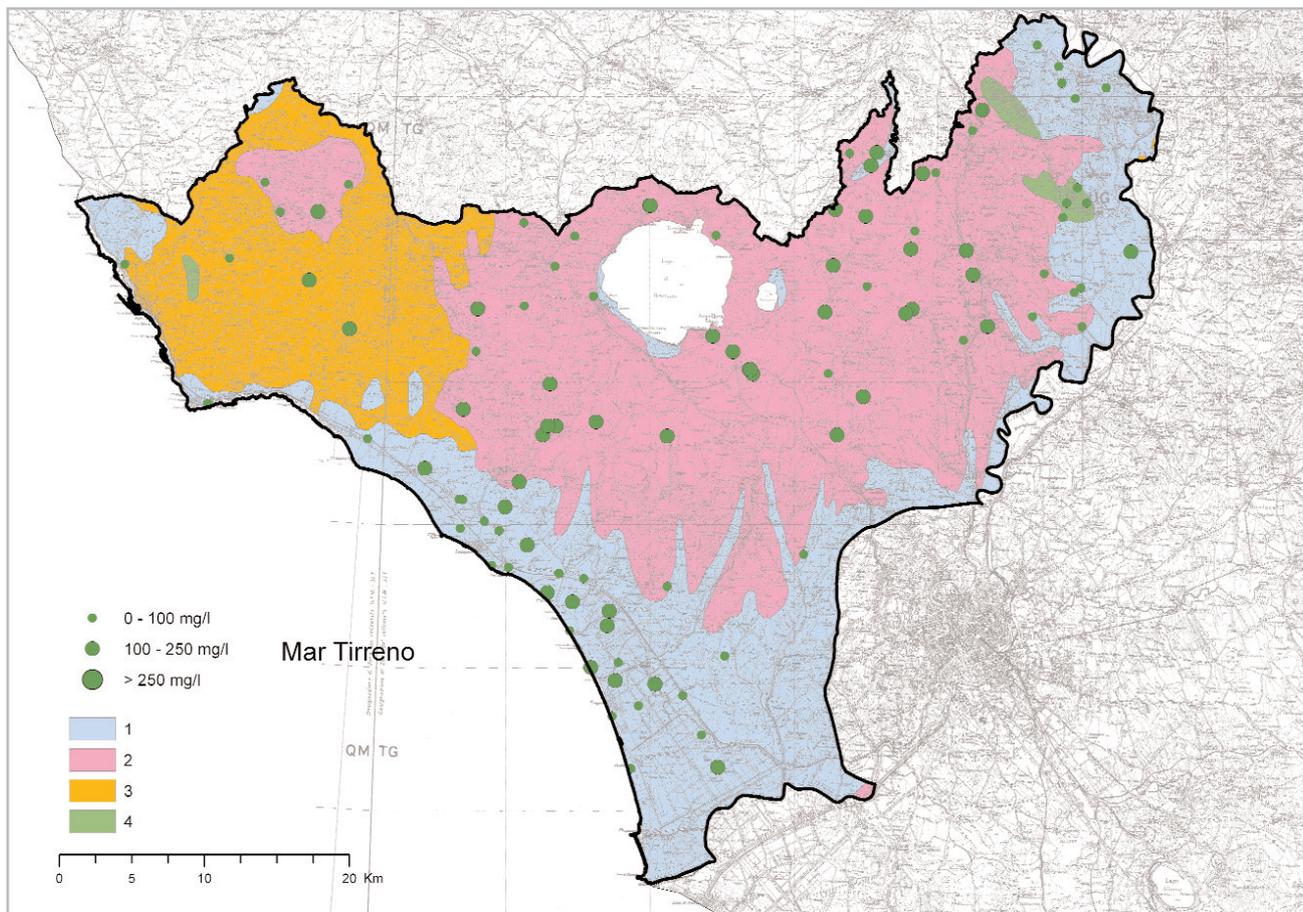


Fig. 16 - Carta delle concentrazioni dell'arsenico. Schema geolitologico: 1 = formazioni sedimentarie plio-quaternarie; 2 = vulcaniti plio-quaternarie; 3 = complesso dei flysch; 4 = formazioni carbonatiche meso-cenozoiche.
 - Arsenic concentration map. Geolithological sketch: 1 = Plio-Quaternary sedimentary formations; 2 = Plio-Quaternary volcanites; 3 = flysch complex; 4 = Meso-Cenozoic calcareous formations.

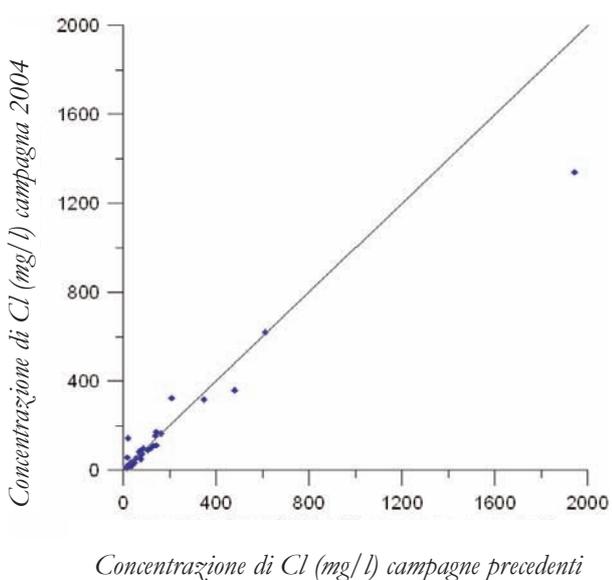


Fig. 17 - Grafico di correlazione tra le concentrazioni di Cl relative alle due campagne di campionamento.
 - Correlation graph for Cl concentrations detected in the two sampling campaigns.

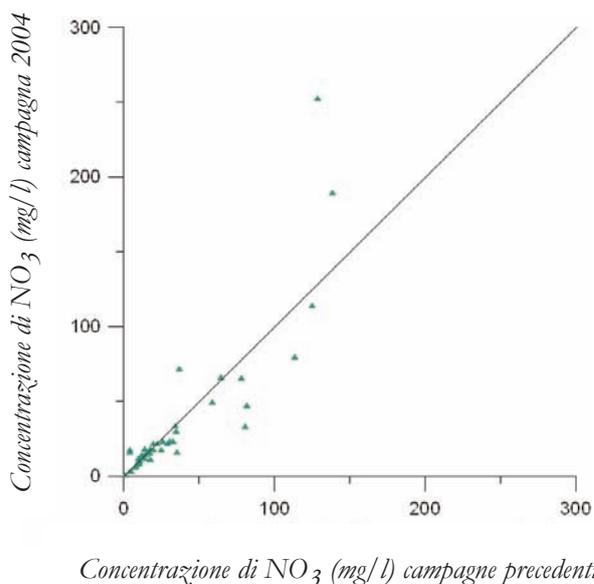


Fig. 18 - Grafico di correlazione tra le concentrazioni di NO₃ relative alle due campagne di campionamento.
 - Correlation graph for NO₃ concentrations detected in the two sampling campaigns.

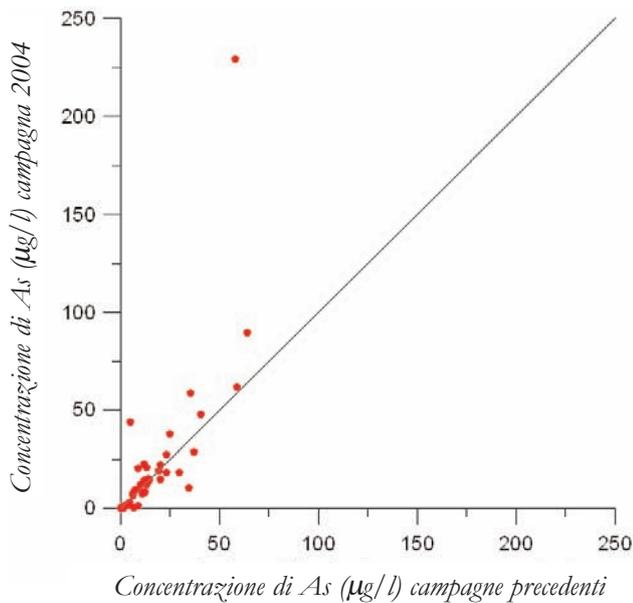


Fig. 19 - Grafico di correlazione tra le concentrazioni di As relative alle due campagne di campionamento.
- Correlation graph for As concentrations detected in the two sampling campaigns.

In figura 21 le quote dei livelli piezometrici misurati sono stati confrontati con le quote della superficie piezometrica ricostruita per interpolazione dei dati documentali risalenti per lo più allo studio di VENTRIGLIA (1988-90).

Si osserva come i dati rilevati siano coerenti con quelli della superficie interpolata, poiché si posizionano in corrispondenza della retta teorica $Y = X$, ad eccezione dei punti situati nella fascia costiera (1), con quote inferiori a 30 m circa (vedi ingrandimento in fig. 22).

La buona corrispondenza fra le quote della superficie piezometrica interpolata e le quote dei livelli misurate nei pozzi lascia intendere che la superficie interpolata - almeno rispetto ai punti censiti - è effettivamente rappresentativa della falda basale regionale (ad esclusione della zona litoranea per i motivi su esposti).

Inoltre non sembra evidenziarsi alcun trend generalizzato di abbassamento della superficie piezometrica misurata nei pozzi (punti in celeste in fig. 22) rispetto a quella ricostruita da Ventriglia

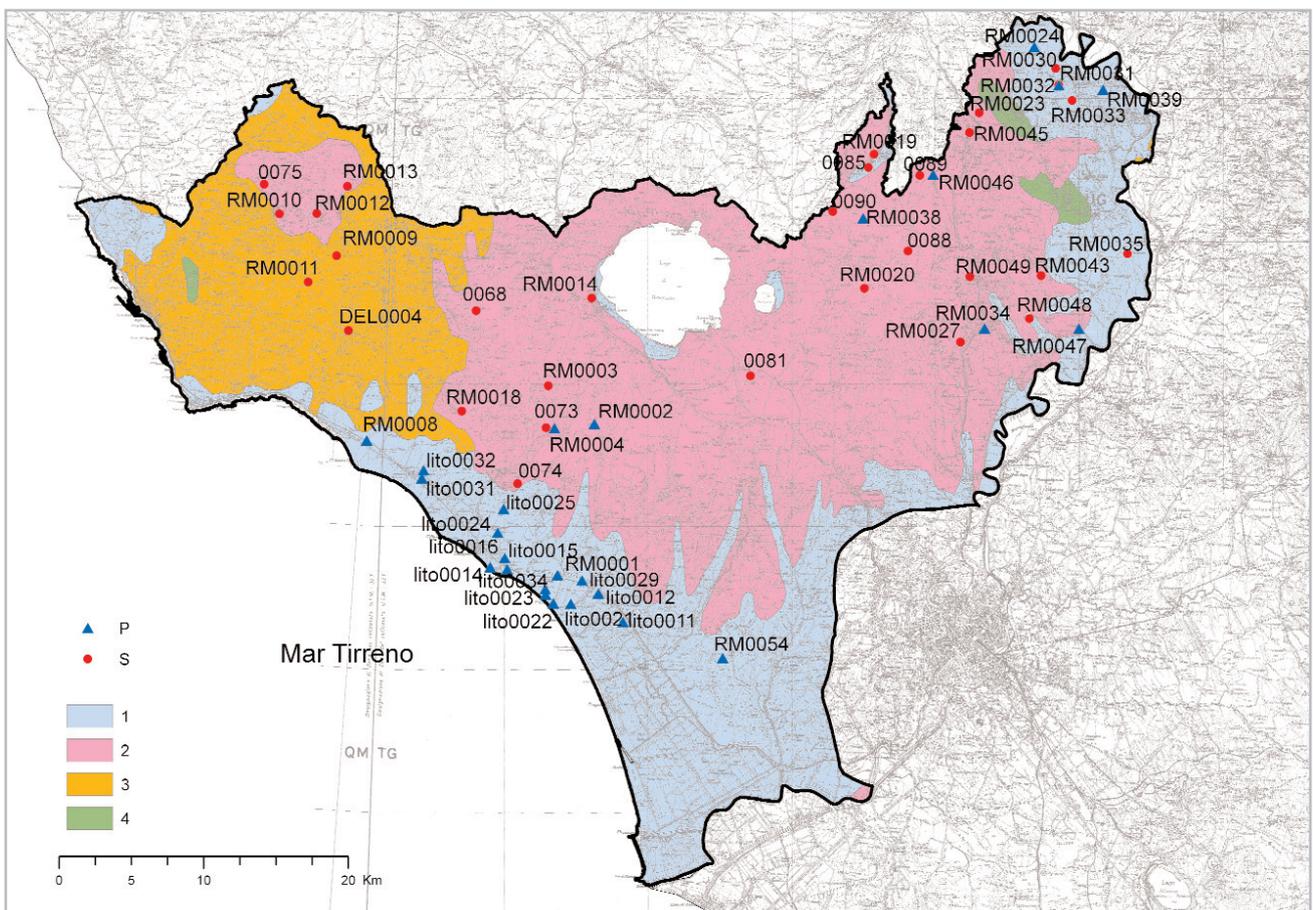


Fig. 20 - Ubicazione dei pozzi e delle sorgenti considerati per le elaborazioni quantitative. P = pozzo; S = sorgente. Schema geolitologico: 1 = formazioni sedimentarie plio-quadernarie; 2 = vulcaniti plio-quadernarie; 3 = complesso dei flysch; 4 = formazioni carbonatiche meso-cenozoiche.
- Location of springs and wells considered for the quantitative elaboration. P = well; S = spring. Geolithological sketch: 1 = Plio-Quaternary sedimentary formations; 2 = Plio-Quaternary volcanites; 3 = flysch complex; 4 = Meso-Cenozoic calcareous formations.

TAB. 7 - *Elenco dei pozzi di cui è stato misurato il livello statico o dinamico. * = punti selezionati per la rete esecutiva; 1) prima campagna; 2) seconda campagna.*

- Wells where static or dynamic level has been measured. * = points selected for the operational network; 1) first survey; 2) second survey.

Codice	quota (m s.l.m.)	liv. dinamico (prof. m)	liv. statico (prof. m)	Q (l/s)
lito0011*	6		4,9	4
lito0012	8		3,15	
lito0014	4,3		2,56	
lito0015	8		4,76	
lito0016	16		1,7	
lito0021*	3	4,89 (1)	1,55 (2)	
lito0022	5		0,97	
lito0023	5		1,72	
lito0024	26		2,98	
lito0025	32		3,7	
lito0029	8		3,4	6
lito0031	13		4,9	
lito0032*	17		4,38	2
lito0034*	6	2,5 (1)	3,6 (2)	3,5
RM0001*	13	19 (1) / 13 (2)		70 (1) / 80 (2)
RM0002*	174	45,2		41
RM0004*	153	52,5 (1) / 52,2 (2)		33
RM0008	12	4,5		30 - 100
RM0024	42		4	
RM0032	80		13,5	5
RM0034*	210	72		0,3
RM0038	216		10	4
RM0039*	234	65		7
RM0046*	165	16		12
RM0047*	23	10		5
RM0054*	47		10	1,5

verso la fine degli anni '80. È evidente tuttavia che l'esiguo numero di punti utilizzato e l'approssimazione insita nelle elaborazioni svolte non permettono di escludere l'esistenza di criticità localizzate.

6. - CARTOGRAFIA NUMERICA GEO-REFERENZIATA DI VULNERABILITÀ

6.1. - GENERALITÀ

L'obiettivo di questa attività elaborativa era di fornire una rappresentazione numerica georeferenziata della vulnerabilità dell'area, quale supporto

al processo di configurazione della rete di monitoraggio. La vulnerabilità è qui intesa come suscettività delle falde acquifere ad essere vulnerate da una sostanza inquinante veicolata dalle acque di infiltrazione dalla superficie topografica verso la superficie freatica e/o trasferita all'interno del corpo idrico verso le zone di effluenza naturale o di estrazione. La valutazione di questa caratteristica

TAB. 8 - *Elenco delle sorgenti censite. * = punti selezionati per la rete esecutiva; (a) = informazione fornita dal gestore o dal PRGA; (b) = portata o rilascio misurati durante il censimento; (c) = dati da VENTRIGLIA (1988-90).*

- Sampled springs. * = points selected for the operational network; (a) = information supplied by water utility or from General Aqueducts Master Plan (PRGA); (b) = measured discharge; (c) = data from VENTRIGLIA (1988-90).

Codice	Nome risorsa	Quota (m s.l.m.)	Q (l/s)
0068	Mola Bassa 1	260	5 (a)
0073	Braccio di Mare B.	189	32,6 (a)
0074*	Fontanella libera	90	
0075	Cinque Bottini	325	4,5 (a)
0081	Mola Antica	144	
0085	F.le Virgilio libera	189	
0088	Attici	300	1,5 (a)
0089	S. Carcera libera	197	
0090*	Mola Maggioreana	175	15 (a)
DEL0004*	fontanile	159	0,2 (b)
RM0003*	Castel Giuliano	180	21,5 (a)
RM0009	Bagnarello	237	4 (c)
RM0010	Ferrata	486	3 (a)
RM0011*	Fontanaccia	457	0,5 (b)
RM0012*	Fontanile La Concia	393	0,3 (b)
RM0013	Fontanile Bardone	318	1 (c)
RM0014*	Cisterna	203	2 (a)
RM0018	2 H12 (Ventriglia)	115	
RM0019*	Orti Biondi	157	4 (b)
RM0020	Fontanile Carissima	260	5 (b) / 11 (c)
RM0023	Fontanile Fontane Nuove	175	0,5 (b)
RM0027	11; f25 (Ventriglia)	88	1 (b)
RM0030	Primare (Monterone)	66	1 (b)
RM0031	Madonnella	80	3 (b)
RM0033*	Pantano	111	2 (b)
RM0035*	Fontanile S. Sebastiano	32	2,5 (b)
RM0043*	Cammorata	94	0,5 (b) / 1,5 (a)
RM0045	Caccaviello	216	4,5 (a)
RM0048*	Valle Muta	57	1,5 (a)
RM0049*	Fontana Giglio	204	7 (a)

(1) In particolar modo nell'area subito a nord della foce del fiume Tevere dove la scarsa corrispondenza è legata al tipo di interpolatore utilizzato che crea una superficie piezometrica quasi uniforme con quota zero, contro dei valori sperimentali variabili fra 0 e 25 m.