

APPENDICE 08

Rapporto scientifico CNR –IGG:
Indagini isotopiche nelle acque della
zona
Morcone-Pontelandolfo-Campolattaro
(BN)



Consiglio Nazionale delle Ricerche

National Research Council of Italy

ISTITUTO DI GEOSCIENZE E GEORISORSE

Institute of Geosciences and Earth Resources

Via G. Moruzzi, 1 - 56124 PISA (Italy) web-page: www.igg.cnr.it e-mail: igg@igg.cnr.it

Tel. 050 3152381 – 050 3152384 – 050 3152361 Fax 050 3152323 P. IVA 02118311006 – C.F. 80054330586



RISERVATO

RAPPORTO SCIENTIFICO RISERVATO

**INDAGINI ISOTOPICHE NELLE ACQUE DELLA ZONA
MORCONE-PONTELANDOLFO-CAMPOLATTARO (BN)**

(prelievi: settembre 2011 e aprile 2012)

a cura di: Mario Mussi

per la parte analitica hanno collaborato: Enrico Calvi, Maurizio Catania, Elisa Ferrari, Caterina
Giorgi, Sandra Trifirò

committente: **REC srl, via Giulio Uberti, 37 / 20129 - Milano**

Pisa, 25 luglio 2012

Premessa

Il presente rapporto ci è stato commissionato da **REC srl** allo scopo, nel quadro della caratterizzazione delle acque circolanti nella zona Morcone-Pontelandolfo-Campolattaro previste per il progetto “**Impianto di Regolazione di Campolattaro**”, di interpretare i contenuti isotopici rilevati in 16 sorgenti, 1 pozzo artesiano e 4 piezometri per acquisire conoscenze sulla circolazione delle acque nella zona interessata dal progetto e in particolare nella fascia di territorio, in cui dovrà essere realizzata una condotta forzata, localizzata tra i comuni Morcone, Pontelandolfo e Campolattaro, che collegherà due invasi interessati dal progetto. I punti d’acqua prelevati sono stati selezionati dai tecnici **REC srl** sulla base delle attività geologiche, idrogeologiche, geotecniche e ingegneristiche e, in particolare, nel quadro delle attività rivolte alla caratterizzazione delle acque circolanti nella zona per una definizione delle caratteristiche idrochimiche e isotopiche di base e quindi antecedenti alla realizzazione del progetto. La carta di ubicazione dei punti di prelievo, le quote di emergenza, la denominazione dei campioni e il loro prelievo sono a cura di **REC srl**. Le quote della zona interessata allo studio isotopico vanno da circa 500 metri fino a quote di poco superiori ai 1000 metri.

Queste indagini isotopiche mirano a caratterizzare la componente di base degli acquiferi che alimentano i diversi punti d’acqua, senza prendere in esame la componente carsica diffusa nella zona e cercando di evitare la componente di infiltrazione locale in prossimità dei punti d’acqua. Per fare questo si è cercato di effettuare il prelievo a distanza di almeno 10 giorni dall’ultimo evento meteorico importante. Purtroppo non è stato possibile rispettare questa condizione in quanto, nei periodi di settembre 2011 ed aprile 2012, che erano stati programmati per i prelievi, si sono verificate precipitazioni distribuite in diversi giorni di ciascun mese. Questa circostanza, se da un lato può limitare la caratterizzazione della componente di base, dall’altro può dare alcune prime indicazioni sulla componente carsica e/o su eventuali infiltrazioni in prossimità del punto di recapito delle acque circolanti. Ovviamente il tempo di 10 giorni dalle ultime precipitazioni è un primo criterio, che dovrà essere necessariamente verificato dopo le prime indagini, che può permettere di evitare, con una certa sicurezza, la componente di infiltrazione locale in prossimità dei punti di prelievo, ma può essere anche utile per avere una prima discriminazione della componente carsica che è sicuramente più complessa, dal punto di vista idrodinamico, in quanto la sua attivazione può essere legata anche all’intensità e alla durata delle precipitazioni. D’altra parte approfondire la dinamica della componente carsica implica, dal punto di vista isotopico, un approfondimento delle indagini con la raccolta e l’analisi, durante gli eventi meteorici, delle precipitazioni e delle acque erogate dai diversi punti d’acqua durante le fasi di aumento e diminuzione di portata.

Tutti i punti d’acqua selezionati per queste indagini sono sorgenti ad esclusione del pozzo artesiano 00 (Pozzo Coccimonti), realizzato da AGIP negli anni ’60 nel quadro di una prospezione sismica per la ricerca di idrocarburi, che ha una profondità stimata di circa 30 metri.

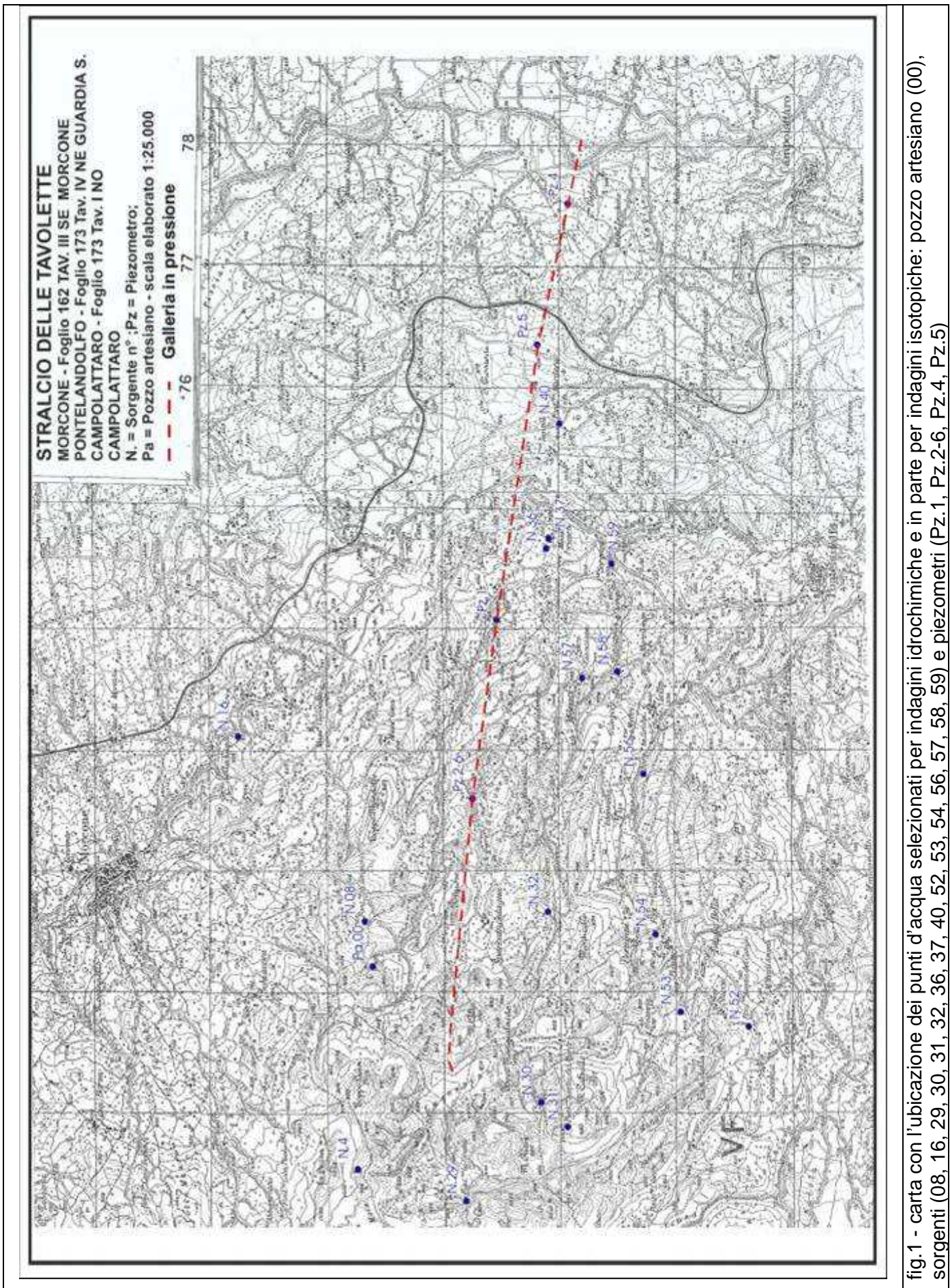


fig.1 - carta con l'ubicazione dei punti d'acqua selezionati per indagini idrochimiche e in parte per indagini isotopiche: pozzo artesiano (00), sorgenti (08, 16, 29, 30, 31, 32, 36, 37, 40, 52, 53, 54, 56, 57, 58, 59) e piezometri (Pz.1, Pz.2-6, Pz.4, Pz.5)

alcune informazioni relative ai punti di prelievo				date prelievo	
denominazione	tipo	comune	quota (m)	1°prelievo	2°prelievo
Pa.00 Pozzo Coccimonti	pozzo artesiano	Morccone	815	29/09/11	26/04/12
N.08 Acqua Ammeri-Refuio	sorgente	Morccone	777	29/09/11	26/04/12
N.16 Acqua Della Lupa	sorgente	Morccone	550	29/09/11	27/04/12
N.29 Fontana La Grotta	sorgente	Morccone	960	npaa	24/04/12
N.30 Fontana Ceraso	sorgente	Morccone	940	27/09/11	24/04/12
N.31 Fontana Del Monte	sorgente	Pontelandolfo	890	27/09/11	27/04/12
N.32 Fontana S. Elmo	sorgente	Pontelandolfo	750	28/09/11	27/04/12
N.36 Fontana Resicco I	sorgente	Pontelandolfo	520	29/09/11	26/04/12
N.37 Fontana Resicco II	sorgente	Pontelandolfo	522	npaa	26/04/12
N.40 Fontana Lombardara	sorgente	Campolattaro	540	28/09/11	26/04/12
N.52 Acqua Del Campo	sorgente	Pontelandolfo	770	29/09/11	26/04/12
N.53 Fontana Cristina	sorgente	Pontelandolfo	720	27/09/11	26/04/12
N.54 Fontana Vecchia	sorgente	Pontelandolfo	740	27/09/11	27/04/12
N.56 Acqua de Le Grotte	sorgente	Pontelandolfo	550	28/09/11	27/04/12
N.57 Fontana Monaci	sorgente	Pontelandolfo	580	28/09/11	26/04/12
N.58 Fontana Fontanella	sorgente	Pontelandolfo	565	28/09/11	26/04/12
N.59 Fontana Sorgenza	sorgente	Pontelandolfo	504	28/09/11	26/04/12
Tab.1: punti di prelievo utilizzati per la caratterizzazione isotopica delle acque circolanti nella zona in studio					
note: npaa = non prelevato per assenza di acqua					

Nella tabella 2 vengono riportate alcune informazioni, relative ai punti di prelievo utilizzati per la caratterizzazione isotopica delle acque circolanti nella zona in studio, quali la denominazione, il tipo di punto, la quota di emergenza, le date in cui sono stati effettuati i prelievi.

Generalità sugli isotopi dell'acqua

L'acqua in natura contiene anche una piccola percentuale di molecole nelle quali i comuni isotopi di ^1H ed ^{16}O sono sostituiti con quelli più pesanti. Tra questi quelli che trovano più ampie applicazioni nel campo dell'idrologia isotopica sono tritio (^3H), Deuterio (^2H) e Ossigeno-18 (^{18}O), che possono essere utilizzati come traccianti naturali perché la loro concentrazione generalmente non dipende dal chimismo delle rocce attraversate ma è funzione soltanto delle caratteristiche proprie dell'acqua di infiltrazione efficace.

Deuterio e Ossigeno-18 nelle piogge sono legati tra loro da una relazione lineare avente espressione generale $\text{Deut.} = A * \text{Oss.18} + D$ dove D rappresenta l'eccesso di Deuterio che può variare in regioni diverse mentre la pendenza della retta (A) generalmente si conserva uguale a 8. La retta avente pendenza 8 ed eccesso di Deuterio pari a 10 è stata definita come Retta Meteorica Mondiale. Dal punto di vista meteorologico l'Italia è caratterizzata da perturbazioni di provenienza sia oceanica che mediterranea. Le prime influenzano principalmente l'Italia settentrionale mentre le seconde caratterizzano il centro-sud della penisola. A questi due differenti regimi di precipitazioni sono associate diverse composizioni isotopiche delle acque meteoriche caratterizzate da un

eccesso di Deuterio di +10, per le precipitazioni di origine oceanica e di +15 per quelle che si formano nel Mediterraneo Centrale.

Gli isotopi stabili e instabili dell'Idrogeno e dell'Ossigeno sono i più utilizzati nelle prospezioni idrogeologiche, in quanto si prestano a elaborazioni che consentono la comprensione di molti fenomeni che regolano la circolazione delle acque sotterranee.

Il tritio, che è l'unico isotopo della molecola dell'acqua soggetto a decadimento, consente di risalire all'età isotopica delle acque mentre, con l'Ossigeno-18 ed il Deuterio si può ricavare la quota isotopica della zona di ricarica. Età e quote possono coincidere con quelle reali o possono rappresentare il risultato di mescolamenti che vanno interpretati sulla base delle conoscenze di idrogeologia locale e/o regionale e sulla scorta di indagini integrative di carattere geochimico, geofisico, ecc.

Per caratterizzare isotopicamente un'area in studio è necessario raccogliere sistematicamente l'acqua delle precipitazioni a varie quote per almeno un anno idrologico, esaminandone poi il contenuto in Deuterio, Ossigeno-18 e Trizio. In assenza di pluviometri opportunamente distribuiti sul territorio, si può optare per una serie di prelievi da eseguire in corrispondenza di piccole sorgenti alimentate da acque a deflusso relativamente superficiale e veloce. In tal modo i tenori di Ossigeno-18 e di Deuterio sono significativi di quote d'infiltrazione non molto diverse da quelle di emergenza ed individuabili attraverso l'esame del bacino di alimentazione delle sorgenti stesse. Con questa metodologia, il tenore medio annuo in Ossigeno-18, Deuterio e Trizio può essere calcolato con una semplice media aritmetica purché nelle acque sorgive le oscillazioni stagionali di portata risultino attenuate. I contenuti isotopici così ottenuti permettono di tener conto anche delle lievi variazioni isotopiche che si possono verificare nelle acque meteoriche nella zona di evapotraspirazione.

Con gli stessi isotopi è possibile evidenziare i fenomeni di evaporazione, gli scambi isotopici con la roccia-serbatoio ad alta temperatura, le interconnessioni tra acque sotterranee e superficiali, i mescolamenti tra acque di bacini diversi.

Esame dei risultati delle analisi isotopiche

I risultati delle analisi dei campioni di acqua prelevati nei mesi di settembre 2011 e aprile 2012 da 14 sorgenti e 1 pozzo artesiano e sono riportati di seguito nella tabella 2 insieme a quelle di 2 sorgenti prelevate nel solo mese di aprile poiché a settembre 2011 erano in secca.

Le quote di emergenza riportate in tabella 1 variano da un minimo di 504m per Fontana Sorgenza, a un massimo di 960m per Fontana La Grotta.

Per valutare la stabilità o meno di un punto, rispetto alla composizione isotopica, adottiamo il criterio di definire stabile un punto di prelievo, rispetto ad un certo parametro isotopico, quando la differenza tra i due valori misurati è minore o uguale, in valore assoluto, al doppio dell'errore di

misura del parametro stesso. Stabiliamo inoltre che per i punti di prelievo, in cui tutti parametri isotopici risultano stabili, possiamo utilizzare i valori medi calcolati e riportati in tabella 2 mentre i punti, i cui contenuti isotopici risultano variabili, saranno esaminati e discussi in dettaglio. Saranno discussi inoltre singolarmente i punti che sono stati oggetto di un solo prelievo.

sigla punto di prelievo	1°prelievo sett. 2011				2°prelievo apr. 2012				valori isotopici medi			
	Oss.18	Deut.	Trizio	+/- (U.T.)	Oss.18	Deut.	Trizio	+/- (U.T.)	Oss.18	Deut.	Trizio	+/- (U.T.)
Pa.00	-7.49	-43.4	3.6	0.6	-7.53	-44.5	3.6	0.6	-7.51	-43.9	3.6	0.6
N.08	-7.33	-42.5	3.7	0.6	-7.43	-42.8	4.8	0.7	-7.38	-42.7	4.2	0.7
N.16	-7.42	-42.5	3.9	0.6	-7.34	-44.1	4.5	0.7	-7.38	-43.3	4.2	0.7
N.29					-7.40	-43.7	4.4	0.7				
N.30	-6.79	-38.6	4.3	0.6	-7.43	-43.4	3.9	0.6	var	var	4.1	0.6
N.31	-7.43	-43.3	3.9	0.6	-7.26	-41.4	3.9	0.6	-7.35	-42.3	3.9	0.6
N.32	-7.33	-42.7	3.8	0.6	-7.60	-46.5	3.8	0.6	var	var	3.8	0.6
N.36	-6.98	-41.3	3.4	0.6	-6.90	-41.8	4.1	0.6	-6.94	-41.5	3.8	0.6
N.37					-6.84	-41.3	4.0	0.7				
N.40	-7.15	-41.6	3.9	0.6	-7.05	-41.3	4.8	0.7	-7.10	-41.4	4.3	0.7
N.52	-7.38	-42.7	3.4	0.6	-7.07	-41.7	3.5	0.5	var	-42.2	3.5	0.6
N.53	-7.16	-42.0	2.4	0.5	-7.02	-42.1	4.4	0.6	-7.09	-42.0	var	0.7
N.54	-7.36	-42.2	3.5	0.5	-7.24	-43.6	4.2	0.6	-7.30	-42.9	3.9	0.6
N.56	-7.36	-42.3	3.7	0.6	-7.36	-44.9	4.0	0.6	-7.36	-43.6	3.9	0.6
N.57	-7.38	-42.3	3.7	0.5	-6.97	-40.3	4.4	0.6	var	-41.3	4.0	0.6
N.58	-7.36	-42.2	4.3	0.6	-7.25	-42.5	4.1	0.6	-7.31	-42.3	4.2	0.6
N.59	-7.33	-43.0	4.6	0.6	-7.18	-42.7	4.6	0.6	-7.26	-42.9	4.6	0.6

Tab.2: risultati delle analisi isotopiche: i valori di Ossigeno-18 e Deuterio sono espressi in ‰ vs. v-smow con errore di misura rispettivamente di ± 0.10 e ± 1.5 ; i valori di Trizio sono espressi in U.T. (Unità Trizio) con errore di misura riportato in tabella nella colonna $\pm(U.T.)$; valori isotopici medi: vengono calcolati e riportati solo quando il valore assoluto della differenza di due valori misurati è $\leq 2 \cdot (\text{errore misura})$

Note: i punti N.29 e N.37 a settembre 2011 erano secchi; var = parametro variabile

Dobbiamo rilevare come, sia a settembre 2011 che ad aprile 2012, la Campania sia stata interessata dal passaggio di perturbazioni che hanno portato a precipitazioni anche nei giorni immediatamente precedenti a quelli in cui sono state prelevate le acque per queste indagini. I contenuti isotopici delle singole precipitazioni sono statisticamente ben diversi da quelli medi che vengono rilevati nelle acque del sottosuolo.

La variabilità nei contenuti isotopici, su uno stesso punto di prelievo, può essere dovuto o alle caratteristiche proprie del serbatoio in cui circolano le acque o ad apporti più o meno diretti di acque di precipitazione attraverso vie preferenziali, che si sommano alle acque presenti in assenza di precipitazioni.

Nel primo caso ci riferiamo a serbatoi in cui il deflusso delle acque può avvenire con meccanismi che possono essere schematizzati con modelli che vanno dal flusso a pistone al flusso completamente miscelato con tutte le variazioni possibili tra questi due estremi. Le variazioni isotopiche in questi sistemi possono essere di tipo stagionale, anche se estremamente più ridotte rispetto a quelle che si verificano nelle precipitazioni, o possono essere legate all'evoluzione del sistema negli anni. Non è comunque realisticamente ipotizzabile di poter fare valutazioni su questi

aspetti sulla base di indagini isotopiche basate su due prelievi a è necessario effettuare un monitoraggio di dettaglio nell'arco dei mesi e protratto negli anni.

Nel secondo caso dobbiamo essenzialmente chiamare in causa apporti più o meno rapidi di acque di precipitazione verso il punto di prelievo che possono essere dovuti a fenomeni carsici e/o ad infiltrazioni in prossimità del punto di recapito naturale o artificiale che sia. Su questo secondo aspetto, anche sulla base di due soli prelievi, possono essere ricavate indicazioni sulla idrodinamica di circolazione delle acque della zona.

Deve essere innanzitutto osservato come per la maggior parte dei punti esaminati (10 punti sui 15 che sono stati prelevati due volte) risulta stabile la composizione isotopica, tra i due prelievi, su tutti i parametri analizzati. Dei rimanenti 5 solo 1, il punto d'acqua N.53, viene definito variabile sulla base del suo contenuto in Trizio mentre per i restanti 4, i punti d'acqua N.30, N.32, N.52 e N.57, la variabilità dipende dal contenuto in isotopi stabili anche se per 2 (N.52 e N.57) la variabilità è legata al solo contenuto in Ossigeno-18 poiché è il parametro che viene determinato con maggior precisione. Ossigeno-18 e Deuterio devono essere valutati insieme in quanto le loro variazioni sono statisticamente correlate in quanto, la variazione della loro composizione, è legata alla retta meteorica locale. Il fatto che ci sia solo 1 punto d'acqua la cui variabilità è dovuta al Trizio e dovuta al fatto che, sulla base della variabilità dei contenuti isotopici delle precipitazioni, il Trizio viene determinato con una precisione minore rispetto a Ossigeno-18 e Deuterio.

I contenuti in Trizio di tutti i punti d'acqua, se escludiamo la sorgente N.53 (Fontana Cristina) che ha un valore di 2.4 nel prelievo del settembre 2011, sono compresi tra 3.4 e 4.8 che sono sufficientemente vicini, ma leggermente più bassi, di quelli medi annui rilevati nelle piogge a Pisa negli ultimi 10 anni. Il contenuto in Trizio della sorgente N.53, che si modifica dal valore di 2.4 del settembre 2011 al valore di 4.4 dell'aprile 2012 mentre i contenuti isotopici in Ossigeno-18 e Deuterio si mantengono sostanzialmente costanti, potrebbe essere legato alla presenza di due componenti circolanti in acquiferi con diverse velocità di circolazione ma che ricevono acque che si infiltrano alla stessa quota avendo contenuti in isotopi stabili praticamente coincidenti. La componente con contenuti in Trizio più bassi, ha tempi di circolazione più lunghi ed è predominante a settembre, durante la magra della sorgente mentre ad aprile, quando le portate sono più alte, domina una componente con tempi di circolazione nettamente più rapidi.

Per quanto riguarda gli isotopi stabili, tutti i dati di Ossigeno-18 sono compresi, considerando quelli relativi ai due prelievi, tra -6.79 e -7.60 con una differenza, tra i due estremi, di 0.81 coerente con le variazioni che si registrano per il Deuterio, pari a 7.9 e che varia da un minimo di -46.5 a -38.6 come massimo.

Se però confrontiamo i contenuti in isotopi stabili con la quota, risulta subito evidente una anomalia per la sorgente N.30 (Fontana Ceraso), che è quella con la seconda quota di emergenza più alta a cui devono corrispondere contenuti in Ossigeno-18 e Deuterio tra i più negativi, mentre i contenuti in isotopi stabili rilevati nel prelievo del settembre 2011 sono quelli più positivi. Questa anomalia non si verifica invece nel prelievo dell'aprile 2012 quando le portate rilevate sono nettamente

superiori e i contenuti in isotopi stabili si allineano con quelli rilevati nelle sorgenti poste alle quote più alte. Questo comportamento potrebbe essere dovuto a problemi di evaporazione, che potrebbero essersi verificati lungo la condotta di circa 100 metri che porta dall'opera di captazione al punto di prelievo, accentuati dalla modestissima portata rilevata al momento del prelievo. Questa ipotesi viene confermata dalla costanza del contenuto in Trizio tra i due prelievi in quanto poco sensibili a variazioni legate a fenomeni di evaporazione. Non si può escludere comunque che la composizione isotopica del campione di settembre possa essere dovuta ad un apporto pressoché diretto da parte delle precipitazioni che si sono verificate nei giorni precedenti al prelievo.

Le rimanenti sorgenti che evidenziano variazioni nel contenuto in isotopi stabili mostrano comportamenti contrastanti: la N.32 risulta ad aprile 2012 più negativa rispetto al settembre 2011, in linea con un apporto di acque con contenuti isotopici più negativi che potrebbero essere legate allo scioglimento delle nevi; le sorgenti N.52 e N.57 mostrano invece contenuti isotopici più negativi, nel prelievo di settembre 2011, rispetto ai valori rilevati ad aprile 2012, spiegabile con un apporto di acque più positive attribuibili a precipitazioni con queste caratteristiche. Non è possibile comunque escludere anche un'influenza delle precipitazioni che si sono verificate a settembre 2011 sui campioni prelevati in quel periodo o che, su queste sorgenti, sia i campioni prelevati nell'autunno che quelli raccolti in primavera, siano influenzati dalle precipitazioni.

I punti N.29 e N.37, relativi alle sorgenti denominate rispettivamente "Fontana La Grotta" e "Fontana Resicco II", che sono stati oggetto di un solo prelievo, hanno contenuti isotopici in linea con quelli relativi a sorgenti relativamente vicine. La sorgente N.37 è infatti vicinissima alla N.36 (Fontana Resicco I) e i contenuti isotopici delle due sorgenti sono praticamente coincidenti sui prelievi disponibili. La sorgente N.29 è infatti vicina alle sorgenti N.30 (Fontana Ceraso) e N.31 (Fontana Del Monte), ha quote di emergenza sono molto simili e contenuti isotopici praticamente coincidenti con quelli rilevati in queste due sorgenti se escludiamo, come già detto, i dati della N.30 relativi al prelievo di settembre.

Dopo aver effettuato un primo esame dei risultati analitici e individuato i comportamenti particolari delle sorgenti soggette a variazione dei contenuti isotopici nei due prelievi, passiamo ora ad esaminare nel dettaglio i contenuti isotopici rilevati assumendo che la composizione isotopica sia costante nel tempo, per quei punti d'acqua che non presentano variazioni superiori al doppio dell'errore di misura, o che, pur avendo disponibile un solo prelievo, appare probabile che la composizione isotopica rilevata sia stabile nel tempo, ipotesi che dovrà necessariamente essere verificata con prelievi ed indagini successive ma che, se confermata, implicherebbe che le caratteristiche isotopiche rilevate in questa fase, rappresentino quelle dell'acquifero di base.

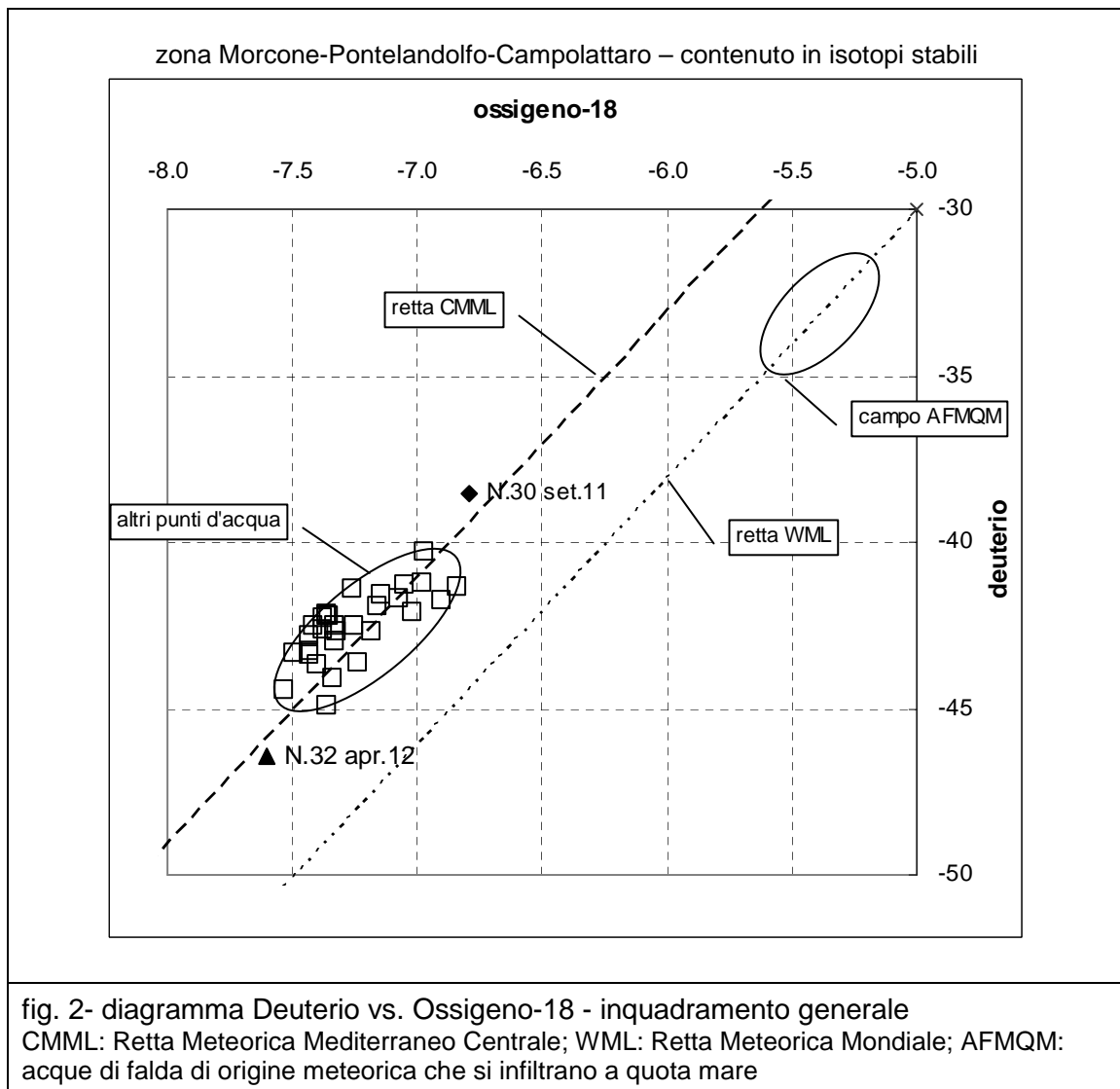
Dai 4 sondaggi realizzati lungo il percorso di progetto della condotta forzata, sono stati prelevati nei giorni 26 e 27 aprile 2012, campioni di acqua da sottoporre ad analisi isotopica. Questi campioni si presentavano con molto "fango" sul fondo fatto che, se non ha effetto sulla composizione isotopica dell'acqua, era comunque un'indicazione di una circolazione non ancora

attiva nei sondaggi stessi con la conseguente probabile presenza, almeno in parte, dell'acqua utilizzata durante la perforazione dei sondaggi. I sondaggi S1, S2-6, S4 ed S5, indicati in figura 1 come piezometri rispettivamente con sigla Pz.1, Pz.2-6, Pz.4 e Pz.5, sono stati perforati alle quote di piano campagna rispettivamente di 605, 775, 405 e 560 metri sul livello del mare. Sulle acque prelevate è stato determinato il contenuto in Ossigeno-18 i cui valori, espressi in $\delta_{\text{‰}}$ vs. v-smow, sono stati di -6.82, -6.99, -8.12 e -7.13 rispettivamente per Pz.1, Pz.2-6, Pz.4 e Pz.5. I valori ottenuti mostrano delle sostanziali incongruenze rispetto alla quota di perforazione: Pz.4 (-8.12) che è quello ubicato alle quote più basse, ha i contenuti in Ossigeno-18 più negativi del tutto incompatibili con quelli della zona in studio, ma compatibili con zone poste a quote nettamente più elevate ; Pz.1 (-6.82) e Pz.2-6 (-6.99) potrebbero essere confrontabili, nei contenuti in Ossigeno-18, con quelli misurati sulle sorgenti 36 e 37 che però emergono da 80 a 250 metri più in basso; Pz.5 (-7.13) è abbastanza vicino ed è confrontabile con la sorgente 40 per il contenuto in Ossigeno-18. Queste incongruenze potrebbero essere dovute al tipo di acqua utilizzata durante la perforazione associata con eventuali processi evaporativi che si possono verificare nelle vasche di circolazione dei fanghi. Per questi motivi sono state limitate le analisi al solo Ossigeno-18 e i risultati ottenuti non saranno ulteriormente discussi nel testo, ma saranno utilizzati per confronto con eventuali analisi successive

Contenuto in isotopi stabili

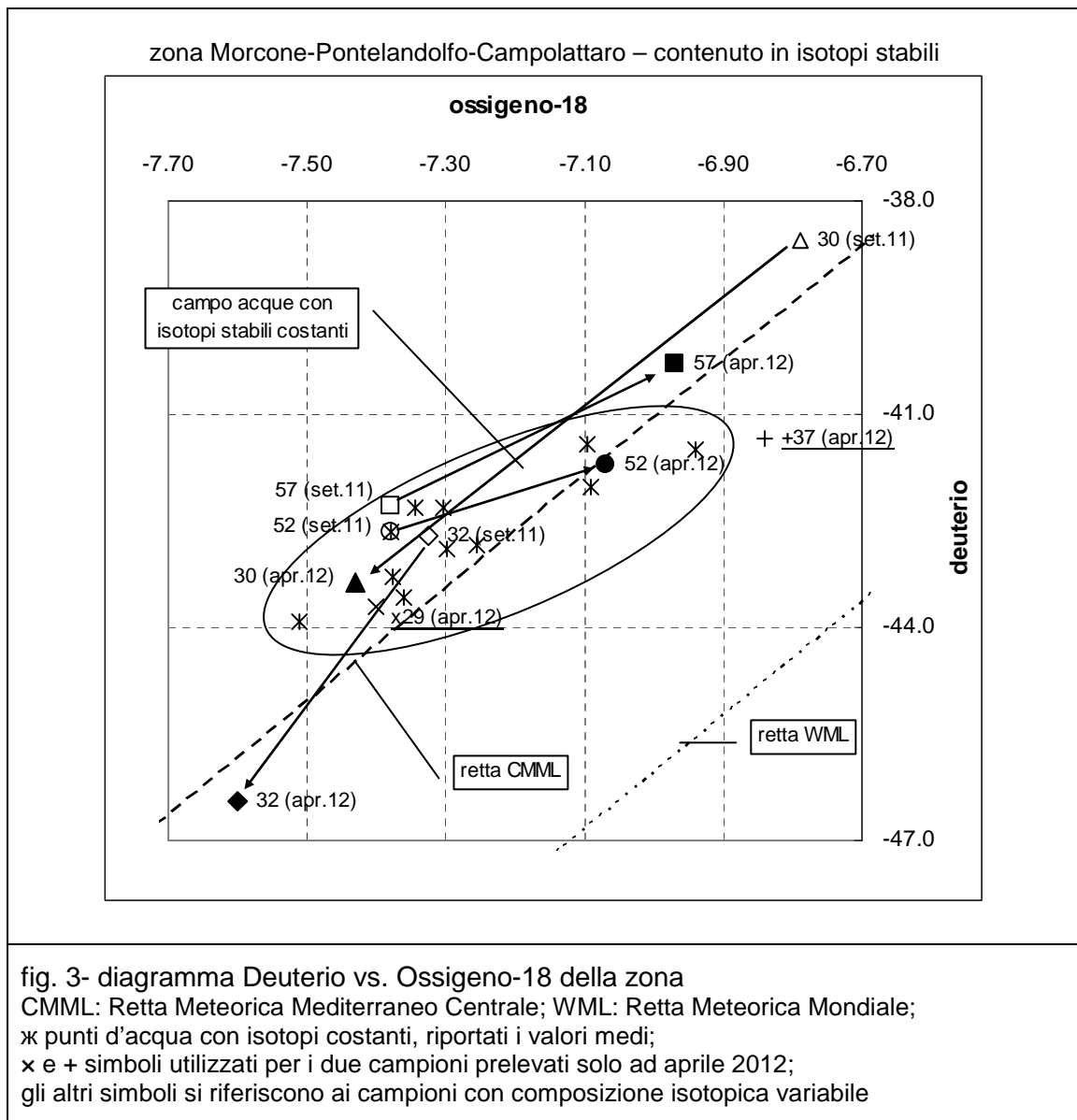
I contenuti in isotopi stabili di tutte le acque analizzate nei due prelievi di settembre 2011 e aprile 2012 variano, come già detto, tra -6.79 e -7.60 e tra -46.5 a -38.6 rispettivamente per Ossigeno-18 e Deuterio. Tenendo conto che, nella parte costiera dell'area ligure – tirrenica, le composizioni isotopiche di Ossigeno-18 e Deuterio, delle acque di falda alimentate dalle precipitazioni a quota mare, sono mediamente comprese rispettivamente tra -5.6 e -5.3 e tra -35 e -32 e che la zona sottoposta ad indagine è ubicata ad una distanza dal mar Tirreno di circa 150 Km e, come detto, a quote variabili tra i 500 e i 1000 metri i contenuti in isotopi stabili rilevati sui punti d'acqua risultano compatibili con la zona indagata.

Il tutto viene riassunto in figura 2 in cui vengono riportati tutti i contenuti in isotopi stabili rilevati nei due prelievi dei vari punti d'acqua confrontati con la Retta Meteorica Mondiale (WML), con la Retta Meteorica del Mediterraneo Centrale (CMML) e con le composizioni isotopiche delle acque di falda alimentate dalle precipitazioni a quota mare (AFMQM).



Dall'esame di figura 2 si evidenziano quelle che sono le principali caratteristiche isotopiche delle acque nella zona Morcone-Pontelandolfo-Campolattaro ed in particolare possiamo osservare che quasi tutti i campioni prelevati si collocano in prossimità o poco al di sopra della Retta Meteorica del Mediterraneo Centrale e ben distinti dal campo delle composizioni isotopiche delle acque di falda alimentate dalle precipitazioni a quota mare. Due sorgenti si discostano nettamente, in due diversi prelievi dalle altre acque.

La sorgente N.30 (Fontana Ceraso) si discosta, nel prelievo di settembre, dagli altri punti d'acqua esaminati, come già evidenziato nella parte "esame dei risultati delle analisi isotopiche", e, dalla posizione che assume nel diagramma Deuterio vs. Ossigeno-18, sembra si possano escludere fenomeni di evaporazione ma che sia più plausibile la predominanza di una influenza da parte delle precipitazioni estive.



La sorgente N.32 (Fontana S. Elmo) si discosta, nel prelievo di aprile, dagli altri punti d'acqua esaminati, come già evidenziato nella parte "esame dei risultati delle analisi isotopiche", e, dalla posizione che assume nel diagramma Deuterio vs. Ossigeno-18, sembra un comportamento in linea con un apporto di acque con contenuti isotopici più negativi che potrebbero essere legate allo scioglimento delle nevi.

In figura 3 invece viene rappresentata in dettaglio la composizione in isotopi stabili sia dei punti d'acqua a contenuti isotopici costanti o prelevati una sola volta che dei punti la cui composizione isotopica è variabile tra i due prelievi. Viene riportata inoltre la Retta Meteorica Mondiale (WML) e con la Retta Meteorica del Mediterraneo Centrale (CMML).

Questa figura evidenzia come le sorgenti N.30 e N.32, con contenuti in isotopi stabili marcatamente differenti tra i due prelievi, escano ampiamente per uno dei due campione dal campo delle acque a composizione isotopica costante. Le sorgenti N.52 e N.57, pur nella loro variabilità, e quelle che sono state invece prelevate solo ad aprile 2012 (N.29 e N.37) cadono all'interno, o abbastanza vicino, al campo delle acque a composizione isotopica costante.

Quota isotopica di infiltrazione

Per individuare la quota di infiltrazione nel bacino di alimentazione dovremo far riferimento alla relazione che lega il contenuto isotopico delle acque meteoriche con la quota di precipitazione. Tali relazioni sono di tipo lineare e possono essere ricavate attraverso l'analisi del contenuto isotopico delle precipitazioni o di piccole sorgenti alimentate da acque a deflusso relativamente superficiale e veloce. Queste sorgenti devono comunque essere in grado di mediare sufficientemente le oscillazioni dei contenuti isotopici che si verificano nelle precipitazioni, avere quote d'infiltrazione non molto diverse da quelle di emergenza ed individuabili, attraverso l'esame del bacino di alimentazione delle sorgenti stesse su base idrogeologica.

Variazioni tipiche del contenuto isotopico con la quota sono dell'ordine di -0.20/-0.30 ogni 100 metri di quota per l'Ossigeno-18 su aree estese, come ad esempio tutto il versante tirrenico dell'Appennino partendo dal mare fino allo spartiacque. Per zone ristrette, come ad esempio quando si va ad esaminare localmente una zona montuosa, le variazioni del contenuto in Ossigeno-18 con la quota sono di -0.11/-0.16 ogni 100 metri di quota. Per questa indagine la zona in esame deve essere chiaramente considerata come ristretta e quindi dovremo riferirci a variazioni del contenuto in Ossigeno-18 con la quota sono di -0.11/-0.16 ogni 100 metri di quota.

Sulla base di quanto detto, andremo ora ad esaminare le variazioni dei contenuti in Ossigeno-18 con la quota di emergenza di tutti i punti campionati riportando in figura 3 queste informazioni allo scopo di valutare se esistono sorgenti con quote d'infiltrazione non molto diverse da quelle di emergenza.

Osservando la posizione assunta dagli altri punti d'acqua si può notare che nessuno di questi risulta spostato a destra rispetto ad una retta immaginaria che si sposta verso valori più negativi in Ossigeno-18 all'aumentare della quota di emergenza. I punti che sono costanti sui due prelievi e che più si avvicinano a questa retta immaginaria sono le sorgenti 31, 53 e 36 per le quali utilizzeremo il valor medio del contenuto in Ossigeno-18. La miglior retta, quota di emergenza vs. Ossigeno-18, è quella che passa per questi punti che ha equazione $Quota (m) = -887 * Oss.18 - 5612$ con un $R^2=0.96$ a cui corrisponde un gradiente isotopico di -0.113 Ossigeno-18/100m che è un valore compatibile con quello rilevato in studi in zone montuose ristrette e viene ricavato con un ottimo coefficiente di correlazione tra i dati delle tre sorgenti.

Osserviamo che sono prossime alla retta precedentemente ricavata anche le sorgenti 29 e 37, che però sono state prelevate solo ad aprile 2012, e le sorgenti 30 e 57 per il solo prelievo di aprile 2012 ma che non sono stabili rispetto a settembre 2011. Per una questione di maggior certezza di stabilità nel tempo sono state utilizzate le sole sorgenti 31, 53 e 36 per il calcolo della retta, quota di emergenza vs. Ossigeno-18.

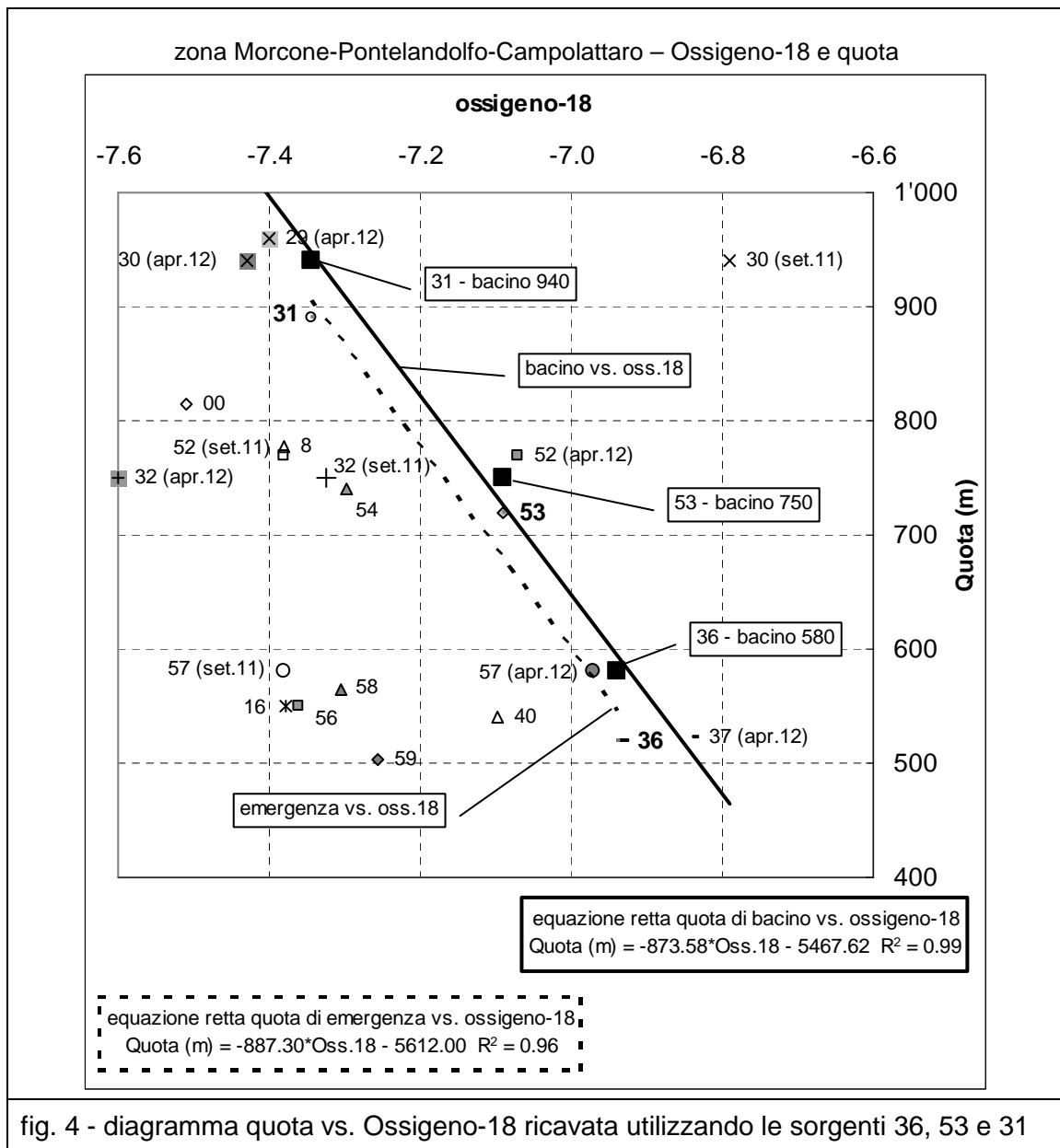


fig. 4 - diagramma quota vs. Ossigeno-18 ricavata utilizzando le sorgenti 36, 53 e 31

Verificati questi aspetti, come condizione necessaria per l'utilizzo di queste sorgenti per la costruzione della retta di variazione isotopica con la quota, è necessario andare a definire la quota media di infiltrazione nel bacino di alimentazione per queste sorgenti.

Sulla base della cartografia resa disponibile da **REC srl**, alle sorgenti 31, 53 e 36, che emergono rispettivamente alle quote di 890, 720, e 520 metri, sono attribuibili quote medie di infiltrazione nel bacino di alimentazione rispettivamente di 940, 750 e 580 metri con una precisione di circa 50 metri.

Dalle informazioni ricavate in precedenza è possibile calcolare la miglior retta quota di bacino vs. Ossigeno-18 di questi punti che ha equazione $Quota (m) = -874 \cdot Oss.18 - 5468$ con un $R^2=0.99$ a cui corrisponde un gradiente isotopico di -0.114 Ossigeno-18/100m che è un valore molto simile a quello ricavato precedentemente e compatibile con quello rilevato in studi in zone montuose ristrette e viene ricavato con un coefficiente di correlazione tra i dati ancora miglior di quello ricavato precedentemente per la retta Ossigeno-18 vs. quota di emergenza.

Dalla figura 4 si nota subito, come già evidenziato in precedenza, il comportamento anomalo della sorgente N.30 (Fontana Ceraso) nel prelievo del settembre 2011 che per assurdo, per essere coerente con gli altri punti d'acqua, dovrebbe aver alimentazione da quote inferiori alla sua quota di emergenza.

Dalla equazione sopra indicata è possibile calcolare analiticamente le quote medie di alimentazione di tutti i punti d'acqua in esame ad esclusione delle sorgenti 31, 53 e 36, in quanto sono state usate per la costruzione della retta Ossigeno-18 vs. quota di bacino, e della sorgente 30 nel prelievo del settembre 2011 per le problematiche già indicate.

Si preferisce optare per una soluzione grafica e, basandoci sulla figura 3, faremo alcune considerazioni sulla quota di alimentazione delle acque esaminate.

Prendendo in esame le sorgenti che hanno mostrato contenuti isotopici stabili tra i due prelievi possiamo osservare che la sola sorgente 40, tra quelle con la quota di emergenza più bassa (540 metri), localizzata nel comune di Campolattaro, ha quote medie di alimentazione di circa 730 metri compatibile con le quote più alte presenti nella parte centro-orientale della zona in studio. Tutti gli altri punti d'acqua, sia quelli con quote di emergenza comprese tra 504 e 565 metri (sorgenti 16, 56, 58 e 59) ma anche i rimanenti, che hanno quote di emergenza comprese tra 740 e 777 metri (sorgenti 8 e 54), hanno quote medie di alimentazione comprese tra 850 e 1000 metri circa che sono compatibili con le quote maggiori presenti nella parte occidentale della zona in studio. Il pozzo artesiano (Pa.00 Pozzo Coccimonti che si suppone profondo circa 30 metri) emerge a quota 815 metri è quello che capta le acque che si infiltrano alle quote medie più alte e per il quale, sulla base della figura 4, è possibile ricavare una quota isotopica media di alimentazione di circa 1100 metri, in leggero contrasto con le quote massime della zona che sono di poco superiori ai 1000 metri, ma questo può essere attribuibile ad un certo grado di incertezza del metodo ma soprattutto al breve periodo di osservazione, alle precipitazioni durante i periodi di prelievo e anche ad un modesto effetto isotopico di retroversante sulle precipitazioni che porta a contenuti in isotopi stabili mediamente più negativi.

Da questo comportamento deriva che le sorgenti con bassa quota di emergenza (16, 56, 58 e 59) ricevono un contributo trascurabile dalle precipitazioni che si infiltrano alle quote più basse e la loro alimentazione proviene dalla parte più alta del territorio e sembrano appartenere allo stesso acquifero che emerge nelle sorgenti 8 e 54 poste a quote più alte. La sola sorgente 40 potrebbe ricevere un contributo apprezzabile dalle precipitazioni che si infiltrano alle quote più basse della zona.

Le sorgenti 29 e 37, che sono state prelevate solo ad aprile 2012, sulla base della figura 4, paiono coerenti con alimentazioni di poco superiori alla quota di emergenza. Di queste la 37 ha contenuti isotopici praticamente uguali alla 36, che ha contenuti isotopici costanti sui due prelievi, e coincide con questa dal punto di vista cartografico. Anche la 29 trova una certa corrispondenza isotopica con la sorgente 31, che è stabile dal punto di vista isotopico, sono relativamente vicine e insistono in un contesto geomorfologico simile.

Passiamo ora ad esaminare le sorgenti con contenuti in isotopi stabili che sono risultati variabili nei due prelievi. Per queste, scartato il valore assurdo della 30 nel prelievo di settembre 2011, si possono determinare, dalla figura 4, quote isotopiche medie di alimentazione estremamente variabili per ogni sorgente che possono apparire più o meno coerenti, dal punto di vista logico, ma sicuramente da confermare, dal punto di vista scientifico.

Contenuto in Trizio ed età media delle acque

Il contenuto in tritio nelle precipitazioni è legato alla produzione di tritio nella stratosfera a seguito dell'interazione del flusso di neutroni prodotti dalla radiazione cosmica con l'azoto atmosferico. Il contenuto naturale in tritio nelle precipitazioni può variare a livello mondiale da 2 a 25 Unità Tritio (1U.T.= 1 atomo di tritio ogni 10^{18} atomi di idrogeno) con i valori massimi registrati alle alte latitudini e valori minimi legati alla fascia equatoriale; non subisce invece sensibili variazioni con la quota di precipitazione.

La concentrazione di tritio nelle precipitazioni su tutta l'area del Mediterraneo Centrale risulta sufficientemente omogenea e i valori tipici medi annui degli ultimi anni si aggirano intorno alle 5-8 U.T.; i valori medi mensili variano in genere tra 3 e 10 U.T. con massimi nel periodo aprile-giugno e minimi nel periodo ottobre-dicembre.

I contenuti in Trizio rilevati nelle acque zona Morcone-Pontelandolfo-Campolattaro, riportati in tabella 2 sono compresi tra un minimo di 2.4 e un massimo di 4.8 UT, valori che coprono un campo ben più ampio di quello dei contenuti medi annui in Trizio rilevati nelle precipitazioni a Pisa, che sono compresi tra 3.8 e 6.1 UT, per il periodo che va dal 2000 al 2008, mentre i valori medi mensili variano in genere tra 2 e 9 U.T. con massimi nel periodo aprile-giugno e minimi nel periodo ottobre-dicembre. Esaminando, in figura 5, l'andamento dei contenuti medi annui in Trizio nelle precipitazioni nel periodo che va dal 1952 al 2008 e confrontandolo con quello dei punti d'acqua della zona in studio possiamo osservare che, con l'eccezione della sola sorgente N.53 (Fontana Cristina) che ha un contenuto di 2.4 U.T. nel prelievo di settembre 2011 e si discosta dai contenuti annui medi che si misurano nelle precipitazioni, i restanti punti d'acqua sono confrontabili, anche se leggermente più bassi, con i contenuti annui medi osservati nelle precipitazioni e quindi hanno un'età media di pochi anni.

La sorgente N.53 (prelievo di settembre 2011) potrebbe essere compatibile, sulla base della figura 6, con le precipitazioni cadute nel periodo 2000-2003 o anche più vecchie ed avere tempi di circolazione minimi di 8-11 anni o essere il frutto di tempi di circolazione relativamente brevi in quanto il contenuto in Trizio è confrontabile con quello delle precipitazioni nel periodo ottobre-dicembre. Il fatto che questa sorgente sia costante, nel contenuto in isotopi stabili nei prelievi di settembre 2011 e di aprile 2012, porta a rendere molto meno probabile questa seconda ipotesi.

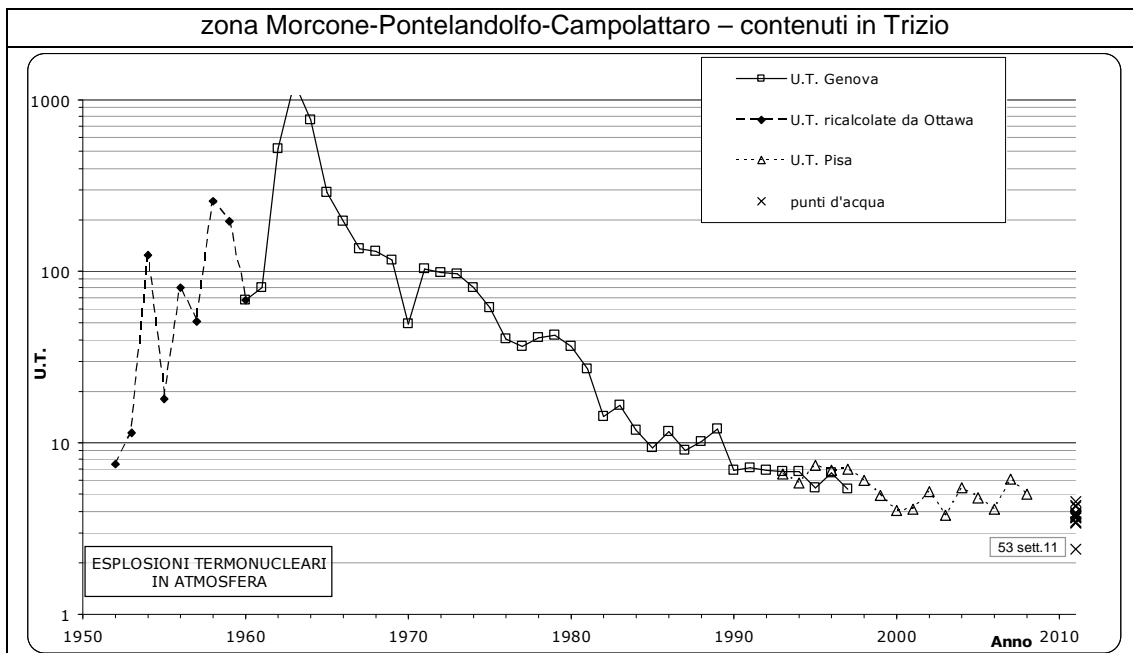


fig.5 - Contenuti medi annui in Trizio nelle piogge; periodo 1952-2008

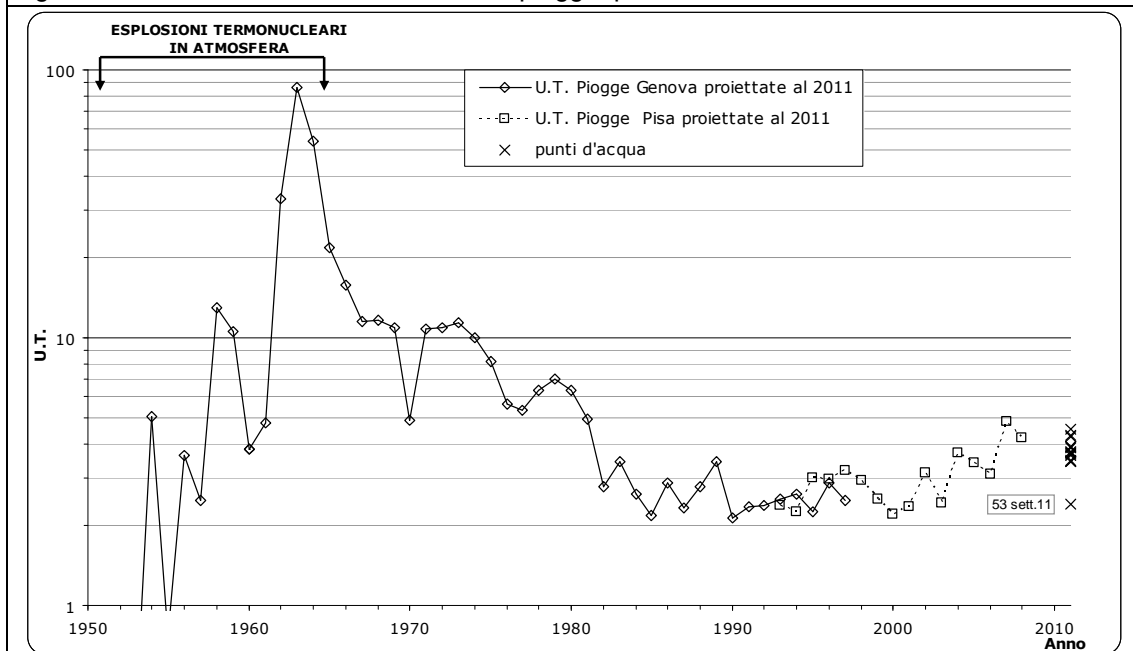


fig.6 - Proiezione all'anno 2011 del Trizio nelle piogge, confronto con i punti d'acqua in esame

Nel rappresentare i contenuti medi annui di trizio nelle precipitazioni della zona in studio, abbiamo principalmente fatto riferimento ai dati forniti dalle stazioni di Genova e di Pisa. Poiché con tali stazioni si hanno a disposizione i contenuti di trizio per il periodo 1961-2006, per ben visualizzare l'incremento relativo al periodo delle esplosioni termonucleari (anni 50-60) è stato necessario attingere anche ai dati della stazione di Ottawa (Canada), i quali iniziano dagli anni 50. Per uniformare tali valori alla zona sott'esame, abbiamo valutato il rapporto tra i contenuti di trizio di Ottawa e Genova nel periodo 1961-1965 (periodo in cui sono disponibili i dati di entrambe le località e principalmente legato alle esplosioni) e quindi ricalcolato quelli di Ottawa negli anni mancanti di Genova (1952-1960): $U.T.(\text{periodo } 1952-1960) = U.T.(\text{Ottawa, periodo } 1952-1960) / 2,3$ dove $2,3 = U.T.(\text{Ottawa, periodo } 1961-1965) / U.T.(\text{Genova, periodo } 1961-1965)$, ha una deviazione standard di $\pm 0,4$. I dati di Genova sono disponibili fino al 1997 e quelli di Pisa a partire dal 1993.

Tutti i restanti punti hanno contenuti in Trizio compatibili con circuiti relativamente veloci con tempi di permanenza non superiori ai 2 – 3 anni.

Conclusioni

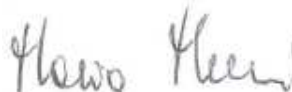
Le presenti conclusioni riprendono essenzialmente i diversi aspetti emersi nella trattazione precedente che vengono di seguito riassunti:

- i contenuti in Trizio indicano, ad esclusione della sorgente 53 nel prelievo di settembre 2011, che tutte le sorgenti appartengono a circuiti relativamente veloci con tempi di permanenza non superiori a 2 – 3 anni;
- per le sorgenti 8, 16, 54, 56, 58 e 59 e per il pozzo artesiano 00 (Coccimonti), ubicate nei comuni di Morcone e Pontelandolfo, la costanza nella composizione in isotopi stabili e in Trizio tra i due prelievi e tenuto conto delle diverse quote di emergenza, sono compatibili con un acquifero comune che viene alimentato dalle quote più elevate della zona, con ridotti contributi dalle quote più basse, e con tempi di permanenza non superiori a 2 – 3 anni;
- le sorgenti 31, 53 e 36, che hanno contenuti in isotopi stabili costanti sui due prelievi sono stati utilizzati per le valutazioni relative alla quota di alimentazione in relazione al contenuto in Ossigeno-18;
- dal diagramma quota vs. Ossigeno-18 risulta evidente l'assenza di contributi, con forse la sola eccezione della sorgente 40, ubicata nel comune di Campolattaro, all'alimentazione degli acquiferi da parte delle parti del territorio poste a quote più basse;
- per la sorgente 53, sulla base della costanza nella composizione in isotopi stabili tra i due prelievi e sulla base dei contenuti in Trizio variabili sugli stessi prelievi, è ipotizzabile la presenza di due diverse alimentazioni caratterizzate da tempi di permanenza diversi;
- i contenuti in isotopi stabili di tutti i punti d'acqua esaminati, se escludiamo il comportamento anomalo della sorgente 30, dal diagramma Deuterio vs. Ossigeno-18, ricadono in prossimità della retta meteorica del mediterraneo centrale;
- per le sorgenti prelevate una sola volta e quelle che si sono rilevate variabili tra i due prelievi si rimanda al testo.

Sarebbe opportuno continuare a seguire con analisi periodiche queste acque per verificare l'andamento delle composizioni nel tempo e per poter confermare e aggiornare il quadro indicato.

Pisa, 25 luglio 2012

IL RESPONSABILE DEL LABORATORIO
(Ing. Mario Mussi)



17 di 17