Arsial PROTOCOLLO ESTERNO ENTRATA 0006001/2019 con data: 19/07/2019 11:36:05

DIPARTIMENTO
DI SCIENZE DELLA TERRA

SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Roma 18/07/19
Prot. n.

Oggetto: Valutazione geochimica delle acque sotterranee e del suolo nelle Pinete Sant'Agostino e La Frasca (Civitavecchia). Relazione Finale

Premessa

Nell'area costiera settentrionale del Lazio, uno dei tratti liberi da azione antropica di maggior estensione è l'area occupata dalle pinete denominate "Sant'Agostino" e "La Frasca" e dal sistema marino antistante che, estendendosi per circa 3,2 km nel territorio di Civitavecchia e continuando per altri 700 m circa nel territorio di Tarquinia, costituisce la prima importante interruzione di un continuum fortemente antropizzato ed alterato. Nella fascia costiera la vegetazione tipica è quella di una costa rocciosa con una retrostante pineta artificiale di rilevante interesse ambientale. In questo contesto, i due tratti di pineta, La Frasca e Sant'Agostino, rappresentano una delle rare zone naturali con potenzialità allo sviluppo della vegetazione autoctona, dislocata lungo la costa a confine con un territorio fortemente antropizzato ed impoverito dal punto di vista naturalistico. Tutta l'area è stata recentemente inserita nel sistema delle Aree naturali protette della Regione Lazio come Monumento Naturale La Frasca. Va però rilevato come lo sfruttamento delle risorse ambientali e naturali, a causa dell'urbanizzazione e del sostenuto sviluppo agricolo e del pascolamento incontrollato degli animali (ovini), ha ridotto la capacità di questi ambienti di sopportare gli stress e le patologie, con conseguente degrado e deperimento delle componenti biotiche. Queste pinete sono il risultato di un rimboschimento artificiale di pino domestico effettuato negli anni '50. La funzione principale di questo impianto è legata alla necessità di proteggere le colture agricole delle aree retrostanti, dai venti salsi di provenienza marina. Pertanto, la pineta artificiale nasce come fascia frangivento simile alle numerose e assai diffuse altre – con estensione ampiamente variabile – presenti su tutto il litorale tirrenico dalla Liguria fino alla Campania. Il sottobosco e la rinnovazione naturale è completamente assente per la maggior parte della superficie a causa dell'eccessiva copertura delle chiome dello strato dominante, la quale non permette alla luce di filtrare. All'azione del calpestio, derivato dalla

Università degli Studi di Roma "La Sapienza"
Dipartimento di Scienze della Terra
Piazzale Aldo Moro n. 5, 00185 Roma
T (+39) 0649914593. F (+39) 06 4454729 – **mobile 328 9645798**
maurizio.barbieri@uniroma1.it

notevole fruizione antropica, pascolo compreso, è attribuibile la generalizzata compattazione del suolo. Attualmente sono noti fenomeni di deperimento di diversi individui di pino domestico, con conseguente presenza di insetti xilofagi ed agenti patogeni di natura fungina, i quali attaccano irrimediabilmente le piante che di per sé sono già deboli. Sebbene con i recenti interventi di diradamento selettivo le condizioni fitosanitarie della pineta La Frasca siano migliorate, aumentando le capacità di resilienza delle piante, causa del deperimento è ipotizzabile sia legata a fenomeni abiotici, in parte legata a situazione climatiche particolari, con fenomeni intensi come l'estate del 2003 o quella del 2017, che oltre ad avere effetti sulle piante causano l'abbassamento delle falde e in prossimità della costa possono portare a fenomeni di intrusione salina.

Al fine di verificare questa ipotesi, tipica degli ecosistemi costieri, e prima di intraprendere qualsiasi azione di ripristino e gestione del soprassuolo e di tutto l'ecosistema, l'ARSIAL ha commissionato al Dipartimento di Scienze della Terra della Sapienza Università di Roma lo studio di valutazione geochimica del suolo e delle acque sotterranee, mirato a valutarne le condizioni attuali e a monitorare l'andamento dei parametri chimico-fisici e delle concentrazioni degli ioni maggiori e degli elementi in traccia nelle acque sotterranee nell'arco di almeno 12 mesi. In tal modo è stato possibile valutare possibili pressioni ambientali, con particolare attenzione a fenomeni di salinizzazione della falda.

Inquadramento geologico ed idrogeologico

Il territorio in esame è dominato da litologie prettamente impermeabili, la modesta circolazione idrica si localizza nei livelli superficiali e litoidi delle stratificazioni marnoso-calcaree. Il litotipo dominante evidenzia la presenza di livelli di arenarie a cemento silico-calcico e livelli di calcare e calcare marnoso, alternati a livelli di peliti marnose in piccole scaglie, il tutto favorisce quindi una scarsa circolazione idrica profonda. Da segnalare che l'idrogeologia dei monti della Tolfa, in alcuni settori, interagisce con la circolazione idrica ipogea nella quale si rilevano fenomeni tardo-vulcanici. In particolare, lungo lineamenti distensivi si instaurano le vie di risalita preferenziali delle acque profonde che si manifestano a giorno, con sorgenti e captazioni termali.

Arsial PROTOCOLLO ESTERNO ENTRATA 0006001/2019 con data: 19/07/2019 11:36:05

I numerosi studi di carattere idrogeologico e geotermico precedenti, evidenziano, nell'area in esame, localmente direttrici di rilassamento strutturale, con la risalita del bacino idrogeologico profondo innalzando il tetto dell'acquifero termale. Tale assetto strutturale favorisce una comunicazione con la circolazione superficiale rendendo i luoghi più vulnerabili. Nell'area in esame infatti sono presente modesti sorgenti termominerali situate in località Montarozzi e La Frasca con temperature comprese tra i 18° e i 25°C con acque ricche in CO_2 e H_2S. Queste acque quando raggiungono la superficie concorrono alla formazione di travertini. In quest'area sono inoltre presenti alcune opere di captazione, mediante pozzi, precedentemente utilizzati per uso domestico o irriguo. Nel passato queste opere drenavano la falda superficiale stabilizzandola a – 2 m dal pc. In particolare, il pozzo Pantano 1 realizzato dall'ENEL nel 1961 è ubicato nell'area in esame e ha raggiunto l'acquifero termale raggiungendo quota – 307,0 m dal p.c. intercettando acque carbonatiche e solfuree in pressione.

In affioramento sono presenti riporti eterogenei localmente costipati, alluvioni, brecce e conglomerati sabbie e limi sabbiosi, livelli di calcare organogeno alternati a livelli argillosi di limitata estensione. Questa idrostruttura di copertura raccoglie le acque di prima infiltrazione o le acque provenienti dalle perdite dei litotipi flyschoidi, affioranti a monte idrogeologico della struttura di copertura. L'idrostruttura superficiale presenta una permeabilità medio bassa con portate molto limitate ad estensione stagionale. In profondità sono poi presenti livelli di arenarie a cemento silico-calcico localmente alterati a livelli pelitici. La permeabilità e produttività di questa litologia è condizionata dalla fratturazione e porosità del litotipo. Anche in questo caso abbiamo una permeabilità medio-bassa per discontinuità. Analogo discorso per i depositi flysh-argillosi che però presentano una permeabilità più ridotta.

Monitoraggio acque sotterranee

Nell'area in esame non sono presenti pozzi per uso domestico o irriguo attivi. Infatti, attualmente le abitazioni civili sono servite dal consorzio acquedottistico cosi come il consorzio di bonifica serve l'irrigazione dei campi utilizzati dalle aziende agricole. Di conseguenza è stato estremamente difficile recuperare pozzi, anche se inattivi, ma comunque campionabili. In seguito a numerosi sopralluoghi nell'area in esame sono

Arsial PROTOCOLLO ESTERNO ENTRATA 0006001/2019 con data: 19/07/2019 11:36:05

comunque stati individuati 5 pozzi (successivamente denominati anche Siti), profondi mediamente tra i 30 e i 40 metri, la cui ubicazione è riportata in fig. 1.

In Figura 1 sono riportati i punti di campionamento C1, C2, C3, C4, C5, C7. Il punto C6, situato al di fuori dell'area di studio, si trova in corrispondenza delle Terme della Ficoncella, a circa 10km di distanza (coordinate geografiche: 42°06'47.09"N - 11°49'25.63"E WGS84). C6 è stato scelto come campione di confronto, poiché le acque solfuree a forte predominanza di ioni SO_4^{2-} e Ca^{2+} giocano un ruolo importante nella circolazione delle acque sotterranee nell'area di studio. Inoltre, il campione 021, unico del sito di campionamento C7, è stato campionato dalle acque portate nell'area di studio dal Consorzio acquedottistico, ed è stato analizzato per fini di confronto.

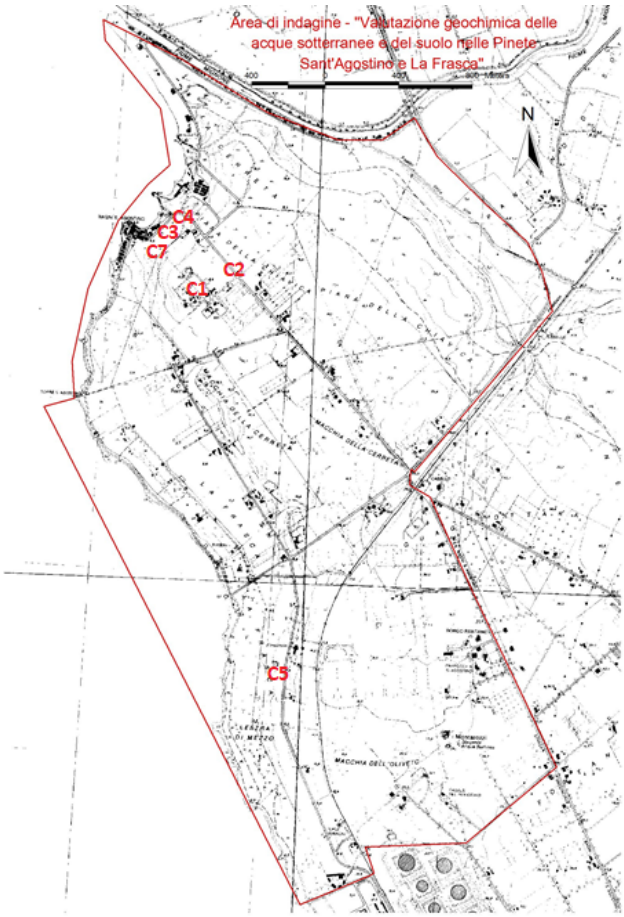


Figura 1: Area di studio e siti di campionamento

Arsial PROTOCOLLO ESTERNO ENTRATA 0006001/2019 con data: 19/07/2019 11:36:05

5 pozzi (siti C1, C2, C3, C4, C5) sono stati campionati con cadenza mensile, mentre C6 e C7 sono stati utilizzati come confronto. Nella tabella 1 vengono specificate le coordinate geografiche (sistema coordinate geografiche WGS84), la profondità del pozzo stimata e i mesi di campionamento.

Denominazione del sito di campionamento	Coordinate	Profondità	Mesi di campionamento
C1	42°09'45.5"N 11°44'27.8"E	~35 m	Luglio, agosto, novembre, gennaio, febbraio, aprile
C2	42°09'49.9"N 11°44'36.5"E	~38 m	Luglio, ottobre, gennaio
C3	42°09'57.5"N 11°44'19.7"E	-	Agosto, ottobre, novembre, gennaio, febbraio, aprile
C4	42°09'57.1"N 11°44'16.8"E	~5 m	Agosto, ottobre, novembre, gennaio, febbraio, aprile
C5	42°08'38.1"N 11°44'53.6"E	~3 m	Ottobre, novembre, gennaio, febbraio, aprile
C6	42°06'47.09"N 11°49'25.63"E	-	Aprile
C7	42°09'56.4"N 11°44'16.5"E	-	Febbraio

Tabella 1: Informazioni sui siti di campionamento

I parametri chimico-fisici sono stati misurati in situ per ogni campione (Tabella 2), insieme all'alcalinità HCO_3^-, per un totale di 28 campioni. I valori medi di pH, conduttività elettrica (CE) e Totale solidi disciolti (TDS) risultano essere di 7.1 pH, 2095 µS/cm, e 1404 mg/L, rispettivamente; i valori massimi di 7.7 pH, 3850 µS/cm, e 2579 mg/L e i valori minimi di 6.3 pH, 666 µS/cm, e 446 mg/L, rispettivamente.

ID campione	Denominazione del sito di campionamento	Mese campionamento	Temperatura (°C)	pH	CE (µS/cm)	TDS (mg/L)
001	C1	luglio	28,0	6,30	709	475
002	C2	luglio	28,0	6,37	1276	855
003	C3	agosto	27,6	7,10	2170	1454
004	C4	agosto	20,8	7,00	2310	1548
005	C1	agosto	26,9	7,15	1390	931
006	C2	ottobre	23,5	6,80	2550	1709
007	C3	ottobre	25,0	7,01	2140	1434
008	C4	ottobre	22,3	6,93	2410	1615
009	C5	ottobre	25,0	6,74	3850	2580
010	C4	novembre	17,0	7,20	2080	1394
011	C3	novembre	17,0	7,30	2010	1347
012	C5	novembre	18,0	6,95	3800	2546
013	C1	novembre	15,0	7,25	1455	975

Arsial PROTOCOLLO ESTERNO ENTRATA 0006001/2019 con data: 19/07/2019 11:36:05

014	C1	gennaio	11,4	7,35	1356	909
015	C4	gennaio	14,0	7,20	1602	1073
016	C3	gennaio	12,5	7,46	2120	1420
017	C2	gennaio	17,2	7,33	2540	1702
018	C5	gennaio	14,9	7,50	3270	2191
019	C1	febbraio	11,4	7,18	1312	879
020	C5	febbraio	16,0	6,90	3370	2258
021	C7	febbraio	13,0	6,65	666	446
022	C3	febbraio	13,0	7,12	2100	1407
023	C4	febbraio	14,3	7,11	1590	1065
024	C1	aprile	16,2	7,30	1372	919
025	C5	aprile	15,3	7,70	3350	2245
026	C4	aprile	16,1	7,30	1918	1285
027	C3	aprile	14,2	7,17	2110	1414
028	C6	aprile	17,1	7,20	1856	1244

Tabella 2: Temperatura, pH, conduttività elettrica e totale solidi disciolti per ogni campione analizzato

Analisi dei risultati

Il Diagramma di Piper (Figura 2) (Piper, 1944) permette di identificare la categoria geochimica (facies) dell'acqua, ricavata dalla posizione del punto rappresentativo all'interno della losanga, mentre i triangoli forniscono le dominanze relative cationiche e anioniche. Nel seguente diagramma di Piper non viene evidenziata la distinzione tra i vari campionamenti mensili, i quali vengono tutti raggruppati nella propria denominazione del sito di campionamento (C1, C2, etc.). I risultati mostrano come i siti C1, C2, C3, C4, C5, e C6 sono categorizzabili nella facies idrogeochimica solfato/calcica, mentre il sito C7 si discosta notevolmente rientrando nella facies bicarbonato-calcica e/o magnesiaca con una spiccata dominanza degli ioni CO_3^{2-} + HCO_3^-. Anche il sito C1 rientra all'interno della facies bicarbonato-calcica e/o magnesiaca, ma senza una vera e propria dominanza tra gli ioni maggiori. C2, C3, e C4 sono quasi completamente sovrapposti, rientrando quindi completamente nella stessa categoria. Il sito C5, invece, si discosta leggermente dalle precedenti non avendo una spiccata dominanza tra gli anioni e i cationi. Il sito C4 è l'unico in cui si riscontra una lieve variabilità interna riguardate i campionamenti mensili, con 2 campioni su 6 che si discostano leggermente verso una facies più neutra e meno spiccatamente solfato-calcica. Dall'analisi della Figura 2 è possibile ipotizzare che i siti considerati nell'area di studio intercettino localmente direttrici di rilassamento strutturale, instaurando così una comunicazione diretta con il bacino idrogeologico profondo, sede dell'acquifero termale. Infatti, alla luce dei risultati ottenuti è verosimile ipotizzare che le

acque di tutti i siti interagiscano con il bacino idrogeologico termale, arricchendosi così di ioni solfato. Ciò vale anche per i pozzi C5 e C1, seppure in modo più lieve. La posizione del sito C5 nel diagramma di Piper lascia ipotizzare un possibile fenomeno di mixing tra le acque dei siti C2, C3, C4, e C6 con l'acqua marina.

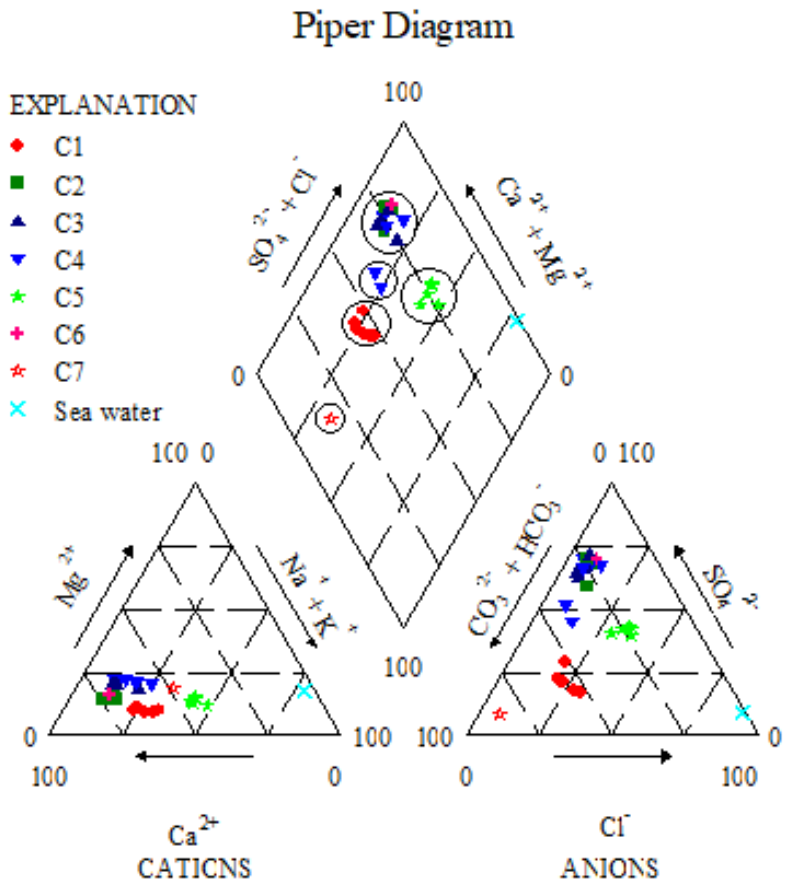


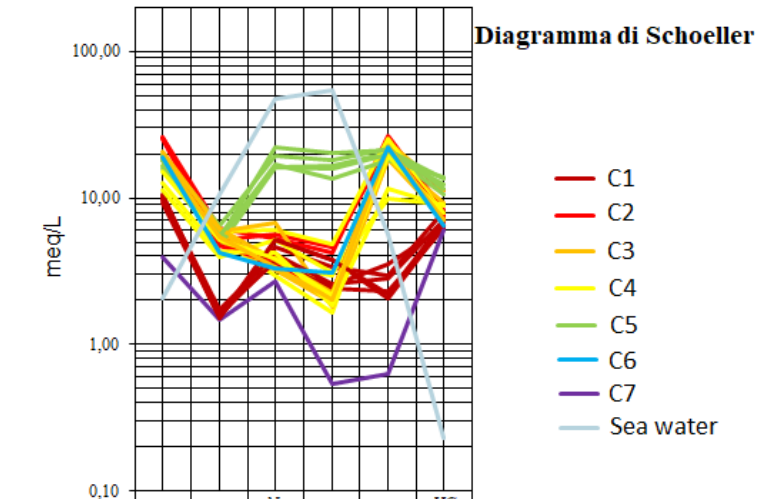
Figura 2: Risultati degli ioni maggiori plottati sul diagramma di Piper

Il diagramma di Schoeller permette invece di caratterizzare dal punto di vista idrochimico le acque attraverso una correlazione tra le concentrazioni dei costituenti fondamentali (Ca, Mg, Na, K, Cl, SO_4, e HCO_3) consentendo anche di distinguere (grazie alla scala logaritmica) tra acque a debole o intensa mineralizzazione. L'elemento saliente che permette di correlare acque della stessa famiglia con tenori salini diversi è la pendenza della spezzata che unisce le concentrazioni degli ioni adiacenti evidenziandone il rapporto caratteristico. Mediante il

Arsial PROTOCOLLO ESTERNO ENTRATA 0006001/2019 con data: 19/07/2019 11:36:05

diagramma di Schoeller è dunque possibile evidenziare sia anomalie del singolo punto di campionamento nei confronti dell'andamento tipico dell'area che la congruenza tra campioni dello stesso tipo chimico più o meno diluiti. In questo diagramma le concentrazioni degli elementi considerati sono espresse in meq/L.

I risultati degli ioni maggiori, plottati su diagramma di Schoeller (Figura 3), sono stati anche in questo caso raggruppati nelle loro rispettive denominazioni dei siti di campionamento. Dal grafico emergono 4 famiglie differenti. Alla prima famiglia appartengono i siti C2, C3, e C4, alla seconda il sito C1, alla terza il sito C5, e alla quarta il sito C7. Nessuna di queste quattro famiglie ha un carattere significativamente affine a quello dell'acqua di mare (spezzata "*Sea water*"). Come già evidenziato dal diagramma di Piper, il sito C4 presenta 2 campioni su 6 con concentrazioni più moderate di SO_4^{2-} e Ca^{2+}, ma senza subire variazioni nel carattere geochimico dell'acqua. Da notare come il sito C5 sia caratterizzato da concentrazioni degli ioni Na^+ + K^+ e Cl^- sensibilmente più elevate.



	Ca	Mg	Na +K	Cl	SO4	HCO3
sample 001	10,67	1,58	3,85	2,55	3,57	6,39
sample 002	26,03	6,25	5,28	4,26	26,58	8,19
sample 003	19,86	5,61	3,38	2,19	19,49	9,25
sample 004	18,38	5,83	3,45	2,98	22,45	8,00
sample 005	10,27	1,54	4,63	3,39	2,97	8,05
sample 006	26,08	5,18	5,65	4,64	22,86	11,22
sample 007	19,13	5,87	3,41	2,03	24,52	11,25
sample 008	16,50	5,29	2,95	1,64	20,74	7,65
sample 009	16,50	4,78	16,13	16,47	20,10	10,50
sample 010	17,95	5,91	6,05	4,84	25,53	7,65
sample 011	19,50	5,89	6,80	1,80	18,45	7,25
sample 012	18,31	5,30	22,12	20,21	21,08	13,50
sample 013	10,23	1,74	4,09	2,58	2,84	7,10
sample 014	9,17	1,55	5,15	3,82	2,05	6,50
sample 015	11,28	3,98	5,14	3,10	9,84	9,15
sample 016	18,09	5,22	3,20	1,91	18,40	7,60
sample 017	25,09	4,78	3,60	2,23	22,06	7,50
sample 018	18,04	5,31	16,82	13,47	18,04	13,85
sample 019	9,74	1,66	3,69	2,44	2,30	6,20
sample 020	19,97	6,50	19,52	18,33	21,52	11,60
sample 021	3,91	1,47	2,73	0,54	0,63	6,10
sample 022	20,87	6,14	3,81	2,24	22,74	7,10
sample 023	12,62	4,34	4,19	1,83	11,50	8,95
sample 024	9,88	1,50	5,22	3,76	2,22	6,95
sample 025	15,93	5,51	16,23	15,73	19,87	12,50
sample 026	15,20	5,18	3,82	2,18	19,57	8,00
sample 027	18,86	5,40	3,41	2,02	21,96	7,05
sample 028	19,05	4,27	3,27	3,12	21,95	6,50
SEA	2,06	10,61	47,85	54,58	5,65	0,23

Figura 3: Diagramma di Schoeller generale, i vari campioni sono raggruppati per sito di campionamento

Arsial PROTOCOLLO ESTERNO ENTRATA 0006001/2019 con data: 19/07/2019 11:36:05

Nelle pagine che seguono vengono riportati 3 grafici specifici per ogni sito di campionamento, evidenziandone la variabilità mensile. Il primo grafico riporta i risultati di conduttività, il totale dei solidi disciolti, e il pH per ogni singolo campionamento mensile. La Figura 4 raggruppa i 3 grafici per quanto riguarda il sito C1. Il trend di CE, TDS e pH è piuttosto costante ad eccezione di un incremento tra luglio ed agosto. Il diagramma di Piper non mostra variazioni della categoria d'appartenenza nell'arco di tempo tra luglio ed aprile. Dal diagramma di Schoeller si nota come il carattere idrochimico dell'acqua e i rapporti tra gli ioni maggiori restino costanti nell'arco di tempo considerato.

Nella Figura 5 viene considerato il sito C2, dove il pH ha un trend di crescita tra luglio e gennaio, così come CE e TDS i quali però rimangono costanti tra ottobre e gennaio. Dal diagramma di Piper si nota che il campione di ottobre si discosta leggermente dagli altri due, ciò è dovuto ad un tenore alcalino lievemente maggiore. Dal diagramma di Schoeller, invece, si nota una diminuzione delle concentrazioni degli ioni Na^+ e Cl^- nel mese di gennaio.

La figura 6 fa riferimento al sito C3. Anche in questo caso, come per il sito C2, si nota un incremento di CE, TDS e pH tra il mese di luglio/agosto e il mese di ottobre. Dal diagramma di Piper e dal diagramma di Schoeller, invece, si nota come l'unica variazione temporale riscontrata riguardi la maggior concentrazione degli ioni Na^+ + K^+ nel mese di novembre.

Per quanto riguarda il sito C4 (Figura 7), emerge un incremento del valore di pH tra il mese di ottobre e il mese di novembre (da 6.93 a 7.20 punti pH) e un dimezzamento dei valori di TDS e CE da ottobre a febbraio. Il sito C4 è l'unico a presentare una variabilità mensile leggermente più spiccata, come si può notare dal diagramma di Piper i mesi di gennaio e febbraio si discostano dagli altri in quanto a concentrazioni di HCO_3^- e CO_3^{2-}. Il diagramma di Schoeller evidenzia questa oscillazione mensile, la quale però non modifica sensibilmente il carattere chimico dell'acqua.

Il sito C5 (Figura 8) è caratterizzato da un incremento da ottobre a gennaio del valore di pH, il quale torna a diminuire tra gennaio e febbraio per poi aumentare nuovamente tra febbraio e aprile. I valori di TDS e CE, invece, subiscono una graduale e lieve diminuzione dei loro valori da ottobre ad aprile. Il diagramma di Piper non evidenzia variazioni mensili della categoria geochimica dell'acqua e il rapporto degli ioni maggiori resta costante nell'arco dei mesi, così come evidenziato dal diagramma di Schoeller.

Arsial PROTOCOLLO ESTERNO ENTRATA 0006001/2019 con data: 19/07/2019 11:36:05

La Figura 9 e la Figura 10 riguardano i siti C6 e C7, rispettivamente. Entrambi sono composti da un unico campionamento effettuato nel mese di aprile per il sito C6 e nel mese di febbraio per il sito C7. Il sito C6, proveniente dalle acque sotterrane dell'area delle Terme della Ficoncella, è caratterizzato da una spiccata prevalenza degli ioni SO_4^{2-} e $Ca2^{+}$ e quindi da un carattere geochimico spiccatamente solfato-calcico. Il sito C7, invece, presenta una concentrazione di ioni SO_4^{2-} notevolmente inferiore, stessa considerazione si può fare per gli ioni Cl^{-}, e Ca^{2+}, rientrando nella facies geochimica delle acque dolci bicarbonato-calciche e/o magnesiache.

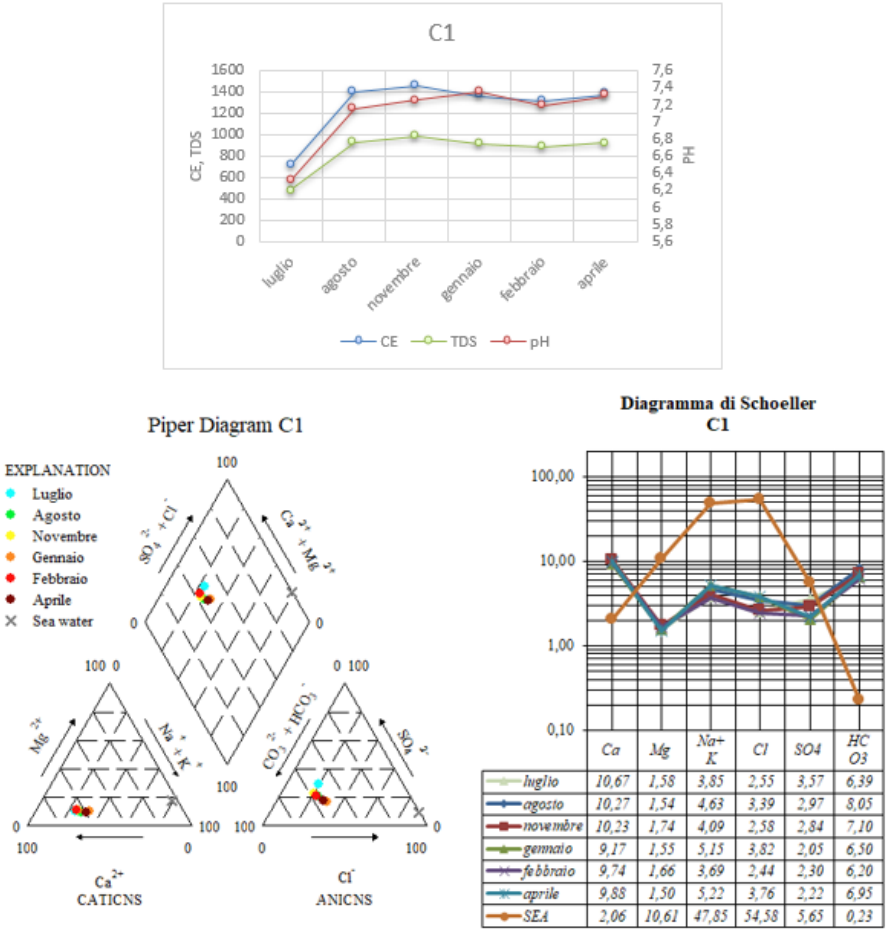
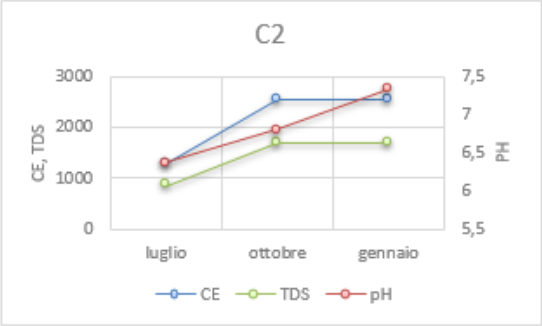
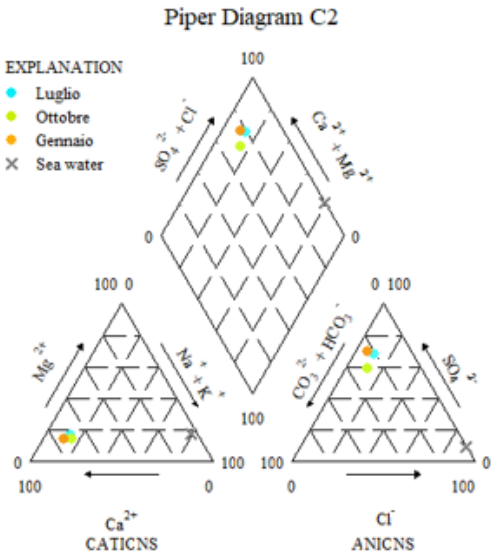
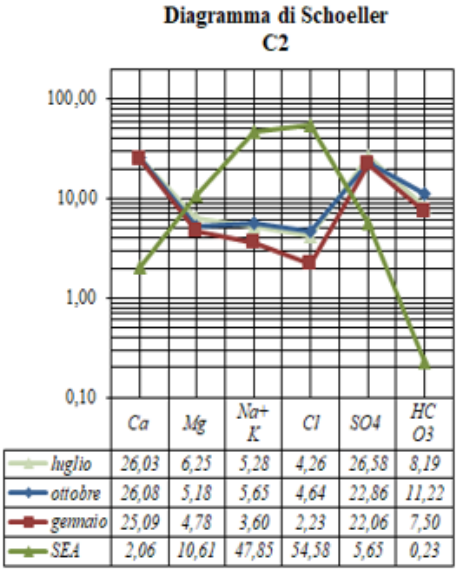


Figura 4: Grafici riguardanti il sito C1. In alto l'andamento di CE, TDS, e pH. In basso il diagramma di Piper e il diagramma di Schoeller

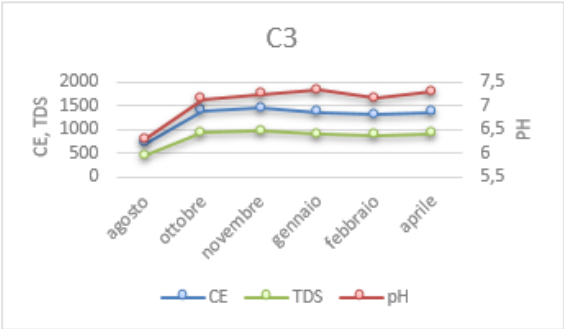


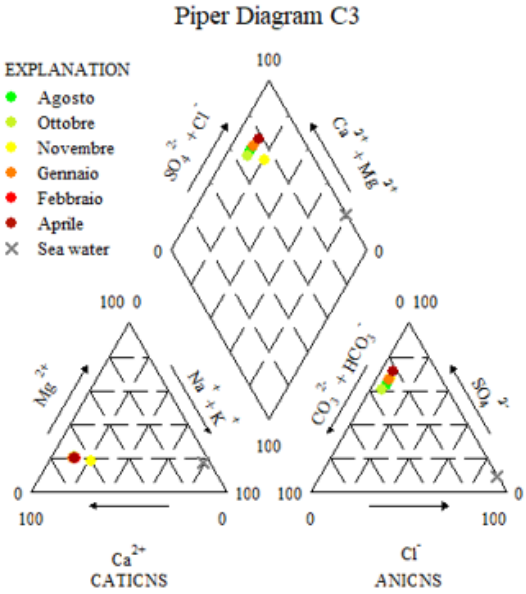


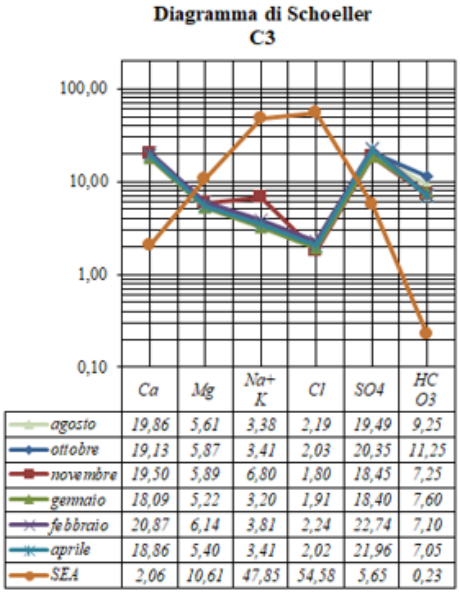


	Ca	Mg	Na+ K	Cl	SO4	HC O3
luglio	26,03	6,25	5,28	4,26	26,58	8,19
ottobre	26,08	5,18	5,65	4,64	22,86	11,22
gennaio	25,09	4,78	3,60	2,23	22,06	7,50
SEA	2,06	10,61	47,85	54,58	5,65	0,23

Figura 5: Grafici riguardanti il sito C2. In alto l'andamento di CE, TDS, e pH. In basso il diagramma di Piper e il diagramma di Schoeller

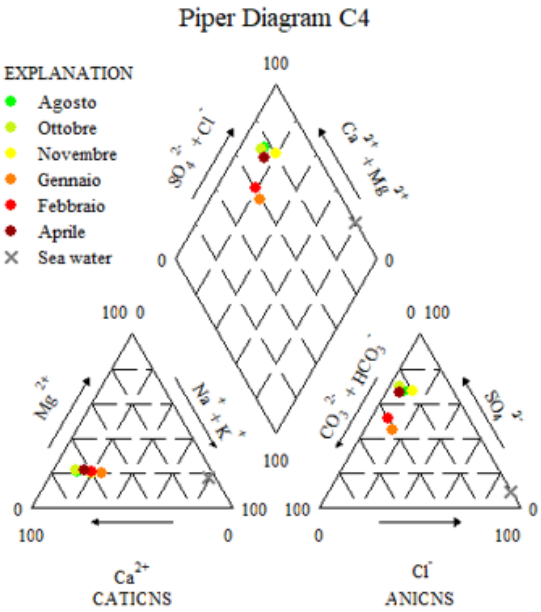


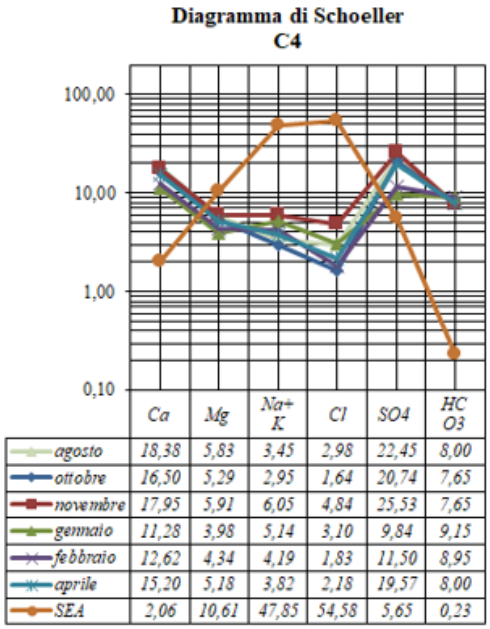




	Ca	Mg	Na+ K	Cl	SO4	HC O3
agosto	19,86	5,61	3,38	2,19	19,49	9,25
ottobre	19,13	5,87	3,41	2,03	20,35	11,25
novembre	19,50	5,89	6,80	1,80	18,45	7,25
gennaio	18,09	5,22	3,20	1,91	18,40	7,60
febbraio	20,87	6,14	3,81	2,24	22,74	7,10
aprile	18,86	5,40	3,41	2,02	21,96	7,05
SEA	2,06	10,61	47,85	54,58	5,65	0,23

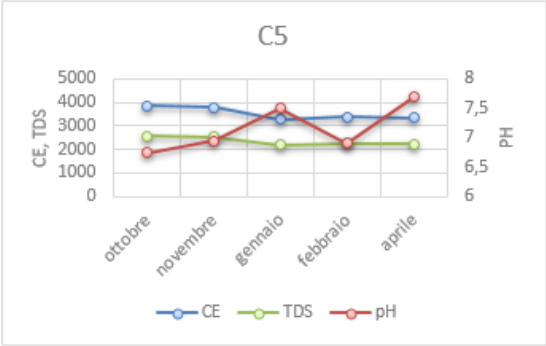
Figura 6: Grafici riguardanti il sito C3. In alto l'andamento di CE, TDS, e pH. In basso il diagramma di Piper e il diagramma di Schoeller

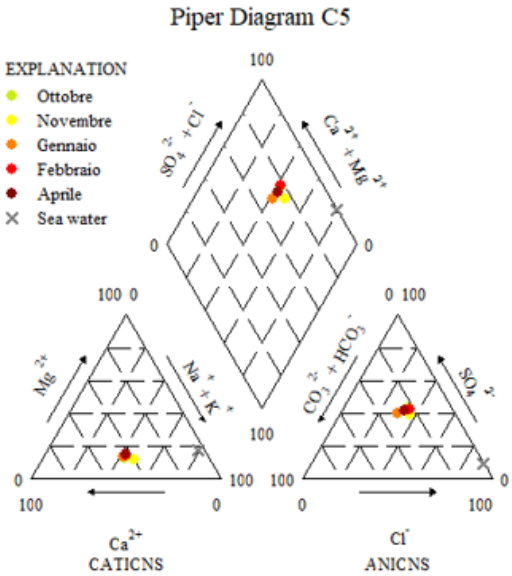


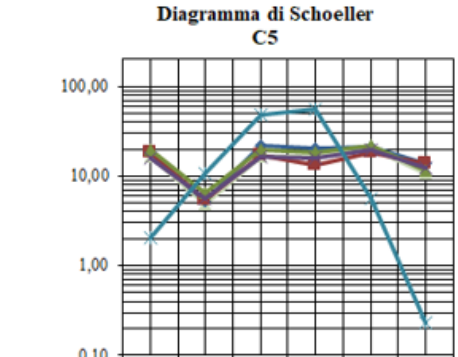


	Ca	Mg	Na+ K	Cl	SO4	HC O3
agosto	18,38	5,83	3,45	2,98	22,45	8,00
ottobre	16,50	5,29	2,95	1,64	20,74	7,65
novembre	17,95	5,91	6,05	4,84	25,53	7,65
gennaio	11,28	3,98	5,14	3,10	9,84	9,15
febbraio	12,62	4,34	4,19	1,83	11,50	8,95
aprile	15,20	5,18	3,82	2,18	19,57	8,00
SEA	2,06	10,61	47,85	54,58	5,65	0,23

Figura 7: Grafici riguardanti il sito C4. In alto l'andamento di CE, TDS, e pH. In basso il diagramma di Piper e il diagramma di Schoeller







	Ca	Mg	Na+ K	Cl	SO4	HC O3
ottobre	16,50	4,78	16,13	16,47	20,10	10,50
novembre	18,31	5,30	22,12	20,21	21,08	13,50
gennaio	18,04	5,31	16,82	13,47	18,04	13,85
febbraio	19,97	6,50	19,52	18,33	21,52	11,60
aprile	15,93	5,51	16,23	15,73	19,87	12,50
SEA	2,06	10,61	47,85	54,58	5,65	0,23

Figura 8: Grafici riguardanti il sito C5. In alto l'andamento di CE, TDS, e pH. In basso il diagramma di Piper e il diagramma di Schoeller

Arsial PROTOCOLLO ESTERNO ENTRATA 0006001/2019 con data: 19/07/2019 11:36:05

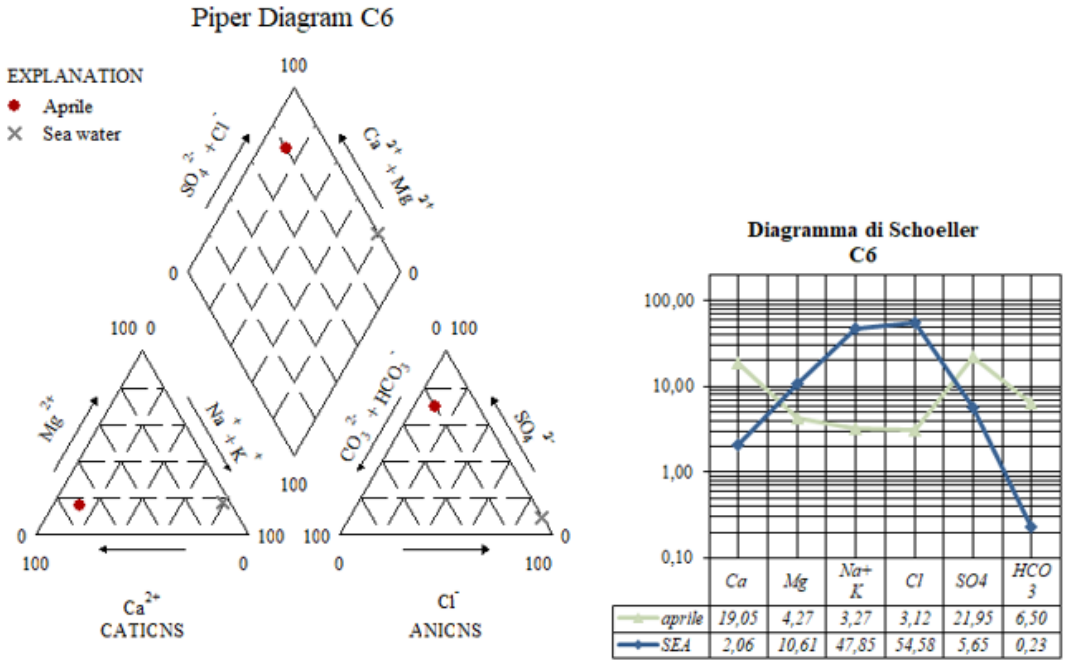


Figura 9: Grafici riguardanti il sito C6. In alto l'andamento di CE, TDS, e pH. In basso il diagramma di Piper e il diagramma di Schoeller

Arsial PROTOCOLLO ESTERNO ENTRATA 0006001/2019 con data: 19/07/2019 11:36:05

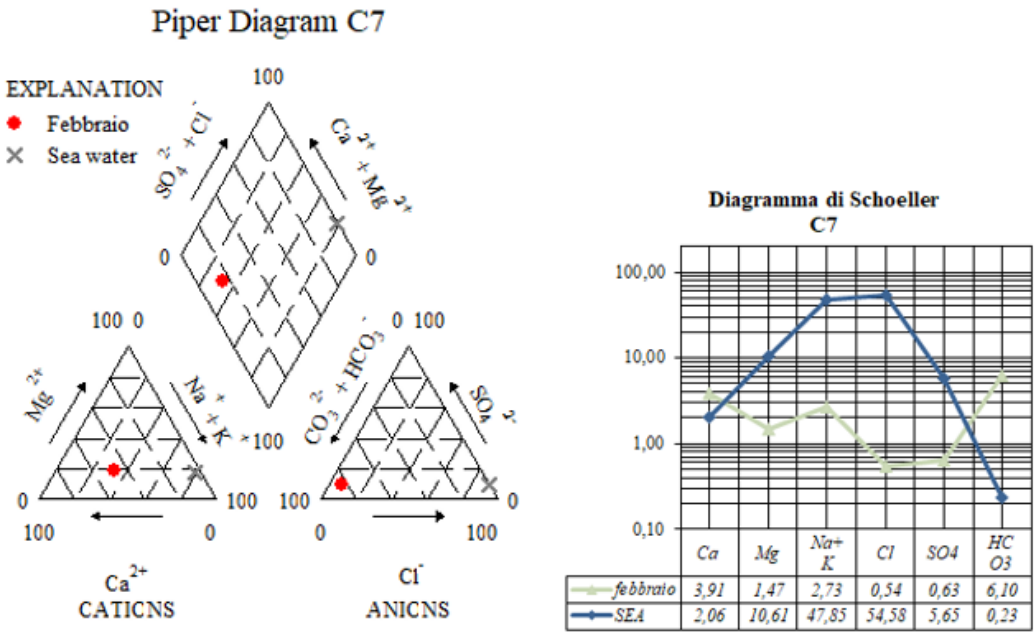


Figura 10: Grafici riguardanti il sito C7. In alto l'andamento di CE, TDS, e pH. In basso il diagramma di Piper e il diagramma di Schoeller

La figura che viene di seguito riportata (Figura 11) mostra i campioni analizzati e plottati su grafico che mette in rapporto la concentrazione dello ione cloruro e la conduttività elettrica. Tale grafico è stato effettuato con lo scopo di indagare il possibile fenomeno di mixing tra le acque sotterranee dell'area di studio con l'acqua marina. Tutti i campioni rientrano nella categoria delle acque dolci prive di evidenti condizioni di intrusione marina, ad eccezione dei campioni appartenenti al sito C5. Infatti, il sito C5 presenta i maggior livelli di conduttività elettrica (± 3500 µS/cm) e le maggiori concentrazioni di Cl- (± 550 mg/L), lasciando pensare un possibile processo di intrusione, seppur lieve. La situazione costante nell'arco dell'anno potrebbe essere dovuta ad una situazione di stabilità, in cui l'intrusione non è in atto ma è da ricondurre ad una situazione passata.

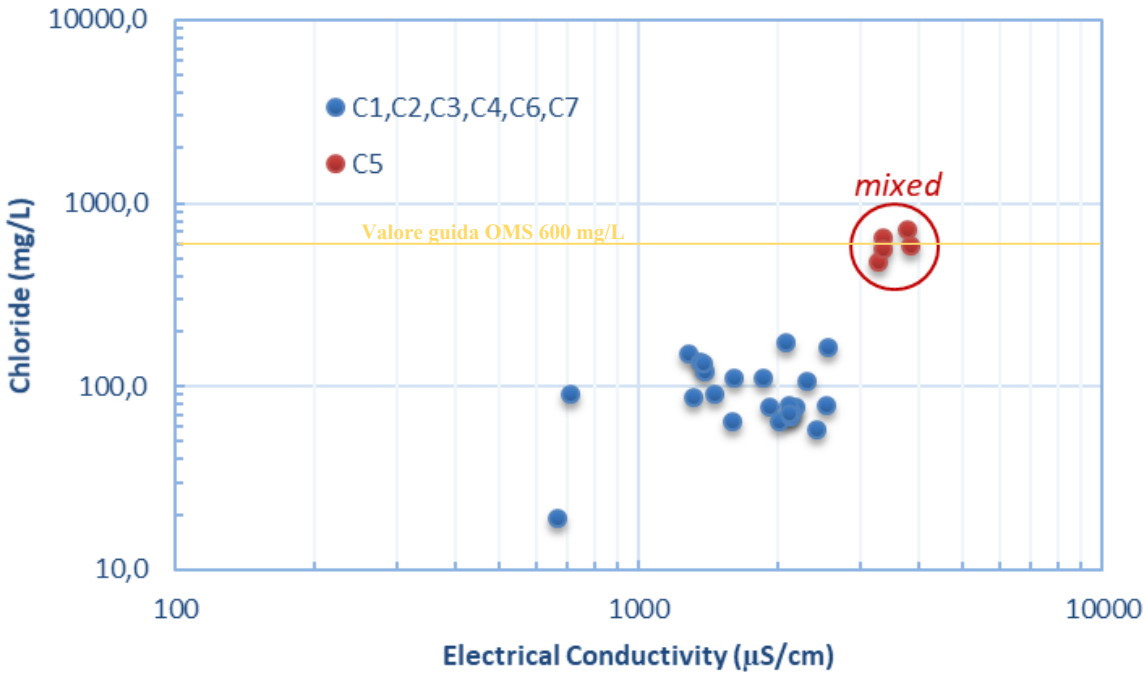


Figura 11: Conduttività elettrica VS ione cloruro

Nella Tabella 3 e 3.1 sono riportati i risultati, ottenuti tramite spettrometria di massa al plasma induttivo (ICP-MS), riguardanti gli elementi minori ed in traccia.

DIPARTIMENTO
DI SCIENZE DELLA TERRA

SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

ID campione	Mese campionamento	Sito	Li	Be	B	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu
			ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb
001	luglio	C1	9,59	<0,002	676,80	1,37	0,78	0,05	54,00	0,18	1,80	<0,002
002	luglio	C2	19,40	<0,002	336,30	1,38	0,27	<0,002	22,11	0,37	9,82	<0,002
003	agosto	C3	24,76	0,00	621,20	2,08	1,20	1,30	31,19	1,05	4,82	4,78
004	agosto	C4	15,83	<0,002	345,50	1,66	0,41	1,60	47,10	0,62	4,70	1,44
005	agosto	C1	6,20	<0,002	243,70	1,10	0,32	0,92	14,43	0,26	2,29	10,66
006	ottobre	C2	18,31	<0,002	261,40	0,97	0,79	22,59	57,13	0,68	4,01	0,04
007	ottobre	C3	13,43	<0,002	260,10	1,34	0,87	0,07	63,15	0,50	**31,10**	3,54
008	ottobre	C4	22,85	0,81	320,80	5,90	17,65	146,10	**1658,00**	1,16	**346,50**	136,20
009	ottobre	C5	1798,00	**1095,00**	**14980,00**	3,41	2,02	136,80	**217,30**	0,79	**63,21**	85,56
010	novembre	C4	23,17	<0,002	201,25	1,28	5,77	5,49	133,80	0,91	9,78	17,41
011	novembre	C3	22,76	<0,002	160,24	1,02	4,85	0,89	115,94	0,75	8,59	11,64
012	novembre	C5	1269,11	0,51	**4470,75**	5,25	10,50	5,77	127,73	0,86	8,48	3,03
013	novembre	C1	18,40	<0,002	419,92	1,85	5,65	7,19	68,29	0,56	6,50	15,80
014	gennaio	C1	11,35	<0,002	328,40	0,44	0,05	6,63	9,25	0,05	1,54	12,20
015	gennaio	C4	14,28	<0,002	348,80	0,47	0,07	10,83	114,10	0,07	0,75	7,63
016	gennaio	C3	15,31	<0,002	293,60	0,20	3,09	0,64	24,78	0,21	1,70	2,81
017	gennaio	C2	21,33	<0,002	270,90	0,25	0,02	21,78	3,65	0,44	5,92	4,87
018	gennaio	C5	1222,00	0,33	**9893,00**	0,92	0,14	3,09	1,41	0,21	0,56	2,13
019	febbraio	C1	10,31	-0,02	273,40	0,24	0,04	7,36	2,26	0,14	1,58	12,62
020	febbraio	C5	1381,00	0,29	**11710,00**	0,99	0,18	1,11	-2,22	0,28	0,66	3,80
021	febbraio	C7	49,36	0,43	849,40	17,04	0,31	26,26	5,35	0,03	1,11	40,35
022	febbraio	C3	18,84	-0,01	479,90	0,31	0,63	0,03	3,92	0,38	8,57	3,65
023	febbraio	C4	17,83	-0,01	470,70	0,47	0,05	9,39	153,90	0,21	1,16	12,38
024	aprile	C1	10,7	<0,002	448,7	0,63	0,109	11,53	17,45	0,752	2,266	18,79
025	aprile	C5	3444	0,784	23910	0,972	0,251	13,45	16,87	1,17	0,441	4,567

Università degli Studi di Roma "La Sapienza"
Dipartimento di Scienze della Terra
Piazzale Aldo Moro n. 5, 00185 Roma
T (+39) 0649914593. F (+39) 06 4454729 – **mobile 328 9645798**
maurizio.barbieri@uniroma1.it

026	aprile	C4	23,16	0,008	1300	0,228	0,057	29,94	98,48	1,142	0,598	7,838
027	aprile	C3	20,13	<0,002	683	0,304	0,596	1,498	26,42	1,183	2,482	6,872
028	aprile	C6	21,98	0,135	276,4	0,182	0,133	4,645	98,15	26,64	10,29	7,707
	Valori limite D.Lgs. 152/06			4	1000		50		200	50	20	1000

Tabella 3: Risultati degli elementi minori ed in traccia. In fondo vengono riportati i valori limite stabiliti dal D.Lgs. 152/06 per le acque sotterranee

ID campione	Mese campionamento	Sito	Zn	As	Sr	Sb	Ba	Pb	U
			ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb
001	luglio	C1	<0,002	1,35	1101,00	0,03	64,76	<0,002	1,06
002	luglio	C2	12,34	0,44	2493,00	0,09	15,01	<0,002	1,65
003	agosto	C3	513,80	<0,002	2570,00	0,04	54,54	1,23	4,95
004	agosto	C4	1084,00	<0,002	1504,00	<0,002	41,24	0,30	3,55
005	agosto	C1	295,30	0,31	1008,00	0,01	68,36	0,02	0,91
006	ottobre	C2	107,50	<0,002	2751,00	0,01	16,87	<0,002	2,06
007	ottobre	C3	242,80	<0,002	1382,00	<0,002	23,76	1,29	2,60
008	ottobre	C4	1599,00	1,65	1464,00	1,14	67,60	**37,18**	3,64
009	ottobre	C5	188,10	4,43	3289,00	0,77	1298,00	**22,93**	0,36
010	novembre	C4	1044,00	0,84	1372,74	0,08	58,38	0,87	6,27
011	novembre	C3	165,20	0,86	1252,87	0,07	37,14	0,59	3,92
012	novembre	C5	9,28	7,38	3630,54	0,11	48,78	1,08	0,84
013	novembre	C1	841,50	1,23	1415,44	0,08	119,12	0,22	2,13
014	gennaio	C1	515,30	0,14	1640,00	0,07	81,16	0,35	1,09
015	gennaio	C4	671,80	0,14	948,00	0,06	33,33	0,38	3,32
016	gennaio	C3	21,47	0,00	1518,00	0,03	27,38	0,17	2,26
017	gennaio	C2	83,66	0,05	3423,00	0,06	24,56	0,33	1,72

018	gennaio	C5	3,71	1,59	4260,00	0,09	34,97	0,13	0,34
019	febbraio	C1	280,90	0,80	2131,00	0,06	84,48	-0,03	1,15
020	febbraio	C5	5,29	2,39	5047,00	0,06	37,19	0,04	0,48
021	febbraio	C7	117,00	9,48	377,20	0,18	19,72	0,30	4,89
022	febbraio	C3	34,57	0,40	1982,00	0,02	32,18	0,09	2,58
023	febbraio	C4	518,90	0,00	1324,00	0,04	44,09	0,42	4,03
024	aprile	C1	459	0,283	3488	0,029	109,6	0,914	1,236
025	aprile	C5	17,28	4,638	7636	0,068	39,27	1,941	0,512
026	aprile	C4	1397	2,036	2643	0,038	49,8	15,97	4,03
027	aprile	C3	52,83	1,216	3080	0,02	37,56	2,749	3,04
028	aprile	C6	56,91	23,3	5339	0,084	32,25	0,88	0,997
	Valori limite D.Lgs. 152/06		3000	10				10	

Tabella 3.1: Risultati degli elementi minori ed in traccia. In fondo vengono riportati i valori limite stabiliti dal D.Lgs. 152/06 per le acque sotterranee

DIPARTIMENTO
DI SCIENZE DELLA TERRA

SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Analisi dei suoli

Le attività di campionamento sono state interamente svolte nel mese di Gennaio 2019, durante le quali sono stati raccolti, in tutto, 5 campioni di top soil, 3 nella Pineta La Frasca, e 2 in Pineta Sant'Agostino (Tabella 4 e Figura 12).

Denominazione Campione	Località	Coordinate Geografiche lat/lon (UTM - WGS84)
Campione 1	Pineta "La Frasca"	42°08'52.8"N/11°44'43.5"E
Campione 2	Pineta "La Frasca"	42°08'37.1"N/11°44'43.3"E
Campione 3	Pineta "La Frasca"	42°08'54.4"N/11°44'41.1"E
Campione 4	Pineta "Sant'Agostino"	42°09'54.4"N/11°44'16.0"E
Campione 5	Pineta "Sant'Agostino"	42°09'55.9"N/11°44'20.1"E

Tabella 4: Denominazione, località e coordinate geografiche sei campioni di suolo analizzati

Figura 12: Immagine Siti di campionamento. Immagine da satellite (Google Earth, modificata)

Università degli Studi di Roma "La Sapienza"
Dipartimento di Scienze della Terra
Piazzale Aldo Moro n. 5, 00185 Roma
T (+39) 0649914593. F (+39) 06 4454729 – **mobile 328 9645798**
maurizio.barbieri@uniroma1.it

Arsial PROTOCOLLO ESTERNO ENTRATA 0006001/2019 con data: 19/07/2019 11:36:05

I punti di campionamento sono stati scelti in base ad una valutazione visiva delle condizioni fitosanitarie e fitostatiche delle popolazioni vegetali. In particolar modo, si è ritenuto utile prelevare campioni nelle immediate vicinanze sia di piante versanti in condizioni critiche sia, al contrario, di piante versanti in condizioni apparentemente buone.

I campioni sono stati tutti prelevati a profondità ridotte, comprese tra i 20 e i 30 cm. La scelta di tali profondità è stata dettata dalla volontà di caratterizzare la porzione più superficiale di suolo, quella, cioè, più giovane, maggiormente sensibile a variazioni geochimiche ambientali e prossima allo strato da cui i vegetali traggono il proprio nutrimento, ovvero nella zona interessata dalla maggior parte delle radici.

Il grado di reazione del suolo, ovvero il suo pH, è stato determinato per via potenziometrica, utilizzando un pH – metro (WTW, modello multichannel 3420) con sistema di compensazione della temperatura, su una sospensione 1:2.5 (peso/volume) di suolo e acqua distillata. I risultati, confrontati con la scala di valutazione USDA, sono riportati in Tabella 5:

Campione	pH	Valutazione
Campione 1	7.2	Neutro
Campione 2	6.66	Neutro
Campione 3	8.06	Moderatamente alcalino
Campione 4	6.73	Neutro
Campione 5	6.40	Neutro

Tabella 5: Valori di pH dei campioni di suolo analizzati

Dai dati emerge un unico risultato anomalo, quello del Campione 3, nel quale è stata rilevata una leggera alcalinità. Tale valore generalmente può indicare una minore disponibilità di microelementi, una retrogradazione del fosforo con formazione di fosfati insolubili, un aumento della quantità di calcio a livelli da indurre antagonismi con magnesio e potassio (riducendo l'assorbimento da parte delle piante di quest'ultimi) e un aumento della disponibilità di molibdeno (ARPAV, 2007).

La conduttività elettrica della sospensione suolo/acqua, essendo una misura strettamente proporzionale alla pressione osmotica (dovuta alla differenza di concentrazione di soluto, in massima parte di sali, eventualmente presente tra soluzioni del suolo e della pianta) è un indice efficace e di facile utilizzo per la diagnosi della salinità (ARPAV, 2007). Essa è stata determinata in estratti acquosi (rapporto acqua/suolo 2:1) utilizzando un conduttimetro

Arsial PROTOCOLLO ESTERNO ENTRATA 0006001/2019 con data: 19/07/2019 11:36:05

dalaboratorio (WTW, modello multichannel 3420) in grado di fornire i valori di conduttività direttamente riportati a 25 °C. I risultati di tale analisi sono riportati in Tabella 6:

Campione	Conduttività (µS/cm)	Stima salinità	Valutazione
Campione 1	252	Non salino	Effetti trascurabili
Campione 2	276	Non salino	Effetti trascurabili
Campione 3	967	Non salino	Effetti trascurabili
Campione 4	1580	Debolmente salino	Effetti minimi
Campione 5	465	Non salino	Effetti trascurabili

Tabella 6: Valori di conduttività dei campioni di suolo analizzati

I dati mostrano in maniera chiara che, all'interno delle pinete, non sussistono fenomeni anomali di arricchimento in sali, almeno nella porzione più giovane dei suoli. Il dato più elevato, quello registrato per il Campione 4, rientra appena nel campo del debolmente salino secondo il metodo classificativo preso in considerazione (da Watling K., 2007), ma, gli effetti attribuibili a tale valore di conduttività, sono, in ogni caso, molto limitati e di certo non tali da costituire una grave minaccia per l'ecosistema vegetale. Per queste ragioni, si ritiene che il generale degrado delle risorse non sia da attribuire all'instaurarsi di fenomeni di salinizzazione dei suoli.

Le analisi in ICP-MS degli estratti acquosi ottenuti tramite la procedura standard con soluzione di ammonio acetato hanno consentito la determinazione delle principali basi di scambio, ovvero il contenuto degli ioni Calcio, Magnesio, Sodio e Potassio di scambio. I risultati medi ottenuti, corretti secondo un fattore di diluizione pari a 20 (2.5 g di campione di suolo diluiti in 50 g di H2O) ed espressi in ppm, sono riportati nella seguente tabella (Tabella 7), mentre i risultati ottenuti espressi in percentuale sono riportati nella Figura 13.

Campione	Run	Na ppm	Mg ppm	K ppm	Ca ppm
C1					
	1	107,7	82,35	48,58	272,8
	2	105,3	80,35	47,47	264,1
	3	104,9	79,94	46,94	263,6
	x	106	80,88	47,66	266,8
	s	1,487	1,289	0,833	5,17
	%RSD	1,404	1,594	1,747	1,938
C2					

Arsial PROTOCOLLO ESTERNO ENTRATA 0006001/2019 con data: 19/07/2019 11:36:05

	1	17,9	41,27	42,28	98,05
	2	17,65	40,52	41,84	98,76
	3	17,71	40,77	42,11	100,1
	x	17,75	40,85	42,07	98,98
	s	0,128	0,384	0,222	1,056
	%RSD	0,723	0,939	0,528	1,067
C3					
	1	30,11	86,43	63,94	1016
	2	29,35	83,88	62,1	1008
	3	29,39	84,16	62,66	989,1
	x	29,61	84,82	62,9	1004
	s	0,432	1,397	0,942	13,79
	%RSD	1,458	1,647	1,497	1,373
C4					
	1	8,828	35,23	34,51	80,34
	2	8,759	34,93	34,26	81,64
	3	8,67	34,88	33,99	81,12
	x	8,752	35,01	34,25	81,03
	s	0,079	0,187	0,26	0,656
	%RSD	0,903	0,535	0,758	0,81
C5					
	1	19,18	32,32	35,92	94,26
	2	19,04	31,97	35,49	92
	3	18,9	31,8	35,08	94,84
	x	19,04	32,03	35,5	93,7
	s	0,14	0,264	0,422	1,499
	%RSD	0,733	0,825	1,188	1,6

Tabella 7: Concentrazioni di ioni Sodio, Magnesio, Potassio e Calcio nell'estratto acquoso di ammonio acetato

Arsial PROTOCOLLO ESTERNO ENTRATA 0006001/2019 con data: 19/07/2019 11:36:05

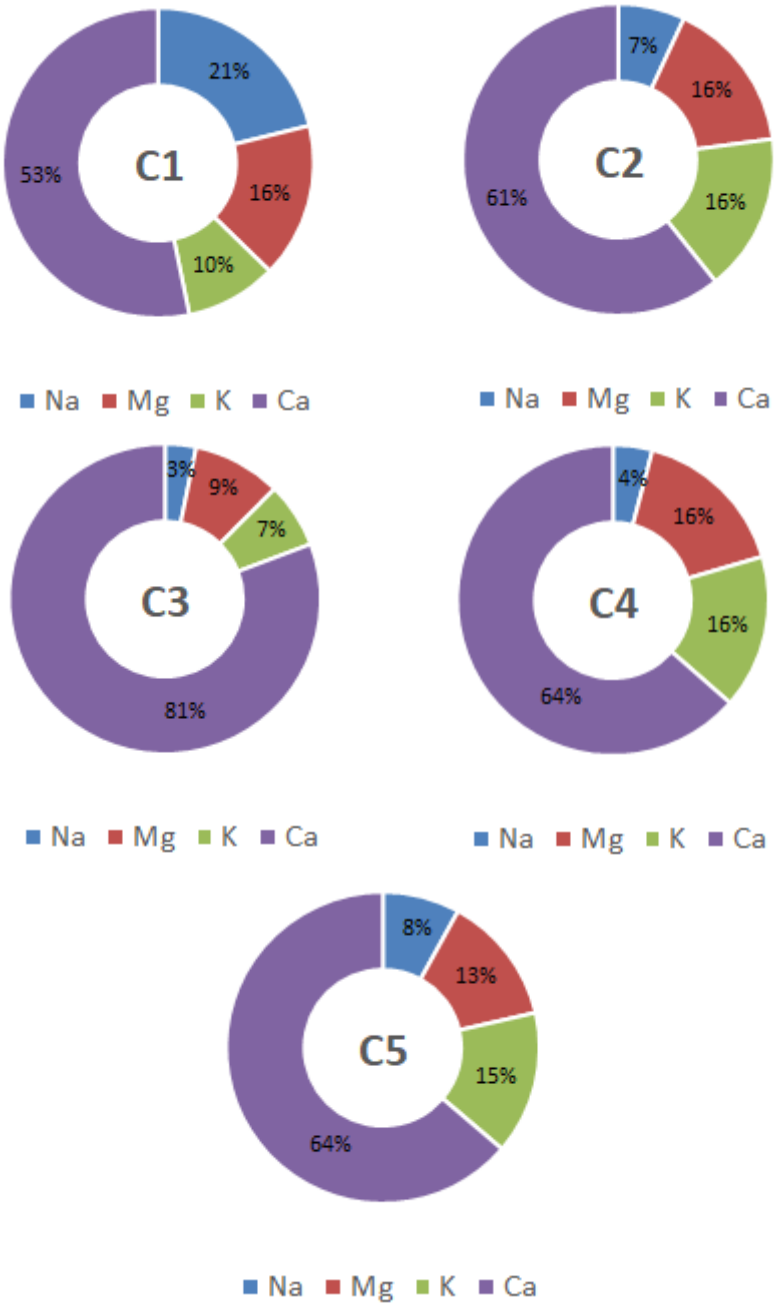


Figura 13: Concentrazioni di ioni Sodio, Magnesio, Potassio e Calcio nell'estratto acquoso di ammonio acetato nei 5 campioni, espresse in percentuale

Arsial PROTOCOLLO ESTERNO ENTRATA 0006001/2019 con data: 19/07/2019 11:36:05

La Capacità di Scambio Cationico esprime la frazione dei cationi che sono adsorbiti sulla superficie delle sostanze colloidali, di natura minerale o organica, in virtù della carica negativa che queste presentano. Essi si scambiano tra loro, in rapporti che dipendono dal prevalere dell'uno o dell'altro catione, in forma dinamica, dando origine a fenomeni di continuo rilascio nella soluzione del suolo (ARPAV, 2007). L'assorbimento per scambio cationico rappresenta il meccanismo più importante di trattenimento degli ioni in un suolo e la loro biodisponibilità per il nutrimento delle piante. Poiché Potassio, Magnesio e Calcio, insieme al Sodio (solitamente presente in minore quantità) costituiscono la grande maggioranza dei cationi presenti nei suoli neutri ed alcalini, la somma delle loro forme scambiabili corrisponde, in prima approssimazione, alla CSC del suolo (ARPAV, 2007).

Questo approccio è rigorosamente valido per suoli calcarei (poiché ogni deficit cationico può essere prontamente colmato da ioni Ca^{2+} provenienti dalla dissoluzione di $CaCO_3$) mentre è da ritenersi una buona approssimazione per suoli non calcarei o acidi (dove l'attività degli ioni H^+ è numericamente più importante). Nella seguente tabella sono riportati i valori di CSC (in cmol/Kg) di ogni campione analizzato come somma dei principali cationi di scambio:

Campione	Na (cmol/Kg)	Mg (cmol/Kg)	K (cmol/Kg)	Ca (cmol/Kg)	CSC (cmol/Kg)
C1	0.45	0.33	0.12	0.66	1.56
C2	0.08	0.17	0.11	0.25	0.61
C3	0.13	0.35	0.16	2.50	3.14
C4	0.04	0.15	0.09	0.20	0.48
C5	0.08	0.13	0.09	0.23	0.53

Tabella 8: Stima della Capacità di Scambio Cationico, espressa come somma delle concentrazioni (in cmol/Kg) dei principali cationi di scambio.

Le CSC calcolate (tabella 8) presentano valori, secondo gli standard a cui si è fatto riferimenti, definibili molto bassi. Questo può essere dovuto alla concorrenza di diversi fattori, tra cui una relativamente bassa presenza di sostanze colloidali (argille e materiale organico estremamente decomposto) e l'instaurarsi di fenomeni di dilavamento del materiale a bassa profondità molto marcati. Tali valori bassi, inoltre, possono essere ritenuti indice di un suolo molto povero di sostanze nutritive essenziali per il corretto sviluppo delle piante, e, di conseguenza, una delle cause alla base dei problemi fitostatici e fitosanitari che interessano le popolazioni vegetali delle pinete.

Arsial PROTOCOLLO ESTERNO ENTRATA 0006001/2019 con data: 19/07/2019 11:36:05

Conclusioni

I risultati del monitoraggio idrogeochimico suggeriscono che tutti i campioni rientrano nella categoria delle acque dolci prive di evidenti condizioni di intrusione marina, ad eccezione del campione C5 che presenta i maggior livelli di conduttività elettrica (± 3500 µS/cm) e le maggiori concentrazioni di Cl- (± 550 mg/L). Da mettere in evidenza come tutte le acque sotterrranee studiate localmente intercettano direttrici di rilassamento strutturale, instaurando così una comunicazione diretta con il bacino idrogeologico profondo, sede dell'acquifero termale. Infatti, alla luce dei risultati ottenuti è verosimile ipotizzare che le acque di tutti i siti interagiscano con il bacino idrogeologico termale, arricchendosi così di ioni solfato. Ciò vale anche per i pozzi C5 e C1, seppure in modo più lieve. I risultati riguardanti il sito C5 lasciano ipotizzare un possibile fenomeno di mixing tra le acque dei siti C2, C3, C4, e C6 con l'acqua marina. L'assenza di una variazione stagionale, però, lascia pensare ad un processo di mixing attualmente in equilibrio, non si registrano quindi fenomeni progressivi di intrusione marina.

Il campione d'acqua proveniente dal pozzo C5, unico della pineta La Frasca, ha caratteristiche geochimiche differenti degli altri campioni, con un carattere intermedio tra il solfato/calcico e l'acqua marina a forte predominanza ioni Cl- e Na+. Questo risultato, tuttavia, non è sufficiente ad affermare con certezza vi sia un fenomeno di intrusione marina. Non si esclude, ad esempio, che il suo carattere geochimico differente possa essere dovuto ad un inquinamento puntuale.

Nel caso in cui i dati ricavati dalle analisi eseguite sul campione C5 siano ricondotti alla presenza di un cuneo salino, e quindi ad un fenomeno di intrusione marina, questo, stando ai dati a disposizione, risulterebbe in uno stato di equilibrio, non evidenziandosi variazioni mensili significative nei rapporti ionici. Lo stato attuale potrebbe quindi essere la diretta conseguenza di una stagione particolarmente arida, la quale ha favorito l'intrusione dell'acqua marina nel sottosuolo della pineta. Tale situazione avrebbe poi trovato uno stato di equilibrio una volta terminato il periodo di aridità. Per fare maggiore chiarezza sulla questione sono necessari ulteriori dati.

Per quanto concerne le analisi dei suoli, la Capacità di Scambio Cationico si è attestata su valori generalmente molto bassi, indice di suoli con contenuto piuttosto modesto di sostanze

Arsial PROTOCOLLO ESTERNO ENTRATA 0006001/2019 con data: 19/07/2019 11:36:05

nutritive essenziali per lo sviluppo della vegetazione. Inoltre, la percentuale piuttosto elevata di siti di scambio occupata dal sodio di scambio, e quindi l'elevata sodicità del suolo, testimonia fenomeni di aerosol salmastri i quali si ritiene possano essere la principale causa di stress ambientale e possibile deperimento delle pinete.

Le porzioni giovani di suolo che sono state campionate non presentano valori di conducibilità elettrica anomali dovuti a particolari e spiccati arricchimenti in sali. Tuttavia, analizzando il rapporto degli ioni maggiori e la percentuale di siti di scambio occupata dal sodio, si evidenzia una significativa sodicità dei suoli. Tale sodicità potrebbe essere facilmente ricondotta a fenomeni di aerosol salmastri, i quali potrebbero essere la principale causa di stress ambientale correlabile con il deperimento delle pinete. Un lavoro più esteso concentrato sulla geochimica dei suoli permetterebbe di confermare, o meno, la presenza di stress ambientale dovuto all'aerosol marino e permetterebbe di fare luce sulla sua correlazione con il deperimento della vegetazione arborea.

Prof. Maurizio Barbieri