

SCUOLA DI SCIENZE

Corso di Laurea in Scienze Geologiche

Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche ed Ambientali

Relazione di Laurea

Titolo

CARATTERISTICHE IDROCHIMICHE
DELLE
ACQUE DI OCCHIOBELLO (RO)

Candidato:

Mara Moggia

Relatore:

Prof. Stefano Cremonini
(In sostituzione del
prof. Bruno Capaccioni)

INDICE

Riassunto.....	3
Parole chiave.....	3
1. Inquadramento geografico e morfologico.....	4
1.1 Inquadramento geologico.....	5
1.2 Stratigrafia locale e tettonica.....	5
1.3 Sismicità.....	7
1.4 Stratigrafia superficiale.....	8
1.5 Cenni di idrogeologia e contesto idrogeochimico.....	11
2. Materiale e metodiche di studio.....	14
3. Dati.....	19
4. Discussione.....	24
5. Conclusioni.....	31
Ringraziamenti.....	32
Bibliografia.....	33
Sitografia.....	33

RIASSUNTO

L'analisi chimica delle acque di dieci pozzi, di una località posta a N del fiume Po, (44°54'51.10" N; 11°36'42.49"E), ha mostrato la presenza di acque clorurato sodiche, che si suppone derivino da miscelazione (complessa) tra acque di origine marina (acqua di strato) e un'acqua dolce madre (acqua teorica, end member).

Si è tentato di calcolare teoricamente la composizione dell'end member, che è risultata un'acqua bicarbonato sodica, e si è proposta la possibile giacitura delle facies idrochimiche riscontrate all'interno dello schema idrostratigrafico regionale Emiliano-Romagnolo.

È emerso che le acque analizzate sono presenti ad una profondità anormalmente ridotta, rispetto alle giaciture degli end members di miscelazione: le acque saline di Ambrogio e Diamantina e l'acqua dolce teorica. Considerando la distribuzione geografica delle acque clorurato sodiche nella regione Emilia-Romagna ed il chiaro rapporto che queste hanno con la verticale degli alti strutturali appenninici sepolti si propone una origine influenzata dalla tettonica per la risalita delle acque studiate.

PAROLE CHIAVE

Idrochimica, Facies clorurato sodiche, Facies bicarbonato sodiche, Pianura padana, Polesine, Tettonica.

INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E MORFOLOGICO

L'area, all'interno della quale sono stati perforati i pozzi in esame, è ubicata nel comune di Occhiobello (Rovigo) ($44^{\circ}54'51.10''$ N; $11^{\circ}36'42.49''$ E), a circa 1200 m a Nord-Est del corso del fiume Po, posta ai margini di un paleo alveo secondario, riconducibile alle divagazioni d'epoca storica del fiume stesso. La porzione di pianura padana compresa nel territorio polesano è delimitata dai rilievi prealpini a Nord-Ovest, dal Mar Adriatico ad Est, dal fiume Adige a Nord e dal fiume Po a Sud.

Il territorio comunale è pianeggiante, a circa 6.5 m s.l.m., mentre il restante territorio è compreso tra 3 e 8 m s.l.m. Le quote maggiori sono date dalle arginature del Fiume Po (> 10 m).

Il territorio di Occhiobello è legato all'evoluzione idrografica locale che si sviluppa dopo l'ultima trasgressione Olocenica (Cibin, Stefani 2009): i corsi d'acqua privi di argini divagavano per tutta la bassa padana. Nei periodi di piena quindi, per tutta l'area, si sedimentavano i materiali in sospensione; distribuzione influenzata dall'energia del singolo evento.

L'attuale morfologia superficiale presenta dossi fluviali e singoli apparati di rotta di origine padana che datano a partire dall'età del bronzo ed in particolare ad età romana (Castiglioni et al. 1997; Castiglioni, Pellegrini 2001) (Fig. 1), mentre l'alveo attuale di Po che datano alla piena età medioevale (1151) (Pavani 2007).

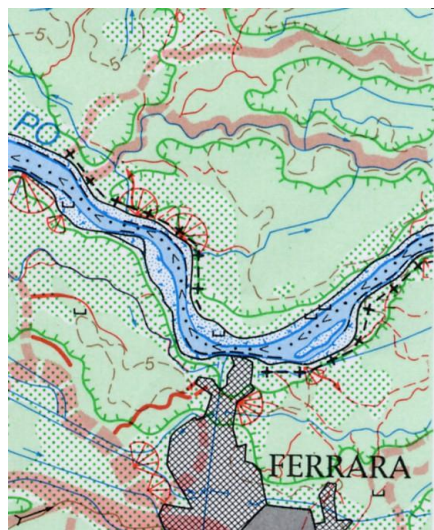


Figura 1- Unità morfologiche dell'area di pianura nell'intorno dell'area studiata (Castiglioni et al. 1997)

Fra i dossi sono presenti i bacini inondabili che spesso sono stati sede di ambienti palustri che hanno dato origine ad associazioni torbose.

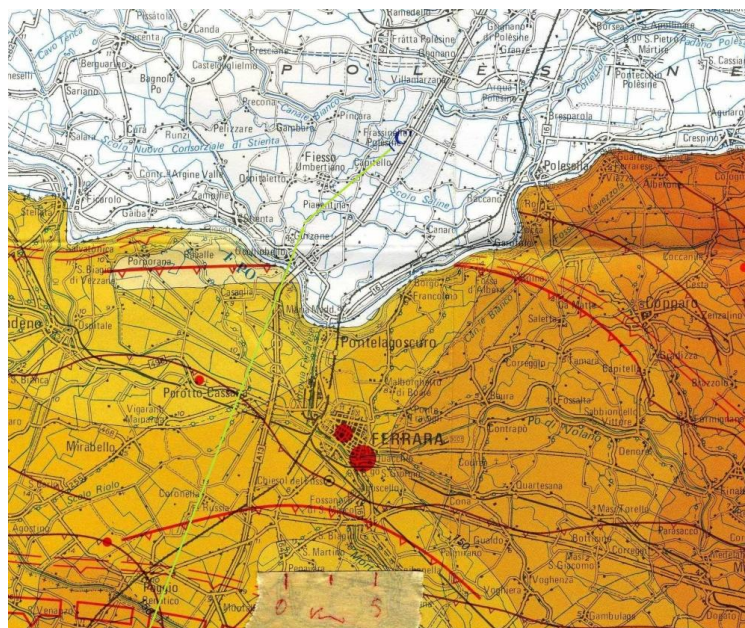
1.1 Inquadramento geologico

Il bacino padano, di cui la pianura padana rappresenta l'espressione superficiale, costituisce il riempimento dell'avanfossa appenninica sviluppatasi a partire dal pliocene medio-superiore, circa 3,5 milioni di anni fa. Grazie alla prospezione petrolifera si è visto che gli strati profondi che costituiscono il substrato sono deformati, quindi la catena appenninica continua in profondità, e il grado di deformazione all'interno del bacino Padano diminuisce verso l'alto, testimoniando così un rallentamento dell'attività tettonica nel corso del riempimento del bacino (Amorosi, Pignone, 2009).

Con l'inizio del Quaternario, quando la zona alpina e parte della fossa padana erano completamente emerse, inizia il riempimento della vasta depressione di avampaese mediante un progressivo accumulo di depositi alluvionali appartenenti ai grandi sistemi fluviali, intervallati da sedimenti derivanti dalle varie fasi di trasgressione marina. Questa alternanza è stata principalmente guidata da cicli eustatici planetari guidati da avvicinarsi di fasi glaciali e interglaciali, che si sono succeduti nel corso del Quaternario.

1.2 Stratigrafia tettonica locale

Non ci sono molte informazioni di dettaglio a proposito della stratigrafia locale: (Boccaletti, Martelli, 2004) (fig 2-3) i depositi del Pleistocene medio, superiore ed Olocene coprono circa i 300 m superiori e corrispondono agli ultimi 650 ka da oggi; seguono i 180 m di Pleistocene inferiore marino.



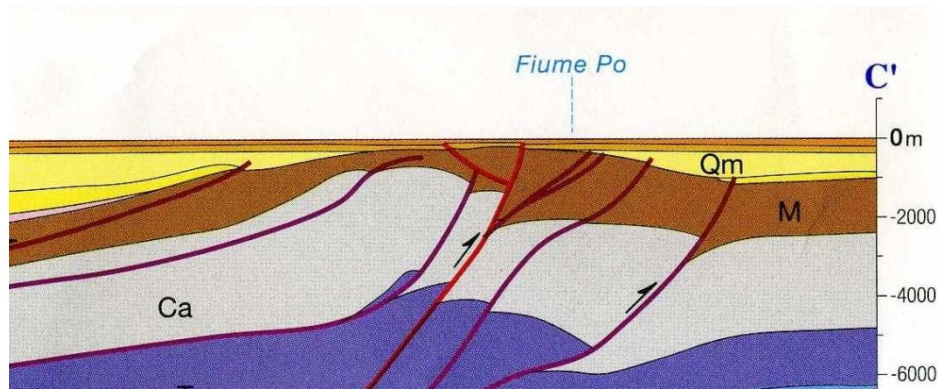


Fig 2-3: Assetto stratigrafico e strutturale della pianura presso Occhiobello.

Occhiobello si trova sui sovrascorrimenti più esterni del fronte appenninico sepolto. La fase terminale dell'orogenesi appenninica, legata alla subduzione della zolla Adriatica, è responsabile di questo assetto a pieghe e faglie. Il fronte esterno della catena inizia la sua deformazione tra la fine del Miocene e l'inizio del Pliocene, portando a sovrascorrere le unità appenniniche sulla monoclinale pedealpina. La dorsale ferrarese sarebbe ancora in innalzamento (0,16 mm/a) e raccorciamento crostale attivi negli ultimi 125 ka. (Fantoni, 2010).

La lunga sezione (Fig 4) collega le Alpi e il fronte appenninico, che distano circa 150 Km. Il tetto del basamento cristallino è fortemente piegato. L'immagine mostra come le strutture del Nord Appenninico tagliano i depositi Mesozoici e deformano i depositi del Miocene e del Pliocene. La pianura Padana risulta quindi stretta in una specie di "tripla tenaglia" con gli Appennini che spingono da Sud, le Alpi che spingono da Nord e Adria che spinge da Est.

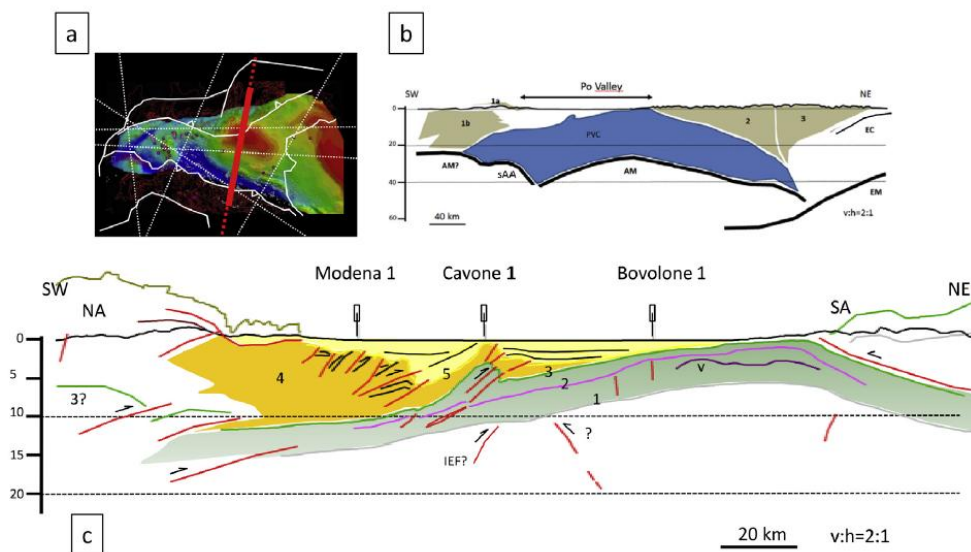


Fig 4- (a) mappa con sezione considerata. (b) Sezione crostale: linee nere rappresentano la Moho; EM=Mantello europeo; EC=Crosta Europea; PVC= Crosta della valle del Po; AM= Mantello africano; 1b=nord appenninico; 2 = alpi del Sud. (c) sezione a scala regionale. 1= Basamento; 2 =triassico; 3 = carbonati del Mesozoico; 4 =successione cenozoica; 5 =Base del Pliocene; NA = Nord-appenninico; SA= Sud delle Alpi; v =vulcanico; IEF =inversione faglie estensionali.

Nonostante le quote altimetriche registrate siano tutte sopra il livello del mare, il territorio di Occhiobello ha subito e continua a subire il processo di costipamento dei depositi Quaternari con conseguente subsidenza. Inoltre l'innalzamento del livello del mare che si è registrato nell'ultimo decennio è di 1,3 mm/anno (Baratto, et ali, 2014).

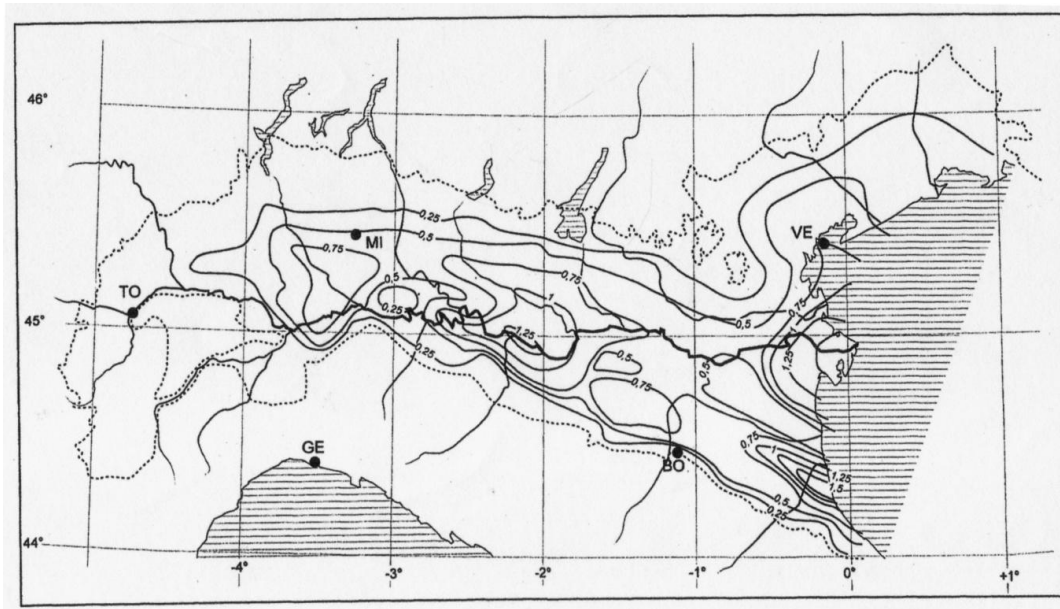


Fig 5- Velocità medie di subsidenza in mm/y, ricostruite dallo spessore dei sedimenti pleistocenici e calcolate sulla durata del Quaternario (1,7 My)

Il tasso di subsidenza naturale è di circa 0,5 mm/anno, (fig 5), ci sono da considerare però le attività antropiche che aggravano il bilancio, tra queste l'eccessivo emungimento dei pozzi idrici: quindi il risultato sarà costipamento accelerato e ossidazione delle componenti organiche superficiali, ossia le torbe. Con l'eccessivo emungimento e/o bonifica si rischia anche l'ingressione di acque marine sotterranee, e trasgressione marina.

1.3 Sismicità

Consultando il sito dell'istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (www.ingv.it) si può osservare che la zona di studio è continuamente interessata da apparentemente blanda attività sismica, in corrispondenza del fronte appenninico sepolto: un terremoto di magnitudo Mw 4.5 è avvenuto nella provincia di Rovigo il 17-07-2011, con coordinate geografiche **45.01 N, 11.37 E** ad una profondità di **2 km**.

Il Comune di Occhiobello è stato inserito, infatti, nella *classe 3* della nuova zonizzazione sismica con grado di accelerazione orizzontale al suolo, (fig. 6) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni tra 0.100 e 0.125 g e con accelerazione orizzontale di ancoraggio allo spettro di risposta elastico pari a **0.15 g**. (Baratto, et ali, 2014).

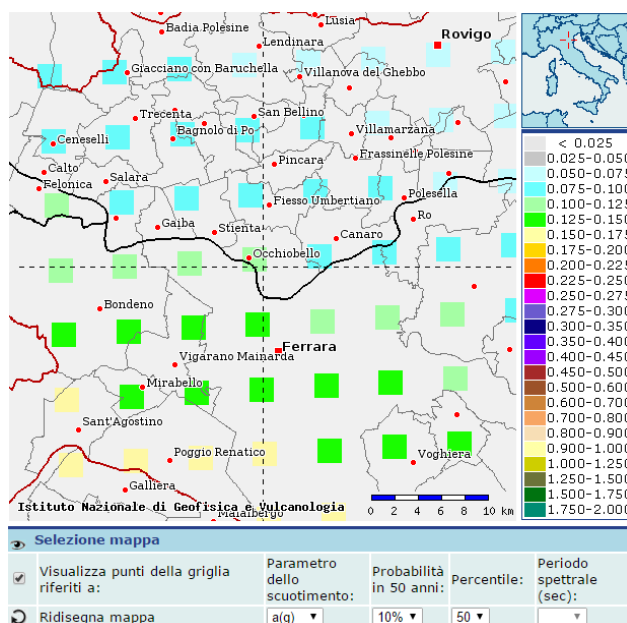


Fig 6- Mappa di pericolosità sismica.

La sismicità potrebbe aver causato variazioni nelle falde tramite miscelazioni, da noi presa in esame.

1.4 Stratigrafia superficiale

Come precedentemente detto l'area di interesse è ubicata in corrispondenza di un paleoalveo secondario (fig 7).



Fig 7- Paleoalveo secondario del Po nell'area di studio.

La posizione dei sondaggi è riportata in figura (fig. 8).

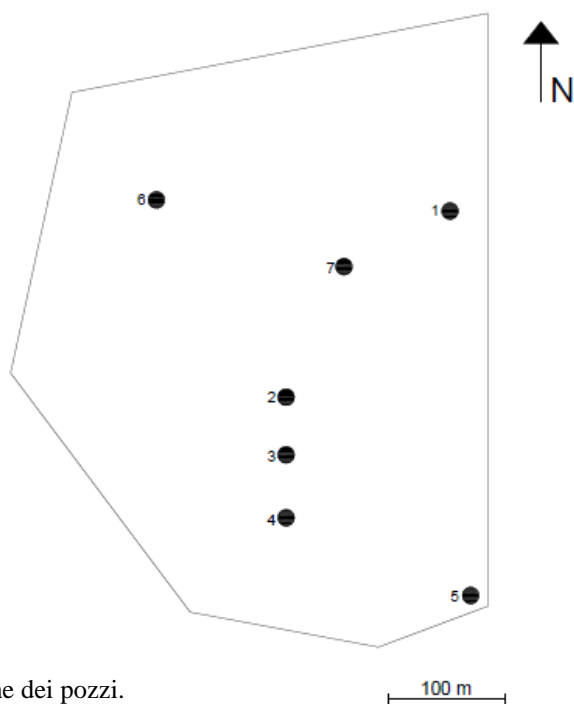


Fig. 8- Posizione dei pozzi.

Le caratteristiche stratigrafiche variano in senso verticale come indicato nelle successive stratigrafie (fig 9):

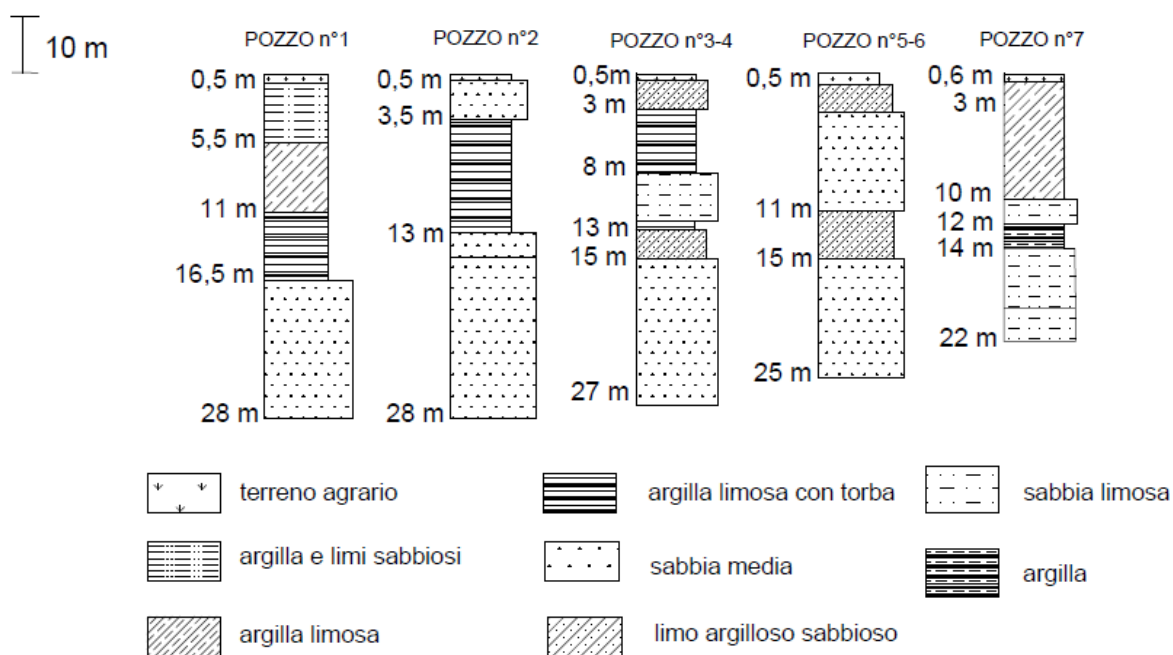


Fig 9- Log stratigrafici dei pozzi presi in esame.

Pozzo n° 1

- dal piano di campagna attuale per uno spessore di circa 16 m, si osservano granulometrie limoso-sabbiose e argillose, con la presenza di componente organica (argilla limosa con torba);
- da 16,50 m a 28 m di profondità si osservano depositi sabbiosi a granulometria media; che costituiscono l'acquifero in corso di sfruttamento.

Pozzo n° 2

- dal p.c. attuale, per uno spessore di circa 13 m, si osservano limi sabbiosi con argilla e argille con torba;
- da 13 m a 28 m di profondità si osservano limi sabbiosi argillosi e sabbie medie.

Pozzi n° 3-4

- dal p.c. attuale, per uno spessore di circa 8 m, si osservano limi argilloso sabbiosi e argille limose con componente organica (torba);
- da 8 m a 15 m di profondità si rinviene un corpo sabbioso a granulometria fine, sovrapposto ad argilla limosa con torba e limo argilloso sabbioso;
- da 15 m a 27 m di profondità si rinviene ancora il corpo sabbioso a granulometria media, oggetto di emungimento.

Pozzi n° 5-6

- dal p.c. attuale per uno spessore di circa 3 m si osserva un intervallo di limo argilloso sabbioso;
- da 3 m a 11 m di profondità si rinviene un corpo a granulometria media;
- da 11 m a 15 m di profondità si osserva un limo argilloso sabbioso;
- da 15 m a 25 m di profondità si osserva il corpo sabbioso a granulometria media, che costituisce l'orizzonte acquifero oggetto di emungimento.

Pozzo n° 7

- dal p.c. attuale per uno spessore di 10 m si osserva un corpo di argilla limosa;
- da 10 m a 12 m di profondità si osserva un piccolo intervallo costituito da sabbia limosa;
- da 12 m a 14 m di profondità si rinviene un intervallo di argilla;
- da 14 m a 22 m di profondità si osserva un corpo costituito da sabbia fine, scarsamente limosa.
-

Il territorio oggetto di studio è a circa 6 m sul livello del mare: quindi, in generale, si osserva un acquifero da -9 m a -22 m sotto il livello del mare, di sfruttamento principale di

emungimento industriale; tra -9 m e +3 m si osservano sedimenti prevalentemente fini con intercalati corpi sabbiosi di canale fluviale minore o di rotta. È possibile che a - 9 m si abbia un passaggio cronostratigrafico di notevole importanza. Dei due set individuati, quello inferiore è costituito dal corpo di canale sabbioso, sede dell'acquifero, coperto da un acquicludo prevalente, quindi in pressione. Il set superiore è costituito prevalentemente da limi argillosi che sporadicamente alloggiano corpi discreti di canale fluviale e di rotta del sistema padano.

1.5 Cenni di idrogeologia e contesto idrogeochimico

L'area in esame, dal punto di vista idrogeologico, appartiene al sistema acquifero differenziato della bassa pianura veneta, quella più superficiale freatica, aperta verso la superficie, mentre le sottostanti sono artesiane, comprese fra due acquicludi, quindi l'acqua in pressione risale al di sopra del tetto dell'acquifero (Carcano, Piccin, 2002).

Questa situazione è dovuta alla condizione stratigrafica del luogo, ossia dall'alternarsi di terreni sabbiosi, e terreni più fini, argillosi, che fungono appunto da acquicludi, e rappresentano i livelli impermeabili.

La soggiacenza della falda superficiale è poco profonda, oscilla tra 0,5 m e 3 m: la variazione dipende da quanta acqua questa falda riceve, che può essere meteorica o acqua del deflusso sotterraneo delle zone a monte. Il livello freatico risente molto l'influenza delle precipitazioni, tanto che si registra una variazione della superficie freatica in positivo, nei primi due trimestri dell'anno. In corrispondenza del corso del Po, inoltre, bisogna considerare il carico idraulico del fiume stesso e la sua dispersione laterale (Baratto, et alii, 2014).

Tornando al discorso del deflusso idrico superficiale, a scala regionale assume una direzione Ovest-Est (legate alla geometria della rete paleo idrografica del Fiume Po).

Più in profondità, invece, le falde artesiane, presentano una maggiore continuità nello spazio: queste sono isolate dalla superficie grazie ai livelli argillosi impermeabili, quindi la loro unica fonte di alimentazione è rappresentata dalle acque sotterranee. La geometria degli acquiferi in generale segue l'andamento allungato dei corpi che ricevono acqua.

La falda confinata sfruttabile è individuabile tra 20 m e 30 m di profondità, a ridosso delle aste fluviali principali, quali il Fiume Po e lo Scolo Poazzo, dove i terreni sono maggiormente capaci di immagazzinare il liquido e dove, in occasione dei periodi di piena idraulica, ci può essere apporto regolato dal grado di permeabilità e dallo spessore degli strati permeabili. La profondità della falda sfruttabile si riduce a Nord dello Scolo Poazzo dove, soprattutto nel Comune di Fiesse Umbertiano si trova, già al di sotto dei 10÷15 m,

acqua salmastra con elevata conducibilità elettrica. Ciò è dovuto al sollevamento strutturale, della dorsale ferrarese: depositi del Tortoniano sono stati portati a 150 m dalla superficie (Baratto, et al., 2014).

Il coefficiente di permeabilità (K) dei terreni, che esprime la capacità dei terreni a farsi attraversare da un flusso d'acqua, è compreso tra 10^{-3} e 10^{-9} m/s, i sedimenti sono infatti medio-fini.

I corpi idrici regionali sotterranei sono stati classificati, attraverso il progetto *Sampas* (Drago et al. 2008) nella classe D, ad:

“Impatto antropico nullo o trascurabile, ma con presenza di complessi idrogeologici con intrinseche caratteristiche di scarsa potenzialità idrica”.

Le caratteristiche idrochimiche delle acque sotterranee si basano sulla determinazione di sette parametri di base, ossia conducibilità elettrica, concentrazione di cloruri, manganese, ferro, nitrati, solfati e ione ammonio, ed altri inquinanti organici e inorganici, detti addizionali. In particolare si è studiata maggiormente la falda freatica perché più soggetta a contaminazione antropica. Nel Polesine si sono riscontrati inquinanti di origine antropica (nitrati), e inquinanti di origine naturale (ferro, manganese, arsenico e ione ammonio). I contaminanti di origine antropica sono solventi organo-alogenati, fitofarmaci, nitrati, solfati, cloruri, metalli pesanti, idrocarburi. L'utilizzo di fertilizzanti è ovviamente pratica comune per tutto il Polesine, e, il comune di Occhiobello in particolare è compreso nella classe più alta.

Gli acquiferi confinati invece presentano in generale una buona qualità chimica, e sono contaminati esclusivamente da elementi di origine naturale (ferro, manganese, arsenico e ione ammonio).

I tempi di infiltrazione e raggiungimento della falda sono legati alla granulometria del terreno che insieme alla soggiacenza del tetto dell'acquifero va a definire la vulnerabilità intrinseca del sistema idrogeologico del terreno. La vulnerabilità intrinseca però non è l'unico fattore a definire il rischio di inquinamento, bisogna considerare il carico inquinante e la magnitudo dell'evento inquinante.

Per la costruzione della carta idrogeologica si sono analizzati i dati freaticometrici: il livello freatico varia da un minimo di circa **2.5 m s.l.m.**, corrispondente alla zona centrale del Comune di Occhiobello ad un massimo di circa **5.0 m s.l.m.**, coincidente con la fascia perimetrale al Fiume Po (Baratto, et al., 2014).

Gran parte dei pozzi censiti presso il Genio Civile di Rovigo sono risultati, poi, inesistenti o inaccessibili in quanto chiusi dai proprietari soprattutto per decadimento delle qualità dell'acqua ricca sia di esalazione metanifere che di concentrato salino eccessivo. (Baratto, et ali, 2014).

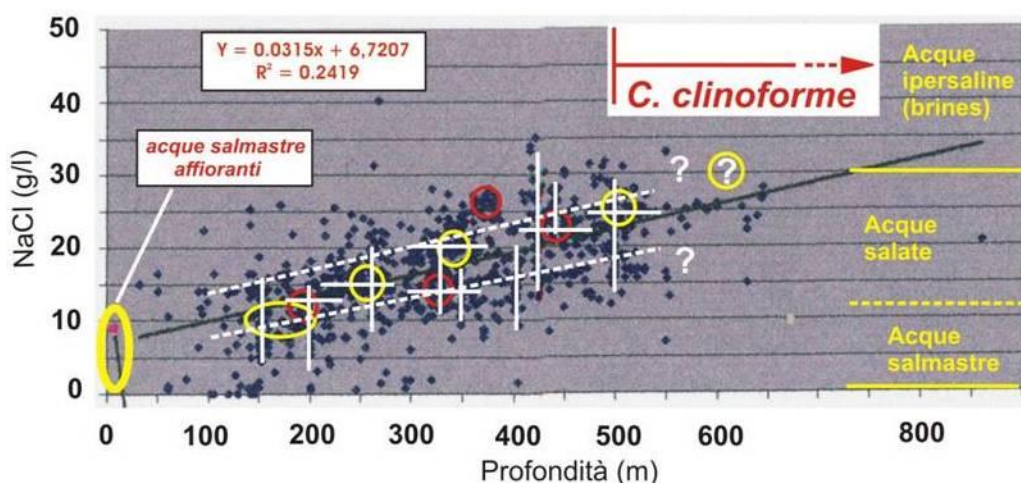
2. MATERIALE E METODICHE DI STUDIO

La fase di studio preliminare si è svolta in campagna, non lontano da un'area già oggetto di analisi da parte del Prof. Bruno Capaccioni per una serie di indagini geochimiche sulle acque di falda artesianiana di dieci pozzi.

In una fase successiva sono stati prelevati altri tre campioni: dal fiume Po, dal fiume Adige e da una località non lontana dall'area del precedente campionamento, così da permettere un confronto con le precedenti analisi.

Un ulteriore confronto è stato possibile grazie ai campioni delle acque di Ambrogio e di Diamantina la cui origine è molto particolare. Se infatti si considerano ambiti di profondità di varie centinaia di metri, 400/ 600 metri circa, le conoscenze sono scarse e possono provenire da perforazioni industriali di varia data legate ad esempio a pratiche non più legalmente ammesse. Il caso ad esempio delle cosiddette acque metanifere polesano-ferraresi (Dal piaz 1957).

Un'analisi inedita e condotta di recente (Cardelli 2003), su 1095 pozzi perforati ad uso metanifero negli anni 50-60 mostra la correlazione tra profondità raggiunte dalle perforazioni e concentrazione delle acque salate nei termini di NaCl (Fig. 10).



(Cardelli 2003)

Fig. 10- Rapporto tra concentrazione di NaCl e profondità delle acque salmastre-metanifere delle Province di Rovigo e Ferrara degli anni '50.

I pozzi allora perforati e successivamente chiusi per bloccare la forte subsidenza legata all'estrazione industriale (Scioli 1972), risultano in notevole numero, a distanza di circa mezzo secolo hanno mostrato ripetutamente segni di cedimento delle occlusioni, procurate, dando origine a fenomeni di "eruzione" di acque salate apparentemente inspiegabili dotate di alta

temperatura (Circa 25°C). I due casi campionati in località Ambrogio (44° 54' 32,29" N; 11° 53' 44, 58" E) (fig. 11) e Diamantina (44° 53' 08,35" N; 11° 30' 33,9" E) (fig. 12), sono stati oggetto di analisi in questo lavoro.



Fig. 11- luogo in cui è avvenuta "l'eruzione" di acque salate di Ambrogio. Campionamento del 2013.



Fig. 12- luogo in cui è avvenuta "l'eruzione" di acque salate di Diamantina. Campionamento del 2014.

Per le analisi strumentali in laboratorio sono state utilizzate tre tecniche:

- Cromatografia ionica (Cl^- , Br^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , F^-);
- Spettrometria di massa (ICP) (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+});
- Spettrometria nel visibile (NH_4^+)

Cromatografia ionica

La cromatografia ionica consente l'analisi chimica, quantitativa e qualitativa, di anioni: un volume noto di miscela viene spinto attraverso una colonna, presente all'interno dello strumento, ad una temperatura di 35°C, contenente un materiale granulare che scambia ioni

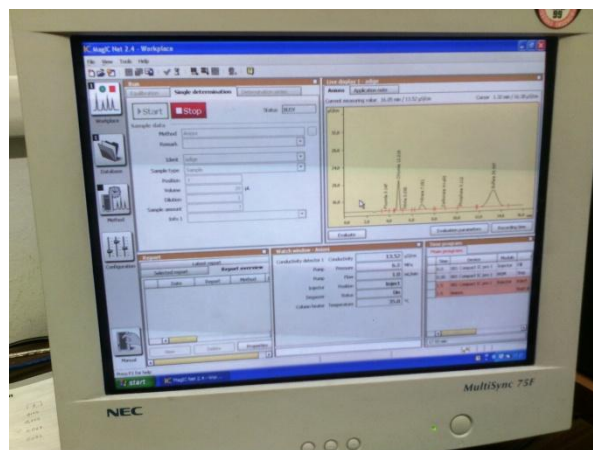
con la soluzione acquosa. Quando gli ioni attraversano la colonna, quelli che hanno più tendenza ad essere assorbiti, rallentano.

Nel cromatografo, la variabile indipendente è il tempo, e la variabile dipendente è la conducibilità elettrica. Il tempo viene definito “tempo di ritenzione”, ossia il tempo necessario, ad ogni componente, per uscire dalla colonna. Il tempo di ritenzione vale circa 13 minuti per i solfati, 4,9 minuti per il Cloro e 3,6 minuti per il Fluoro.

La spinta alla miscela iniettata viene data da un liquido, detto liquido di trasporto o eluente, che fluisce continuamente fino al detector. L’eluente è acqua che non contiene ioni, pura, in cui è presente solamente acido carbonico. Il picco negativo iniziale rappresenta appunto l’acqua che viene iniettata, e tutto quello che non viene assorbito arriva al detector con un tempo che è identico alla velocità del flusso (Tempo morto). La concentrazione dei vari componenti corrisponde all’area dei vari picchi: la lettura delle concentrazioni avviene in un certo range e se questo si supera è necessario diluire la miscela. (Fig. 13).



Fig. 13: a sinistra il cromatografo; a destra grafico con i picchi e le velocità dei vari elementi.



Spettrometria di massa (ICP)

La spettrometria di massa, o ad assorbimento atomico, è una tecnica analitica impiegata per la determinazione sia quantitativa che qualitativa di ioni metallici in soluzione. Questa tecnica si basa sul fatto che i livelli energetici atomici sono discreti e per ogni atomo esistono caratteristiche transizioni elettroniche dovute ad eccitazione radioattiva (hv).

Lo strumento sfrutta una fiamma aria-acetilene: una volta accesa, il campione, subisce un forte riscaldamento, e lì dove viene innescata la fiamma si forma un film continuo dei cationi, che poi si disperdono nell'aria.

Ci sono lampade specifiche per ogni elemento ad es. la lampada al Litio, nel cui catodo è presente Litio nativo che sollecitato, da una differenza di potenziale, emette luce della lunghezza d'onda del litio. Il campione è attraversato dalla radiazione luminosa, e gli atomi sensibili alla specifica lunghezza d'onda, assorbono energia e compiono un altro salto quantico. Si misura l'assorbanza, che è direttamente proporzionale al numero di atomi, cioè la concentrazione dello specifico elemento.

Alcuni elementi hanno una capacità ionizzante molto alta, ed occorre intervenire aggiungendo alla soluzione una sostanza con potere ionizzante maggiore, in grado di diminuire l'energia dalla fiamma: nel caso del sodio (Na) la sostanza in questione è il Potassio Cloruro, per il Potassio (K) è il Cesio cloruro, per il Calcio (Ca) e per il Magnesio (Mg) è l'Antimonio Nitrato (Fig. 14).

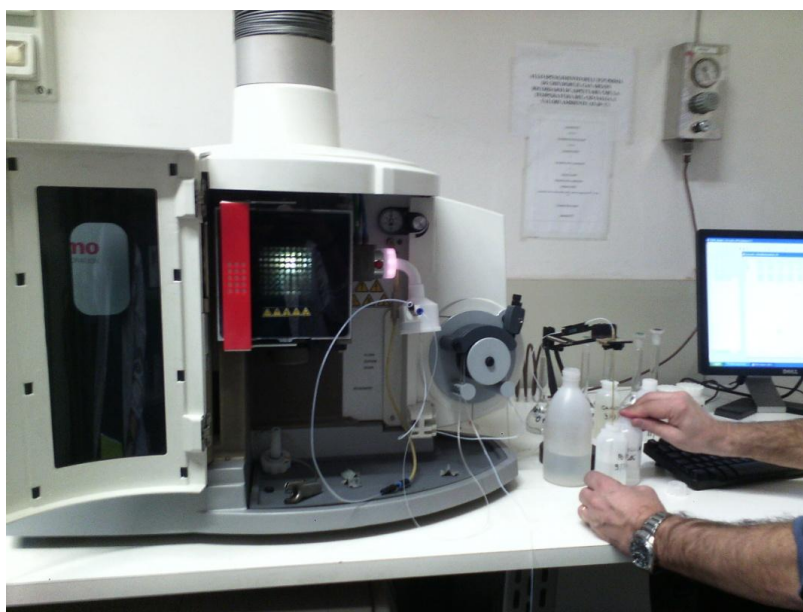


Fig. 14 Spettrometro di massa

Spettrometria nel visibile e spettrofotometria

La spettrofotometria si basa sullo studio degli spettri elettromagnetici. Sostanzialmente si occupa della luce visibile, dal vicino infrarosso e dal vicino ultravioletto.

La spettrofotometria utilizza spettrofotometri, dispositivi che misurano l'intensità luminosa espressa in funzione della lunghezza d'onda della radiazione luminosa.

L'applicazione più comune degli spettrofotometri è la misurazione dell'assorbimento luminoso ma possono essere progettati anche per misurare la riflettanza diffusa o speculare.

La spettrofotometria della regione del visibile opera tra ca. 400 e ca. 700 [nm](#). Solitamente, nella spettrofotometria del visibile si effettuano misurazioni ad intervalli di lunghezza d'onda di 10 nanometri (Fig. 15).



Fig. 15 -Spettrometro Hach DR 2010, utilizzato per le analisi in laboratorio.

3.DATI

Tabella 1- concentrazioni delle principali specie chimiche considerate.

ID	Sampling location	Date	T°C	Eh	pH	Br ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Fe ²⁺	Mn ²⁺	NH ₄ ⁺	F ⁻	Cl ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	TDS.g/L
P1	Stabilimento (P1)	21/05/2015	15,6	-115	7,30	5,50	74	60	761	8	2126	108	10,0	2,98	1212	1,8	0,7	539,5	0,05	2,66
P2	Stabilimento (P2)	21/05/2015	16,7	-116	7,62	3,75	48	37	538	6	1457	80	7,8	0,03	765	2,7	0,4	430,5	bdl	1,82
P3	Depuratore	21/05/2015	18,3	-53	7,56	5,16	53	45	720	7	754	57	8,0	0,41	990	1,5	0,3	552,8	0,05	2,37
P4	ex allevamento (P1)	21/05/2015	16,2	-122	7,42	2,93	57	45	514	7	1343	118	7,3	0,66	590	0,9	11,1	582,7	bdl	1,81
P5	ex allevamento (P2)	21/05/2015	16,3	-131	7,55	2,95	45	36	479	6	876	50	6,5	0,55	600	1,6	0,7	580,7	bdl	1,75
P6	stabilimento (P3)	21/05/2015	16,5	-140	7,64	4,02	47	38	631	9	1225	80	8,5	0,35	851	1,3	0,4	594,3	0,04	2,17
P7	EPS (P1)	21/05/2015	15,6	-129	7,71	2,60	42	30	476	5	1136	79	6,8	0,35	515	3,3	1,0	586,7	0,05	1,66
P8	EPS (P2)	21/05/2015	16,1	-126	7,16	5,58	179	78	693	11	4587	600	16,0	0,56	1167	6,3	1,5	798,6	bdl	2,93
P9	pozzo saggio (P1)	21/05/2015	16,0	-99	7,43	0,91	33	16	210	4	443	140	3,8	0,28	168	4,4	19,8	399,6	bdl	0,85
P10	pozzo saggio (P2)	21/05/2015	16,4	-136	7,09	1,82	76	25	329	5	3970	366	7,0	1,88	434	0,7	0,1	468,5	0,03	1,34
Acqua salina 1	Ambrogio	21/02/2013	25,0	-220	7,43	69,47	582	901	7768	36	2041	188	50,0	bdl	15785	bdl	14,8	381,3	bdl	25,47
Acqua salina 2	Ambrogio	21/02/2013	25,0	-220	7,43	68,18	556	903	7690	54	2121	193	54,0	bdl	16065	bdl	16,7	378,3	bdl	25,66
Acqua salina 3	Diamantina	11/07/2014	21,0	-192	7,29	24,31	252	323	2269	18	1235	107	nd	bdl	3765	13,3	7,0	213,8	36,43	6,85
	Fiume Po	09/03/2016	7,4	12	7,66	bdl	50	10	14	2	1	2	0,2	0,09	15	bdl	32,1	216,0	10,72	0,34
	Fiume Adige	09/03/2016	6,7	40	7,68	bdl	55	13	10	3	1	2	bdl	0,15	12	0,1	40,1	186,8	7,05	0,32
	Canaro	09/03/2016	14,1	-103	6,96	1,49	181	176	137	40	9582	392	bdl	2,62	275	bdl	46,7	1153,4	bdl	2,01

Concentrazioni espresse in mg/L

Gli acquiferi sfruttati (Fig.8), li troviamo tra i 15 m e i 28 m di profondità (fig. 9).

Durante la fase preliminare svoltasi in campagna è stato possibile misurare la temperatura, il pH e l'Eh, riportati in tabella 1, insieme ai risultati relativi alla serie di analisi effettuate presso il Laboratorio di Geochemica del dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche e Ambientali dell'Università degli Studi di Bologna.

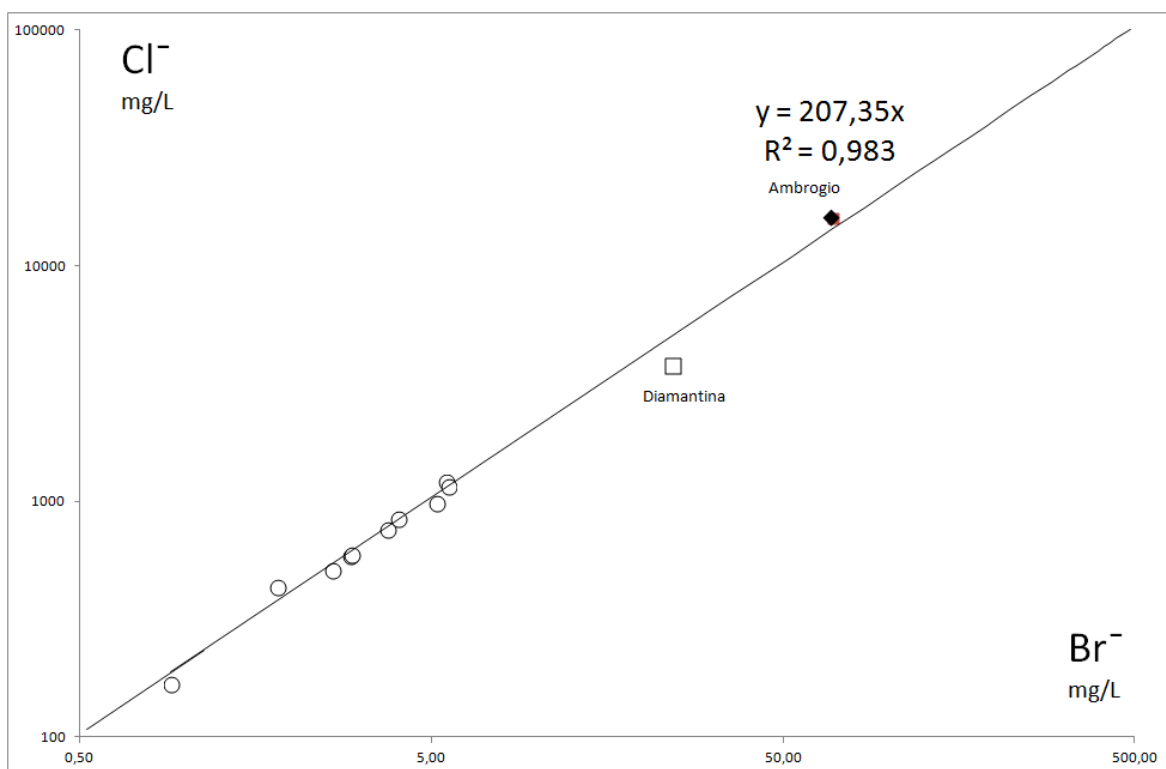


Fig. 16- Rapporto Cl⁻ / Br⁻. Elementi conservativi.

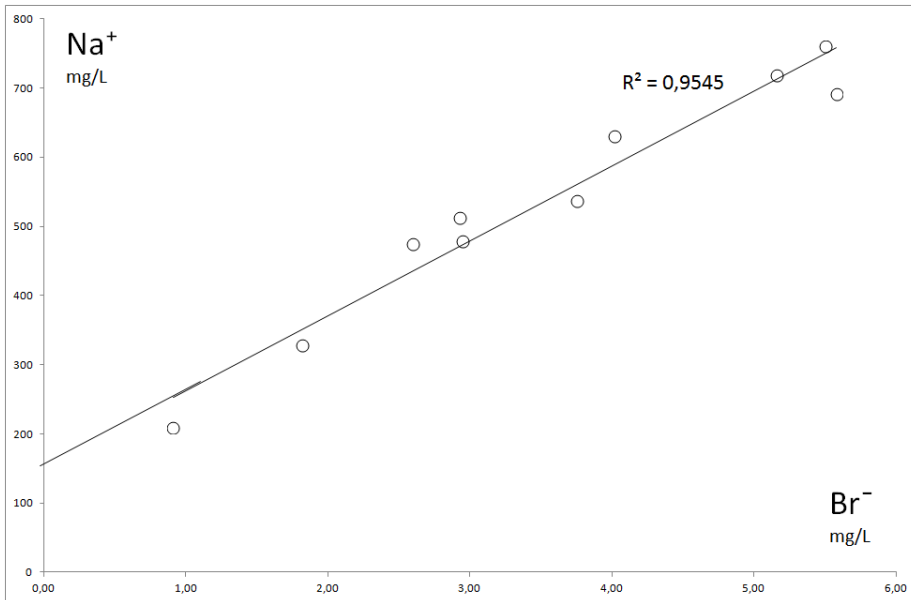


Fig. 16a
Rapporto Na⁺/Br⁻

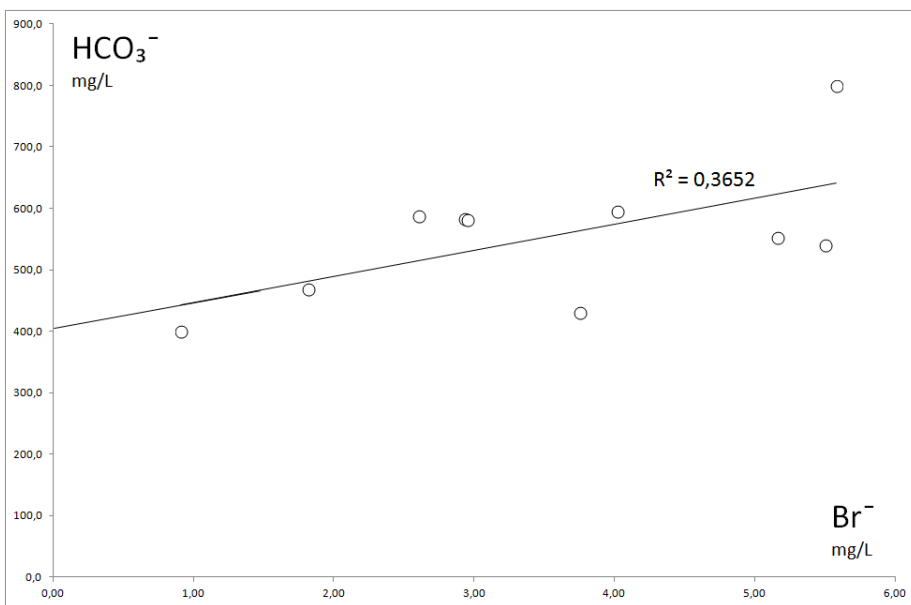


Fig. 16b
Rapporto HCO₃⁻/Br⁻

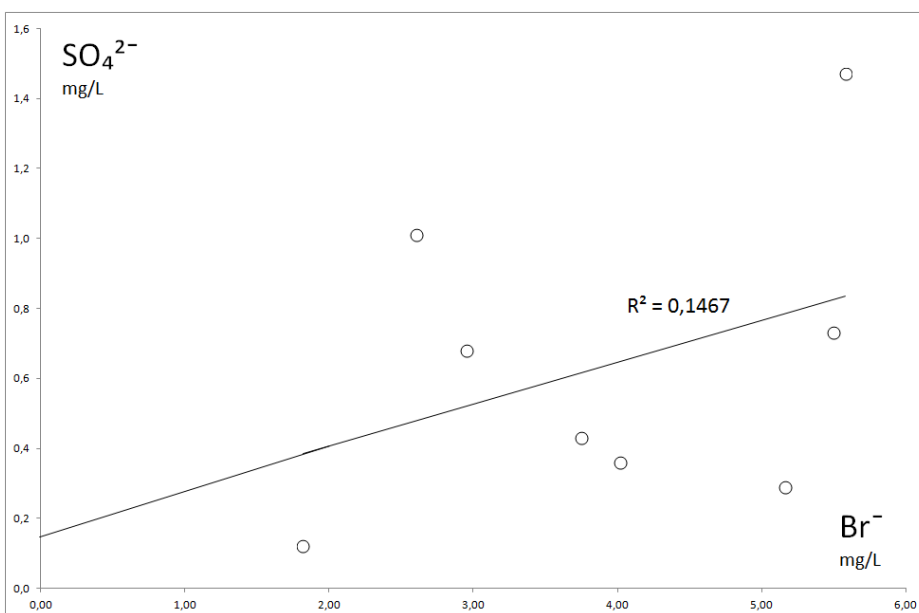


Fig. 16c
Rapporto SO₄²⁻/Br⁻

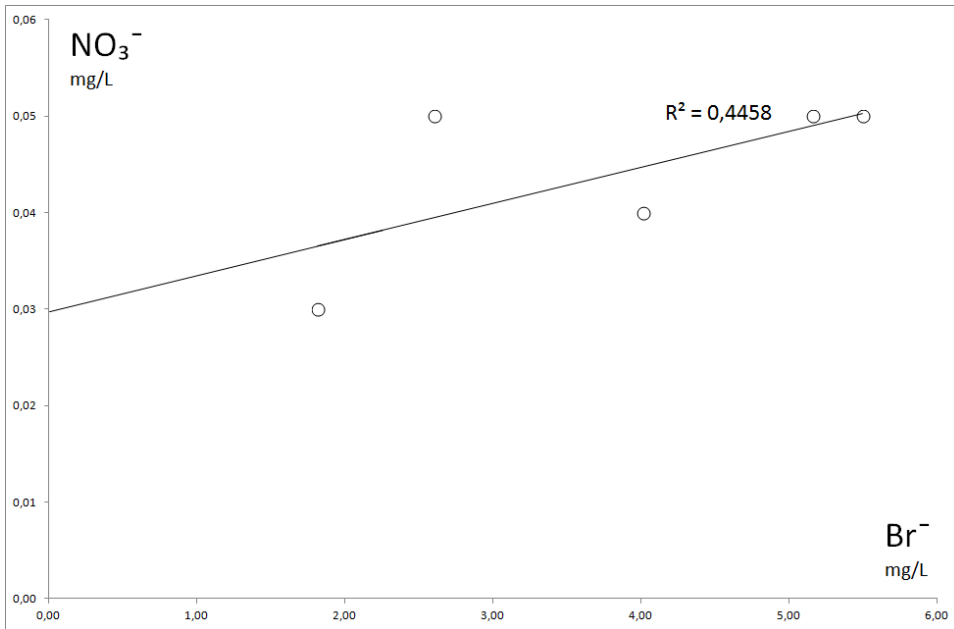


Fig. 16d
Rapporto NO₃⁻/Br⁻

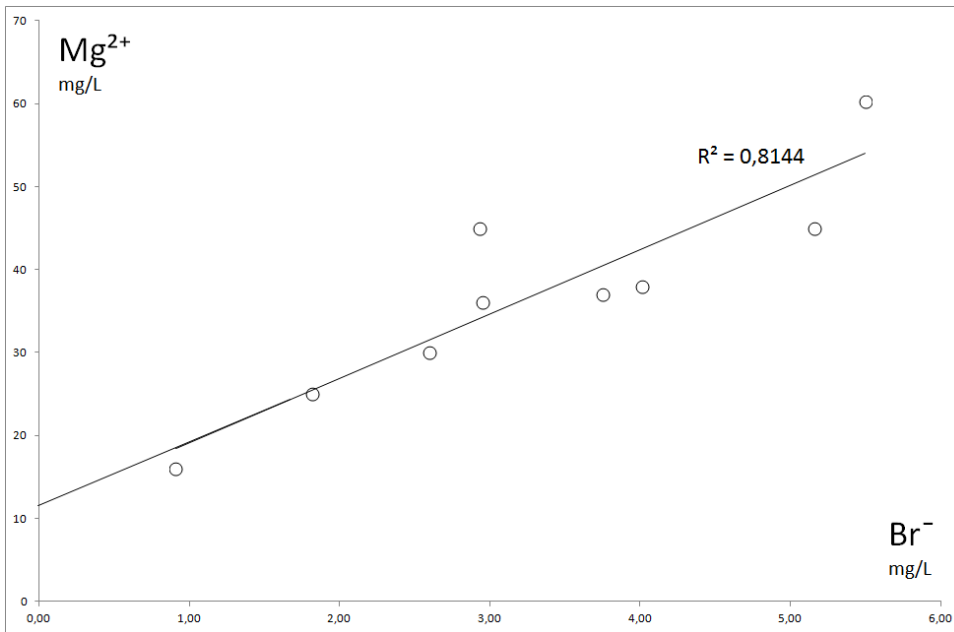


Fig. 16e
Rapporto Mg²⁺/Br⁻

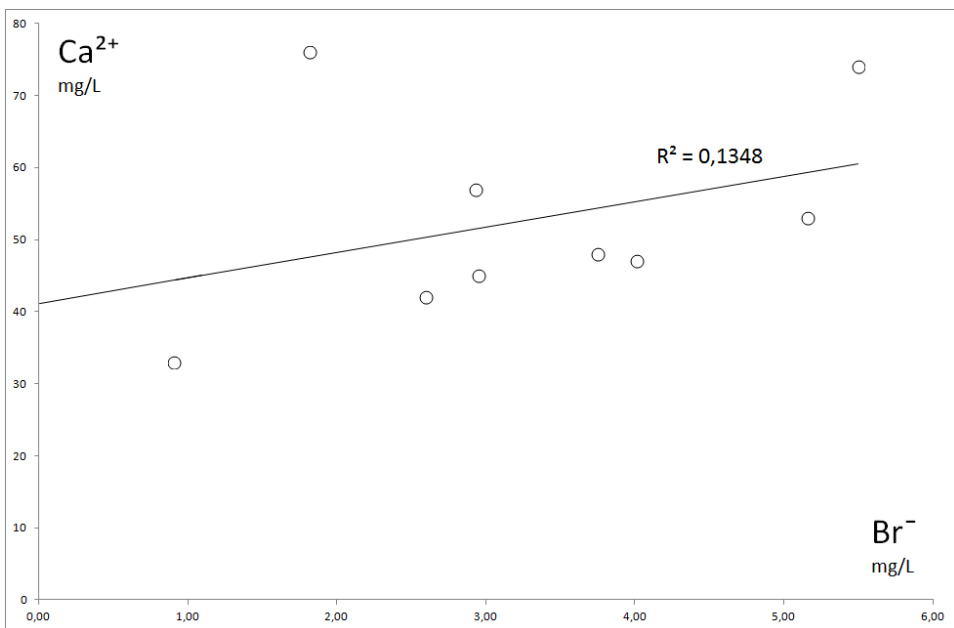


Fig. 16f
Rapporto Ca²⁺/Br⁻

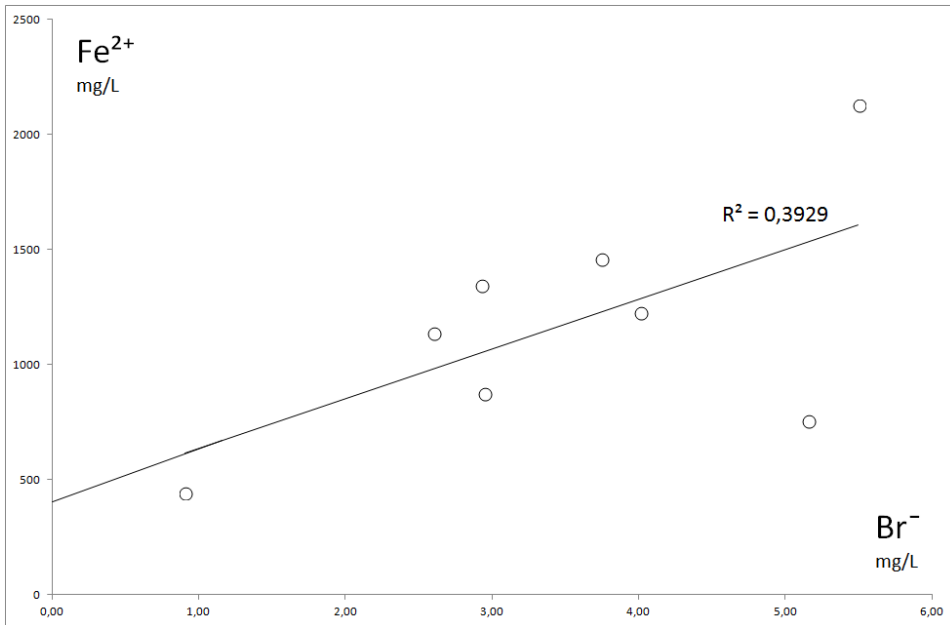


Fig. 16g
Rapporto $\text{Fe}^{2+}/\text{Br}^-$

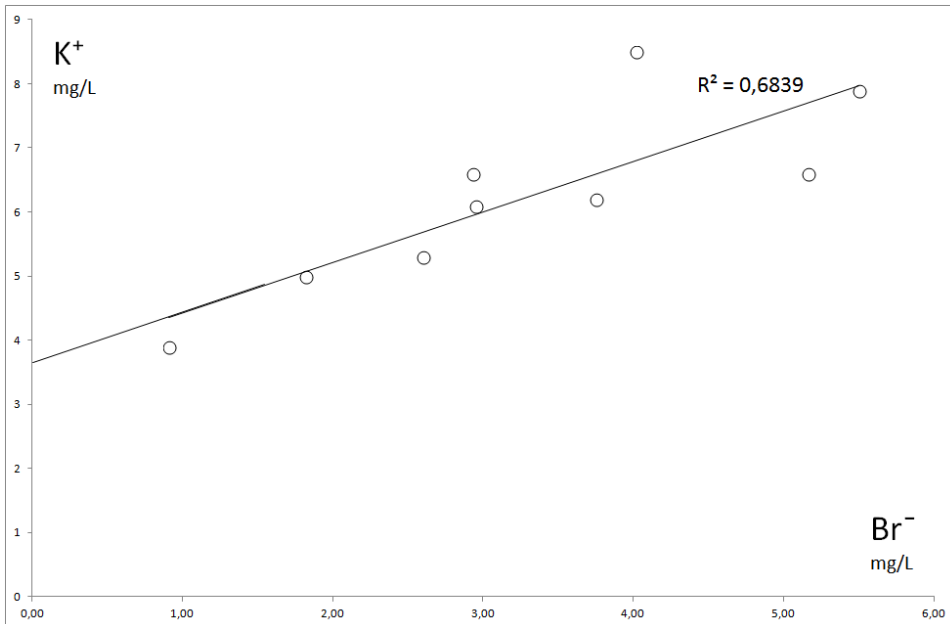


Fig. 16h
Rapporto K^+/Br^-

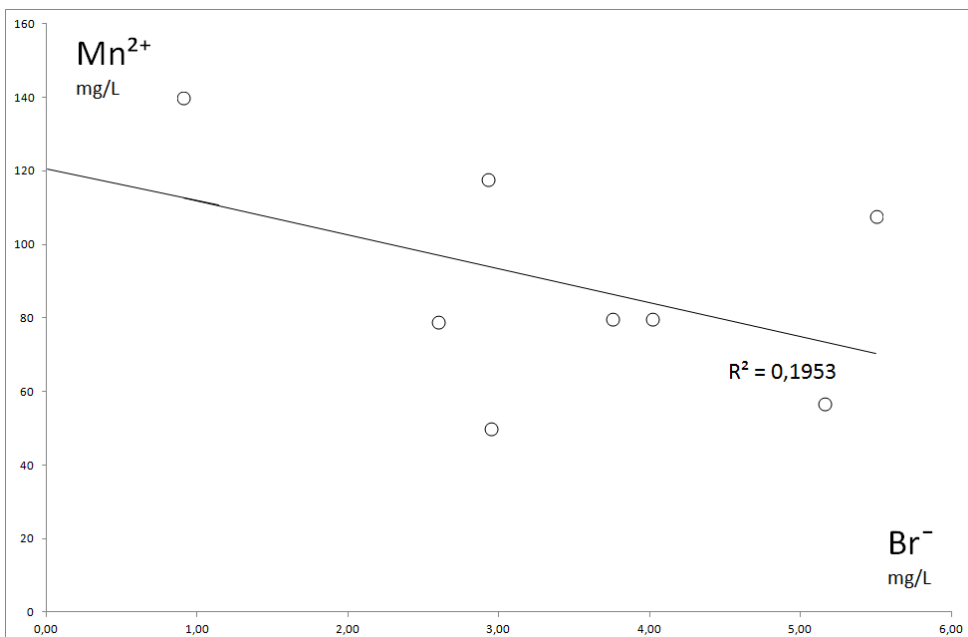


Fig. 16i
Rapporto $\text{Mn}^{2+}/\text{Br}^-$

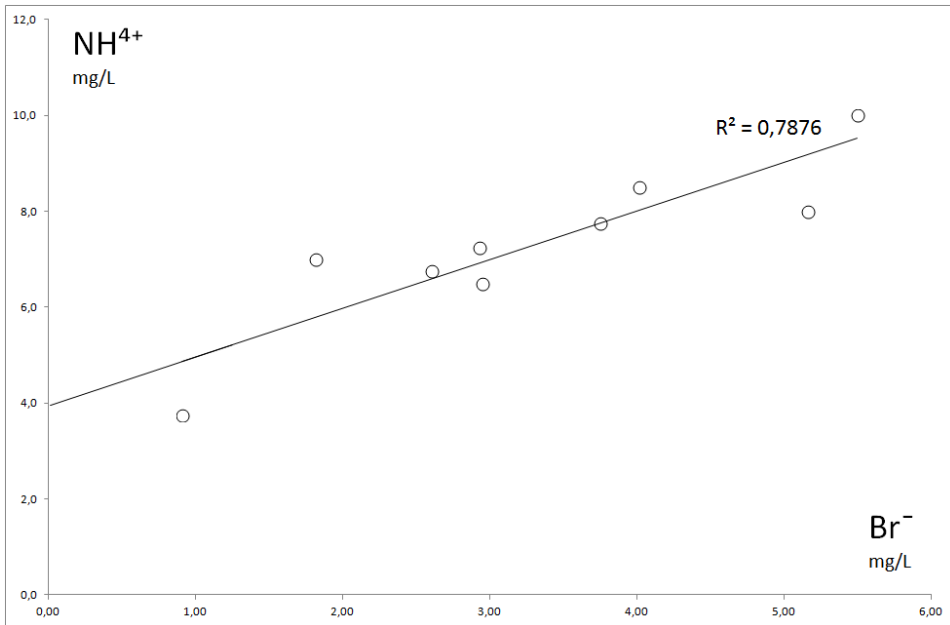


Fig. 16l
Rapporto $\text{NH}_4^+/\text{Br}^-$

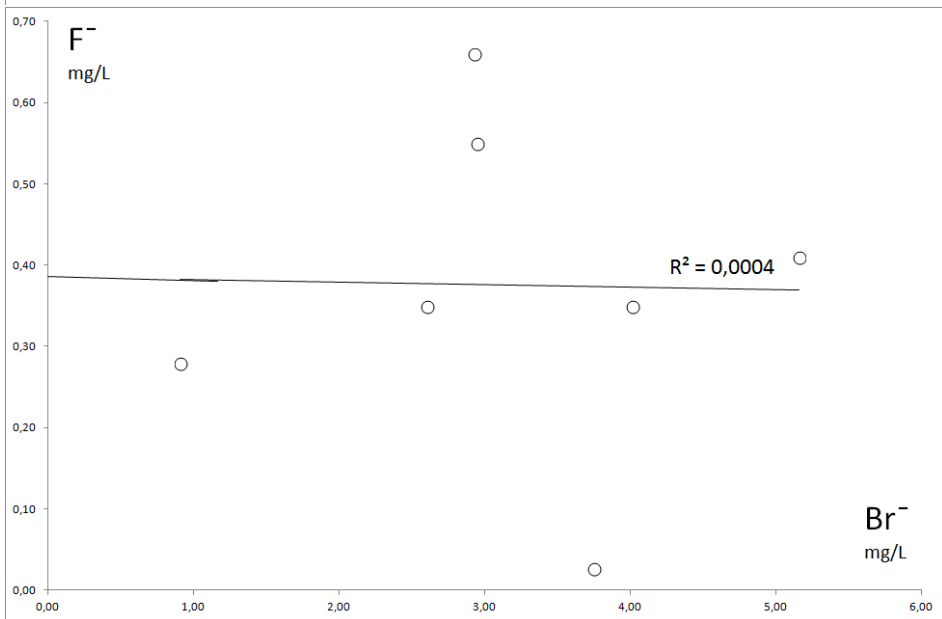


Fig. 16m
Rapporto F^-/Br^-

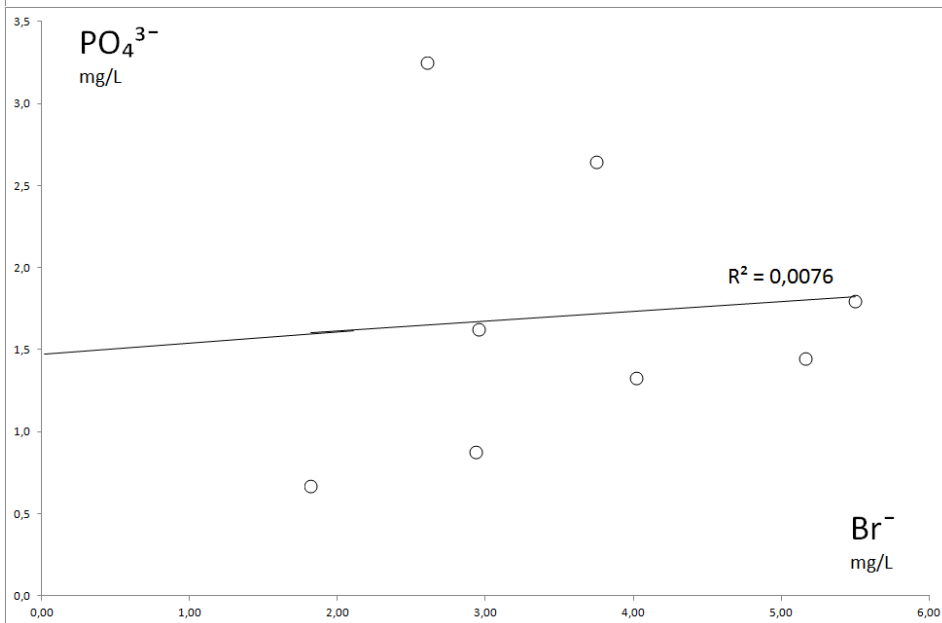


Fig. 16n
Rapporto $\text{PO}_4^{3-}/\text{Br}^-$

4. DISCUSSIONE

Il diagramma quadrato di Langelier-Ludwing (1942), utilizza le concentrazioni delle specie ioniche principali Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , usando i valori di reazione ricalcolati a partire dalle concentrazioni dei principali costituenti cationici e anionici, espresse in eq/L o in meq/L.

Per le modalità di costruzione del diagramma, che ha l'intento di rappresentare ciascun campione d'acqua tramite un punto sul piano, si è dovuto rinunciare ad una parte non trascurabile dell'informazione contenuta nei dati originali. Quindi punti coincidenti possono rappresentare campioni che differiscono per le variabili eliminate come ad esempio la salinità (Dongarrà, Varrica 2004).

I termini a maggiore concentrazione salina sono rappresentati dall'acqua di mare media e dalle acque fossili di Ambrogio e di Diamantina: si ipotizza una miscelazione conservativa appunto tra queste acque e le acque del Po, dell'Adige e di Canaro (considerate "dolci"), allora i campioni dovrebbero giacere sulla retta conservativa, infatti il punto rappresentativo di un campione di acqua (c), risultante dal miscuglio di due acque differenti (a) e (b), dovendo soddisfare a delle condizioni di proporzionalità, cadrà sul segmento che congiunge (a) e (b) (Dongarrà, Varrica, 2004).

Le acque clorurato sodiche possono avere una triplice origine (Regione Emilia-Romagna 1998):

- possono essere acque di strato, cioè connate che sono ancora ospitate in acquiferi recenti o antichi di ambiente marino vero o transizionale;
- possono derivare da spiazzamento orizzontale di acque salate da parte di acque dolci di origine alpina o appenninica secondo direzioni W-E;
- possono derivare da miscelazione tra acque di origine alpina e acque salate fossili ospitate in formazioni terziarie e liberate in zone di deformazione facenti parte di alti strutturali sepolti.

Il risultato inaspettato è che i campioni dei pozzi tendono verso l'ambito delle acque bicarbonato sodiche (Fig. 17).

Le acque bicarbonato sodiche si originano da processi principalmente di scambio ionico tra minerali argillosi e/o feldspati di cui risultano ricche le sabbie padane; lo scambio ionico avviene tra Na^{\uparrow} e Ca^{\downarrow} : causa di tale comportamento è la CO_2 che può derivare dalla degradazione batterica anaerobica della sostanza organica contenuta nei sedimenti sepolti oppure da ossidazione del metano (CH_4).

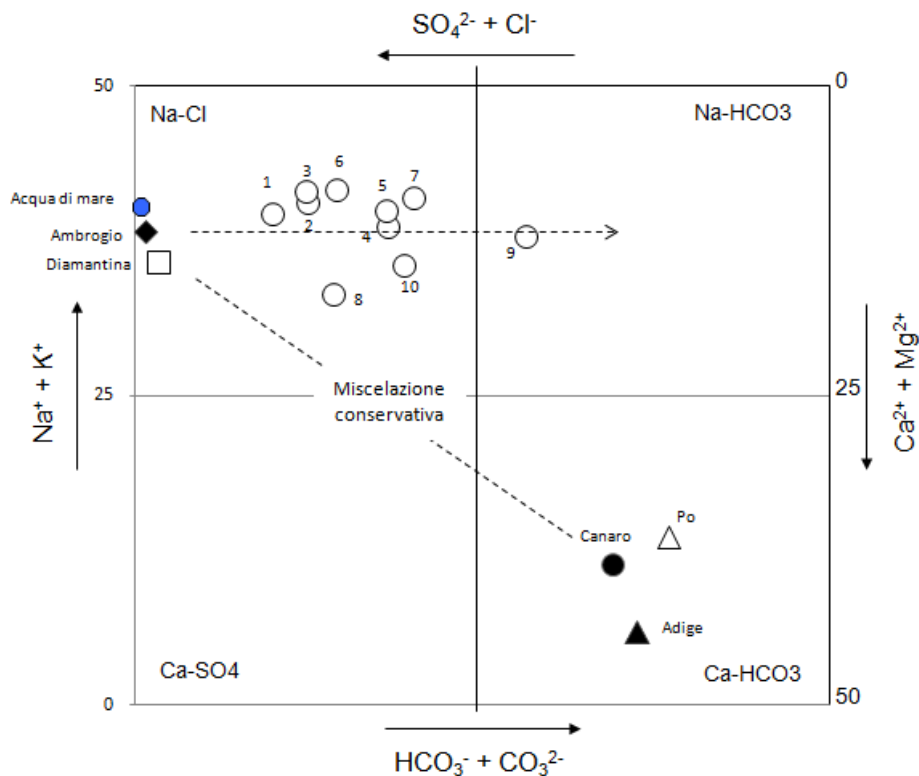


Fig. 17- diagramma quadrato di Langelier-Ludwing

Probabilmente siamo di fronte ad un processo di addolcimento progressivo, queste acque si trovano in un acquifero che in passato era occupato da un'acqua ancora più ricca in sodio (Na).

E quindi è necessario tentare di calcolare teoricamente la composizione del termine diluito, cioè estrapolare la componente dolce teorica per questo set di acque. Nell'acqua esistono due elementi che sono particolarmente conservativi, in quanto la loro concentrazione non viene modificata né dall'attività biologica né da quella chimica: il Cloro (Cl) ed il Bromo (Br) (Fig. 13). Osservando il rapporto Cl^-/Br^- capisco che esiste una correlazione genetica tra le acque saline del sottosuolo (Ambrogio e Diamantina) e le acque dei pozzi.

Per ottenere la composizione del termine diluito metto a confronto le concentrazioni dei vari elementi (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Fe^{2+} , Mn^{2+} , NH_4^+ , F^- , Cl^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , HCO_3^- , NO_3^-), con il Br^- : l'intercetta al valore zero del Br^- , mi dà la concentrazione cercata dell'elemento specifico (Fig. 16 a-n).

La composizione finale dell'acqua teorica (Tab. 2), senza errori di chiusura, quindi sarà:

Tab. 2- Composizione acqua teorica

	Br^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	Fe^{2+}	Mn^{2+}	NH_4^+	F^-	Cl^-	PO_4^{3-}	SO_4^{2-}	HCO_3^-	NO_3^-	TDS g/L
Acqua teorica	0	15	3,7	140	12	400	120	4	0,38	70	1,5	0,15	380	0,029	0,62

Inserendo questa composizione all'interno del diagramma quadrato, espresso in meq/L, si nota che l'acqua teorizzata cade nel quadrante delle acque carbonato sodiche (Fig. 18).

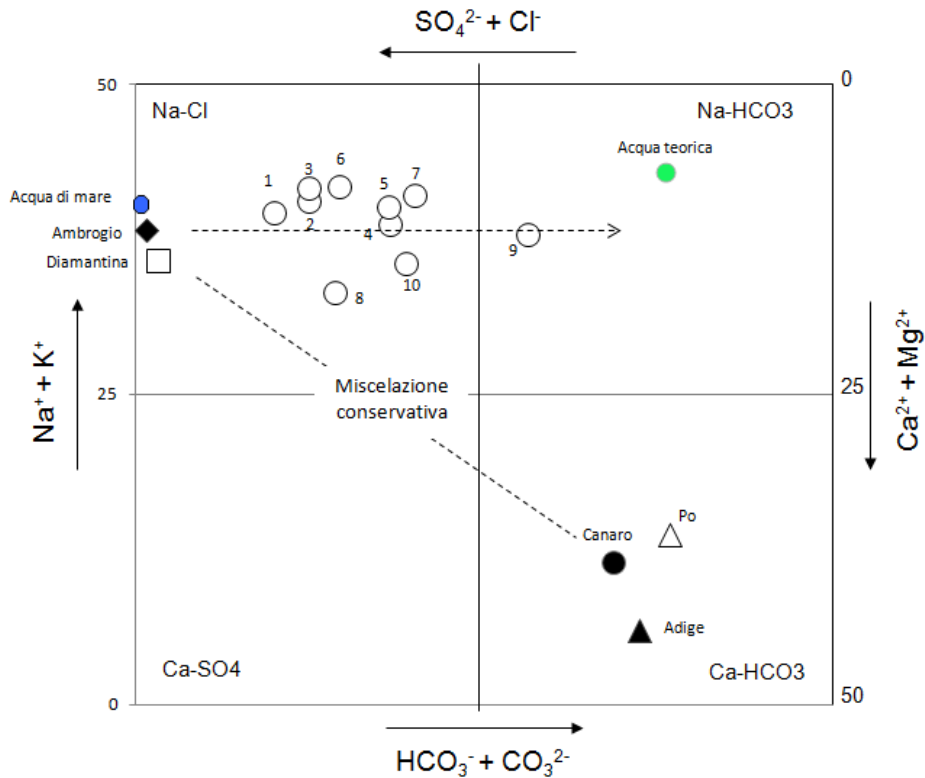


Fig. 18- Diagramma quadrato di Langelier-Ludwing con inserimento dell'acqua teorica.

Acque di tipo clorurato sodico e anche bicarbonato sodico sono note nello schema idrostratigrafico regionale (Fig. 19).

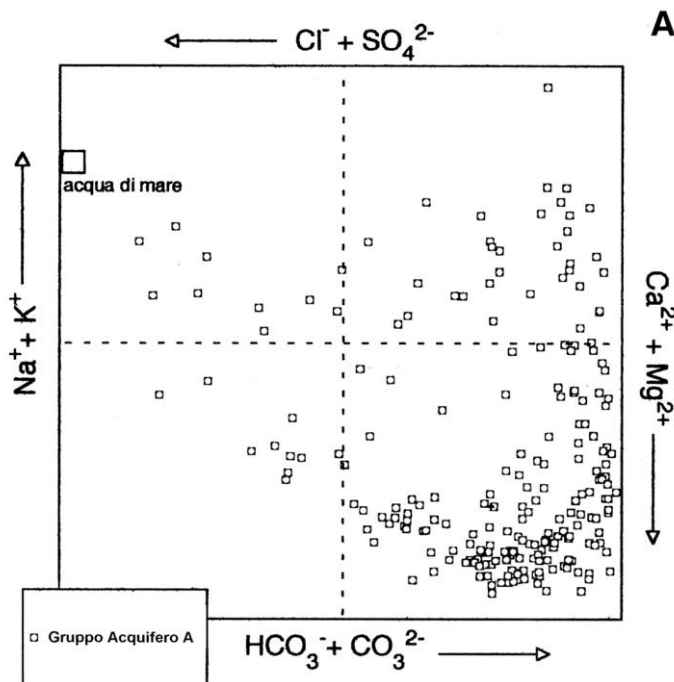


Fig. 19- Diagramma di Langelier-Ludwing relativo al Gruppo Acquifero A. (Regione Emilia-Romagna, ENI-AGIP, 1998)

Le acque analizzate nel presente studio vanno quindi ad infoltire e parzialmente colmare un vuoto conoscitivo nei quadranti superiori del diagramma di Langelier (Fig 20).

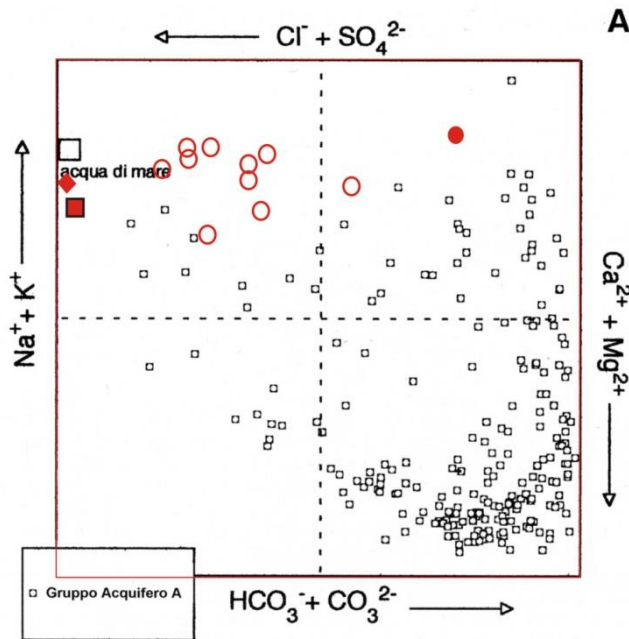


Fig.20- Diagramma di Langelier-Ludwig relativo al Gruppo Acquifero A, con inserimento delle acque analizzate nel presente lavoro.

La facies idrochimica più frequente è quella bicarbonato calcica che è considerata la più diffusa per via della velocità di genesi del tipo idrochimico, legata all'infiltrazione delle acque di precipitazione all'interno dei sedimenti silicoclastici più superficiali.

Per semplicità si è tentato di proporre uno schema idrogeochimico della Pianura Padana (Fig 21).

Complessi
acquiferi
Regione
Emilia-R.

	PRINCIPALI UNITA' STRATIGRAFICHE			ETA' (milioni di anni)	SCALA CRONOSTRATIGRAFICA (milioni di anni)	UNITA' IDROSTRATIGRAFICHE	
	AFFIORANTI	SEPOLTE				GRUPPO ACQUIFERO	COMPLESSO ACQUIFERO
A1	QUATERNARIO CONTINENTALE TERRE ROSSE, DILUVIUM, ALLUVIUM, TERRAZZI E ALLUVIONI DILUVIUM p.p. FORMAZIONE FLUVIO-LACUSTRE FORMAZIONE DI COLATELLO UNITA' DI VILLA DEL BOSCO UNITA' DI CA DI SOLA	SUPER SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SUPERIORE SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE UNITA' ALLUVIONALE INFERIORE ORIZZONTE DI FOSSOLO UNITA' DI BORGO PANIGALE	ALLUVIONI / QUATERNARIO MARINO E SABBIE DI ASTI	-0.12	PLEISTOCENE SUPERIORE - OLOCENE 0.125	A	A1
A2-4				A2			
B1-4				B3			
C1				B4			
C2	QUATERNARIO MARINO MILAZZIANO SABBIE DI CASTELVETRO p.p. SABBIE GIALLE di IMOLA p.p. MILAZZIANO e CALABRIANO p.p. SABBIE DI CASTELVETRO p.p. SABBIE GIALLE di IMOLA p.p. CALABRIANO p.p. SABBIE di MONTERICCO FORMAZIONE di TERRA del SOLE p.p. CALABRIANO p.p. FORMAZIONE di CASTELL'ARQUATO p.p.	SUBSISTEMA DEL QUATERNARIO MARINO SUBSISTEMA QUATERNARIO MARINO 3 SUBSISTEMA QUATERNARIO MARINO 2 SISTEMA QUATERNARIO MARINO 1 SUPER SISTEMA DEL PLEISTOCENE MEDIO-SUPERIORE	ALLUVIONI / QUATERNARIO MARINO E SABBIE DI ASTI	-0.65	PLEISTOCENE MEDIO 0.89 PLEISTOCENE INFERIORE 1.72 PLEISTOCENE MEDIO-SUPERIORE 3.55 PLEISTOCENE INFERIORE MIocene	B	B1
C3-4				B2			
C5				B3			
				B4			
				C1			
	C2						
	C3						
	C4						
	C5						
	P2			-3.3-3.6			ACQUITARDIO BASALE

Fig. 21- Schema idrogeochimico della Pianura Padana.

Nella figura 22 si è ricostruita la successione cronostratigrafica ideale media dell'area centrale padana e la correlazione con i complessi acquiferi del modello regionale Emiliano-Romagnolo. All'interno di questo si è tentata la proposta di alloggiamento di specie chimiche individuate.

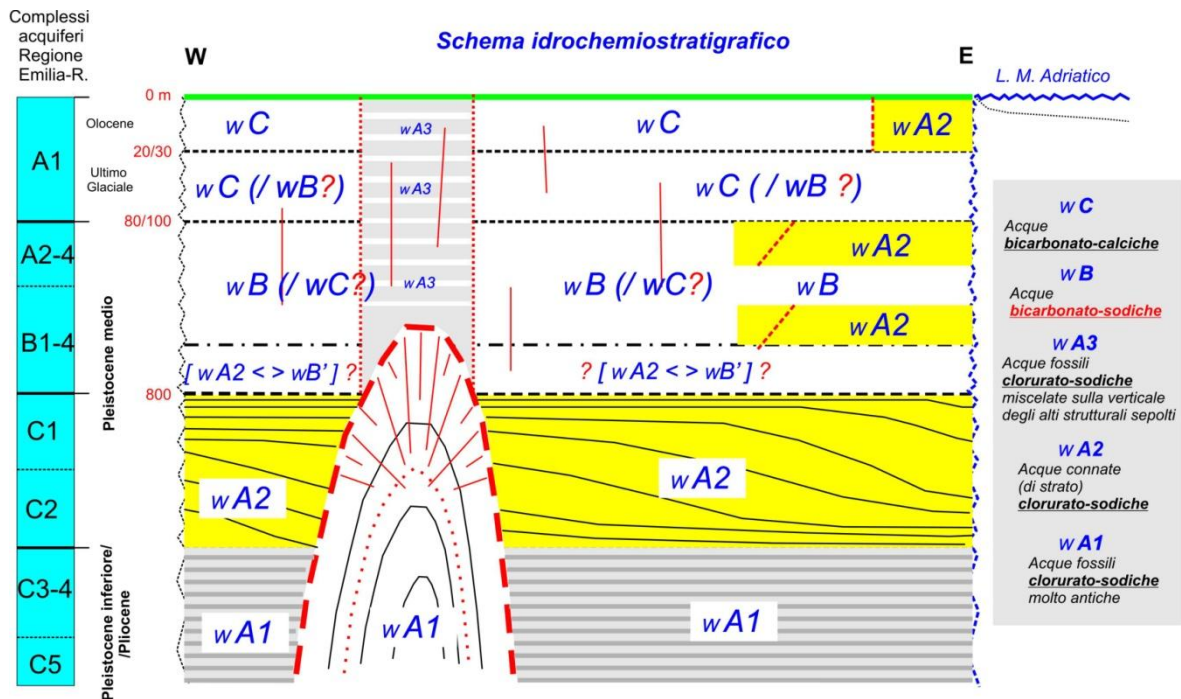


Fig. 22- Schema idrogeochimico della Pianura Padana.

Questo schema risulta dal database di pozzi idropotabili regionali e come tale tende ad escludere a priori le acque con caratteristiche chimiche non adeguate all'uso civile quindi risulta selettivo a priori. In altre parole gli acquiferi più profondi del sistema regionale e i relativi corpi idrochimici non risultano granché noti.

In particolare nella zona in studio, ubicata appena oltre il limite regionale, la presenza di acque salato/salmastre è presumibile in base ai dati idrostratigrafici dell'area a Nord della città di Ferrara (Fig. 23).

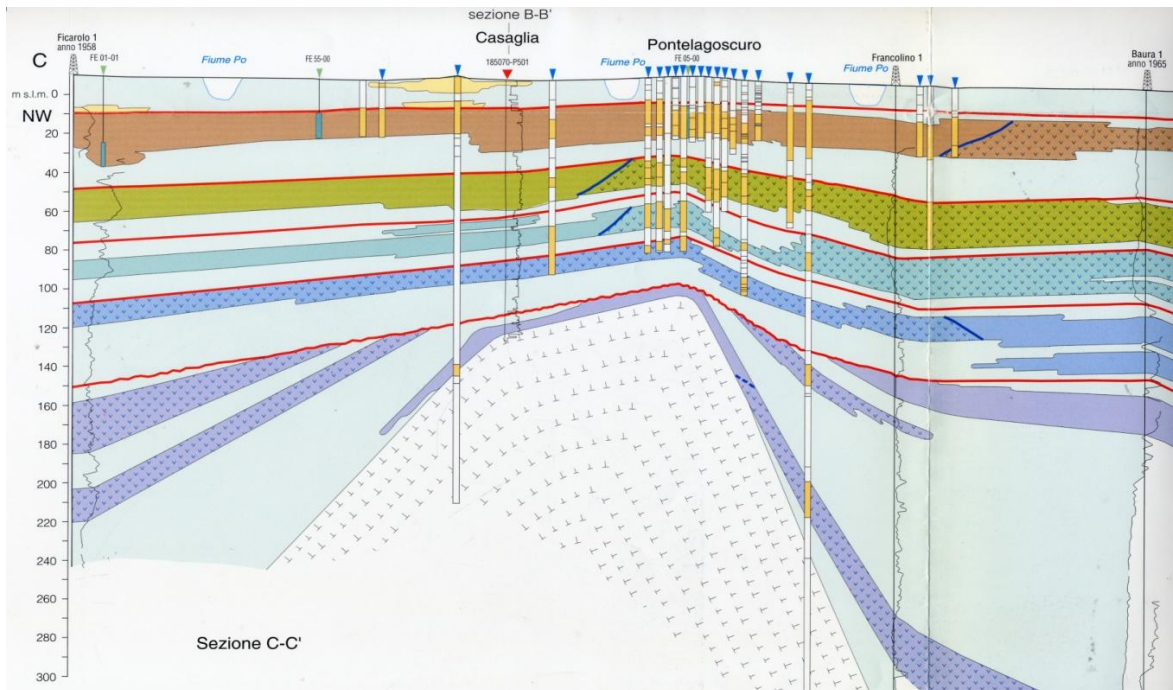
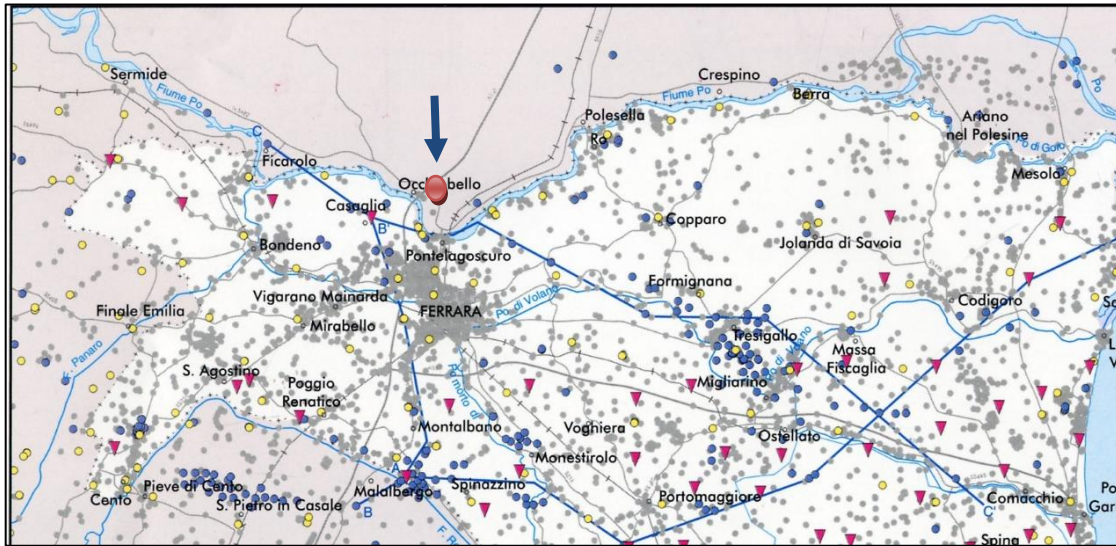


Fig. 23 - Unità idrostratigrafiche della Provincia di Ferrara nella zona di Pontelagoscuro_Francolino (Molinari et al. 2007)

Nella successiva figura (Fig. 24) si è provveduto a posizionare in termini di tipo idrochimico profondità presumibili di provenienza e ubicazione geografica le acque utilizzate in questo studio.

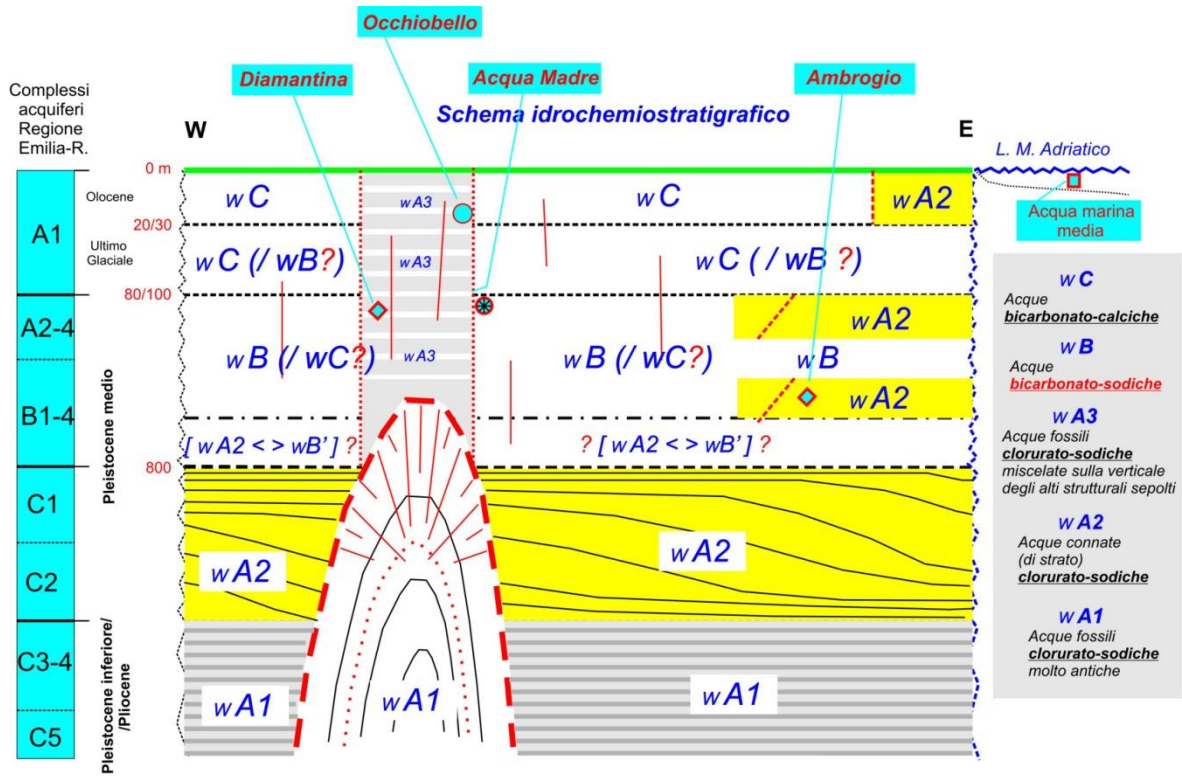


Fig.24- Schema idrogeochimico della Pianura Padana ed inserimento delle acque analizzate nel presente lavoro.

5. CONCLUSIONI

Le acque analizzate hanno mostrato la presenza di acque clorurato sodiche, prevalenti, a bassa profondità che sono supposte derivare da miscelazione (complessa) tra acque di origine marina (acque di strato) e un' acqua dolce teorica di tipo bicarbonato sodica.

Tra i predetti tipi idrochimici possono esistere interazioni sia orizzontali sia verticali alle interfacce dei convogli/volumi possono avvenire ulteriori fenomeni di:

- scambio ionico all'interno dei volumi acquiferi;
- miscelazione lenta o veloce;
- sostituzione orizzontale;
- diluizione semplice;
- esfiltrazione/fuga verticale per permeabilità primaria locale del sedimento, oppure secondaria (che si genera all'interno del sedimento per deformazione o fagliazione).

Nella figura 24 risulta agevolmente visibile come le acque di Occhiobello analizzate siano presenti ad una profondità definibile anomala rispetto alle giaciture presumibili delle acque saline originali (Ambrogio e Diamantina) e dell'acqua madre. Sia l'ubicazione geografica immediatamente a Nord dell'asse strutturale sepolto della dorsale Ferrarese, sia i rapporti esistenti, a livello regionale, tra esistenza di acque clorurato sodiche e geometria degli alti strutturali sepolti (Fig. 25) fanno pensare probabile una risalita di tali acque da domini di profondità maggiori di quelli in cui oggi le acque risultano ospitate, come è confermato da repentini mutamenti di conducibilità elettrica rilevati in falda freatica non impattata da alcun intervento antropico (Saglia 2007).

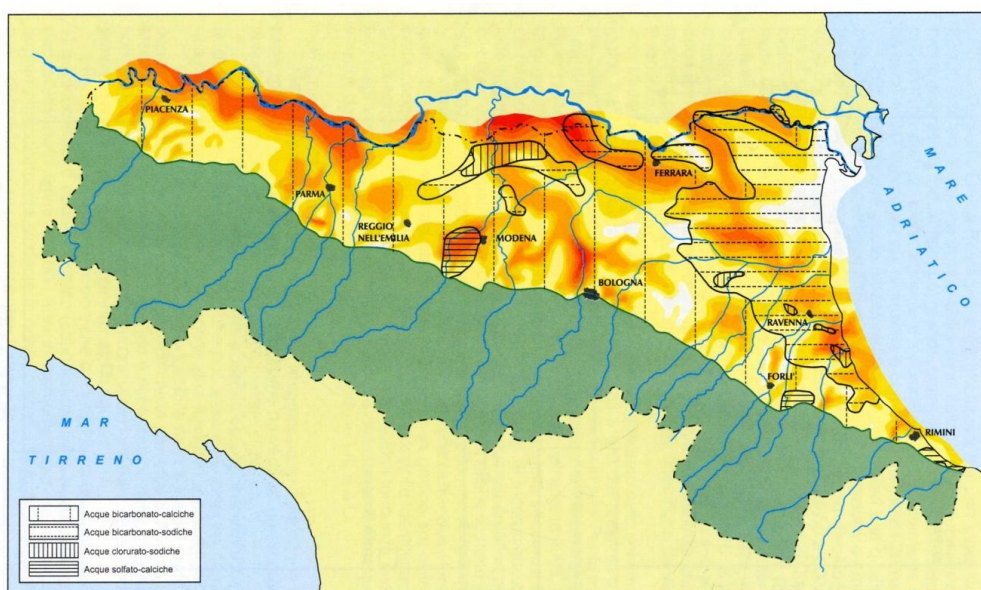


Fig. 25- Distribuzione delle principali famiglie geochemiche nel Gruppo Acquifero A. (Regione Emilia-Romagna, ENI-AGIP, 1998)

RINGRAZIAMENTI

A conclusione di questo mio percorso, sarebbe per me molto importante dedicare questo lavoro al Prof. Bruno Capaccioni, che ci ha lasciati, purtroppo, prematuramente, per ricordarlo e ringraziarlo, nel mio piccolo, per avermi guidato con dedizione e amore per il proprio mestiere, nella prima fase di stesura della tesi.

Ringrazio, inoltre, il Prof. Stefano Cremonini per l'immensa disponibilità e per l'indispensabile supporto datomi, affinché potessi concludere il lavoro e tutti coloro che, durante questa mia meravigliosa esperienza, piena di emozioni, mi sono stati accanto, dedicandomi parte del proprio tempo, pazienza e conoscenza.

BIBLIOGRAFIA

- Amorosi A., Pignone R., 2009. La Pianura, geologia, suoli e ambienti in Emilia-Romagna. Regione Emilia Romagna, Pendragon, 231.
- Baratto F., 2014. Relazione tecnica, comune di Occhiobello, provincia di Rovigo. Regione del Veneto, direzione urbanistica, 19.
- Boccaletti M., Martelli L. (a cura di), 2004. Note illustrative della carta sismotettonica della regione Emilia Romagna, Scala 1: 250000. S.E.L.C.A Firenze, 60, 1.
- Carcano C., Piccin A. (a cura di), 2002. Geologia degli Acquiferi Padani della Regione Lombardia, relazione tecnica. S.E.L.C.A., Firenze, 130.
- Cardelli E., 2003. Anomalie nelle acque di falda della pianura emiliana: revisione critica. Corso di Laurea in Scienze Naturali. Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali. A.a. 2002-2003. Sessione I. Relatore Ernesto Rabbi.
- Castiglioni G.B., Bondesan A., Bondesan M., Cavallin A., Gasperi G. (a cura di), 1997. Carta geomorfologica della Pianura Padana, scala 1:250000. S.E.L.C.A. Firenze, 6 tavole.
- Castiglioni G.B., Pellegrini G.B., 2001. Note illustrative della carta geomorfologica della pianura padana. Supplementi di geografia fisica e dinamica Quaternaria, 4, 207.
- Cibin U., Stefani M. 2009. Note illustrative della carta geologica d'Italia- foglio 187 Codigoro, 161, 2.
- Dal Piaz G., 1957. Il bacino quaternario polesano-ferrarese e i suoi giacimenti gassiferi. I giacimenti gassiferi dell'Europa occidentale. Accademia Nazionale dei Lincei. Atti del convegno di Milano. Vol I. 433-471.
- Dongarrà G., Varrica D., 2004. Geochimica e Ambiente. Edises.
- Drago A., Boato S., Parati P., Boscolo C., Mion F., Vazzoler P., Camilla S. (a cura di) 2008. Le acque sotterranee della Pianura Veneta. I risultati del progetto Sampas. Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto, 189.
- Fantoni, R., and R. Franciosi (2010), Mesozoic extension and Cenozoic compression in Po Plain and Adriatic foreland, Rend. Fis. Acc. Lincei, 21,197-209.
- Molinari F.C., Boldrini G., Severi P., Duroni G., Rapti Caputo D., Martinelli G., 2007. Risorse idriche sotterranee della Provincia di Ferrara. Firenze, 5 tav., 80.
- Pavani S. 2007. Restituzione del palinsesto aereofotografico nell'area della rotta di Ficarolo (Rovigo). Tesi di Laurea in Geografia Fisica, Corso di Laurea in scienze Geografiche, Facoltà di lettere e Filosofia, A.a. 2006-2007, sessione 3. Relatore S. Cremonini. (Inedita).
- Regione Emilia-Romagna, ENI-AGIP, 1998. Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna. A cura di G. Di Dio. S.EL.CA. (Firenze), 120 pp.
- Saglia G., 2007. Studio di un'anomala acqua freatica in provincia di Rovigo. Corso di Laurea specialistica in Conservazione e Gestione del Patrimonio Naturale, Facoltà di scienze matematiche fisiche e naturali. A.a. 2006-2007, sessione 3. Relatore S. Cremonini. (Inedita).
- Scioli A., 1972. L'attività estrattiva e le risorse minerarie della regione Emilia-Romagna. Artioli Modena.

SITOGRAFIA

- http://cnt.rm.ingv.it/search/?starttime=2016-09-15+00%3A00%3A00&endtime=2016-09-22+23%3A59%3A59&last_nd=7&minmag=2&maxmag=10&mindepth=0&maxdepth=1000&minlat=-90&maxlat=90&minlon=-180&maxlon=180&minversion=100&limit=50&orderby=ot-desc&tdmt_flag=-1&lat=0&lon=0&maxradiuskm=-1&wheretype=area

