

## Studio idrogeochimico del sistema carsico di Bossea - (Piemonte meridionale)

ADRIANO FIORUCCI<sup>(\*)</sup>, BARBARA MOITRE<sup>(\*)</sup>

### ABSTRACT

Il presente lavoro riguarda la caratterizzazione geochimica delle acque circolanti nel sistema carsico di Bossea. Nella cavità sono state campionate, in diverse condizioni idrodinamiche, le acque del collettore principale (Torrente Mora) e di numerosi apporti idrici provenienti dal reticolo di drenaggio della zona non satura sovrastante la cavità e che confluiscono nel collettore principale. Alcune venute idriche sono ubicate in corrispondenza del contatto tettonico tra le rocce del basamento metamorfico (metavulcaniti) e la copertura carbonatica, altre provengono direttamente dal reticolo di fratture nei calcari e dolomie. La portata di queste venute in genere è molto ridotta, inferiore a 1 l/s.

Il sistema carsico di Bossea è localizzato nel settore del Piemonte meridionale, nelle Alpi Liguri, ad una quota compresa tra gli 800 e i 1700 m s.l.m.. L'area di assorbimento principale è localizzata tra la Valle Corsaglia e la Valle Maudagna.

Per la caratterizzazione dei singoli apporti e del collettore principale si è proceduto attraverso i confronti della concentrazione degli elementi maggiori utilizzando il Diagramma di *Schöeller*, si sono inoltre considerati altri parametri quali il contenuto di lantanidi, gli indici di saturazione della calcite e della dolomite.

Attraverso la semplice valutazione delle facies idrogeochimiche si rileva, per i singoli apporti, una comune impronta *bicarbonato-calcica* con differenze più o meno significative dei rapporti caratteristici  $Mg^{2+}/Ca^{2+}$  e  $HCO_3^-/SO_4^{2-}$ .

I dati relativi al contenuto di lantanidi (*REE - Rare Earth Elements*) normalizzati utilizzando il PAAS (*Post-Archean Australian Shale*), contribuiscono a diversificare i singoli apporti che presentano differenti anomalie (in particolare per il cerio e l'europio) e/o andamenti anche in relazione al periodo di campionamento.

Infine dati particolarmente interessanti sono emersi dalla correlazione tra gli indici di saturazione della calcite e della dolomite calcolati utilizzando il rapporto tra il prodotto di attività ionica (con le singole attività ioniche determinate con l'equazione di *Deybe-Hückel*) e il prodotto di solubilità.

Per tutte le singole venute idriche si osserva un'ottima correlazione tra i due indici, correlazione che è meno marcata se si considerano tutti i valori del sistema carsico in esame. Il dato ottenuto evidenzia, pertanto, un'ulteriore differenziazione tra le singole venute. Dall'analisi complessiva dei dati geochimici ottenuti emerge una sostanziale complessità del sistema carsico di Bossea già evidenziata dai dati del monitoraggio di portata, temperatura e conducibilità

elettrica specifica delle acque provenienti dalle singole venute e dal collettore principale.

KEY WORDS: *Idrogeochimica, Indici di Saturazione, Grotta di Bossea, Lantanidi.*

### 1. AREA DI STUDIO

Il sistema carsico di Bossea è localizzato nel settore del Piemonte meridionale, nelle Alpi Liguri, ad una quota compresa tra gli 800 e i 1700 m s.l.m.. L'area di assorbimento principale è localizzata tra la Valle Corsaglia e la Valle Maudagna.

#### 1.1 Inquadramento geologico e idrogeologico

L'area è caratterizzata da una complessa storia tettonica che ha portato i sedimenti carbonatici, originariamente sedimentatisi sopra un substrato antico di età permo-carbonifera (rappresentato da porfiroidi praticamente impermeabili e da quarziti), a trovarsi invece segmentati in grandi affioramenti separati tra di loro da imponenti superfici di dislocazione, fratture e faglie, che delimitano compartimenti idrogeologici indipendenti, talora interconnessi tra di loro in modo particolarmente complesso (Fig 1).

Il sistema di Bossea è caratterizzato da una fascia di calcari e calcari dolomitici, lateralmente confinata dalle rocce del basamento metamorfico, metavulcaniti e quarziti, attraverso una serie di contatti tettonici sub-verticali.

L'acquifero carbonatico è caratterizzato da una permeabilità piuttosto elevata, con una circolazione sotterranea impostata su un collettore principale che riceve gli apporti provenienti dall'ammasso calcareo-dolomitico e dalle rocce del basamento metamorfico. Tali rocce costituiscono un acquifero secondario, impostato lungo le discontinuità che bordano la struttura carbonatica e che, attraverso una serie di travasi sotterranei, alimenta l'acquifero principale (PEANO *et alii*, 2011; BANZATO *et alii*, 2011; VIGNA & DOLEATTO, 2008).

#### 1.2 Descrizione degli apporti

La grotta di Bossea è una cavità percorsa da un importante collettore carsico, il Torrente Mora, che la percorre interamente e torna alla luce attraverso una serie di emergenze localizzate in prossimità dell'alveo del Torrente Corsaglia. Il collettore riceve le acque da numerosi apporti secondari (Fig. 2).

(\*) Politecnico di Torino - Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture

Le venute più importanti, denominate “*polle*”, sono costituite da apporti provenienti da fratture relativamente aperte e carsificate, presenti in genere presso il contatto tra l’acquifero carbonatico ed il sottostante basamento (*Polla delle Anatre*, *Polla dell’Orso* e *Polletta*). Le venute secondarie, denominate “*stillicidi*” e distribuite in diversi tratti della cavità, sono ubicate sulla

volta della grotta e provengono in genere da fratture mascherate da abbondanti depositi calcitici (*Stillicidio Milano*, *Stillicidio Torre*, *Stillicidio Sacrestia*). Presentano un flusso molto ridotto, inferiore a 0.5 l/minuto, con variazioni strettamente legate alle condizioni meteorologiche esterne e diventano inattive soltanto in particolari situazioni di siccità.

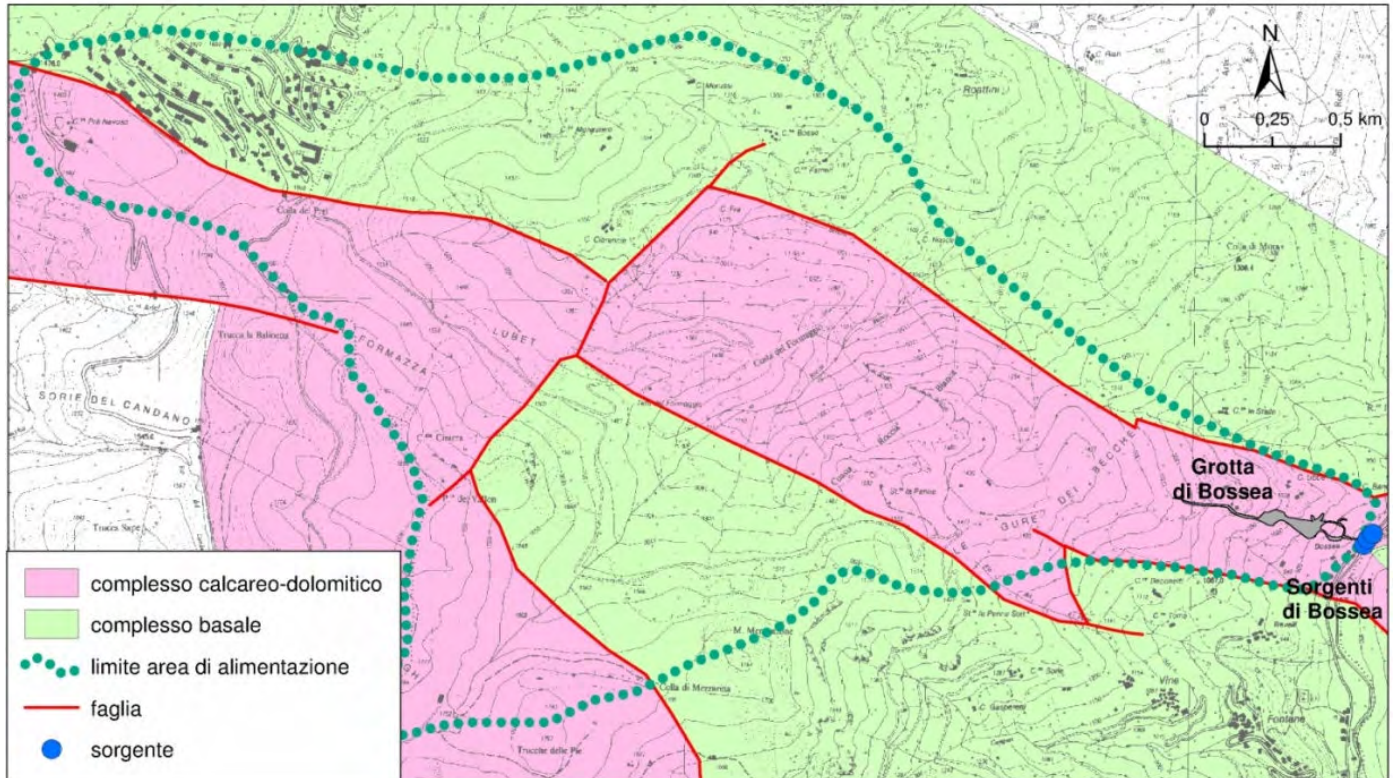


Fig. 1 – Carta idrogeologica dell’area di studio

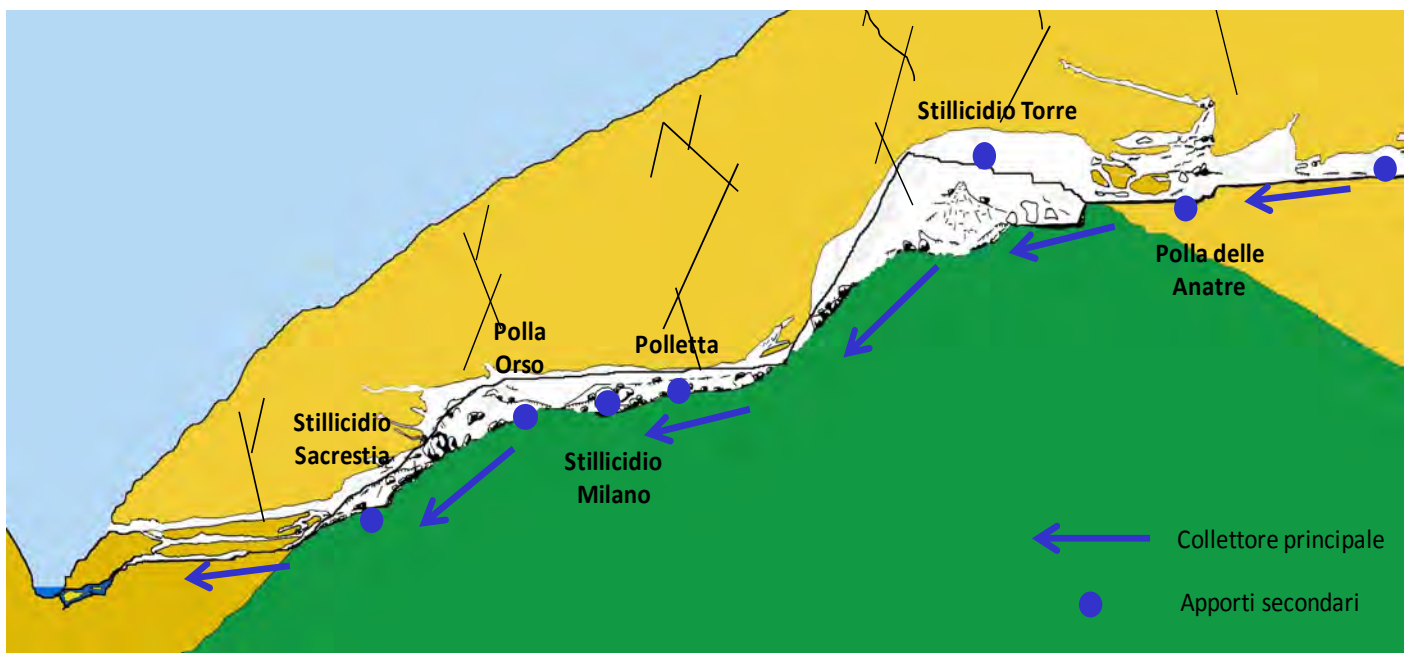


Fig. 2 – Ubicazione degli apporti secondari



In prossimità dell'area di alimentazione del sistema sono presenti una serie di sorgenti con portate modeste, intorno a 0.5-2 l/s, ma piuttosto costanti nel tempo, alimentate dalle rocce del basamento metamorfico. Una di queste sorgenti, denominata sorgente dei Matti, è stata presa come “sorgente campione” rappresentativa della circolazione sotterranea impostata nelle meta vulcaniti (Fig 3).

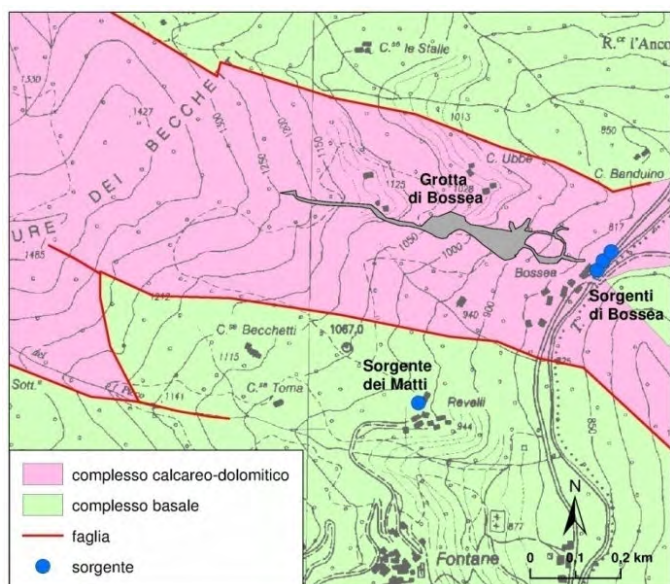


Fig. 3 – Ubicazione della Sorgente dei Matti

## 2. CARATTERIZZAZIONE IDROCHIMICA DEI SINGOLI APPORTI

Le acque circolanti nel sistema carsico di Bossea presentano, nel complesso, una media mineralizzazione che, in termini di TDS, si attesta tra 162.23 e 409.51 mg·L<sup>-1</sup>. I valori più bassi si riscontrano nelle acque del collettore principale, Torrente Mora, e in quelle circolanti nelle metavulcaniti, Sorgente dei Matti, mentre quelli più alti appartengono ai singoli apporti.

Le facies idrochimiche riscontrate nei diversi campionamenti restano sostanzialmente costanti nel tempo ma presentano sostanziali differenze tra i diversi punti di prelievo (Fig. 4). Si osservano facies *bicarbonato-calcico-magnesiache* negli apporti Milano e Polletta e facies *bicarbonato-calciche* in tutte le altre venute oltre che nel collettore principale e nelle acque circolanti nei porfiroidi. Nelle facies *bicarbonato-calciche* si notano tuttavia delle differenze nel rapporto  $Ca^{2+}/Mg^{2+}$  che varia da 4.11 (valore medio Polla Anatre) a 41.49 (valore medio Sacrestia). Tale rapporto presenta valori medi di 6.99 nel collettore principale e 21.96 nelle acque dei porfiroidi. L'ampia variabilità del rapporto  $Ca^{2+}/Mg^{2+}$  è riconducibile ai diversi contenuti dello ione  $Mg^{2+}$  che è, sostanzialmente, l'unico parametro, tra quelli principali, a differenziare le diverse venute. I parametri presenti con concentrazioni minori di 0.1 meq·L<sup>-1</sup> (alcalini, cloruri e solfati) sono soggetti a maggiori variazioni nel tempo.

La sorgente dei Matti e la venuta Polla delle Anatre sono caratterizzate da concentrazioni di alcalini maggiori rispetto a quelle dei cloruri. Tale fatto evidenzia la presenza di acque provenienti dalle metavulcaniti.

## 3. L'IMPRONTA DEI LANTANIDI

I lantanidi sono una famiglia di 15 elementi chimici con proprietà chimiche molto simili tra loro, che in campo idrogeologico possono essere utilizzati per la caratterizzazione degli acquiferi. Le concentrazioni e le distribuzioni dipendono specificatamente dalle diverse rocce con le quali l'acqua è venuta in contatto, e nonostante le basse concentrazioni presentano specifici andamenti per diverse acque (BIDDAU *et alii*, 2009; BANKS *et alii*, 1999; FIORUCCI & MOITRE, 2012). Inoltre, attualmente, non hanno una conclamata impronta antropica e per tale motivo possono essere utilizzati per lo studio del fondo geochemico naturale.

Il contenuto di lantanidi nella sorgente del complesso basale si mantiene pressoché costante nei diversi campionamenti e risulta piuttosto elevato (valore medio pari a 765 ng·L<sup>-1</sup>). Le venute, invece, sono caratterizzate da un comportamento diverso e subiscono evidenti variazioni nel corso dei campionamenti effettuati.

I ranges delle concentrazioni delle varie venute sono abbastanza ampi. La Polla delle Anatre è quella con le variazioni maggiori, si passa dai 21 ng·L<sup>-1</sup> (periodo di piena da fusione nivale) ai 1481 ng·L<sup>-1</sup> (periodo di magra). Le concentrazioni minime e massime si riscontrano negli stessi periodi anche per lo stillicidio Milano, la differenza è nei valori (40 e 180 ng·L<sup>-1</sup>). Valori elevati, superiori a 400 ng·L<sup>-1</sup>, si riscontrano durante due campionamenti nello stillicidio Sacrestia e in un campionamento del collettore principale (570 ng·L<sup>-1</sup>).

Le concentrazioni delle REE sono state normalizzate con il *Post-Archean Australian Shale-PAAS* (MCLENNAN, 1989), in modo tale da evidenziare i cambiamenti nel tempo e le differenze tra il collettore principale, gli apporti secondari e la sorgente del complesso basale (Fig. 5).

A differenza dei diagrammi di *Schöeller*, i diagrammi che caratterizzano il rapporto tra le REE e il PAAS non rimangono costanti nel tempo ma presentano differenze tra i diversi periodi di campionamento. L'unica eccezione è la Sorgente dei Matti, il cui andamento rimane invariato nel tempo. Tali differenze possono indicare che il sistema carsico di Bossea è un sistema complesso, in cui si possono evidenziare circuiti di alimentazione diversi tra le varie venute e il collettore principale. Inoltre, si osservano importanti variazioni quantitative e del trend all'interno della stessa venuta, in presenza di differenti condizioni idrodinamiche.

## 4. GLI INDICI DI SATURAZIONE

Gli indici di saturazione della calcite e della dolomite sono stati calcolati utilizzando il rapporto tra il prodotto di attività ionica (con le singole attività ioniche determinate con l'equazione di *Debye-Hückel*) e il prodotto di solubilità.

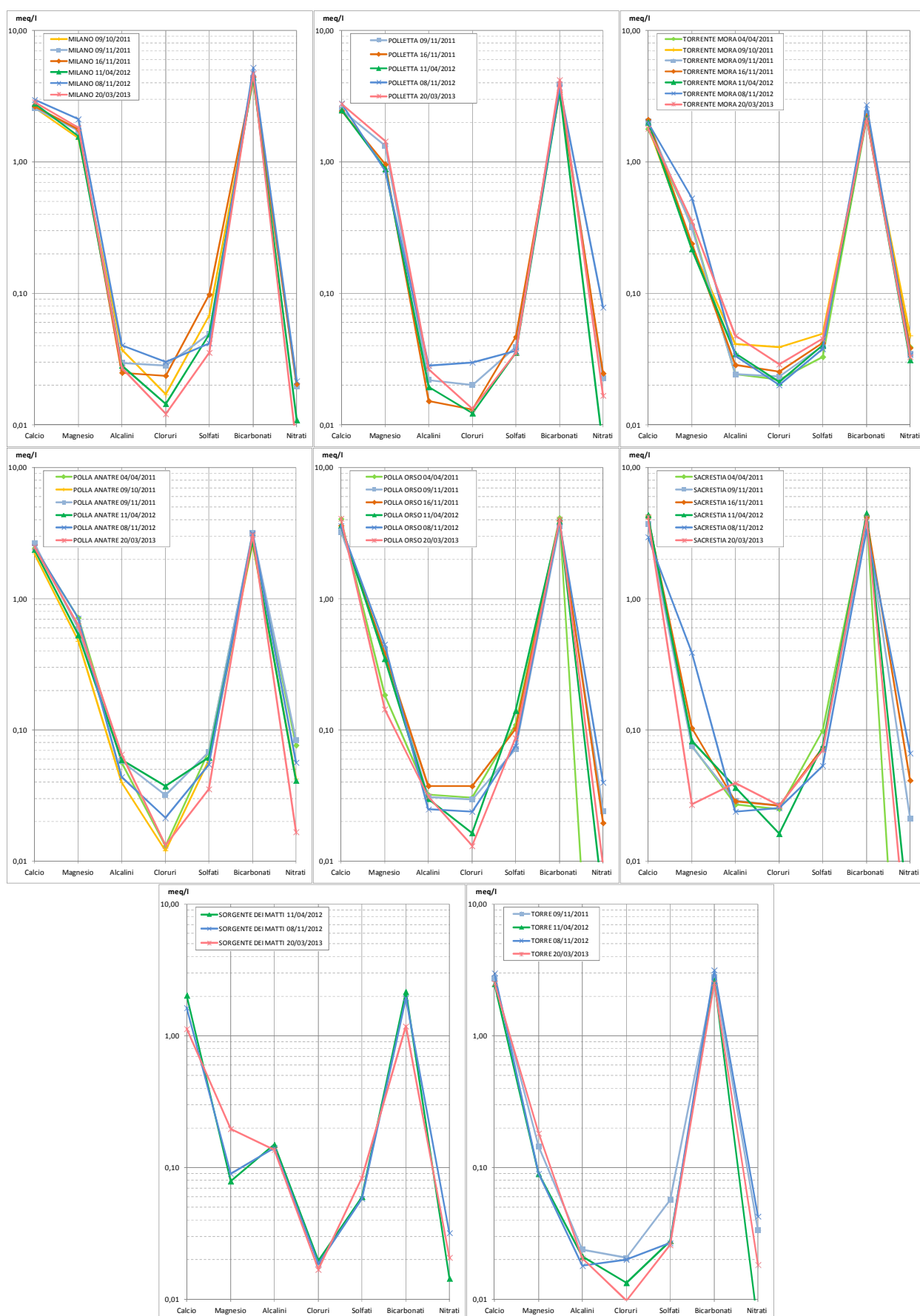


Fig. 4 – Diagrammi di Schöeller relativi ai singoli apporti, al Torrente Mora e alla Sorgente dei Matti

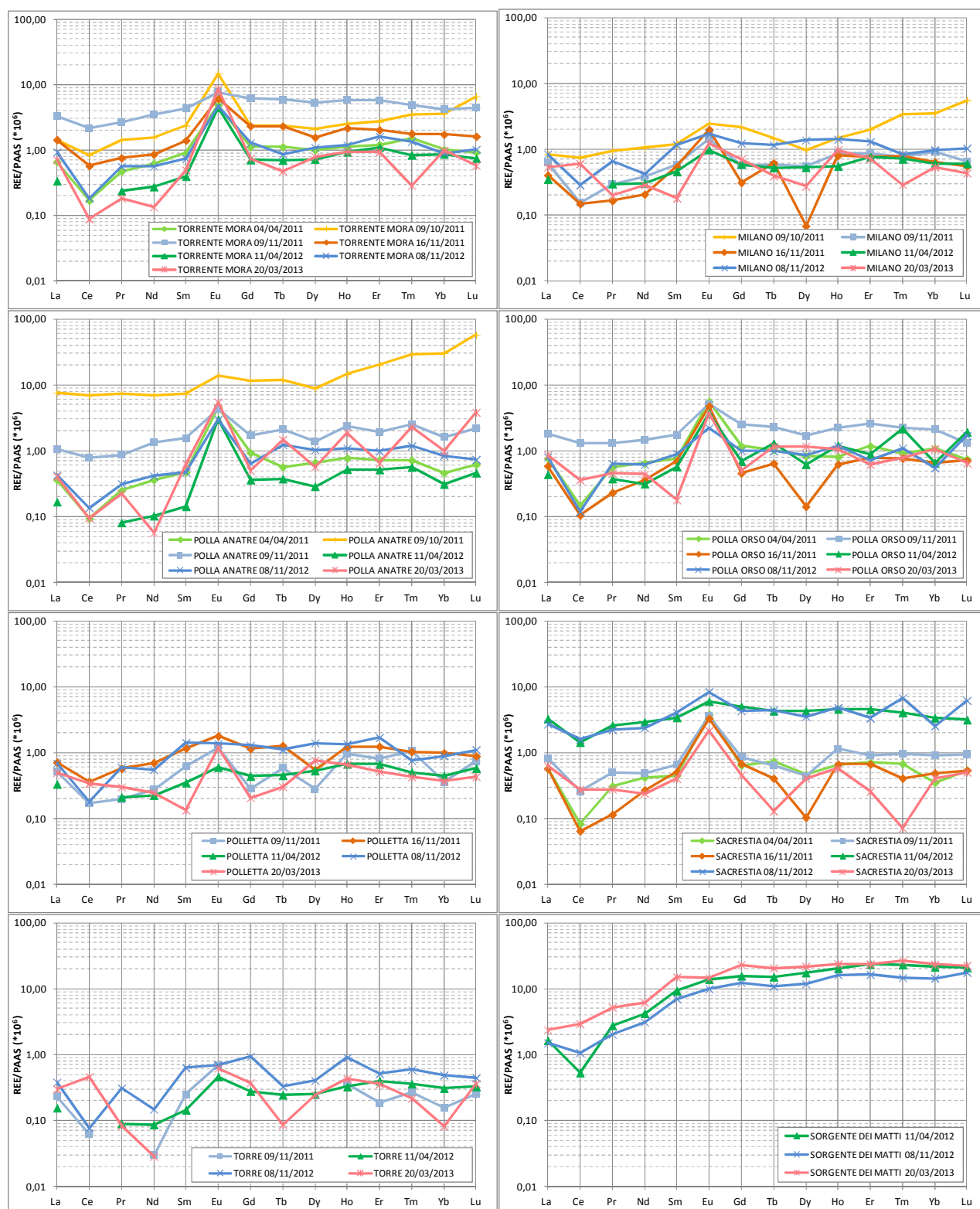


Fig. 5 – Diagrammi delle concentrazioni delle REE normalizzate con il PAAS relativamente ai singoli apporti, al Torrente Mora e alla Sorgente dei Matti

Le acque in quasi tutti i campionamenti risultano essere sovrassature nei confronti della calcite, mentre si registrano un considerevole numero di casi in cui risultano sottosature nei confronti della dolomite.

Considerando tutti i campioni si osserva una discreta correlazione tra i due indici ( $r^2$  pari a 0.7738), valutando la

correlazione per ogni singolo apporto si rileva che queste presentano valori di coefficiente di correlazione sempre superiore al 96% e coefficienti angolari delle singole rette di correlazione molto simili tra loro, variabili da un minimo di 0.4330 (sorgente dei Matti) ad un massimo di 0.5036 (polla Anatre).

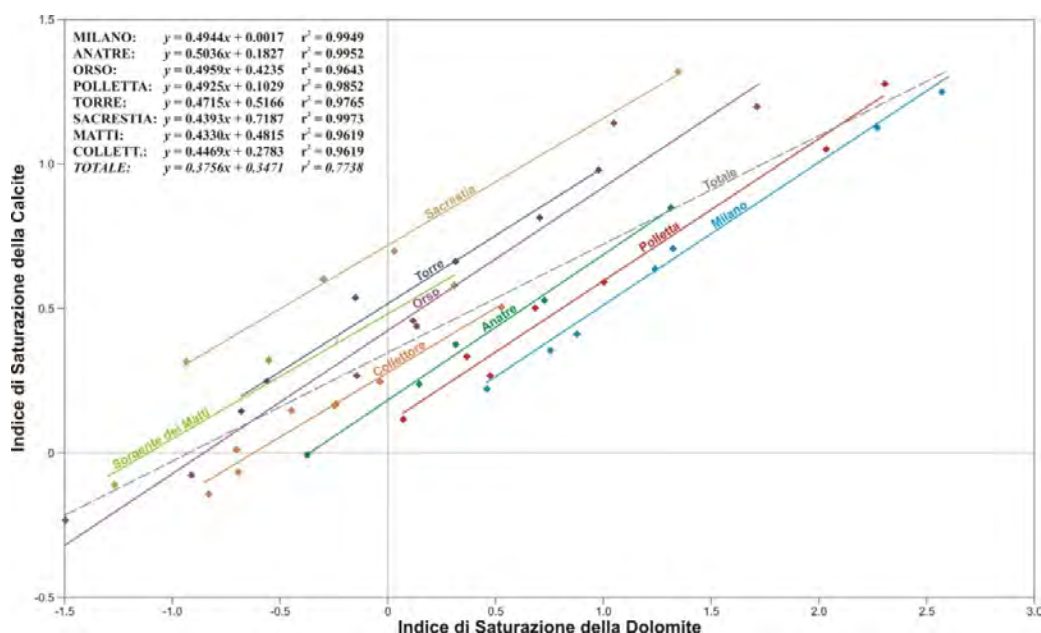


Fig. 6 – Correlazioni tra l'indice di saturazione della Calcite e quello della Dolomite

## 5. CONCLUSIONI

Dall'analisi complessiva dei dati geochimici ottenuti, emerge una sostanziale complessità del sistema carsico di Bossea già evidenziata dai dati del monitoraggio di portata, temperatura e conducibilità elettrica specifica delle acque provenienti dalle singole venute e dal collettore principale.

L'analisi delle facies, eseguita considerando solo gli elementi maggiori, evidenzia delle differenze tra i singoli apporti sostanzialmente dovute al rapporto  $Ca^{2+}/Mg^{2+}$  e, in qualche caso, al rapporto  $(Na^+ + K^+)/Cl^-$ . Quest'ultimo, quando assume valori molto maggiori di 1, è indice di una circolazione idrica che interessa le parti non carbonatiche del sistema (polla delle Anatre, Sorgente dei Matti e saltuariamente anche le altre venute).

Una più netta distinzione tra le singole venute idriche emerge dai dati relativi al contenuto di lantanidi, che sembrano mostrare anche delle differenze, relativamente ad ogni singola venuta, legate ai diversi periodi di campionamento.

Gli indici di saturazione calcolati evidenziano acque quasi sempre sovrasature nei confronti della calcite e in buona parte anche per la dolomite. La correlazione tra i due indici mostra valori elevati quando si considerano le singole venute, mentre è minore quando si confrontano complessivamente tutti i dati. Questo aspetto sembra evidenziare ulteriormente la complessità del sistema carsico di Bossea così come già mostrato dagli altri indici geochimici. Sembrerebbe, infatti, ipotizzabile la presenza di circuiti di alimentazione diversi per le varie venute e forse diversi per differenti condizioni idrodinamiche.

Per meglio comprendere i meccanismi che intervengono nel sistema di alimentazione dell'acquifero carsico di Bossea, sarebbe necessario condurre, in un anno idrologico, campionamenti a cadenza mensile per gli apporti secondari, il collettore principale e alcune sorgenti rappresentative impostate nel complesso basale.

## BIBLIOGRAFIA

- BANKS D., REIMANN C., SIEWERS U., 1999 - *Distribution of rare earth elements in crystalline bedrock groundwaters: Oslo and Bergen region, Norway*. Appl. Geochem. 14: 27-39.
- BANZATO C., DALLAGIOVANNA G., MAINO M., PEANO G. & VIGNA B., 2011 - *Correlation between the geological setting and groundwater flow: the Bossea karst underground laboratory*. Geitalia 2011, Epitome 4, Torino, 19-23 settembre 2011: 14.
- BIDDAU R., BENSIMON M., CIDU R. & PARRIAUX A., 2009 - *Rare earth elements in groundwaters from different Alpine aquifers*. Chemie der Erde Geochemistry 69: 327-339.
- FIORUCCI A., MOITRE B., 2012 - *Hydrogeochemical study on the rare earth concentration in groundwater*. Romanian Journal of mineral Deposits, Geological Institute of Romania, Society of Economic Geology of Romania, Vol. 85: 56-59.
- MCLENNAN S.M., 1989 - *Rare earth elements in sedimentary rocks. Influence of provenance and sedimentary processes*. Geochemistry and Mineralogy of Rare Earth Elements. Mineralogical Society of America, Washington, Review in Mineralogy 21: 169-200.
- PEANO G., VIGNA B., VILLAVECCHIA E. & AGNESOD G., 2011 - *Radon exchange dynamics in a karst system investigated by radon continuous measurements in water: first results*. Radiation protection dosimetry, Vol. 145 (2): 173-177.
- VIGNA B., DOLEATTO D., 2008 - *La circolazione idrica nella zona non satura di Bossea*. Ambiente carsico: I progressi degli studi in Italia sulla soglia del XXI secolo. Bossea, 21-22 maggio 2005: 51-63.