MERLAK E.
Geologo, via Beda 3 – Trieste 34139

LA SILICE NELLE ACQUE DEL TERRITORIO TRIESTINO (CARSO TRIESTINO E AREE ADIACENTI)

Abstract

Silica in streams and ground water of region near Trieste.
The silica content of natural water is of particular interest in geology inasmuch as is related to the problems of the origin the terra rossa, the clays and the silts (yellow silty sands and yellow clays) in the areas of the karst of Trieste.
The aim of this paper is the study of the content of silica (SiO_2) in the strems and ground waters of the region near Trieste (NE of Italy).
In the fresh waters an equilibrium is established, wich can be represented by the following equilibrium:
$(SiO_2)_n + 2n\,(H_2O) = n\,Si\,(OH)_4$
All recents measurements of the concentration of silica in fresh waters of the region give values lower than 7 mg/l.
This is true of soil water, springs, streams and ground waters in vadose zone of the karst.
From the results of the quartz solubility determinations it is possible to derive an empirical equation for the solubility of quartz in fresh water as function of temperature.
The extrapolation of the temperature solubility equation indicates that quartz would have a solubility of about 7 mg/l at 11°C and amorphus silica about 60 mg/l.
These chemical data must be constantly present for to recall the geological reasoning:
1) in the studied area the silica come from the quartz content in the feldspars, plagioclase and phyllosilicates (micas) content in the flysch and only a part of silica come from the quartz of the sandstone of the flysch.
2) in the rocks of the area of Trieste (limestones, sandstone and claystones) it is not present the amorphus silica.

Premessa

Nella provincia di Trieste e nelle aree circostanti (Carso sloveno, bacino del fiume Vipacco, Istria settentrionale) il Flysch è rappresentato da una formazione geologica costituita da una alternanza di arenarie, marne, argilliti e siltiti. Questa formazione, in gran parte asportata e intensamente degradata in superficie, succede in continuità stratigrafica alla sedimentazione calcarea che interessa tutta l'area e nella quale ha avuto origine il fenomeno del carsismo così come conosciuto nel mondo.

In grandi linee e da un punto di vista litologico la formazione del flysch, il cui spessore originario è dell'ordine di diverse centinaia di metri, può essere individuata in due litotipi fondamentali: le arenarie e le marne. Le sequenze della sedimentazione sono contraddistinte da una ciclicità in cui strati compatti di arenarie si alternano a fragili substrati marnosi con elevata componente argillosa.

Da un punto di vista morfologico ed idrologico il flysch è rappresentato da affioramenti soggetti ad azione di escavazione di tipo vallivo con torrenti che scorrono per decine di

chilometri (è il caso del fiume Timavo superiore o Reka) o per qualche chilometro e con bacini variabili tra le decine di Kmq e qualche Kmq. L'esempio classico è fornito dal bacino imbrifero del Timavo che comprende, oltre al fiume Timavo stesso, una trentina di affluenti, scorrenti per gran parte sui terreni del flysch e sui suoli derivati.

Altri esempi minori ma classici sono osservabili nella Birchinia, in Istria e nella stessa Trieste dove veri e propri torrenti minori scorrono sul flysch.

In questi terreni la degradazione da parte delle acque meteoriche è notevolmente più intensa di quello che avviene per le formazioni calcaree e calcareo–dolomitiche del Carso e con formazione di un suolo abbondante.

Nel flysch il processo di degradazione meteorica è accentuato da alcuni fattori sostanzialmente non presenti nei calcari:

- la diffusione e l'approfondimento continuo del reticolo idrografico con fenomeni di intensa instabilità dei versanti,
- la veloce disgregazione meccanica e frantumazione degli affioramenti marnosi ed argillosi ad opera delle piogge intense,
- lo scorrimento e l'asporto del suolo nelle massime pendenze ad opera delle piogge ed accumulo continuo del suolo stesso nelle aree pianeggianti,

questi fenomeni sono supplementari al fenomeno principale che è quello della corrosione.

Stranamente su tale fenomeno non si è mai investigato in modo analitico ed in particolare, per l'area oggetto del presente studio, non esistono ricerche sistematiche sul processo di corrosione del flysch e sulla sua effettiva entità.

Sotto questo aspetto assume rilevanza lo studio delle acque ed il loro contenuto in silice (SiO_2) la cui presenza, nelle acque del territorio triestino, è attribuibile esclusivamente ai litotipi costituenti il flysch ed ai prodotti secondari (terre rosse, argille) derivanti a loro volta dai processi di degradazione e trasformazione dei litotipi marnoso-arenacei.

Vengono esposti i risultati di alcune ricerche svolte sull'idrologia dei torrenti del flysch dell'area circostante la provincia di Trieste. Vengono evidenziati i livelli di corrosione delle arenarie e delle marne, i conseguenti processi di trasporto in sospensione e di deposizione della silice (presente esclusivamente nella forma del quarzo) e le quantità medie di silice in soluzione nelle acque del Carso triestino e delle aree circostanti.

Generalità della silice nelle acque del territorio di Trieste

In natura la silice ($SiO_{2)}$ può essere presente in più forme strutturali. Le due forme più comuni e conosciute sono il quarzo, nella sua forma stabile SiO_2, e la silice, nella forma amorfa.

La reazione generale di solubilizzazione della silice in acqua è la seguente:

$SiO_{2\,(solido)} + 2\,H_2O_{(liquido)} = H_4SiO_{4\,(liquido)}$ esprimibile anche come $Si(OH)_4$

In natura questa reazione consiste in due reazioni opposte:

$SiO_2 + 2\,H_2O = (SiO_2 \times 2\,H_2O)^*$

$(SiO_2 \times 2\,H_2O)^* \rightarrow H_4SiO_4$ .....reazione 1

e

$H_4SiO_4 = (SiO_2 \times 2\,H_2O)^*$

$(SiO_2 \times 2\,H_2O)^* \rightarrow SiO_2 + 2\,H_2O$...reazione 2

Le reazioni 1 e 2 avvengono in misura uguale quando il sistema è in equilibrio ma la solubilità varia notevolmente a seconda che la reazione interessi quarzo in granuli, silice allo stato amorfo o la silice presente nella struttura dei fillosilicati che costituiscono la gran parte delle argille.

Ciò che è importante affermare è che la silice in equilibrio con l'acqua si presenta nella forma di monomeri H_4SiO_4 che altro non sono che le molecole dell'acido silicico. Queste molecole sono libere ed in perfetta soluzione.

Nell'area studiata la silice è sempre costituita dal quarzo proveniente dai litotipi delle arenarie e delle marne che costituiscono il flysch. In fig.1) sono riportate le composizioni mineralogiche medie dei due litotipi. Il litotipo 1 corrisponde alla classica arenaria con cemento calcareo particolarmente ricca di quarzo e povera di fillosilicati, il litotipo 6 corrisponde alla marna, i litotipi da 2 a 5 corrispondono a rocce a composizione intermedia tra l'arenaria e la marna. Appare evidente come il quarzo rappresenti la maggior componente (da 50 a 80%). In particolare circa il 75% dell'arenaria è praticamente costituito

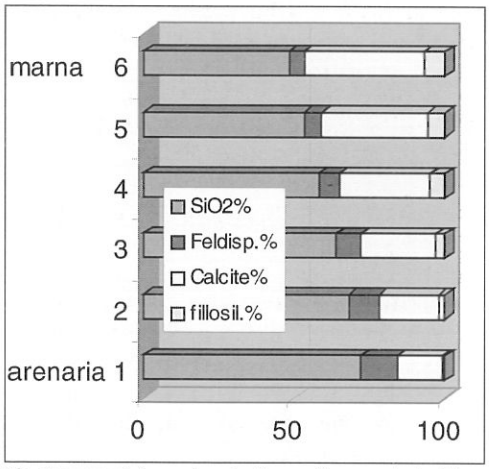

Fig. 1: composizione mineralogica media percentuale dei litotipi presenti nel flysch. Il litotipo 1 corrisponde all'arenaria, il litotipo 6 alla marna, i litotipi da 2 a 5 a rocce di composizione gradualmente intermedia.

da quarzo in granuli di dimensioni variabili da alcuni micron fino a 200 micron circa, granuli che sono immersi in un cemento calcitico. In figura 2) è riportata la fotografia di una sezione sottile ad ingrandimento 44 × di una arenaria tipica del flysch triestino. Si osserva chiaramente la predominanza dei granuli di quarzo (chiari e grigio-chiari) mescolati a piccoli granuli di feldispati (più scuri), e miche, immersi, con una matrice poco distinta, in un cemento calcitico ($CaCO_3$) che rappresenta in composizione circa il 18% dell'intera arenaria. La fotografia in sezione sottile rispecchia quella che è la composizione generale dell'arenaria del flysch triestino.

Alterazione del flysch

I dati, ricavati dalla bibliografia essenziale esistente in materia e da una serie di analisi condotte in diversi laboratori, rivelano che la frazione mineralogica più abbondante nel flysch è quella della silice.

L'elevato grado di degradazione dei litotipi del flysch triestino ad opera delle acque piovane deriva dalla composizione del cemento essenzialmente calcitico (carbonato di calcio) che è presente in quantità variabile tra il 15 ed il 35% della composizione totale.

La presenza di questo cemento determina, in una prima fase iniziale, la veloce disgregazione della roccia marnoso-arenacea con la messa in soluzione veloce di quasi tutto il carbonato di calcio secondo le seguente reazione fondamentale:

$$CO_2 + H_2O + CaCO_3 \leftrightarrow 2HCO_3^- + Ca^{2+}$$

Ciò significa che il flysch, similarmente ai calcari ed alle dolomie, è una roccia ad elevato poter tampone nei confronti delle piogge acide.

Similarmente, ma in rapporti diversi, una parte di calcio, sodio, potassio e magnesio presenti nelle miche, nei feldispati, nei pla-

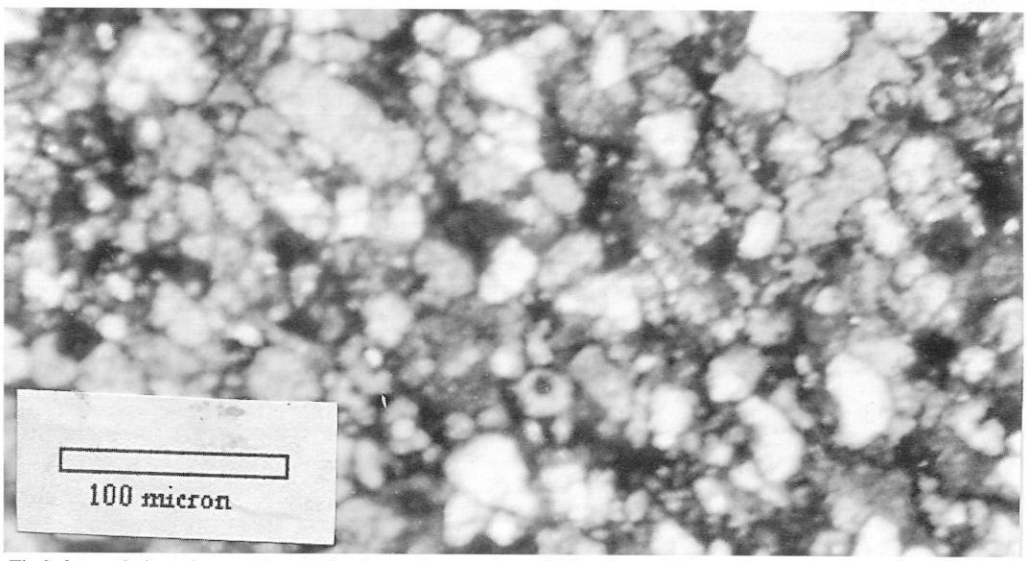

Fig.2: fotografia in sezione sottile × 44 di un'arenaria proveniente dal flysch presso Trieste (foto: Merlak)

gioclasi e nei fillosilicati contenuti nel flysch entrano in soluzione attraverso una serie di reazioni complesse derivanti sempre dalla reazione dei minerali con l'acido carbonico presente nell'acqua piovana e nell'acqua interstiziale del suolo secondo lo schema classico di seguito indicato in modo esemplificativo:

minerale del flysch molecole o specie ioniche (cationi) rilasciate in soluzione acquosa

quarzo SiO_2 (tracce)

microclino $SiO_2 + K^+$

plagioclasi $SiO_2 + Na^+ + Ca^{2+}$

miche $K^+ + Mg^{2+}$

calcite (cemento) Ca^{2+}

Il motore delle reazioni per il rilascio in soluzione acquosa dei cationi è comunque sempre rappresentato dall'anidride carbonica.

Rivestono particolare interesse a proposito i ritrovamenti effettuati recentemente durante gli scavi per la costruzione della nuova sede autostradale tra le località di Poverio e Divaccia, in Slovenia, nei pressi del confine italo-sloveno. A profondità variabili tra il metro e le decine di metri sono state rinvenute decine di depositi contenenti, oltre a ciottoli di arenaria, sacche di sabbie silicee frammiste a illite, microclino, plagioclasi, caolinite, clorite, goethite, gibbsite. Questi depositi, intrappolati in prossimità della superfice, sono una precisa testimonianza dell'azione progressiva di degradazione del flysch attraverso un complicato processo di asporto in sospensione delle sabbie quarzose frammiste ai residui, non alterati, di feldispati, con successivo deposito dei prodotti secondari di alterazione quali i fillosilicati e gli ossidi ed idrossidi di ferro ed alluminio (Mihevc et al., 1996). Il contenuto medio indicativo di questi depositi è illustrato in fig. 3).

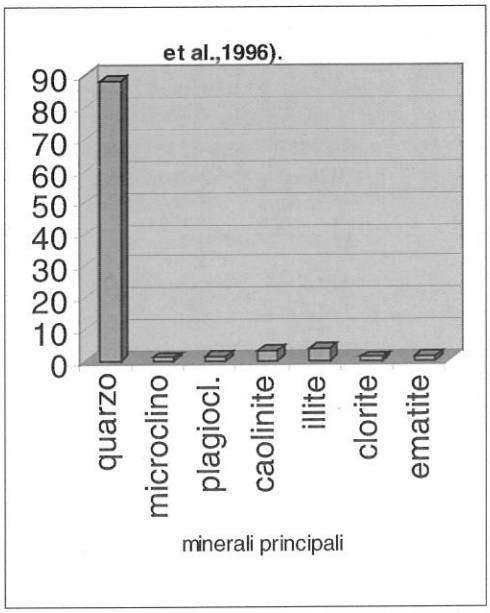

Fig.3: Composizione minerale percentuale media di sabbie silicee rinvenute in prossimità della superficie carsica presso Poverio (Slovenia) e provenienti da processi di degradazione del flysch.

Di seguito vengono riportate ad esempio in tab. 1) le composizioni medie indicative di acque provenienti dal flysch in diverse situazioni naturali che rispecchiano questa fase di prima degradazione (quantità espresse in mg/l).

Da un primo esame dei dati si osserva come calcio e bicarbonato sono sempre presenti in maggiore quantità rispetto alle altre specie ioniche ad eccezione di marne argillose e suoli argillosi derivanti dalla degradazione delle marne, e ciò è diretta conseguenza del fatto che il processo di corrosione iniziale del flysch ad opera delle piogge e degli scorrimenti idrici superficiali avviene priorita-

Tipologia di riferimento	SiO_2	Ca	Mg	Na	K	Cl	NO_3	SO_4	HCO_3	pH
Affioramenti flysch	1	8	1	1	0,2	1,5	0,1	0,9	26	7,2
Affioramenti arenaria	0,8	10	0,2	0,4	0,2	0	0	0,2	31	7,7
Affioramenti marna	2,5	3	0,5	0,4	0,3	0,2	0,3	0,5	10	6,9
Suoli argillosi da flysch	3,5	0,3	0,2	0,1	0,1	0,4	0,3	0,6	1	5,9
Torrenti nel flysch	2,5	15	2	2,1	0,9	3	0,4	2,9	39	7,5
Timavo superiore	4,5	62	6	6	2	9	5	14	210	7,1
Sorgenti nel flysch	1,5	15	2	2	1	3	1	2	58	6,4
Basso Vipacco	4,3	55	5	3	1,4	4,5	1,2	15	200	7,5

Tab. 1

riamente attraverso la solubilizzazione quasi completa del cemento calcitico a cui segue il disfacimento della struttura della roccia, con formazione di sabbie, gran parte delle quali entrano in sospensione e si ridepositano in fasi successive di trasporto.

Il contenuto cationico riscontrato nelle analisi delle singole tipologie di acque di flysch non è però sempre necessariamente un bilancio completo di dissoluzione delle rocce in quanto, in diverse situazioni, l'apporto cationico nelle acque è condizionato da diversi elementi quali il suolo, l'attività biologica, le piogge e gli inquinamenti antropici (ad esempio il potassio nei corsi d'acqua principali) che rilasciano cationi.

Per quanto riguarda le specie anioniche (Cl^-, NO_3^- e SO_4^{2-}) sono anch'esse legate ai fattori esterni, quali inquinamento atmosferico (piogge acide), fertilizzanti e produzione batterica del suolo.

Per evidenziare il rilascio di cationi e di acido metasilicico un campione di arenaria del flysch è stato immerso in acqua piovana avente un pH originario uguale a 5,9 e una conducibilità specifica di 1,9 microSiemens/cm a 10°C (acqua piovana quasi pura).

Il campione presentava una superficie di 26 cm^2 e la soluzione acquosa un volume di 100 cc. alla temperatura di 10°C. L'esperimento consisteva nel misurare la variazione del pH della soluzione acquosa in funzione del tempo di immersione e la concentrazione cationica dopo 15 minuti di immersione.

Si è osservato come il pH aumenti rapidamente da 5,9 a 7,5 nei primi 15 minuti di immersione con un rilascio di cationi di Ca pari a 5 mg/l.

La soluzione raggiunge un certo equilibrio dopo circa 15 minuti con un pH di 8,1 e con un rilascio complessivo di circa 5 mg/l di Ca, 1 mg/l di Na, 0,9 mg/l di SiO_2, 0,5 mg/l di K e 0,5 mg/l di Mg. L'esperimento descritto non può essere considerato un modello di studio in quanto il rilascio di cationi in soluzione decresce rapidamente all'aumentare del pH per progressiva perdita di aggressività dell'acqua in una soluzione a volume determinato e senza ricambio ed il tipo di misura non può rispecchiare assolutamente la cinetica del rilascio di cationi che avviene in natura con il costante ricambio d'acqua sulle superfici dei litotipi.

I risultati ottenuti hanno comunque consentito di accertare che, almeno per il litotipo arenaceo studiato, c'è un effettivo e continuo rilascio cationico che influisce nella composizione generale delle acque provenienti dal flysch e soprattutto nei rapporti quantitativi tra le singole specie ioniche.

Minore, rispetto all'arenaria, è l'intensità di dissoluzione specifica nei litotipi marnosi probabilmente perché la struttura dei fillosilisicati presenti in maggiore quantità rispetto alle arenarie forma barriere ai processi dissolutivi sugli affioramenti ma in effetti la marna subisce in superficie una forte azione erosiva ad opera delle piogge, del clima e della vegetazione con disgregazione meccanica e frantumazione della roccia cui segue una altrettanto veloce dissoluzione.

Durante i complessi processi di alterazione del flysch triestino e dei silicati che lo compongono si producono nuovi minerali chiamati prodotti secondari, in particolare le argille composte in massima parte da fillosilicati quali l'illite, la clorite e la caolinite. La formazione di questi prodotti secondari è essenzialmente dovuta alla scarsa solubilità dei composti dell'alluminio che vanno a formarsi nell'alterazione del flysch.

Gli estremi prodotti di alterazione del flysch sono quindi gli ossidi ed idrossidi di alluminio e ferro.

Per una più approfondita conoscenza del fenomeno riguardante i prodotti finali di alterazione del flysch, in particolare per l'area oggetto di studio, si consiglia la lettura degli studi di Sinkovec-1974, Lenaz, et al.-1996, Cancian et al.-2000.

La silice nelle acque del territorio triestino

I valori statistici delle migliaia di analisi di acque eseguite nel corso di molti anni da parte di vari enti e ricercatori tendono comunque a rilevare come la prima fase della degradazione del flysch, legata strettamente all'azione dell'acqua piovana, porta in soluzione quantità variabili delle specie ioniche che si presentano in rapporti diversi ma sempre con una netta predominanza di Ca^{2+} e HCO^-.

Ciò che interessa ai fini del presente lavoro è che la concentrazione di SiO_2 in soluzione nelle acque del territorio triestino

scorrenti sul flysch si mantiene sempre entro limiti compresi tra 1 e 6 mg/l a seconda dei tempi di contatto tra acqua e roccia, delle temperature e del pH. Questa caratteristica si conferma anche nella correlazione tra tutte le acque presenti nel territorio triestino e nelle aree circostanti (Carso triestino, Carso sloveno, Istria) interessate da scorrimenti nei calcari e nei calcari-dolomitici.

In figura 4) sono riportate le curve cumulative di frequenza relative alla concentrazione delle principali singole specie ioniche presenti nelle acque del territorio. In ascisse sono riportate le concentrazioni in mg/l (scala logaritmica), in ordinate le frequenze percentuali. La tabella è stata costruita sulla base dei dati di circa 1500 analisi di acque del territorio. I dati sono stati ricavati in parte dalla numerosa bibliografia esistente in materia, in parte dai risultati delle analisi svolte dal dott. Gemiti del Laboratorio analisi acque dell'Acega di Trieste dagli anni settanta in poi, in parte dalle analisi eseguite dallo scrivente. Le curve cumulative di frequenza sono state costruite prendendo in considerazione, secondo una metodologia statistica, le zona delle risorgive (Timavo, Sardotsch, ecc.), i corsi d'acqua sul flysch (Timavo sup., Vipacco, Ospo, Risano, ecc.), le sorgenti, le acque di infiltrazione (acque di percolazione), le acque di fondo (grotte di Trebiciano, Skilan, Lindner, le acque provenienti dagli affioramenti, ecc.

Dall'esame della figura 4) risulta che la silice SiO_2 in soluzione nelle acque (curva contrassegnata in grassetto) presenta un campo di esistenza relativamente costante, abbastanza stabile e caratterizzato da concentrazioni medie che variano, a seconda delle tipologie d'acqua, da 0,5 mg/l a 6,5 mg/l ma con una netta predominanza quantitativa dei valori tra i 1,5 mg/l ed i 5mg/l. Questi valori medi si riscontrano soprattutto nelle acque dei corsi principali, nel corso sotterraneo ed alle risorgive di Duino. Non si riscontrano invece variazioni stagionali dei valori stessi mentre sembra che vi siano correlazioni tra portate e silice presente in soluzione.

Di seguito sono indicate le concentrazioni minime e massime, in mg/l, di SiO_2 in soluzione rilevate nei principali corpi acquiferi dell'area studiata:

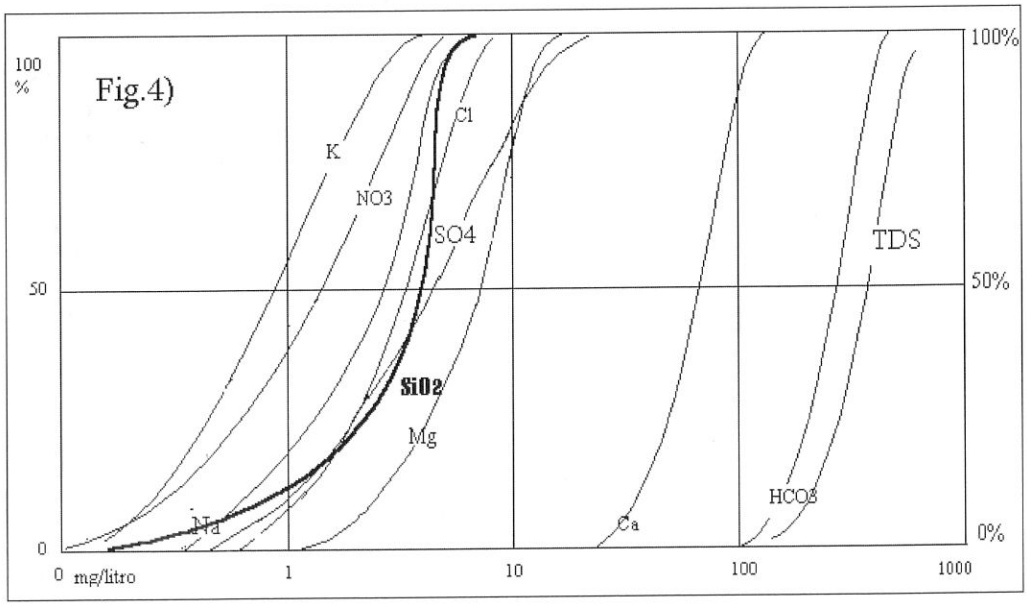

Fig. 4: Curve cumulative di frequenza relative alla silice ed ai singoli ioni in soluzione presenti nelle acque di Trieste e dei territori circostanti (Istria, Carso triestino, Carso sloveno, Risorgive del Timavo, Vipacco, alto Timavo). Le curve sono state elaborate sulla base di circa 900 analisi chimiche eseguite negli ultimi 30 anni da vari Enti, Istituti e singoli ricercatori su centinaia di tipologie e corpi d'acqua.

Corpi acquiferi	min. mg/l di SiO_2	max. mg/l di SiO_2
Alto Timavo	2,5	4,5
G. di Trebiciano	1,7	4,7
G. Jerko	1,9	4,3
Risorg. Timavo	4,0	5,1
Sorg. Vipacco	0,3	0,9
Vipacco	1,5	5,5
Torrenti della Birchinia	1,5	6,5
Acque di percolazione	0,5	2,5

Si tratta di valori indicativi, suscettibili di rettifiche, tenuto conto del fatto che non sono mai state condotte ricerche sistematiche continuative in tale settore.

I risultati ottenuti dalle analisi confermano un dato estremamente indicativo:
«i valori delle concentrazioni di SiO_2 nelle acque dell'area studiata entrano tutti esclusivamente nel campo della solubilità del quarzo, escludendosi quindi la presenza, nei sedimenti del flysch, di silice allo stato amorfo».

Il calcolo per la determinazione della solubilità del quarzo nell'acqua, avviene per interpretazione dei dati sperimentali di van Lier (1959) e Siever (1962) dai quali è possibile ricavare la seguente equazione empirica:

$$-\log_{10} C = -0{,}151 + 1{,}162 \times 1 / T \times 10^3$$

dove:
C = concentrazione in millimoli di SiO_2
T = temperatura assoluta in gradi Kelvin

Per l'area studiata la temperatura media delle acque è circa 11°C corrispondente a 273,16 + 11 = 284,16 Kelvin.
Alla temperatura di 11°C il colog di C = $-0{,}151 + 1{,}162 \times (1 / 284{,}16) \times 1000 = 3{,}916$
$C = 10^{-3,\,916} = 0{,}00012$ moli/litro = 0,12 millimoli/l di SiO_2
0,12 millimoli/l corrispondono a 0,12 × 60 (grammo-mole di SiO_2) = 7,2 mg/l
La massima solubilità del quarzo nell'acqua a 11°C è quindi teoricamente pari a circa 7,2 mg/l.

Nell'area studiata valori elevati di silice (circa 22 mg/l) sono stati accertati solo nelle acque termali di Monfalcone e ciò è giustificabile dal fatto che la silice amorfa (allo stato colloidale) è presente ad elevate temperature, tipiche delle acque termali (dati di Mosetti, (1983) e riferiti alle analisi di B. Doro). Peraltro la presenza, in natura, di concentrazioni superiori ai 7 mg/l di silice nell'acqua dovrebbe necessariamente essere attribuita alla presenza di silice colloidale.

Conclusioni

Nelle acque del territorio triestino, Carso triestino ed aree limitrofe, la presenza della silice in soluzione nelle acque superficiali e profonde è costante ed è una conseguenza del processo intenso di degradazione che interessa la formazione del flysch.

Le molteplici ricerche e le centinaia di analisi condotte su tutte le tipologie di acque hanno accertato, salvo qualche eccezione, concentrazioni medie di SiO_2 variabili tra 0,2 e 6,5 mg/l.

Le maggiori concentrazioni (> 3 mg/l) sono rilevate nei corsi d'acqua principali, superficiali e profondi.

Le concentrazioni minime (< 3 mg/l) sono rilevate nelle acque di percolazione che attraversano la compagine stratigrafica calcarea del Carso triestino e, in questo caso, la silice proviene dal suolo.

Il livello di concentrazione di SiO_2 in soluzione consente di dedurre che tutta la silice è originata dalla soluzione dei feldispati, dei plagioclasi e dei fillosilicati, oltre che del quarzo, presenti come minerali principali nei litotipi del flysch. I livelli di SiO_2 nel territorio triestino e nelle aree circostanti escludono la presenza significativa, nelle rocce dell'area, di silice amorfa la cui solubilità, a 10°C, è di circa 70 mg/l.

È invece possibile ritrovare tracce di silice amorfa in corrispondenza delle terme di Monfalcone (area delle risorgive del Timavo) in considerazione delle manifestazioni idrotermali presenti in profondità.

Non risultano esistere relazioni precise tra la durata del percorso dell'acqua sui terreni del flysch e la concentrazione di SiO_2. Esistono invece relazioni tra i singoli litotipi. Secondo i risultati della ricerca e a livello di affioramenti in superficie, l'arenaria alterata rilascia silice in soluzione in minore quantità del litotipo marnoso. Nella marna il processo di soluzione di SiO_2 è parzialmente accelerato dalla presenza di feldspati e plagioclasi alterati e dalla particolare struttura dei fillosilicati, presenti in maggiore quantità. Maggiore è il

rilascio di SiO_2 da parte delle terre derivanti dal disfacimento delle marne. Oltre un certo percorso dell'acqua, le concentrazioni possono variare solamente per miscelazione con altre acque non superando mai i 6 mg/l circa.

Non esistono misurazioni né dati disponibili riguardo le quantità di rilascio in soluzione di SiO_2 da parte dei grandi accumuli di sabbia silicea presenti sotto la superficie carsica. Dato il grande valore del rapporto tra superficie dei granuli di quarzo ed il volume d'acqua interstiziale, tipico delle sacche di sabbia, e la presenza nella sabbia stessa di frammenti di fillosilicati è molto probabile che i depositi della sabbia silicea del Carso contribuiscano ad elevare il tenore di SiO_2 nell'acqua interstiziale elevando così il tenore medio di silice nelle acque di fondo. Dalle ricerche condotte sembra difficile, nel territorio triestino e nelle aree circostanti pensare all'utilizzo della silice come tracciante naturale.

Ringraziamenti

Un ringraziamento al dott. Fabio Gemiti per la comunicazione di numerosi ed importanti dati sulla composizione chimica delle acque della Provincia di Trieste.

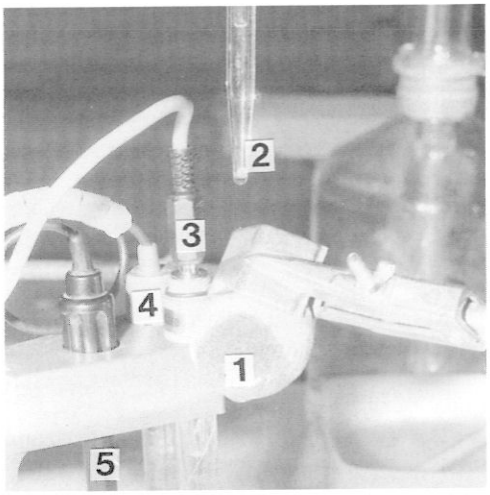

Fig.5: Prove di corrosione su litotipo arenaceo di flysch. Acqua piovana quasi pura e a pH=5,9 utilizzata come simulatore di acqua piovana, viene fatta gocciolare (p.to 2) su un campione di arenaria (p.to 1). Le variazioni dei parametri fisico-chimici dell'acqua raccolta vengono seguite con misure in continua di pH e potenziale Redox in mV (p. to 3), conducibilità elettrolitica (p.to 4) e temperatura (p.to 5). Le misure vengono effettuate in tempi diversi, a più velocità di stillicidio d'acqua e su campioni diversi. Il sistema consente di verificare in tempi reali la capacità neutralizzante (capacità tampone) del flysch ed il grado di mineralizzazione delle acque conseguente ai processi di idrolisi che avvengono sulla superficie delle rocce (foto Merlak).

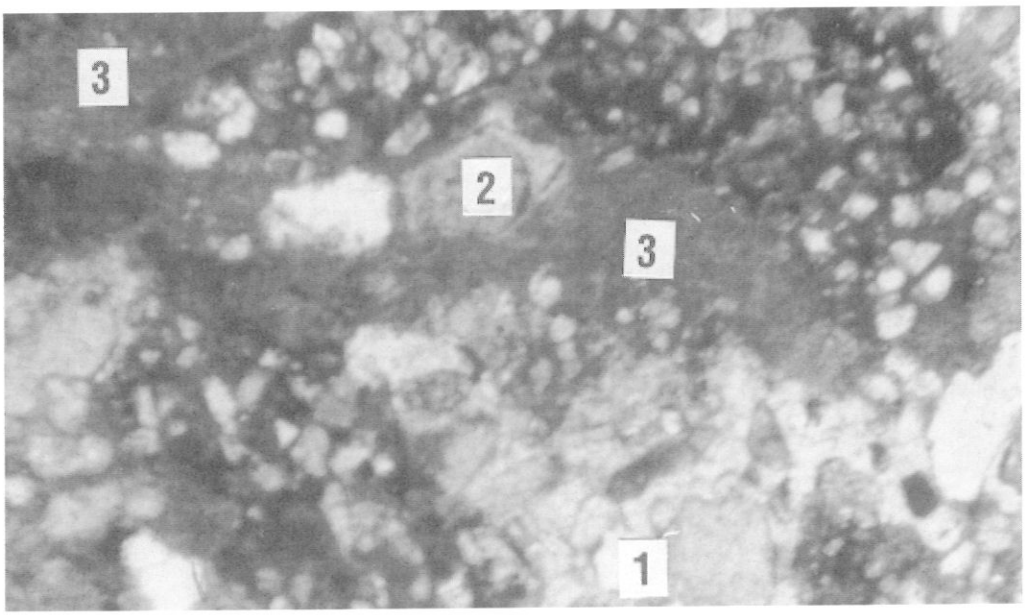

Fig.6: Sezione sottile x 44 di marna, proveniente da litotipo del flysch presso Trieste.
Si osserva l'irregolarità della struttura rispetto all'arenaria, con quarzo (p.to l), plagioclasio (p.to 2), cemento calcitico (p. ti 3) e frammenti di miche e cristalli diversi.

Bibliografia

APPELO C.A.J., & POSTMA D. (1999): *Geochemistry, groundwater and pollution*. A.A. Balkema. Brookfield Rotterdam pag.536.

ARMBRUSTER V., & LEIBUNDGUT C. (1997): *The use of silica to caractherise the allogenic flysch component in Vipava springs during the observation of single event*. Acta carsologica XXVI, 1: (206-212).

CANCIAN G., & PRINCIVALLE F. (2000): *Le «Argille e sabbie gialle» della grotta Regina (Carso Goriziano)*. Atti Museo Civico Storia Naturale di Trieste, vol 48: (59-68).

CANCIAN G. (2000): *The yellow silty sands in the cave fill deposits of the Trieste karst: granulometry, mineralogy and geochemistry*. Ipogea n. 3: (39-55).

DE SIMON G. (1996): *La penisola di Muggia. Cenni su alcuni aspetti e correlazioni ambientali di un lembo d'Istria*. Boll. della Soc. Adriatica di Scienze Nat. Trieste, vol. LXXVII:(49-57).

FORTI F. (1998): *Condizionamenti idrogeologici tra calcare e flysch*. Da «Il carsismo nel flysch». Sopra e sotto il Carso, vol.4:(30-35).

GALLI M. (1999): *Timavo- Esplorazioni e studi*. Suppl.23 ad Atti e Memorie della Comm. Grotte E. Boegan.

GALLI M. (2000): *Il Timavo. Una sintesi idrogeologica. In alto*. Cronaca della Società Alpina Friulana, vol. LXXXII: 55-90.

LENANZ D., DE MIN A., LONGO SALVADOR G., & PRINCIVALLE F. (1996): *Caratterizzazione mineralogica della terra rossa di dolina del Carso triestino*. Boll. della Soc. Adriatica di Scienze, LXXVII: (59-67).

LIER J.A. VAN. (1959): *The solubility of quartz*. Utrecht. Kemink en Zoon, (54 pp).

MIHEVC A. (1994): *Birchini contact karst*. Acta Carsologica XXIII, Lubliana,(100-109).

MIHEVC A. (1989): *Contact karst near Kacice and ponor cave Mejame*. Acta Carsologica Ljubljana, 18: (171-195).

MIHEVC A., & ZUPAN HAJNA N. (1996): *Clastic sediments from dolines and caves found during the construction of the motorway near Divaca, on the classical Karst*. Acta carsologica, XXV: (169- 189).

MILLOT G. (1970): *Geology of clays*. Springer Verlag, New York, (429pp.).

MOSETTI F. (1983): *Sintesi sull'idrologia del Friuli- Venezia Giulia*. Quaderni e.t.p. Rivista di Limnologia, numero 6: (296pp.).

PLACER L. (1981): *Geologic structure of southwestern Slovenia*. Geologija 24/Liubljana (27-60).

SIEVER R. (1962): *Silica solubility and diagenesis of siliceous sediments*. The Journal of Geology, vol 70. n2: (127-150).

SINKOVEC B. (1974): *The origin of terra rossa in Istre*. Geol. Vjesnik, vol.27: (227-237).

WEY R., & SIFFERT B. (1961): *Reactions de la silice monomoleculaire en solution avec le ions Al3+ et Mg2+. Genèse et synthèse des argiles*. Coll. Intern. C.N.R.S. 105: (11-23).