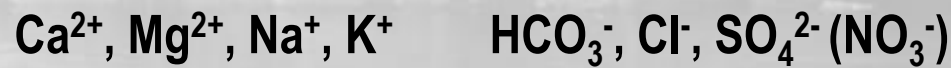


Classificazione chimica delle acque naturali

Per classificazione chimica delle acque si intende il riconoscimento di gruppi di acque con caratteristiche chimico fisiche omogenee e distinguibili da altri gruppi.

La classificazione chimica delle acque si avvale di differenti diagrammi interpretativi quali i diagrammi quadrati di Langelier e Ludwig, bitriangolari di Piper, diagrammi di Stiff, di Schoeller e di salinità e/o altri diagrammi.

Partendo dalla considerazione che gli ioni fondamentali disciolti nelle acque naturali sono:



Altri 3 parametri risultano fondamentali:

Temperatura (T), conducibilità elettrica (EC), pH

Classificazione chimica delle acque naturali: le unità di misura

La concentrazione delle sostanze disciolte nelle acque può essere riportata in differenti unità di misura che dipendono dall'obiettivo della presentazione così come dalla tradizione.

mg/L	milligrammi per litro di campione
µg/L	microgrammi per litro di campione
ppm	parti per milione su peso del campione
ppb	parti per miliardo su peso del campione
mmol/L	millimoli per litro di campione
µmol/L	micromoli per litro di campione
meq/L	milliequivalenti per litro di campione
mmol_c/L	milliequivalenti per litro di campione
M	molalità, moli per kg di H₂O
mM	millimoli per kg di H₂O
N	equivalenti per litro

} mg/L (µg/L) / p.m.

Qual è la migliore?

**ANALISI CHIMICA
E FISICO-CHIMICA
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PAVIA
Pavia, 15 Luglio 2013**

Residuo fisso a 180°C	139 mg/L	Anidride carbonica libera	
pH alla temperatura dell'acqua		alla sorgente	3,7 mg/L
alla sorgente	8,0	Temperatura	
Conducibilità elettrica		alla sorgente	10,4 °C
specifica a 20°C	216 µS/cm		

ELEMENTI CARATTERIZZANTI IN mg/L

Bicarbonati	HCO ₃ ⁻	103	Magnesio	Mg ²⁺	6,2
Calcio	Ca ²⁺	32,0	Nitrati	NO ₃ ⁻	2,9
Solfati	SO ₄ ²⁻	22,0	Potassio	K ⁺	0,8
Cloruri	Cl ⁻	8,5	Fluoruri	F ⁻	<0,1
Silice	SiO ₂	7,0	Ione Ammonio	NH ₄ ⁺	<0,05
Sodio	Na ⁺	6,4	Nitriti	NO ₂ ⁻	<0,002
Durezza totale in gradi francesi (°f):					10,6

Conservare in un luogo fresco, asciutto, pulito e senza odori, al riparo dalla luce e da fonti di calore. Si consiglia di non congelare la bottiglia e di richiuderla dopo l'uso.

Esempi di ricalcolo delle unità di misura

1) 1 mmol di gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) si solubilizza in acqua.

La concentrazione della soluzione aumenta di quanti mg/L in Ca^{2+} e in SO_4^{2-} ?

40,08 mg/L di Ca^{2+} e 96,06 mg/L di SO_4^{2-} (= 32,06 mg di S e 4 x 15,9994 mg di O)

2) Un corso d'acqua presenta una concentrazione di Na^+ di 1,2 mg/L. Voglio esprimere le concentrazioni in mmol/L partendo da mg/L

$1,2 / 22,99 = 0,052$ mmol/L di Na^+

3) Quale è il numero di ioni (o molecole) di Na^+ nell'acqua?

$0,052 \times 10^{-3} \times 6,022 \times 10^{23} = 3,11 \times 10^{19}$ ioni di Na^+ in un litro di acqua!

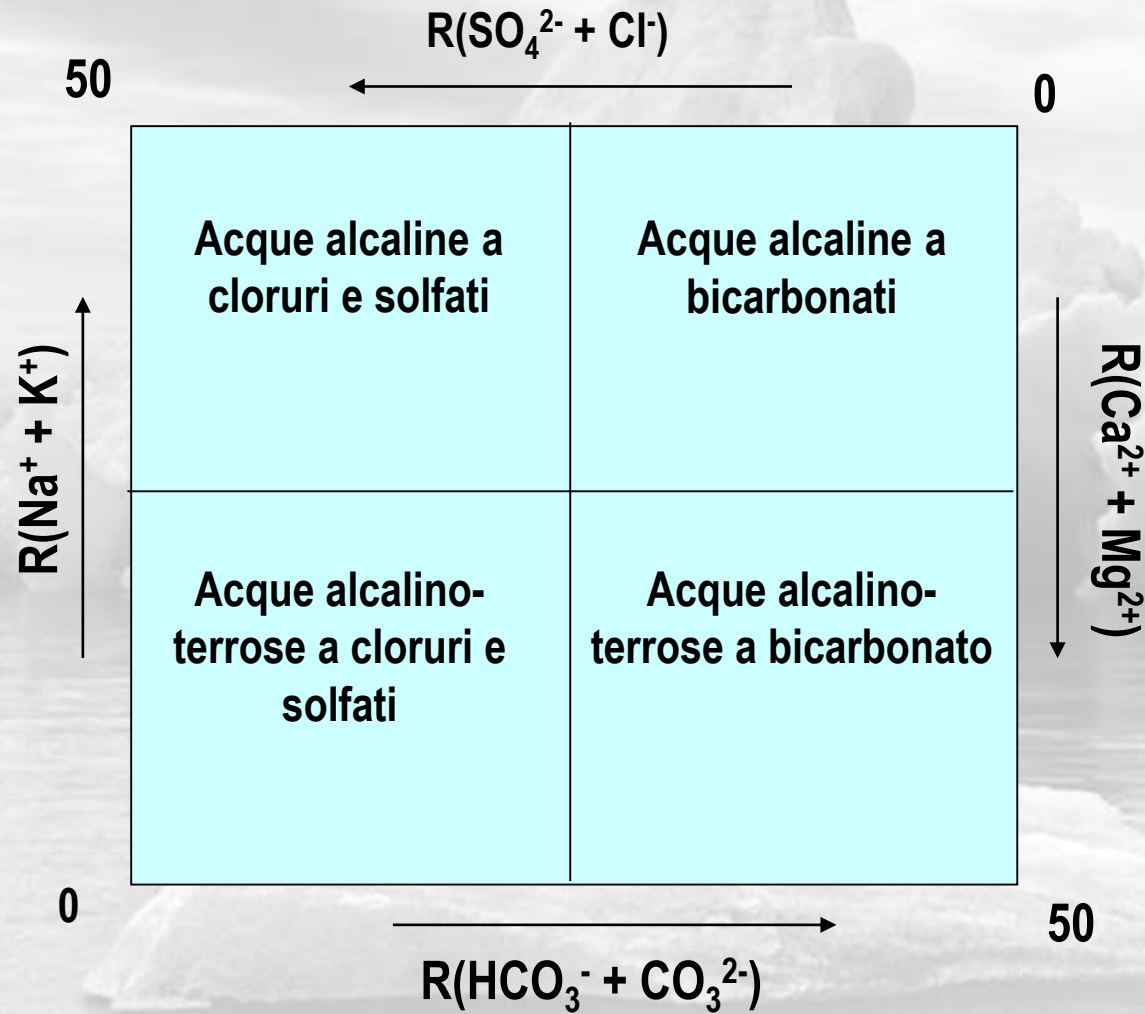
4) Come faccio a sapere la carica apportata dagli ioni in una determinata soluzione considerando che la somma delle cariche positive e negative deve essere in equilibrio (elettroneutralità della soluzione)?

$0,052$ mmol/L di $\text{Na}^+ \times 1 = 0,052$ meq/L

$1,8$ mmol/L di $\text{Ca}^{2+} \times 2 = 3,6$ meq/L

$0,41$ mmol/L di $\text{SO}_4^{2-} \times -2 = -0,82$ meq/L

Langelier e Ludwig classificarono le acque naturali utilizzando il grafico quadrato che prende il loro nome:



La costruzione del grafico deve tener conto di alcune considerazioni:

- le acque sono neutre dal punto di vista dell'equilibrio elettrico (elettroneutralità)
- sotto questa condizione la **sommatoria degli anioni e dei cationi**, quando espressi in **meq/l** cioè $([mg/l]/[P.M.]) \times carica$, deve risultare uguale.

Supponendo di fissare a 100 la \sum degli anioni e dei cationi in **meq/l**, deve risultare:

$$\sum cat = \sum an = 50$$

per procedere nella compilazione del grafico si devono calcolare i valori delle grandezze:



Le grandezze sono così definite:

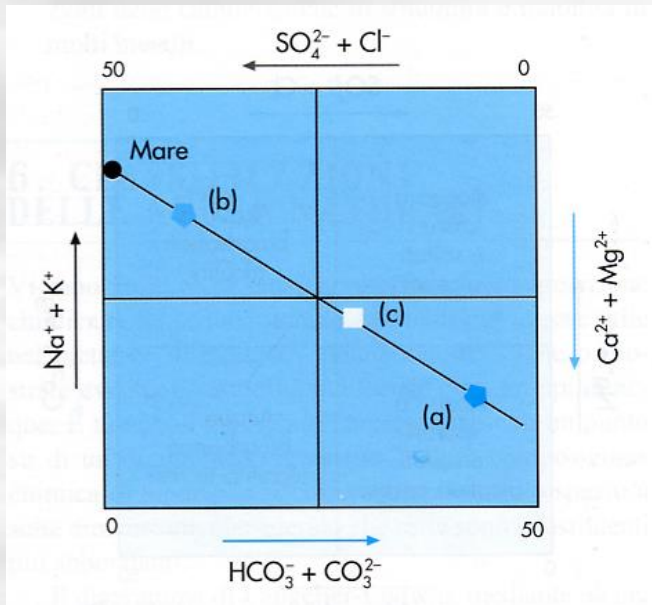
$$R(\text{Na}^+ + \text{K}^+) = \frac{[\text{Na}^+] + [\text{K}^+]}{\sum_{\text{cat}}} \cdot 50$$

$$R(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) = \frac{[\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}]}{\sum_{\text{cat}}} \cdot 50$$

$$R(\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}) = \frac{[\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}]}{\sum_{\text{an}}} \cdot 50$$

$$R(\text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^-) = \frac{[\text{SO}_4^{2-}] + [\text{Cl}^-]}{\sum_{\text{an}}} \cdot 50$$

Nei casi dove altri ioni sono particolarmente presenti si possono scegliere altri raggruppamenti per esprimere "R"

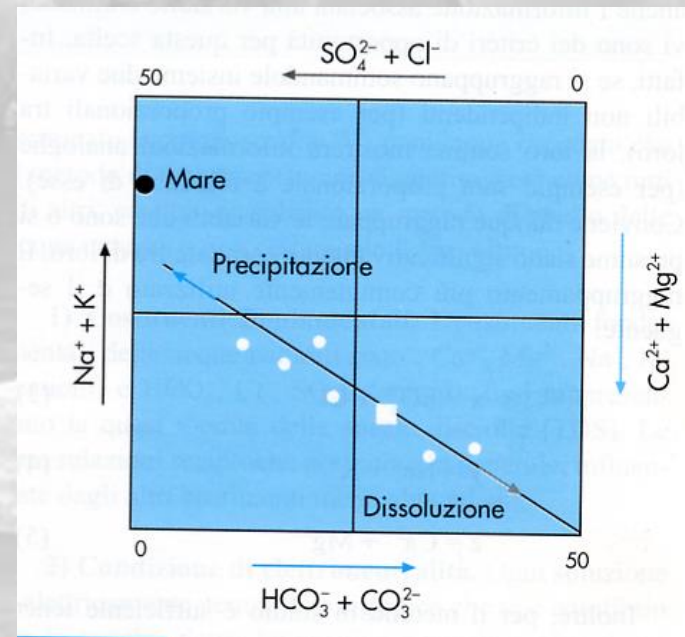


Si ha il vantaggio di confrontare più campioni ma lo svantaggio di perdere le informazioni originali.

Un allineamento dei punti suggerisce, ma non dimostra, influenza di acqua marina.

Punti coincidenti possono rappresentare campioni che differiscono tra loro.

Punti che si avvicinano o si allontanano dal vertice $Ca+Mg=50$ e $HCO_3^-+CO_3^{2-}$ indicano, rispettivamente, dissoluzione della calcite o precipitazione della stessa.



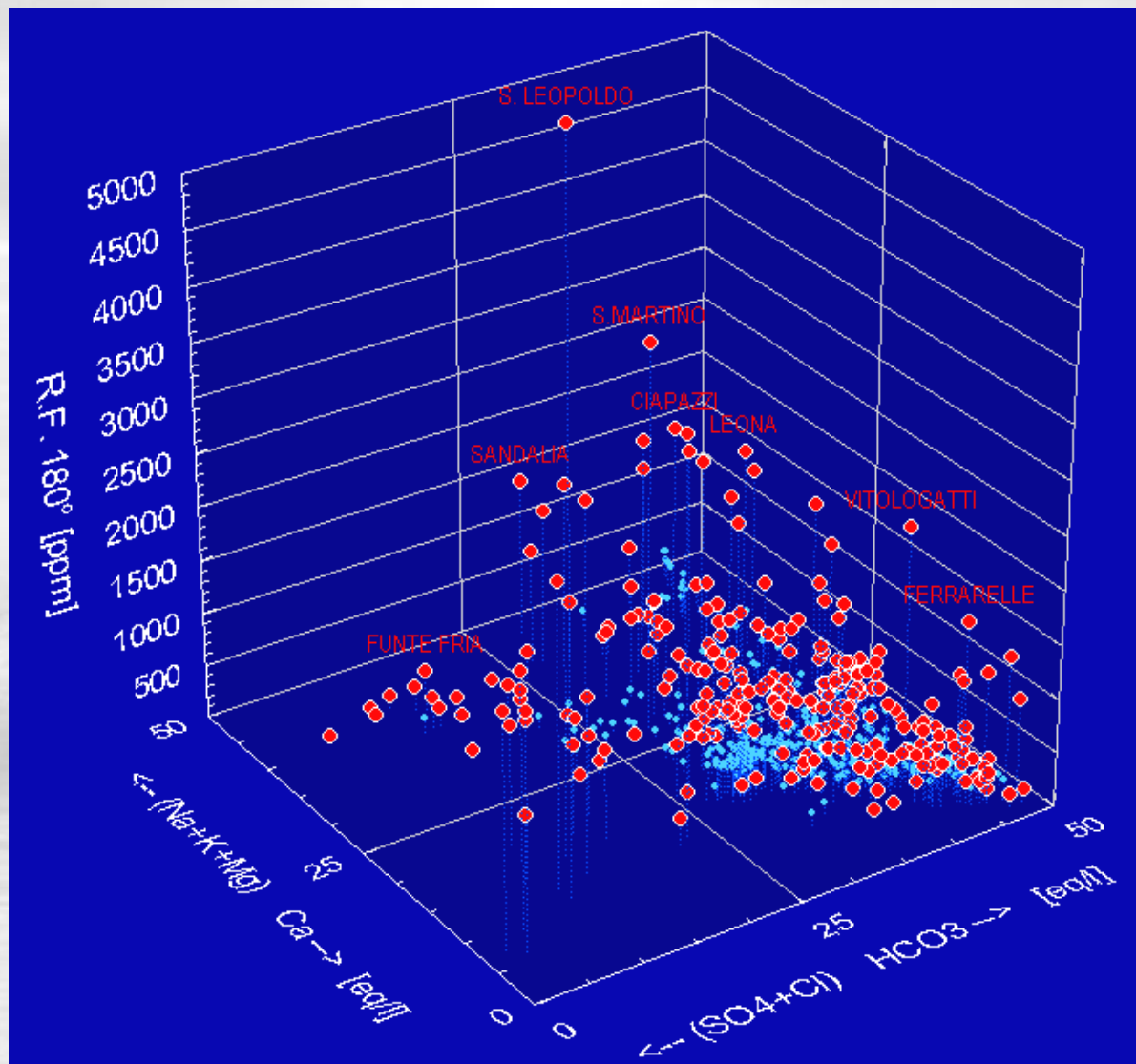


Diagramma di Langelier-Ludwig con il terzo asse (z) riferito al Residuo Fisso (180°C): confronto tra acque minerali in commercio (punti rossi) e acquedotti (punti azzurri) della Provincia di La Spezia (G. Brozzo, 2002).

Come possiamo valutare la bontà di un'analisi chimica di un campione d'acqua?

pH = 8.22
 Conducibilità = 290 $\mu\text{S/cm}$

	mg/l		Peso mol.	=	mmol/l		carica	=	meq/l
Ca^{2+}	42.5	/	40.08	=	1.06	x	2	=	2.12
Mg^{2+}	3.21	/	24.31	=	0.13	X	2	=	0.26
Na^+	13.7	/	22.99	=	0.60	X	1	=	0.06
K^+	1.18	/	39.1	=	0.03	X	1	=	0.03
							S⁺	=	+3.01
Cl^-	31.2	/	35.45	=	0.88	X	-1	=	-0.88
SO_4^{2-}	39	/	96.06	=	0.41	X	-2	=	-0.82
HCO_3^-	79.9	/	61.02	=	1.31	X	-1	=	-1.31
NO_3^-	1.3	/	62.0	=	0.02	X	-1	=	-0.02
							S⁻	=	-3.03

Condizione di elettroneutralità

$$\text{E. N. (\%)} = \frac{(S^+ + S^-)}{(S^+ - S^-)} \times 100$$

Esempio: $[3.01 + (-3.03)] / [3.01 - (-3.03)] \times 100 = [-0.02/6.04] \times 100 = -0.33\%$

**Un'analisi accettabile avrà una differenza inferiore al 10%,
sebbene < 5% è ottimale.**

**Significa che tutti gli ioni maggiori sono stati inclusi nel
sistema e l'analisi si definisce "completa"**

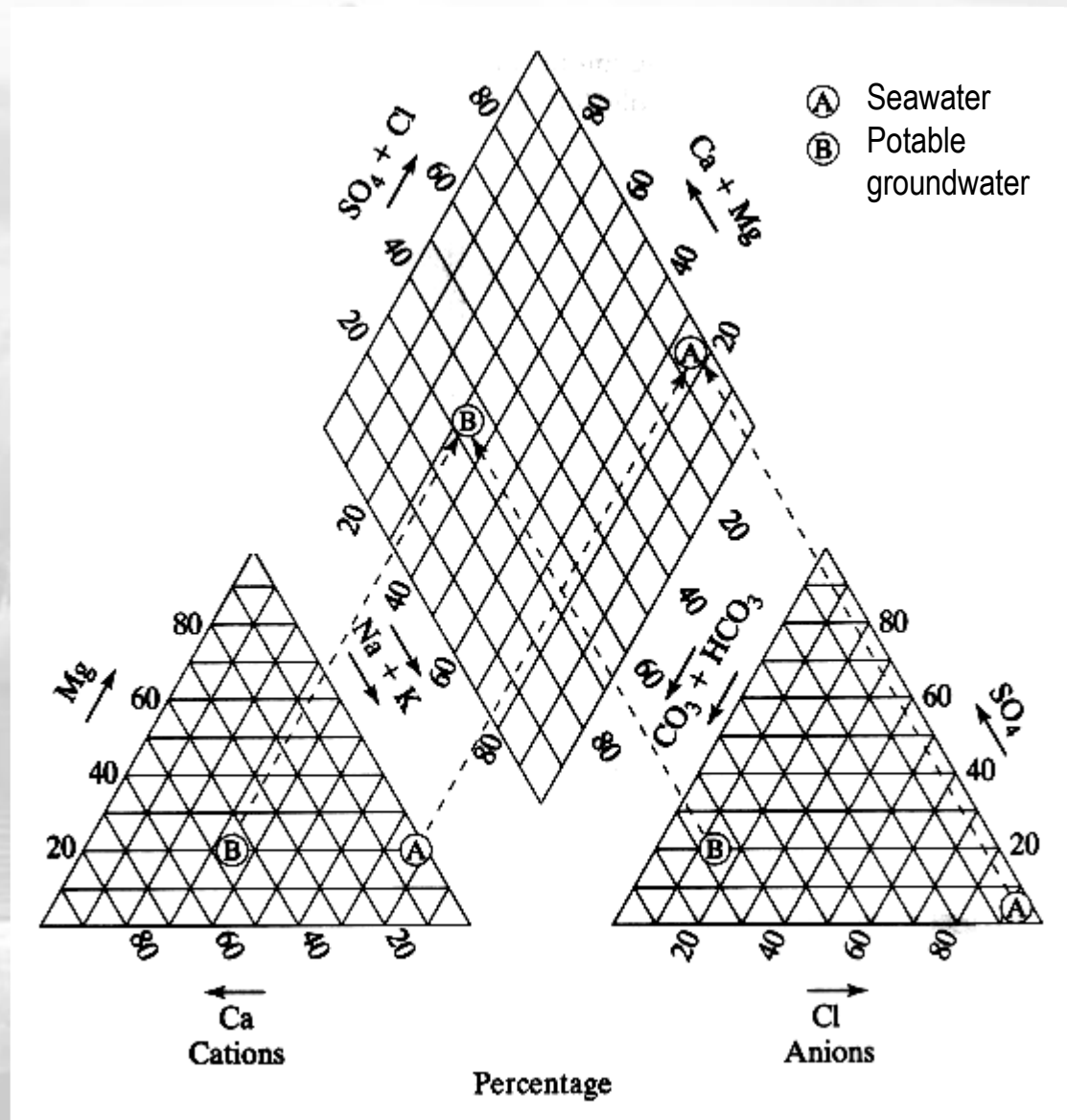
Se non c'è bilanciamento?

**non considerati ioni importanti quali Fe, Si, Al, o OH, NO₃
diluizioni errate
campioni molto diluiti
errori casuali o di calcolo
contaminazione dei campioni**

Diagramma di Piper

E' costituito da un rombo al di sotto del quale vi sono due triangoli equilateri, nei quali sono rispettivamente indicate le proporzioni tra le concentrazioni dei cationi Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ e K^+ , e degli anioni HCO_3^- , Cl^- e SO_4^- (esprese in meq/l e normalizzate a 100).

In base alla posizione che assume un determinato campione analizzato nei triangoli in basso si determina la diversa "facies chimica" dello stesso.



Ad ogni settore del rombo corrispondono acque a chimismo differente:

1) solfato-clorurato-alcalino-terrose

2) solfato-clorurato-alcaline

3) bicarbonato-alcaline

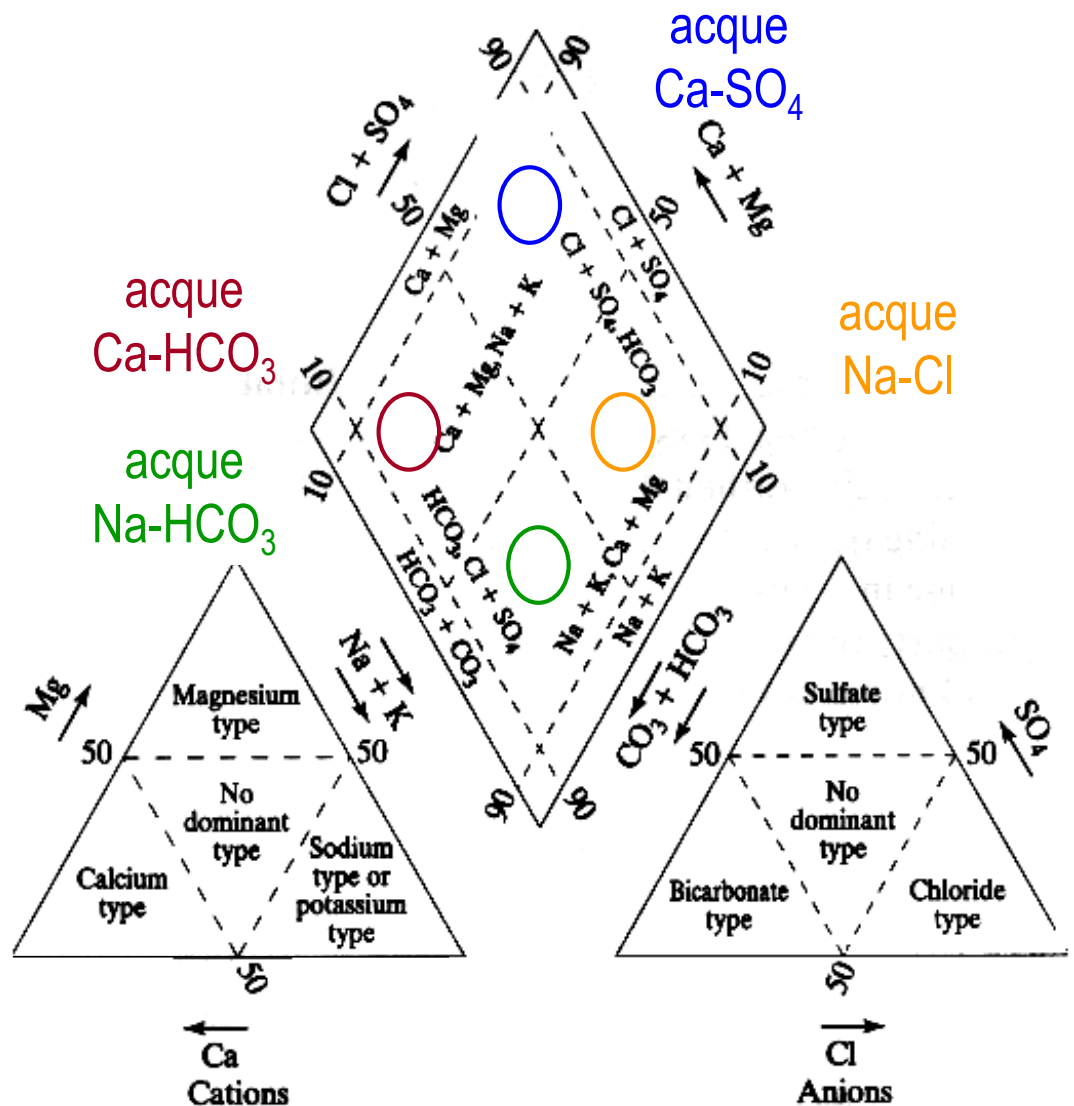
4) bicarbonato-alcalino-terrose

1) substrati gessosi

2) acque marine o acque sotterranee e profonde, antiche e saline

3) acque sotterranee non saline più profonde influenzate da processi di scambio ionico

4) falde poco profonde non saline e di substrati carbonatici



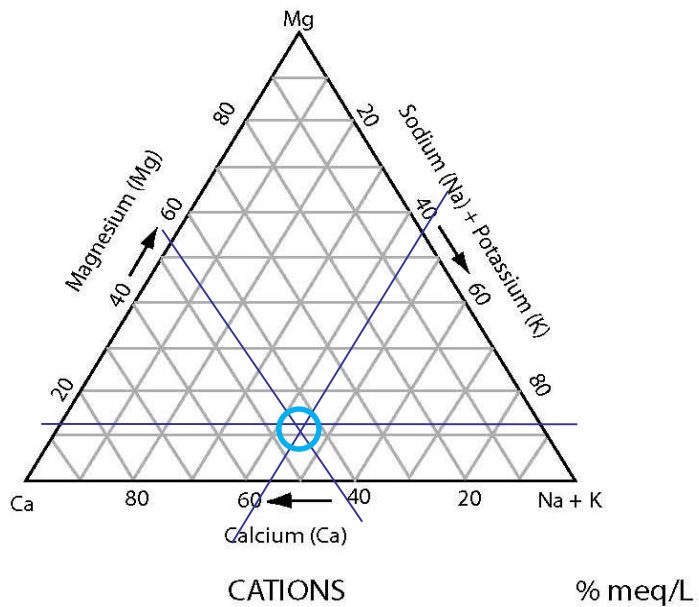
Esempio

% meq/l

Ioni	Conc. (mg/l)	carica	Peso mol.	Conc. (meq/l)	(% meq/l)
Ca ²⁺	151	+2	40.08	7.53	44.03
Mg ²⁺	23	+2	24.31	1.90	11.11
Na ⁺	165	+1	22.99	7.18	41.99
K ⁺	19	+1	39.10	0.49	2.86
meq/l cationi totali:				17.10	100
HCO ₃ ⁻	401	-1	61.02	-6.57	37.52
SO ₄ ²⁻	58	-2	96.06	-1.21	6.91
Cl ⁻	345	-1	35.45	-9.73	55.57
meq/l anioni totali:				-17.51	100

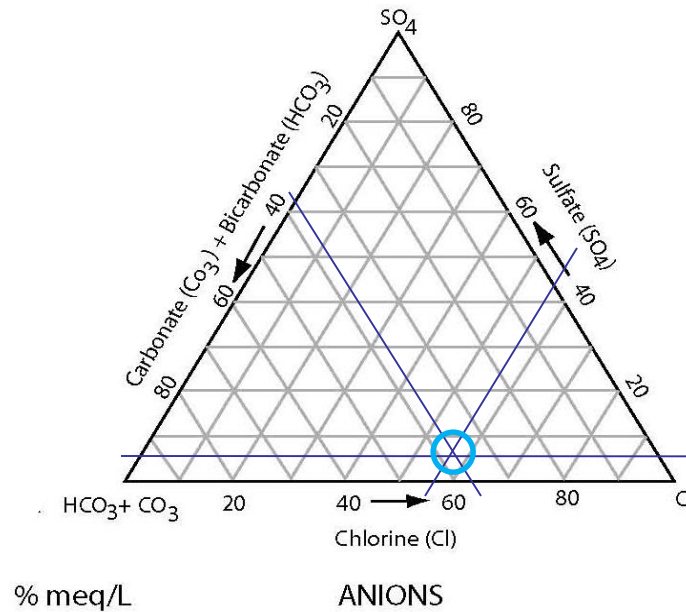
Cationi

Ioni	Conc. (mg/l)	carica	Peso mol.	Conc. (meq/l)	(% meq/l)
Ca²⁺	151	+2	40.08	7.40	44.03
Mg²⁺	23	+2	24.31	1.91	11.11
Na⁺	165	+1	22.99	7.18	41.99
K⁺	19	+1	39.10	0.49	2.86

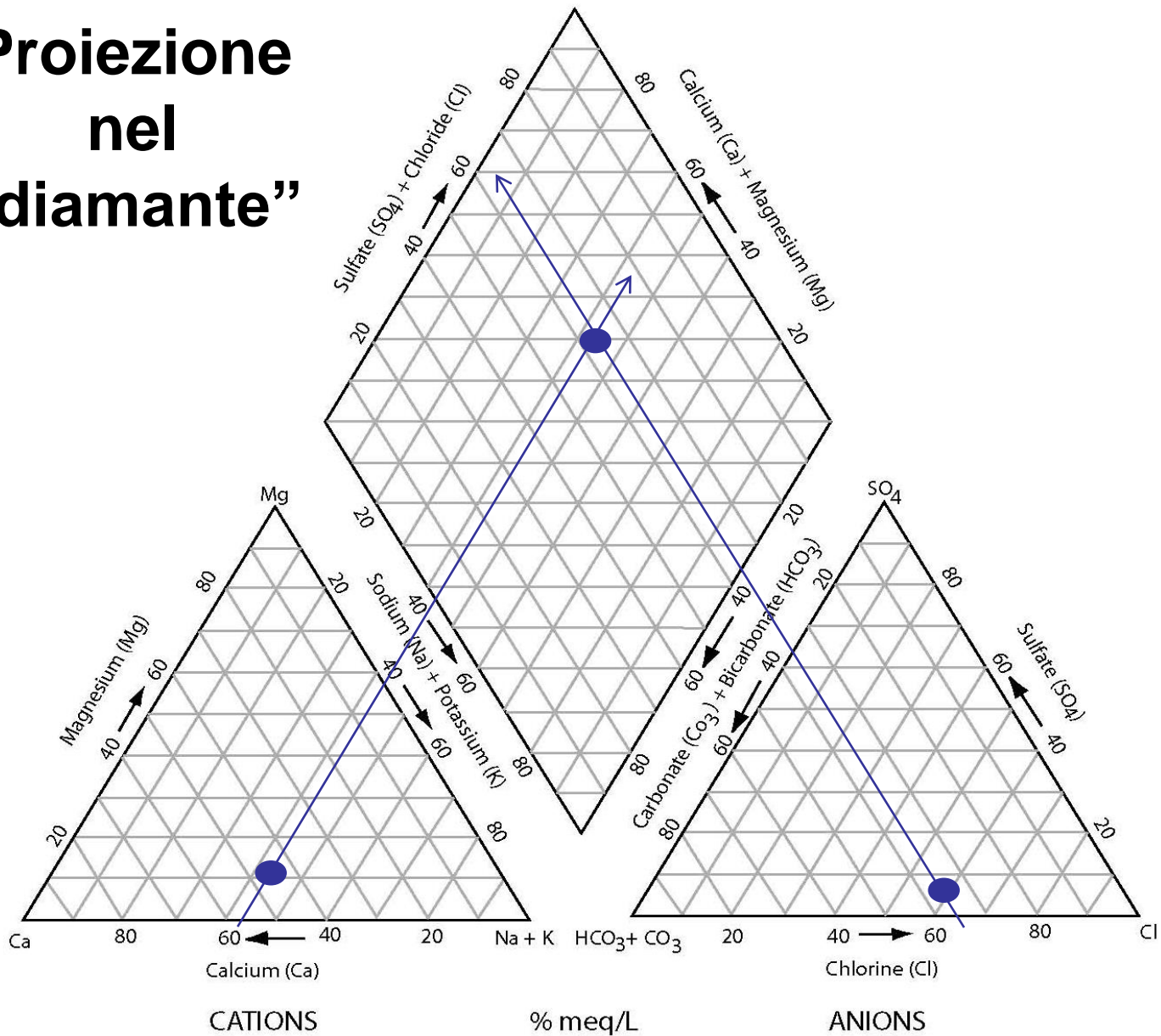


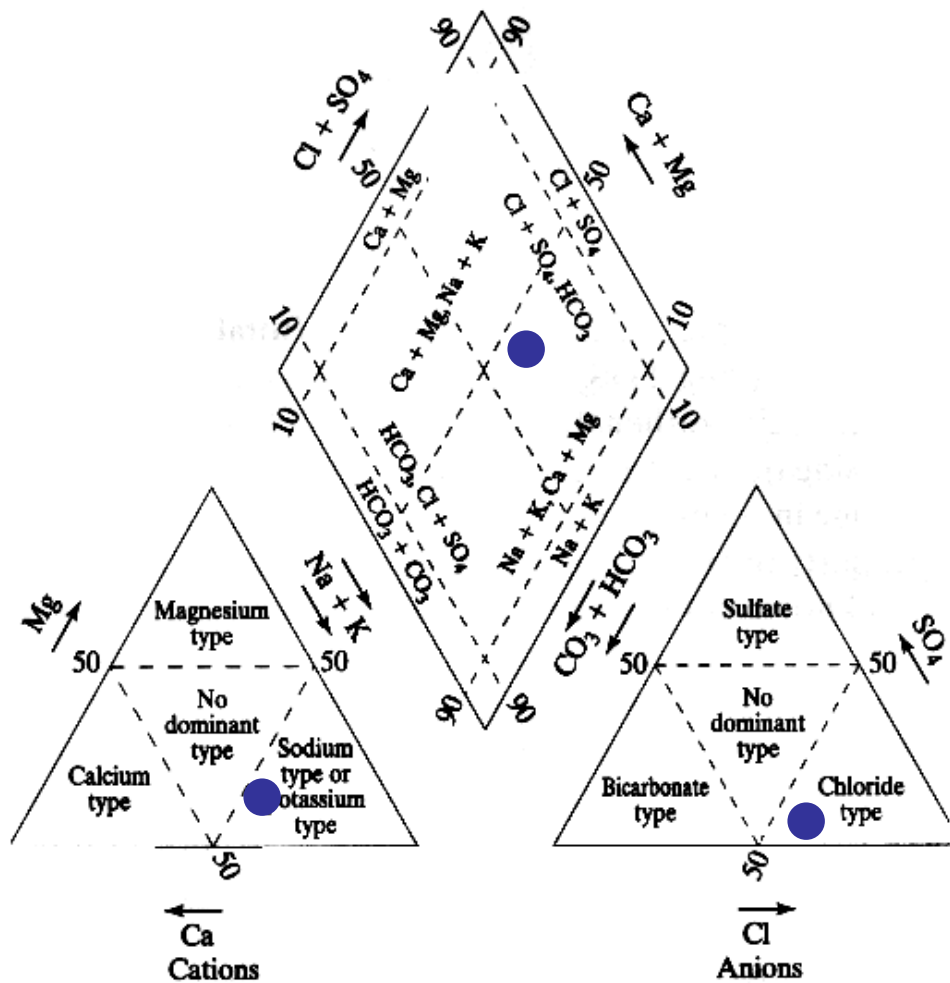
Anioni

Ioni	Conc. (mg/l)	carica	Peso mol.	Conc. (meq/l)	(% meq/l)
HCO_3^{-1}	401	-1	61.02	6.57	37.52
SO_4^{-2}	58	-2	96.06	1.21	6.91
Cl^{-1}	345	-1	35.45	9.73	55.57



Proiezione nel “diamante”





Classification of *hydrochemical facies* using the Piper plot (from Kehew, 2001).

VANTAGGI

- Molti campioni possono essere rappresentati sullo stesso diagramma
- Classifica le acque in “tipi” o “*facies idrogeochimiche.*”
- Individua fenomeni di mescolamento tra acque diverse.
- Può individuare relazioni spaziali e temporali.

SVANTAGGI

- Concentrazioni normalizzate.
- Non adatto per acque particolari con contenuti significativi di altri ioni.

Durov Diagram

- **Primary:** Cations (*i.e.* $Na + K$, Ca and Mg) and Anions (*i.e.* Cl , HCO_3 and SO_4), and total cations vs. total anions only.
- **Expanded:** TDS and pH added

Data points

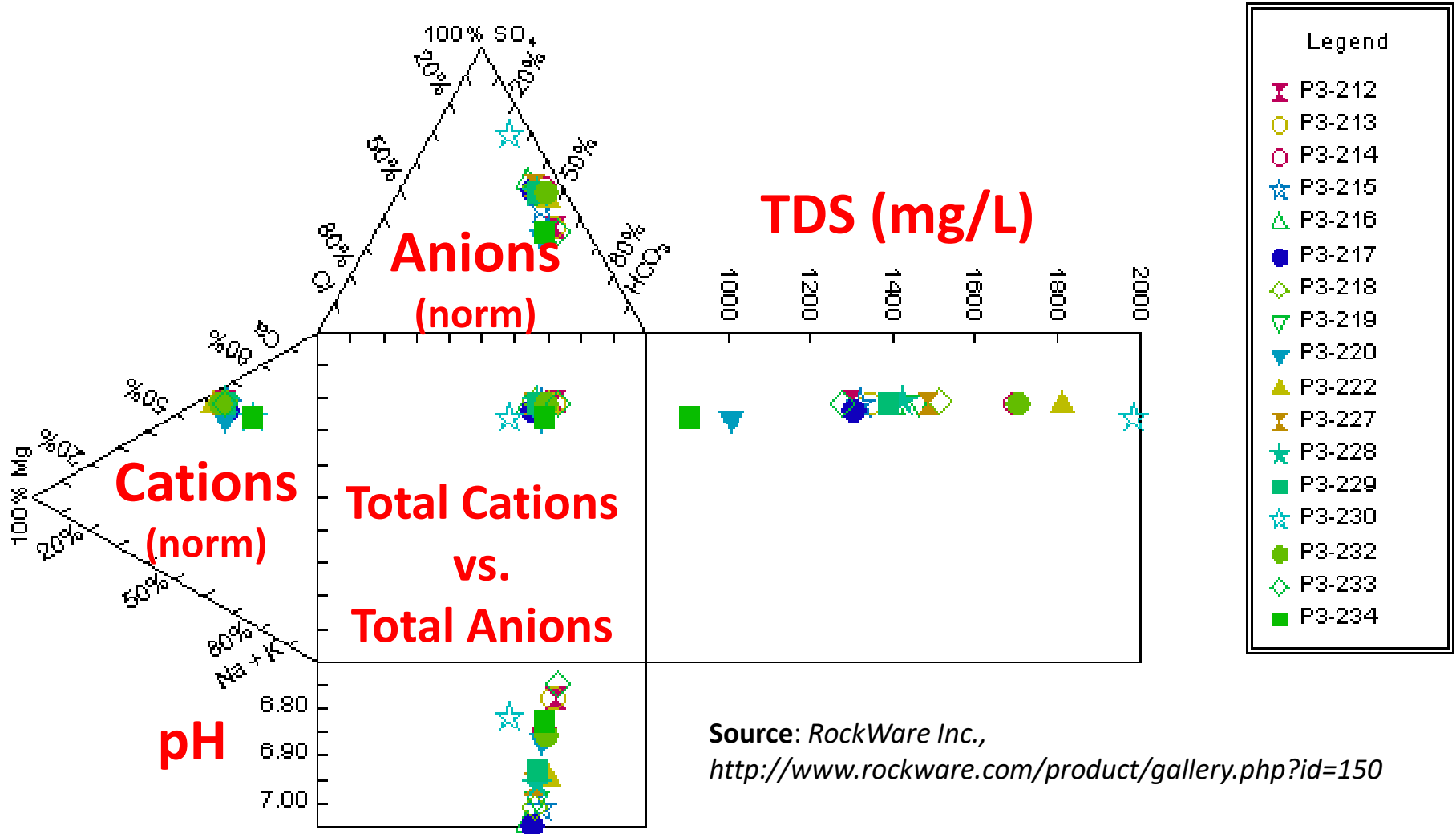
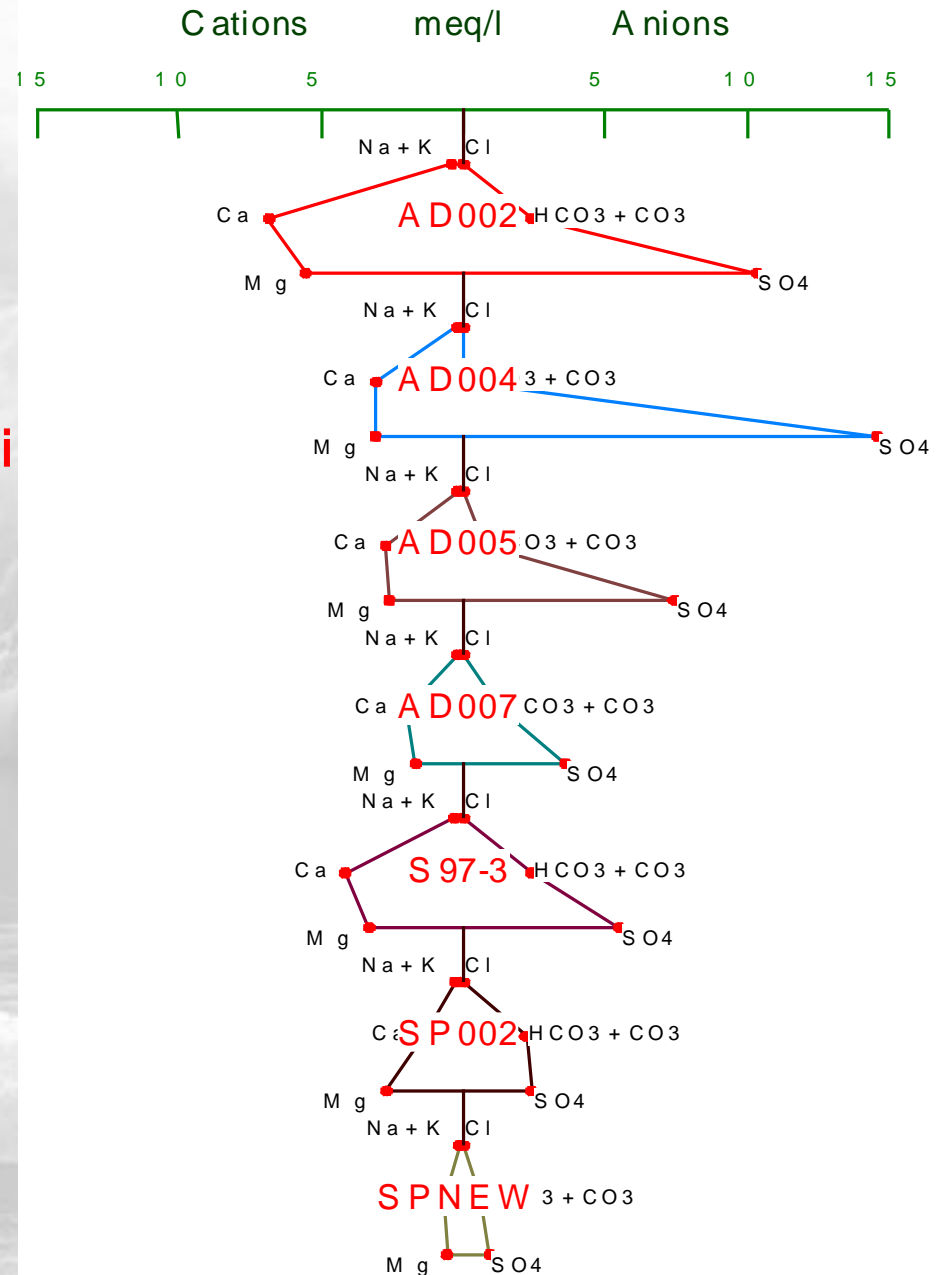


Diagramma di STIFF

- La concentrazione degli ioni è riportata sull'asse orizzontale in meq/L
- Il valore dei **cationi** sono inseriti nel semiasse di sinistra mentre gli **anioni** nel semiasse di destra
- I dati sono inseriti su tre righe e i punti sono collegati tra loro per formare un poligono
- Vantaggi: ogni tipo di acqua è rappresentata da un particolare poligono
- Svantaggi: dovendo inserire i dati per ogni singola acqua si può rappresentare un numero limitato di campioni.



I vertici di Na, K e Cl rimangono vicini all'asse verticale...

...ciò indica che questi ioni sono relativamente poco importanti.

Ca e Mg?

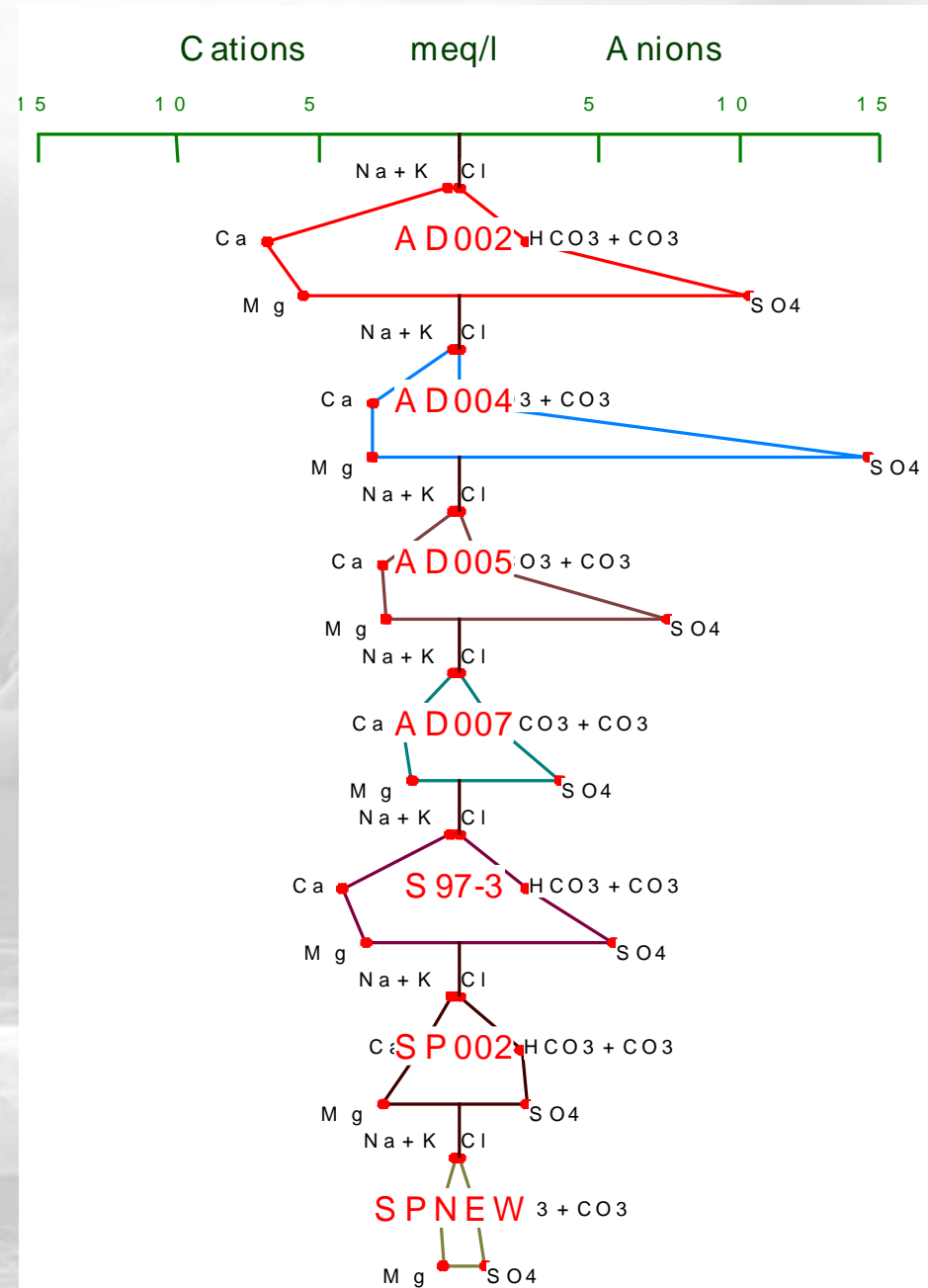
... sono i cationi più importanti e generalmente in concentrazioni analoghe.

La maggior parte delle acque mostra una lunga "coda" al vertice dei SO_4^{2-}

.....

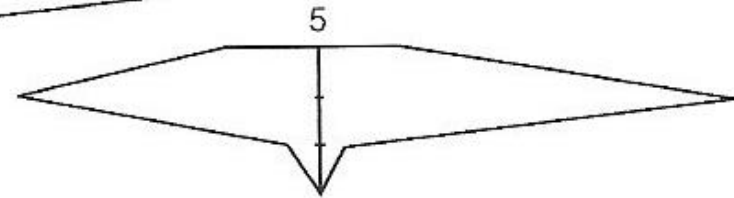
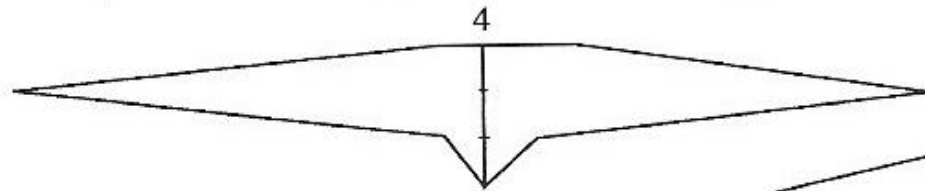
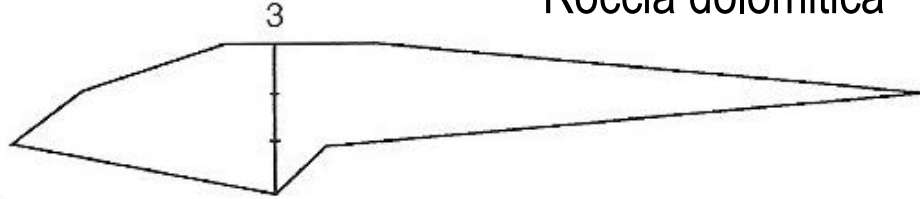
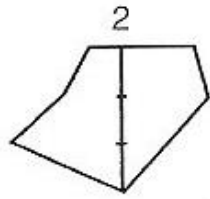
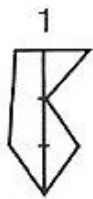
....indicando che il solfato è l'anione dominante.

I carbonati sono presenti in concentrazioni significative, ma generalmente inferiori ai solfati

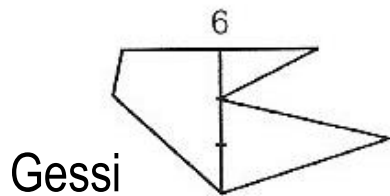


Acqua piovana

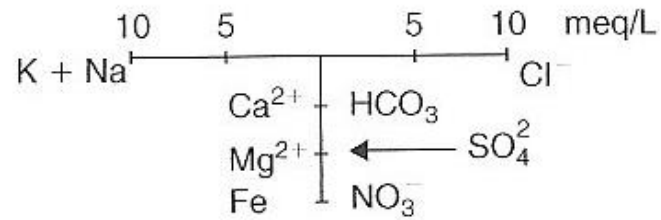
Roccia dolomitica



Roccia carbonatica

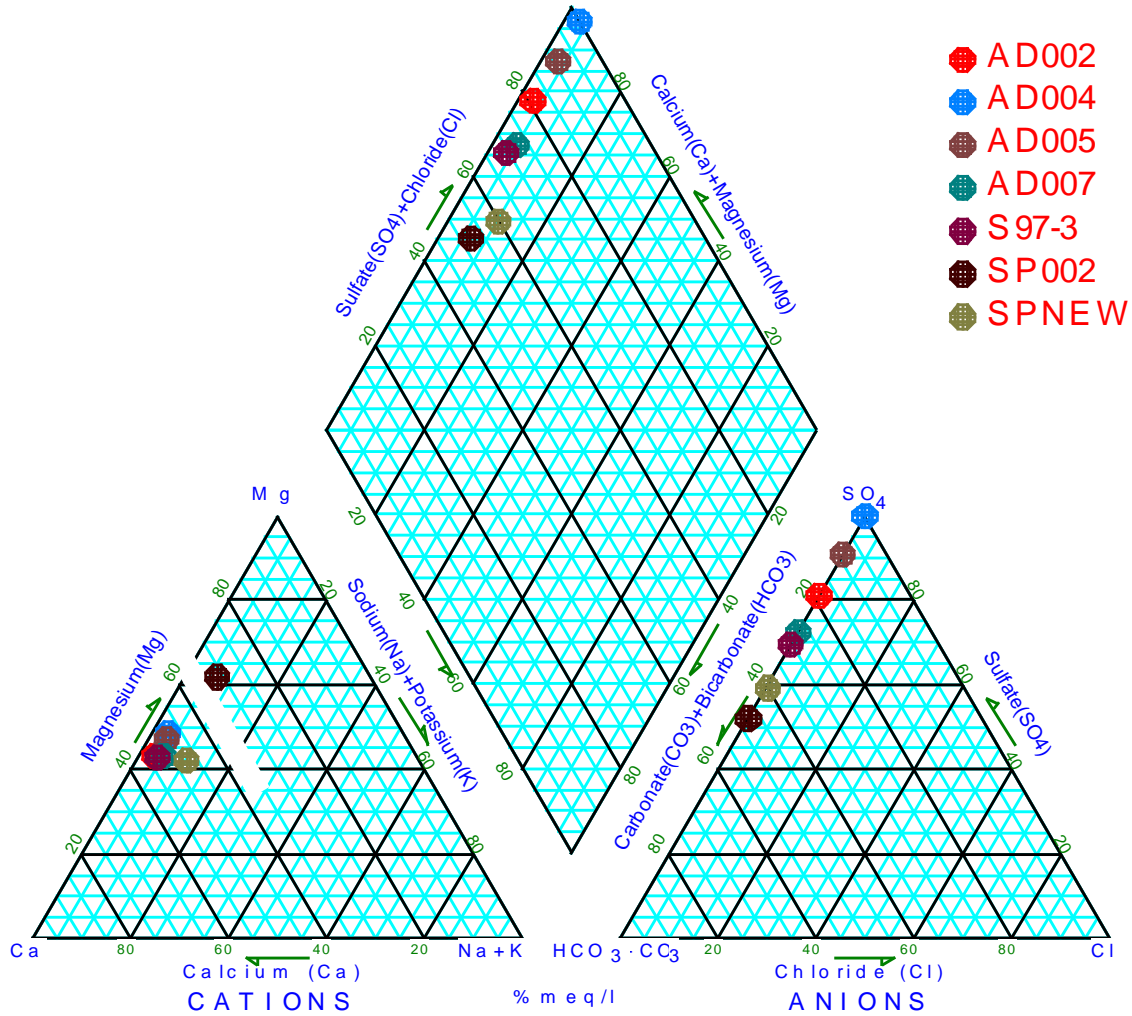


Gessi



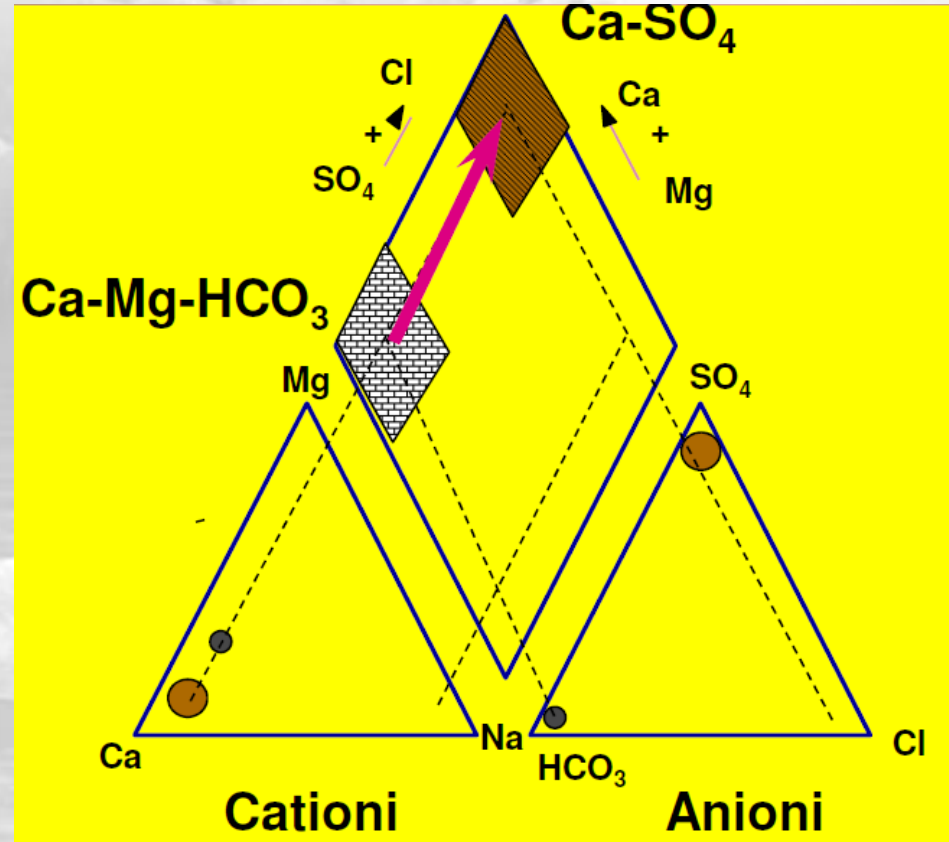
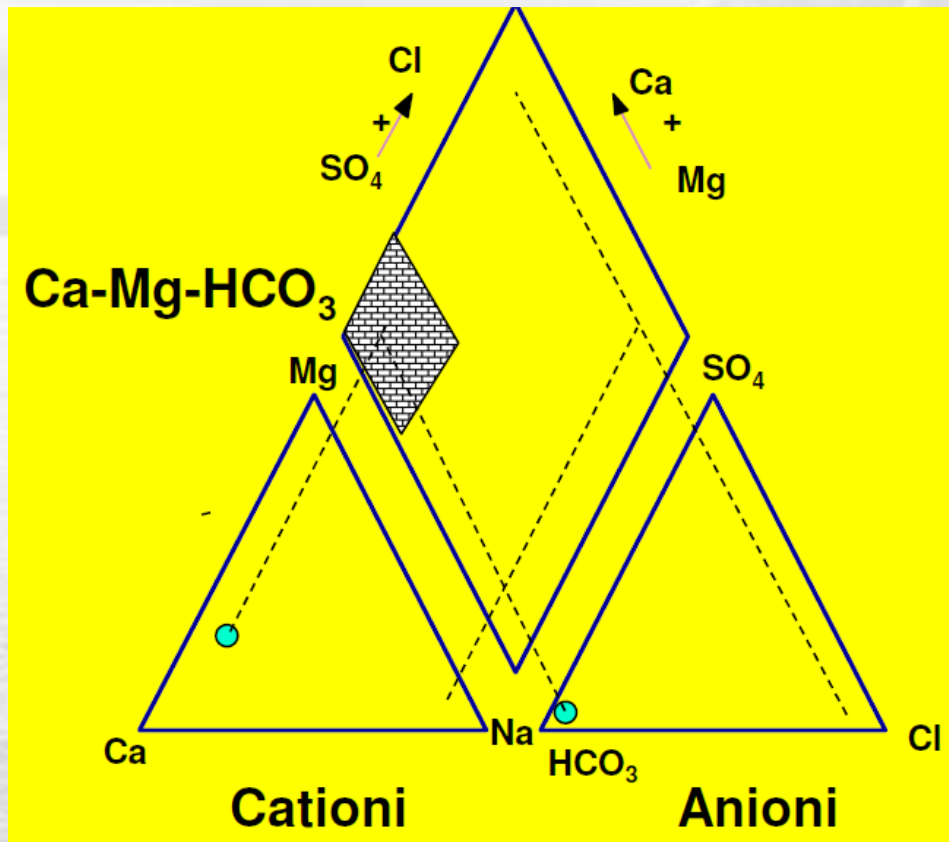
Pine Creek, CDA Valley, Idaho

Mine Waters



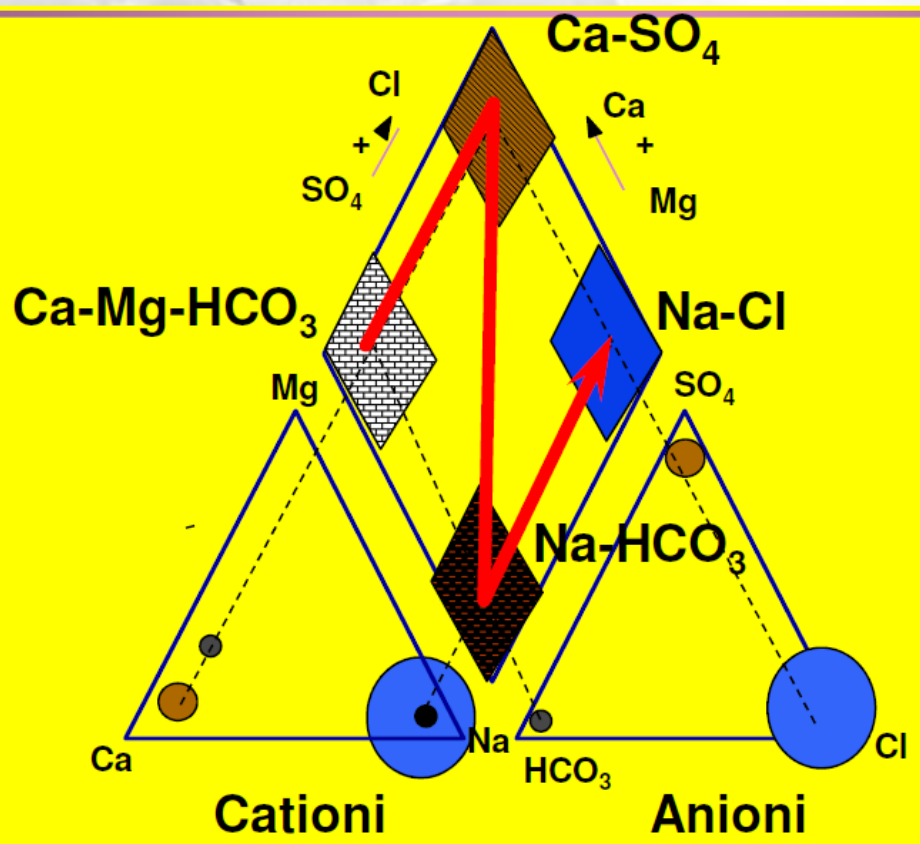
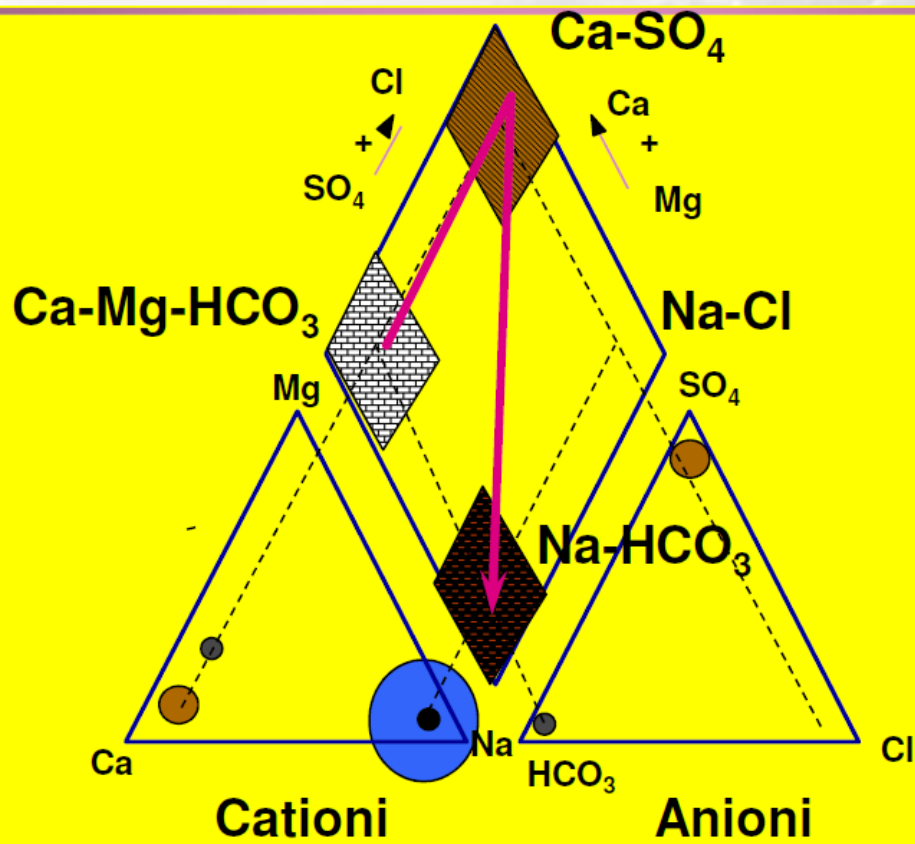
Cosa succede quando...

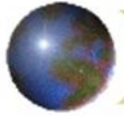
1. Acqua originata in un acquifero calcareo..
2. Passa attraverso gessi ..



Cosa succede quando...

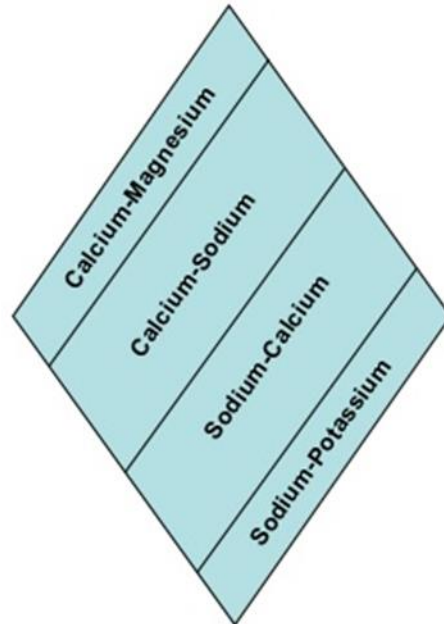
1. Acqua originata in un acquifero calcareo..
2. Passa attraverso gessi ..
3. Quindi reagisce con argille..
4. Infine defluisce dopo essersi miscelata con una brina...





Plotting a Piper Diagram

Cations



Anions

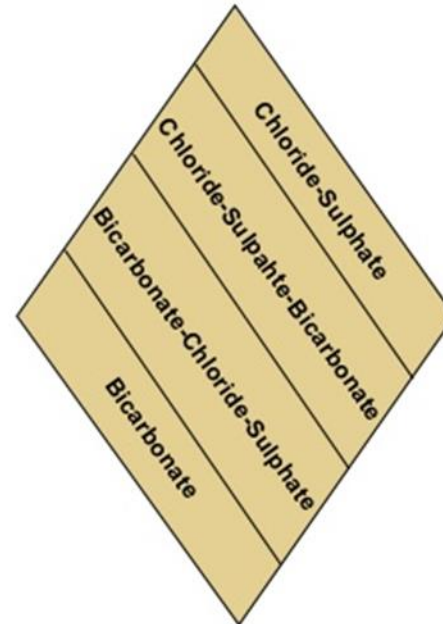
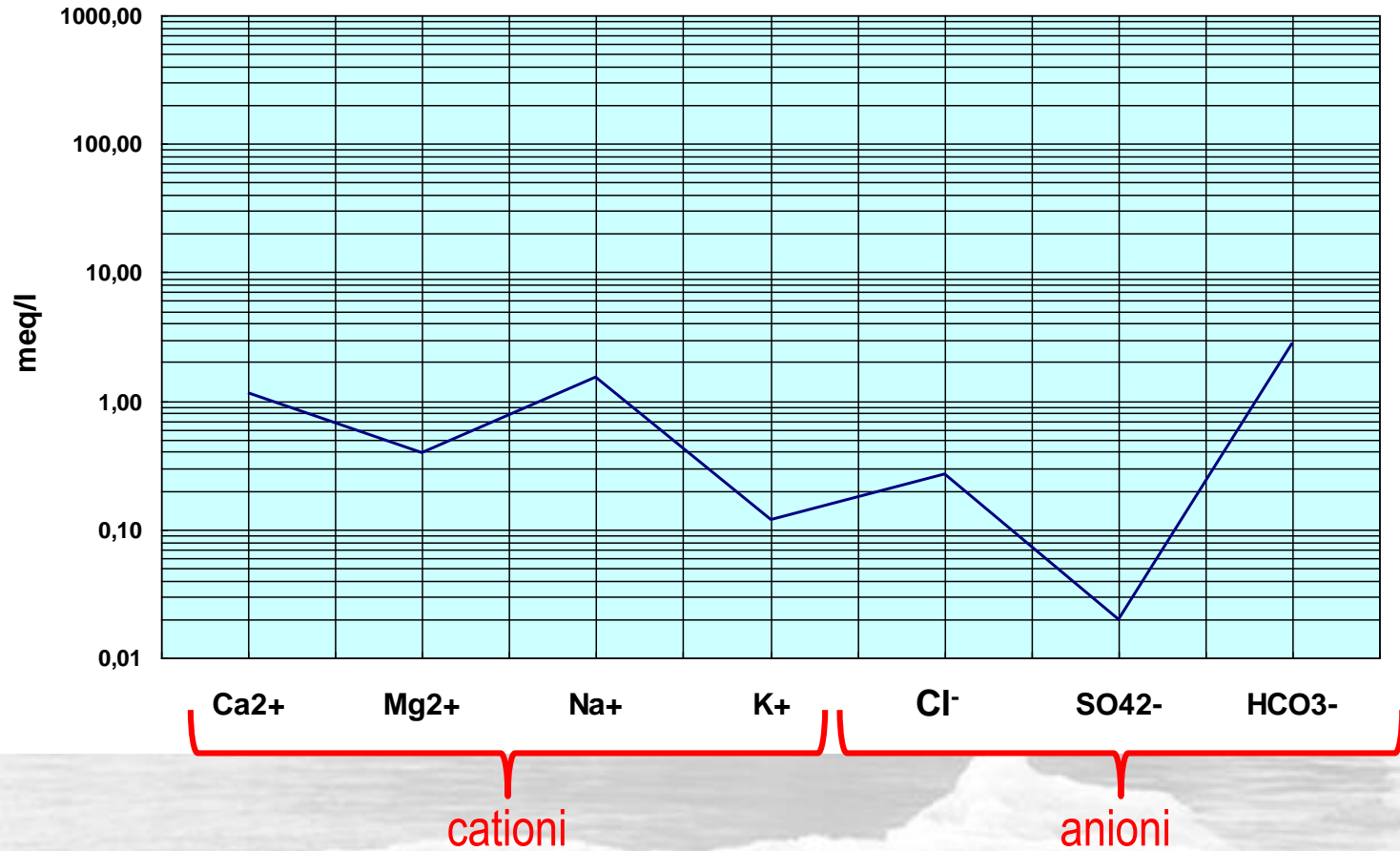
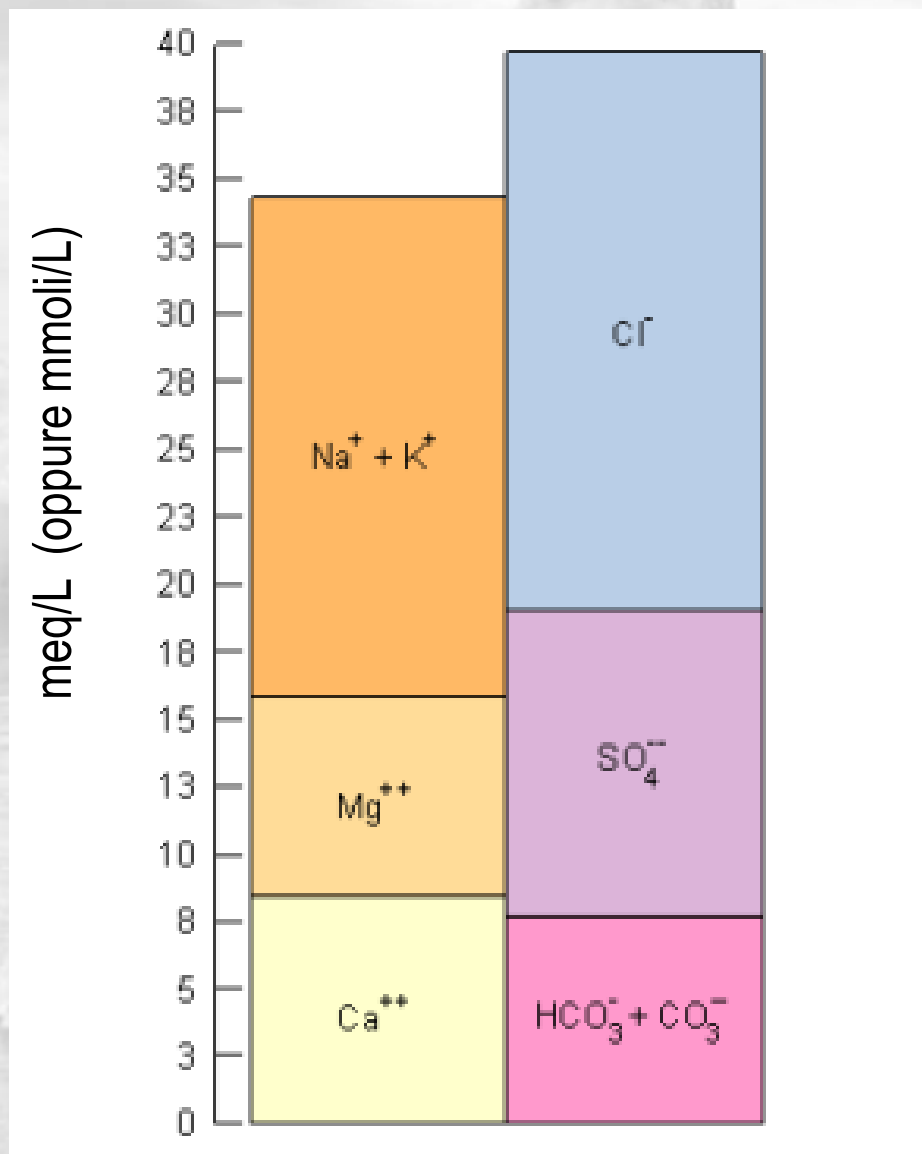


Diagramma semilogaritmico di SCHOELLER

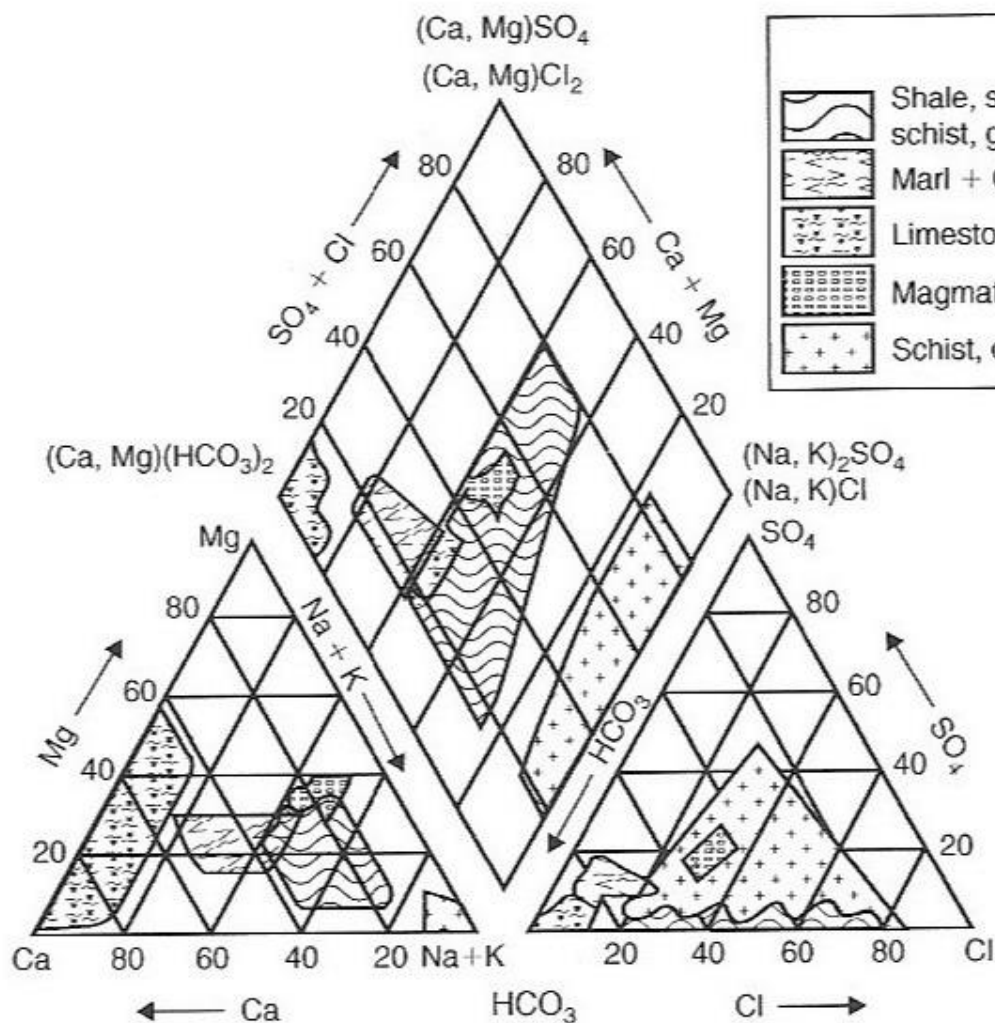


	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻
mg/L	23.0	4.7	35.0	4.7	171.0	0.0	1.0	9.5
PM	40.0	24.3	23.0	39.1	61.0	60.0	96.0	35.5
meq/L	1.15	0.39	1.52	0.12	2.80	0.00	0.02	0.27

Diagramma a barre del bilancio ionico (Collins, 1923): abbondanza relativa di cationi e anioni maggiori

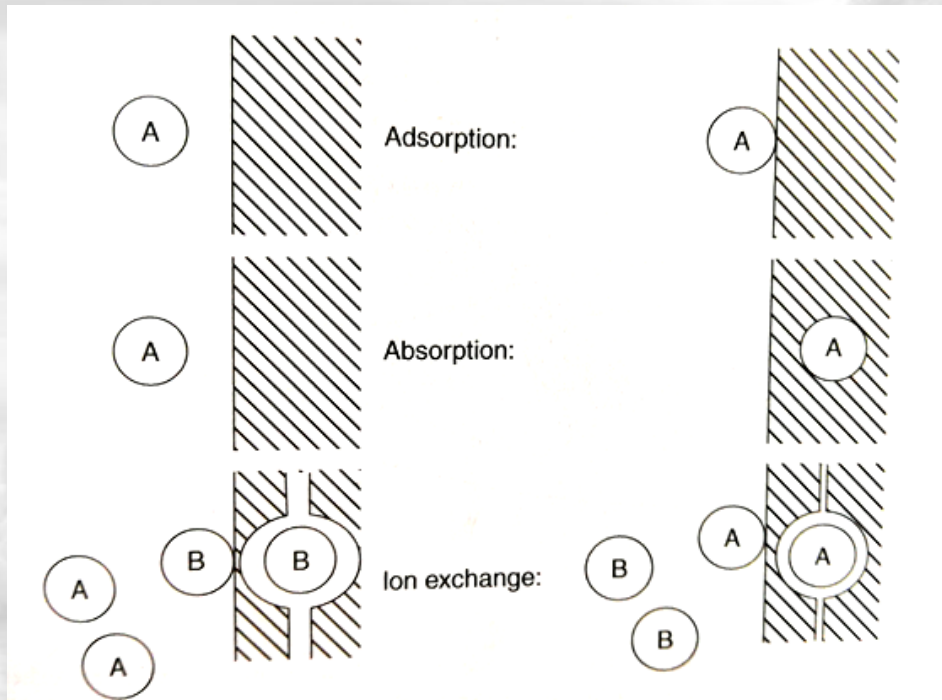


Composizione delle acque minerali d'Europa e relazione con le rocce-acquifero



	EC ($\mu S/cm$)
Shale, sandstone, greywacke, quartzite, schist, gneiss	150–350
Marl + $CaSO_4/MSO_4$ (magmatic rock)	800–1300
Limestone, marl (sedimentary rock)	1200–2000
Magmatic rock	1500–1700
Schist, quartzite, granite, sandstone (+ FeS_2) ..	1300–2100

Scambio cationico mixing fra acque dolci e salate



Suoli ed acquiferi sono caratterizzati da materiali quali minerali argillosi, sostanza organica, ossi-idrossidi di metalli che possono assorbire elementi chimici.

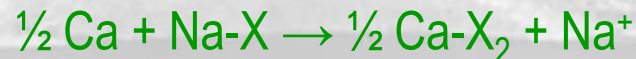
Lo scambiatore (X) aggiusta la sua composizione in relazione alla composizione dell'acqua con cui è a contatto

acqua $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$

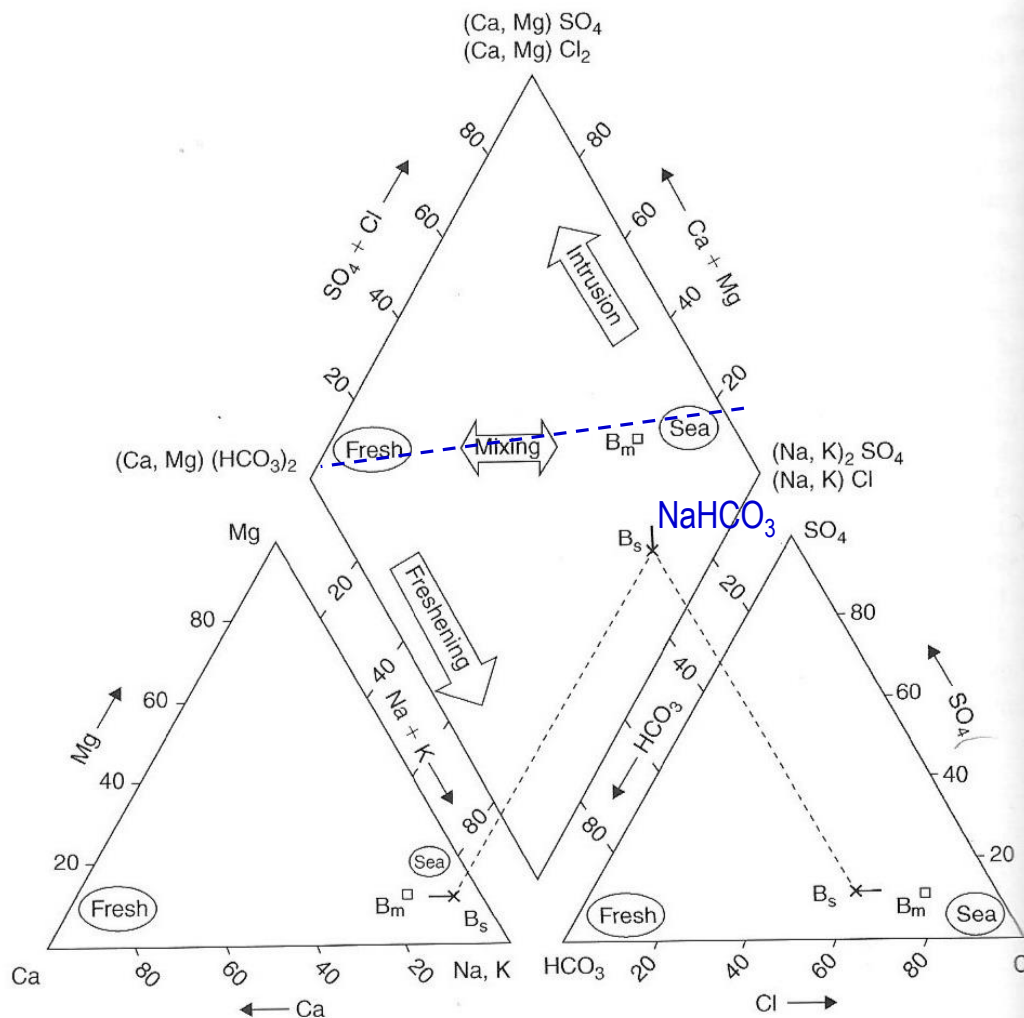


SALINIZZAZIONE
dell'acquifero (acqua CaCl_2)

ADDOLCIMENTO



acqua NaHCO_3



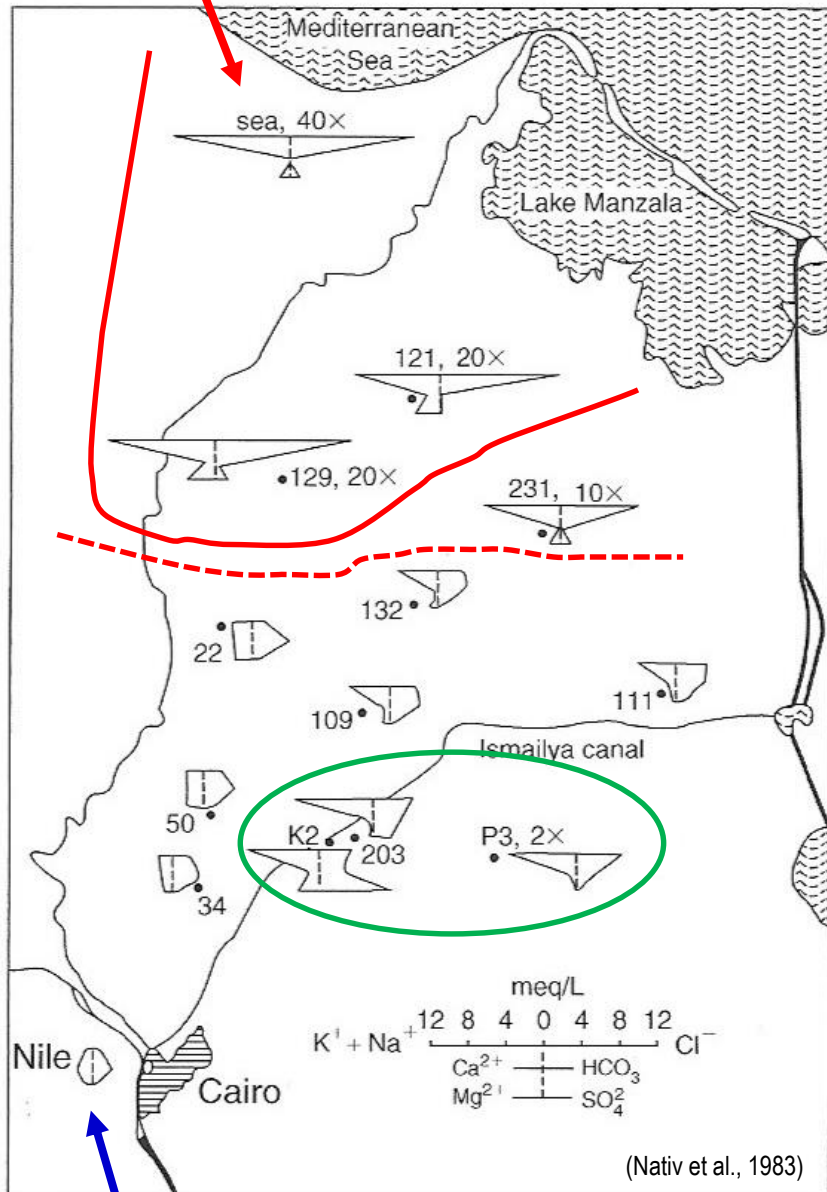
Effetto del mixing acqua dolce-acqua salata sulla variazione di composizione.

Lo spostamento della composizione di un'acqua da un **comportamento conservativo (mixing line)**, identifica il processo di scambio cationico fra acquifero ed acqua

$B_m \rightarrow B_s$

Addolcimento o salinizzazione?

Acque marina: NaCl



Acque dolci del Nilo: Ca(HCO₃)₂

Scambio cationico mixing fra acque dolci e salate

Ingressione marina

Relativo eccesso di Na⁺ e Cl⁻

Relativo incremento di Cl⁻ per evaporazione dell'acqua fluviale

Relativo incremento di Na⁺ per scambio cationico Ca²⁺ → Na⁺ fra acqua e loess dell'acquifero

Examples of Application of Piper Diagrams

A.

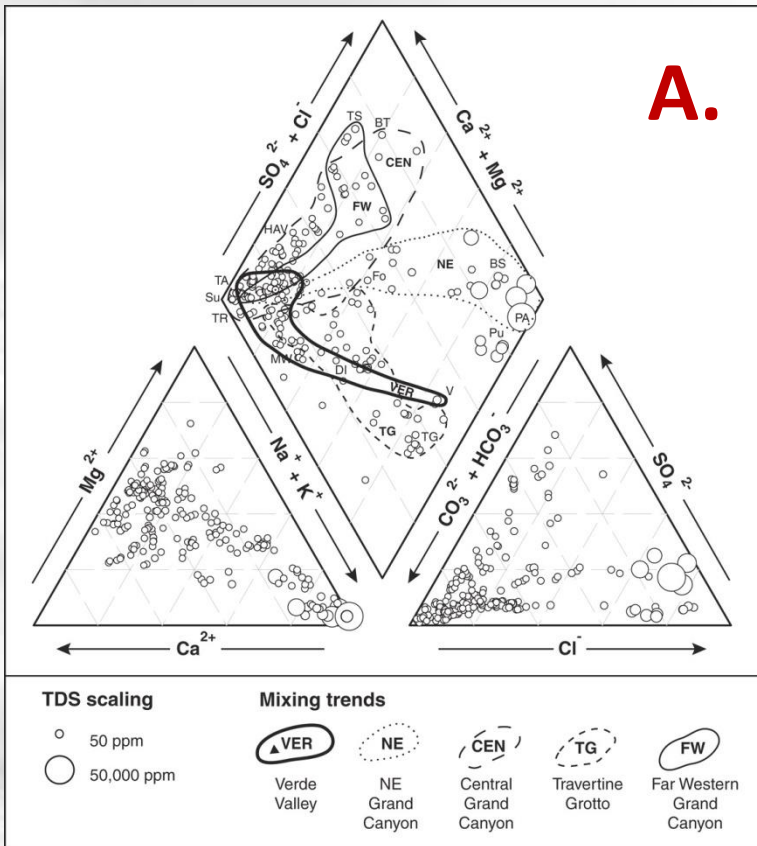


Figure 3: Piper diagram (Piper, 1944) showing regional mixing trends. **Fields show localized well-defined regional and subregional mixing trends.** Important end-member compositions and high-volume springs of the Colorado Plateau region.

Crossey, LJ, Karlstrom, KE, Springer, AE, Newell, D, Hilton, DR, Fischer, T, 2009, Degassing of mantle-derived CO₂ and He from springs in the southern Colorado Plateau region—Neotectonic connections and implications for groundwater systems Geological Society of America Bulletin, 121:1034-1053.

B.

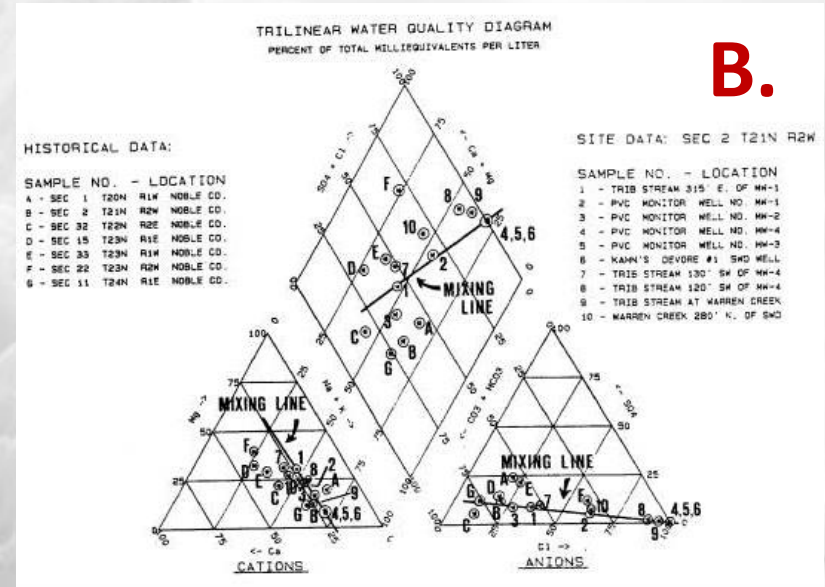


Figure 2: Piper plot of historical background (letters) and site (numbers) water quality analysis.

McLin, SG, 1986, Evaluation of Aquifer Contamination from Salt Water Disposal Wells: *Proceedings of the Oklahoma Academy of Science*, 66: 53-61.

ACQUE MINERALI

Le acque minerali si classificano in 4 gruppi in rapporto alla quantità di minerali disciolti, indicata dal "**residuo fisso**", il cui valore è riportato sull'etichetta delle bottiglie.

Il residuo fisso è costituito dalle sostanze che rimangono dopo aver fatto evaporare un litro di acqua minerale a 180 gradi centigradi: il valore, espresso in mg/l, è tanto maggiore quanto più elevata è la quantità di sali minerali presenti.

Si distinguono* perciò:

- acque **minimamente mineralizzate**, con un residuo fisso inferiore ai **50 mg/l**
- acque **oligominerali** o **leggermente mineralizzate**, con un residuo fisso compreso tra i **50 e i 500 mg/l**
- acque **mediamente minerali**, con un residuo fisso compreso tra i **500 e i 1500 mg/l****
- acque **ricche di sali minerali**, con un residuo fisso **superiore ai 1500 mg/l**.

L'Unione Europea ha fissato precise quantità per alcuni contaminanti delle acque minerali (**arsenico, cadmio, cromo**), anche se i limiti sono meno rigidi di quelli applicati per l'acqua potabile.

Le **acque minerali** naturali possono essere anche suddivise secondo il loro contenuto di sali minerali in acque...

- **a bicarbonato**, con HCO_3^- superiore a 600 mg/l, sono indicate nell'ipersecrezione gastrica e nelle malattie renali;
- **solfate**, con quantità di SO_4^{2-} superiore a 200 mg/l, sono adatte in caso di stitichezza;
- **clorurate**, con Cl^- superiore a 200 mg/l, possono riequilibrare l'intestino, le vie biliari ed il fegato e possono avere azione purgante;
- **calciche**, con Ca^{2+} superiore a 150 mg/l, sono utili per problemi allo stomaco e fegato, per prevenire la pressione alta, l'osteoporosi e sono utili ai bambini in fase di crescita;
- **magnesiache**, con quantità di Mg^{2+} superiore a 50 mg/l, hanno proprietà purgative e possono essere utili nella prevenzione dell'arteriosclerosi;
- **fluorate**, con F^- superiore a 1 mg/l, aiutano a rinforzare i denti e prevenire la carie;
- **ferruginose**, con Fe^{2+} superiore a 1 mg/l, sono utili a coloro che soffrono di anemia da carenza di ferro;

- **acidule**, con quantità di CO₂ libera superiore a 250 mg/l, facilitano la digestione;
- **sodiche**, con Na⁺ maggiore a 200 mg/l, sono indicate nei casi di carenza da sodio e per chi pratica attività sportiva;
- **a basso contenuto di sodio** (meno di 20 mg/l), sono adatte per chi soffre di pressione alta e per chi segue diete povere di sodio.

Durezza in gradi francesi - La durezza, che si esprime in gradi francesi (°F), indica la presenza di calcio e magnesio nell'acqua, cioè se un'acqua è più o meno calcarea.

In base alle normative UE le acque con durezza inferiore ai 30 °F sono considerate "dolci", cioè con poco calcare.

Come si campionano le acque superficiali e profonde?





KAISER FRANZ JOSEF I. HILFSSTOLLEN

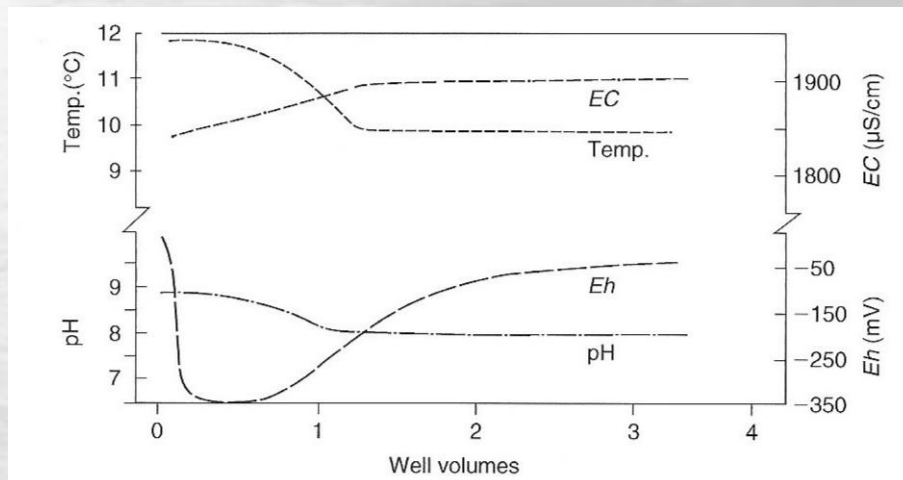
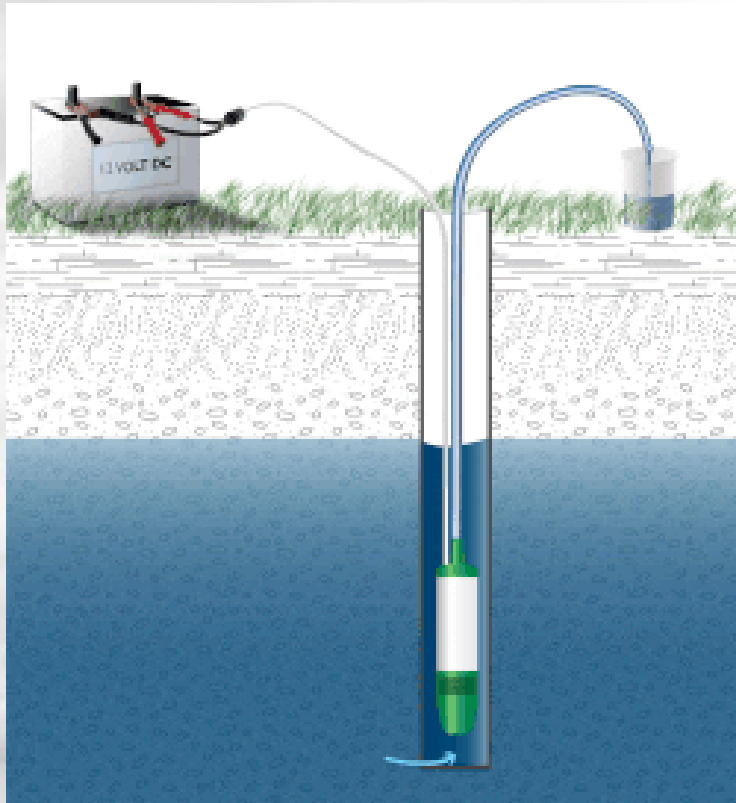
FAHRGANG
HIER LEIST
VERBOTTEN

ACHTUNG
HOCHSPANNUNG
BREMSE IM HILFSSTOLLEN
LEBENSGEFAHR

RAUCHEN
VERBOTTEN



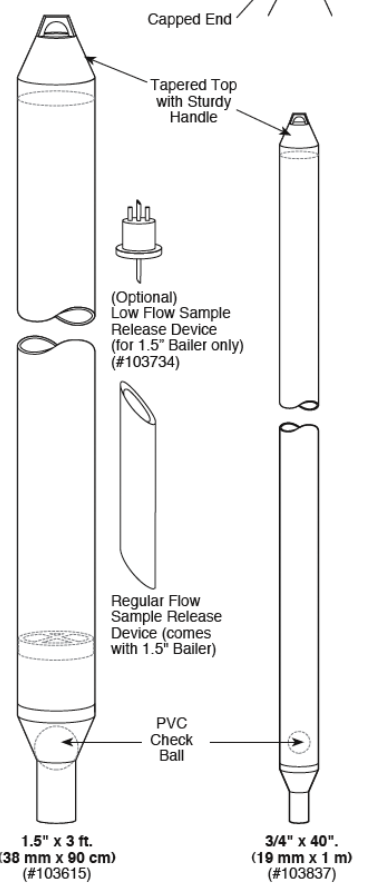
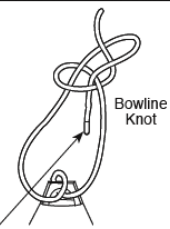
Come si campionano le acque superficiali e profonde?





How to Tie the Support Cable

It is recommended that you tie a bowline knot to secure the support cable to the top of the Bailer.



Tipi di campioni d'acqua "recuperabili" per la sua caratterizzazione

Acqua non filtrata

utile per analisi complessiva del metallo (comprende sia metallo disciolto che metallo associato a particolato)

Acqua filtrata

utile per analisi della composizione chimica maggiore

Acqua filtrata acidificata utile per analisi della concentrazione di metalli



Alcune informazioni “pratiche”

- Alcuni parametri vengono misurati direttamente al momento del campionamento: **Temperatura; pH; Eh, O₂; conducibilità elettrica.**
- Altri devono essere misurati *in situ* o dopo un intervallo di tempo relativamente breve: HCO₃⁻; Fe²⁺; Fe³⁺; NH₄⁺; CN⁻
- I **campioni** vengono **filtrati** (generalmente a < 0.45 µm), acidificati, conservati in cella frigorifera per evitare formazione di flore batteriche e reazioni con il contenitore ed eventuale particellato ultrafine.
- Altri elementi determinati attraverso diversi metodi chimici *spettrofotometria di assorbimento atomico (fiamma o grafite); spettrometria al plasma; spettrofotometria UV-VIS; colorimetria; cromatografia ionica.*
- **campionamenti ripetuti** rendono conto di diverse situazioni idrologiche e consentono valutazioni più fondate se legate a valutazione delle condizioni di portata.

Intervalli di concentrazioni normali in acque dolci non inquinate

Elemento	Concentrazione (mmoli/l)	Concentrazione (mg/l)
Na ⁺	0.1 – 2	2.3 - 46
K ⁺	0.01 – 0.2	0.4 – 7.8
Mg ²⁺	0.05 – 2	1.2 – 48.6
Ca ²⁺	0.05 - 5	2 - 200
Cl ⁻	0.05	2 – 71
HCO ₃ ⁻	0 – 5	0 – 305
SO ₄ ²⁻	0.01 – 5	1 – 480
NO ₃ ⁻	0.001 – 0.2	0.1 – 12.5
SiO ₂	0.02 – 1	1 – 60
Fe ²⁺	0 – 0.5	0 – 28
PO ₄ ⁻ totale	0 – 0.02	0 – 2

Da Appelo & Postma (1994)

Questi parametri vengono generalmente misurati per caratterizzare un campione di acqua, insieme ad altri che ne definiscono lo stato chimico-fisico, quali, ad esempio **T**, **pH**, e **conducibilità specifica**.

Effetto litologico...per riassumere

Sorgenti naturali dei principali ioni nelle acque superficiali e di falda

Elemento	Sorgente naturale
Na ⁺	Feldspati, salgemma, zeoliti, precipitazioni atmosferiche
K ⁺	Feldspati, miche
Mg ²⁺	Dolomite, serpentino, pirosseni, anfiboli, olivina, miche
Ca ²⁺	Carbonati, gesso, feldspati, pirosseni, anfiboli
Cl ⁻	Salgemma, precipitazioni atmosferiche
HCO ₃ ⁻	Carbonati, materia organica
SO ₄ ²⁻	Precipitazioni atmosferiche, gesso, solfuri
NO ₃ ⁻	Precipitazioni atmosferiche, materia organica
SiO ₂	Silicati
Fe ²⁺	Silicati, siderite, idrossidi, solfuri
PO ₄ ⁻ totale	Materia organica, fosfati

Effetto antropogenico

Tecnogenico

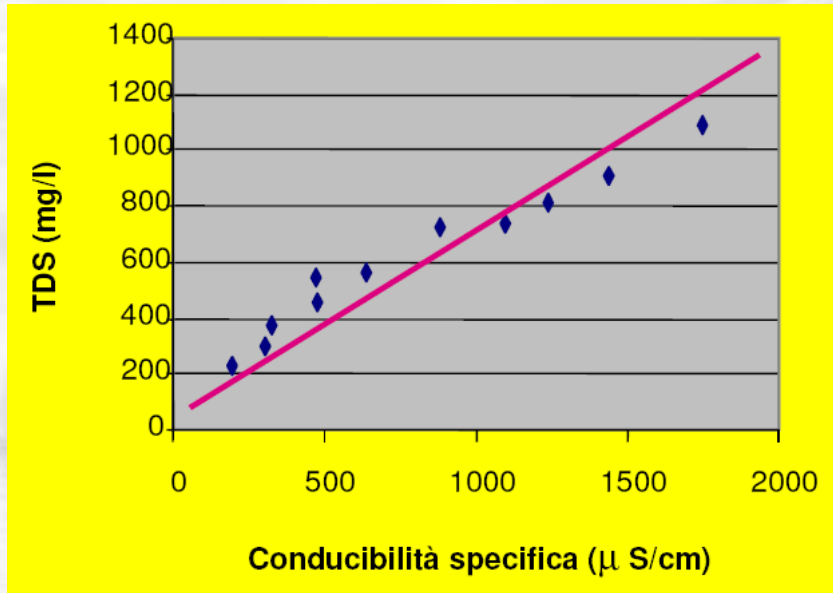
Sali utilizzati sulle strade, metalli pesanti, contaminazione atmosferica, gas serra, fertilizzanti, scorie radioattive

Table 20.9 Primary and Secondary Water-Quality Standards and Sources of Contamination for Selected Elements and Compounds in Drinking Water

<i>Element or compound</i>	<i>Acceptable concentration, mg/L</i>	<i>Sources of contamination</i>
<i>Cations and anions</i>		
Arsenic	0.05	herbicide used on land and water
Barium	1.0	barite (BaSO ₄) and witherite (BaCO ₃)
Cadmium	0.01	mine tailings and industrial effluents
Chromium	0.05	industrial effluents
Copper	1.0	aquatic herbicide
Iron	0.3	minerals of Fe
Lead	0.05	industrial effluents and uses
Manganese	0.05	minerals of Mn
Mercury	0.002	minerals of Hg, antifungal agent, combustion of coal and petroleum, mining and smelting of Hg
Silver	0.05	bactericide natural occurrence
Zinc	5	natural occurrence, industrial effluent
Fluoride	2.0	industrial effluent natural occurrence
Chloride	250	NaCl brines
pH	6.5–8.5	acid rain, mine drainage, industrial effluent
Nitrate (as N)	10	farm runoff
Selenium	0.01	natural occurrence, fertilizer, combustion of coal and paper
Sulfide	0.002	oxidation of organic matter
Sulfate	250	oxidation of sulfides, oilfield brines, brine lakes
TDS	500	evaporative concentration, discharge of brines

Semplice classificazione delle acque sotterranee basata sul TDS (Freeze & Cherry 1979)

Il contenuto totale di solidi disciolti (TDS, espresso in mg/l) dipende dalla quantità di ioni disciolti in acqua ed è direttamente proporzionale alla conducibilità (in $\mu\text{S}/\text{cm}$)



Categoria TDS (mg/l o g/m³)

Acque dolci da 0 a 1000

Acque salmastre da 1000 a 10.000

Acque saline da 10.000 a 100.000
(35.000 – 42.000 = acque di mare)

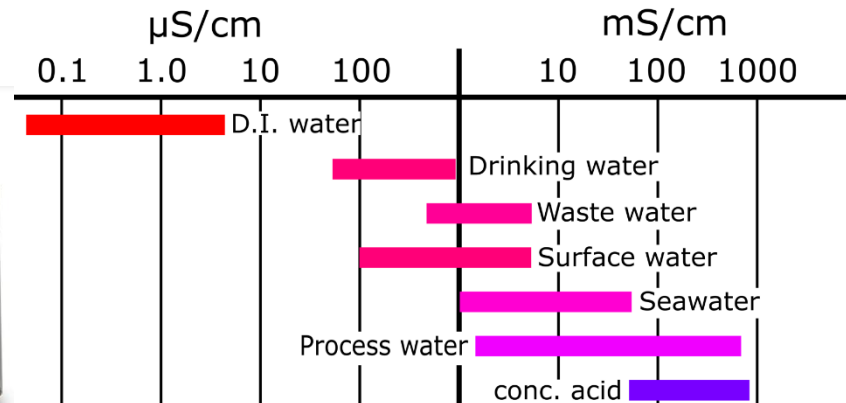
Salamoie (*brine*) > 100.000

$\text{TDS (mg/l)} = A \times \text{conducibilità specifica}$

N.B! TDS si misurano per evaporazione di un campione filtrato a 0.45 μm in capsula di porcellana tarata



Electrical conductivity of solutions



Altri parametri che possono essere misurati su un campione di acqua

Parametro	Significato
Durezza	misura della concentrazione totale dei cationi alcalino-terrosi che possono precipitare come “particelle dure”; espressa in concentrazione equivalente di mg CaCO ₃ /l
Eh	Potenziale di ossidoriduzione (espresso in Volt o milliVolt)
pH	- log [Attività dello ione idrogeno]
Alcalinità	Capacità di neutralizzare acidi, determinata per titolazione con acido fino a pH 4.5. Nella maggior parte dei casi corrisponde alla somma di HCO ₃ ⁻ + CO ₃ ²⁻ + OH ⁻ ed altre specie minori
TIC	Carbonio totale inorganico
TOC	Carbonio totale organico
COD	Domanda chimica di ossigeno (ossidazione organico ed inorganico) in mgO ₂ /l
BOD	Domanda biologica di ossigeno (pre e post 5gg di incubazione) in mgO ₂ /l

TEMPERATURA

- Influenza diversi parametri di qualità delle acque.

Quando T aumenta

- la cinetica delle reazioni chimiche e biochimiche aumenta
 - la solubilità dei gas diminuisce (importante per O_2)
 - la solubilità di molti minerali aumenta
 - il tasso di crescita degli organismi acquatici aumenta
 - sapori e odori vengono enfatizzati
- per qualunque modellizzazione le costanti di equilibrio devono essere ricalcolate alla T dell'acquifero
 - deve essere misurata sul posto

pH

- Il pH influenza la solubilità e la disponibilità biologica di costituenti chimici quali macronutrienti (P, N, C), micronutrienti e metalli pesanti (Pb, Cu, Cd, ecc.).
- Solitamente i metalli tendono ad essere più tossici a pH basso in quanto più solubili e quindi più biodisponibili.

DUREZZA

La durezza è una proprietà generalmente indesiderata dell'acqua che risulta dalla presenza di ioni bivalenti e trivalenti in soluzione (prevalentemente Ca^{2+} e Mg^{2+}).

Quali effetti in acqua «dura»?

- Incrostazioni calcaree in tubature e caldaie
 - Diminuzione del potere detergente dei detersivi (richiede acque più calde e risciacqui extra)
 - Rendono DURI e poco digeribili i legumi dopo la cottura
 - Fanno precipitare saponi usati per il lavaggio delle fibre nell'industria tessile
 - Fanno precipitare i coloranti delle tintorie
- La durezza viene calcolata dalle concentrazioni di Ca^{2+} e Mg^{2+} (eventualmente Ba^{2+} , Sr^{2+} , Al^{3+} , Zn^{2+} , ...), normalmente espresse come mg/L o ppm di CaCO_3 eq.

DUREZZA

Si possono distinguere:

DUREZZA TEMPORANEA: dovuta ai soli bicarbonati

- Scompare all'ebollizione per precipitazione dei carbonati e liberazione di CO_2

DUREZZA PERMANENTE: dovuta agli altri Sali (solfati, cloruri, nitrati)

- Non scompare all'ebollizione

DUREZZA TOTALE: Temporanea + Permanente

Esistono diverse unità di misura, in Italia si usa il GRADO FRANCESE ($^{\circ}\text{F}$),
cioè 1 g di CaCO_3 in 100 l di H_2O

$1^{\circ}\text{F} = 10 \text{ mg/L CaCO}_3$

Rimedi

- Rimozione di Ca e Mg per distillazione
- Aggiunta di sostanze addolcenti (es. $\text{Ca}(\text{OH})_2$, Na_2CO_3)
 - precipitano $\text{Mg}(\text{OH})_2$ e/o (Ca,Mg)-carbonati
- Deionizzazione mediante resine scambiatrici di cationi

ALCALINITA'

In natura, l'alcalinità deriva essenzialmente dalla dissoluzione di rocce carbonatiche.

Tale processo determina un aumento di specie carbonatiche in soluzione più o meno dissociate secondo gli equilibri



Se ioni H^+ sono aggiunti alla soluzione, si combinano con gli ioni (bi-)carbonato presenti, spostando le reazioni verso sinistra e liberando CO_2 .

Un fiume con elevato contenuto di carbonati è in grado di ricevere un elevato quantitativo di inquinanti acidi senza manifestare una diminuzione significativa di pH (elevata capacità tampone).

L'alcalinità viene generalmente espressa in mg/L CaCO_3 equivalente

Un'acqua di alcalinità pari a 200 mg/L CaCO_3 eq ha un'alcalinità equivalente a quella di una soluzione di CaCO_3 di concentrazione = 200 mg/L.

BOD (Biological Oxygen Demand)

- Quantità di ossigeno consumato dai microorganismi per demolire in un tempo prestabilito a 20°C il materiale organico biodegradabile presente in un litro d'acqua.
 - di solito dopo un tempo di incubazione di 5 giorni (BOD₅).

La richiesta di ossigeno è dovuta generalmente a tre classi di sostanze:

- Composti organici, i cui atomi di carbonio vengono utilizzati dai microorganismi come alimento per le varie attività vitali (accrescimento, respirazione, riproduzione);
- Composti ossidabili dell'azoto utilizzati come fonte energetica da batteri specifici;
- Sostanze inorganiche, come ad esempio ferro (II), solfuri e solfiti, che vengono facilmente ossidati dall'ossigeno presente nelle acque.

BOD (Biological Oxygen Demand)

Quando si parla di B.O.D., senza specificare, ci si riferisce alla frazione carboniosa della richiesta biochimica di ossigeno.

La richiesta biochimica di ossigeno della frazione azotata dei composti organici per potersi sviluppare in modo completo, esige particolari condizioni di T, O₂ disciolto, di pH, oltre a tempi assai lunghi.

- Nitrati e fosfati sono nutrienti e possono determinare valori elevati del BOD.
- **Se BOD è alto, l'ossigeno disciolto tende ad essere basso, limitando le possibilità di vita degli organismi acquatici.**

Indice del grado di contaminazione organica delle acque

BOD 1-2 ppm – molto buono;

BOD 3-5 ppm – moderatamente pulita

BOD 6-9 ppm – moderatamente inquinato

BOD 50–500 ppm – acque luride

COD (Chemical Oxygen Demand)

Quantità di ossigeno (mg/l) richiesta per l'ossidazione con K-dicromato (in presenza di sostanze catalizzanti) delle sostanze organiche e inorganiche ossidabili presenti in un litro d'acqua (IRSA-CNR n° 5130).

La misura del COD è molto utilizzata nelle analisi di acque superficiali e di scarico (urbane e industriali) per la semplicità ed immediatezza di valutazioni che consente, e anche perché la prova del COD permette di ottenere risultati molto più attendibili di quelli ottenibili con la misura del BOD, di grande delicatezza esecutiva.

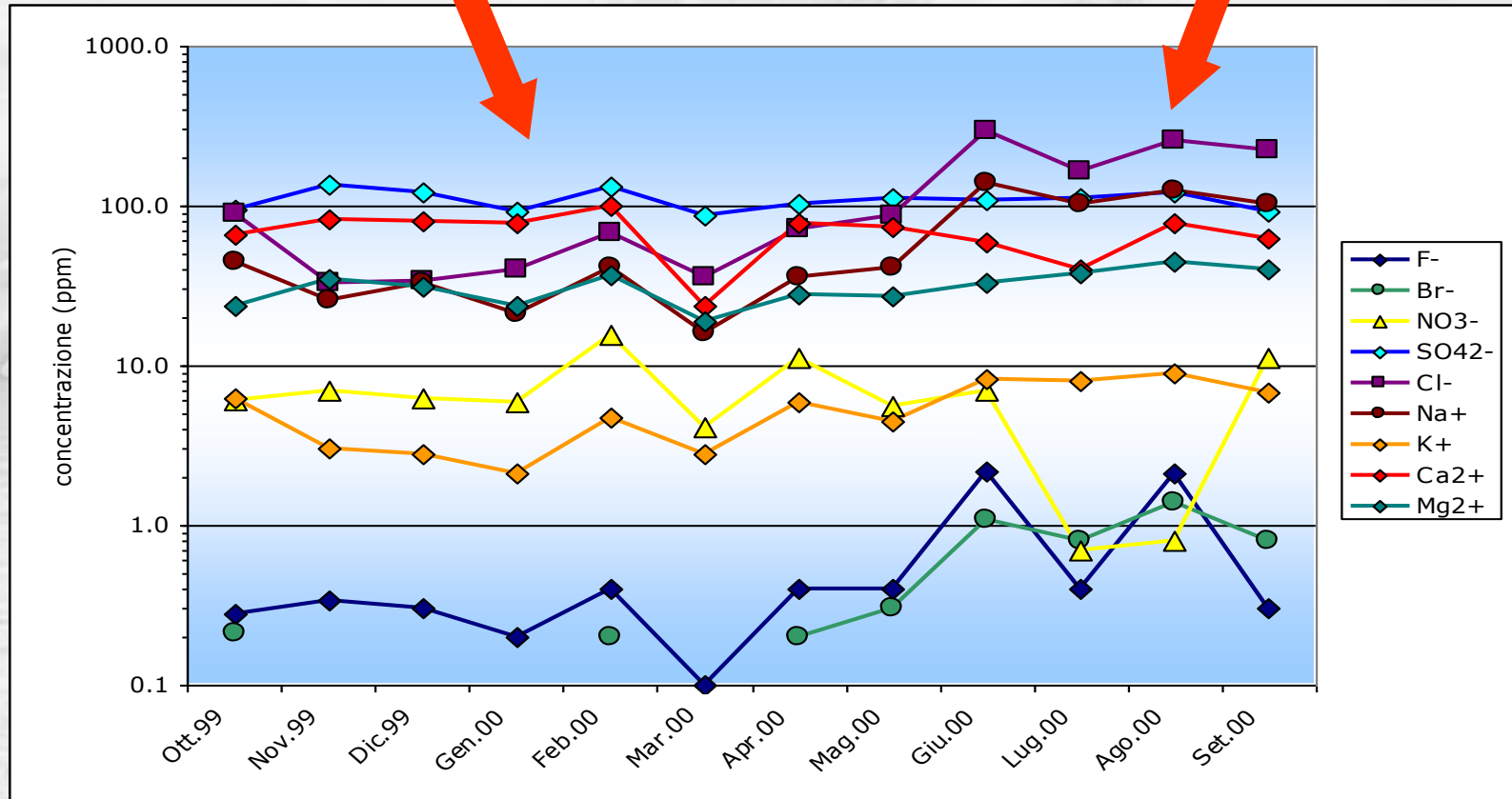
- Misura a lato del campionamento, altrimenti il campione deve essere preservato acidificato (pH 1-2 con acido solforico).
- E' un complemento alla misura del BOD₅.
- Il rapporto COD/BOD è un indice che identifica la biodegradabilità di un refluo.
- E' più alto negli scarichi industriali nei quali prevalgono sostanze organiche non biodegradabili.
- Per lo scarico in acque superficiali (fiumi, ecc.), la normativa italiana ammette un limite di 160 mg/L.

Variabilità nella composizione chimica di un fiume

Effetti di stagionalità:

Concentrazioni minori nei periodi di maggiore precipitazione e/o di disgelo

Concentrazioni maggiori nei periodi più caldi



fiume Montone (stazione Castrocara, Forlì)

Effetto delle precipitazioni sulla concentrazione di un elemento in un corso d'acqua

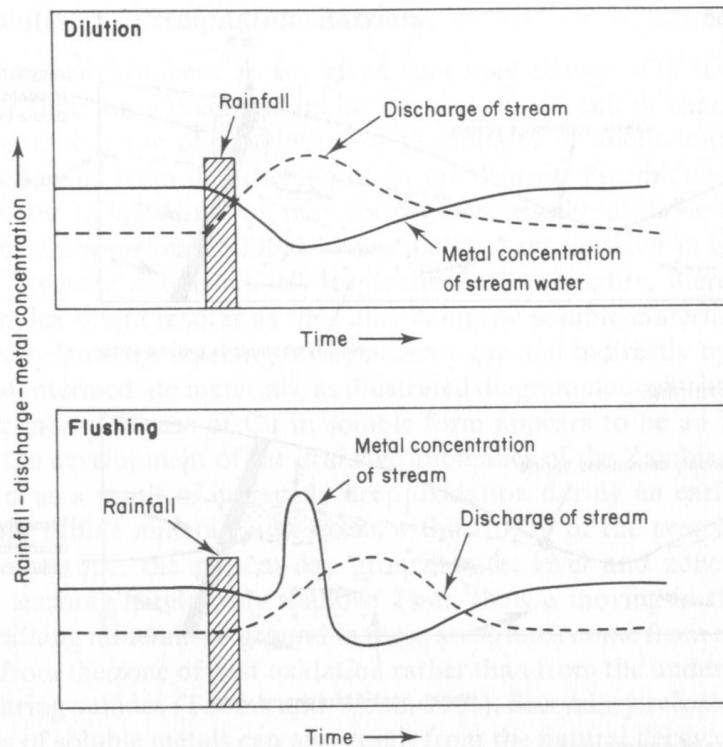


Fig. 14.13. Diagrammatic illustration of the effects of dilution and flushing on the metal content of stream water.

Effetto di **DILUZIONE**: un elemento, in corrispondenza di eventi piovosi mostra una relazione inversa con la portata del corso d'acqua

Effetto di **FLUSHING**: l'aumento di portata provoca un aumento di concentrazione legato alla dissoluzione di fasi solubili precipitate nel suolo.

Dopo il picco le concentrazioni diminuiscono rapidamente per effetto della diluizione

Le variazioni del regime idrologico (legate a piovosità, evaporazione, prelievi o immissioni consistenti) possono modificare significativamente le concentrazioni.

Acque superficiali di ruscellamento hanno avuto tempi relativamente brevi di reazione con il suolo o le rocce, quindi sono **"diluite"**. Sono tipiche di periodi di alta piovosità.

Acque di falda o di circolazione profonda hanno avuto possibilità di interazione prolungata con le rocce, generalmente sono **più mineralizzate** e sono il fornitore principale di acqua ai fiumi durante i periodi di scarsa piovosità.

Tra i parametri più sensibili **N - P - O₂**, le cui abbondanze sono fortemente **condizionate dall'attività biologica**.

L'utilizzo di elementi *conservativi* (elementi che hanno affinità per la fase acquosa e tendono a rimanere in soluzione per periodi molto lunghi) consente di evidenziare diversi tipi di apporti e/o processi.....

E' possibile utilizzare i rapporti tra elementi come indicatori del tipo di roccia di partenza!

SO_4 / Cl

- In situazioni naturali tende a diminuire da monte verso valle in un acquifero perché è diversa la solubilità di solfati rispetto a cloruri.
- L'opposto se si attraversa un successione gessosa o evaporitica.
- I valori tendono a diminuire durante i processi di evaporazione.

Mg / Ca

- Andamento opposto a quello del rapporto precedente per la diversa solubilità di fasi contenenti Mg rispetto a quelle contenenti Ca.
- Durante i processi di evaporazione il rapporto aumenta.
- In graniti, comuni valori intorno a 0.3; in basalti, frequenti valori intorno a 1; dolomite = 0.6; valori bassi in rocce calcaree.

Importanti anche altri rapporti come K / Na ; Na / Cl

PERIODIC TABLE OF THE ELEMENTS

Table of Radioactive Isotopes

Naturally occurring radioactive isotopes are indicated by a blue mass number. Half lives are in parentheses where s, m, h, d and y stand for seconds, minutes, hours, days and years respectively. The symbols describing the mode of decay and resulting radiation are defined as follows:

α alpha particle L L-electron capture
β⁻ beta particle SF spontaneous fission
β⁺ positron γ gamma ray
K K-electron capture e⁻ internal electron conversion

GROUP IA

1	1.00797
-252.7	1
-259.2	1
0.071	1
¹ H	
Hydrogen	

IIA

3	6.939	4	9.0122
1330	1	2770	2
180.5	1	1272	2
0.53	1.85	1.85	1.85
¹ Li		² Be	
Lithium		Beryllium	

11	22.9898	12	24.312
892	1	1107	2
97.8	1	650	2
0.97	1.74	1.74	1.74
¹¹ Na		¹² Mg	
Sodium		Magnesium	

Ac	227(224)β ⁻ α
Ag	110(24)β ⁻ γ 111(7.5d)β ⁻ γ
Am	241(458)α _{spont} ⁺ 242(16.0h)α _{spont} ⁺ 243(8000y)α _{spont} ⁺
As	76(26.7h)β ⁻ γ 77(39h)β ⁻ γ
At	210(8.3h)K _{spont} ⁺ 211(7.2h)K _{spont} ⁺ 212(0.3s)β ⁻ α _{spont} ⁺
Au	198(2.69d)β ⁻ γ
Ba	131(12d)K _{spont} ⁺ 137(2.5y)K _{spont} ⁺
Bi	210(5d)β ⁻ γ
Bk	245(4.9d)K _{spont} ⁺ 249(314d)α _{spont} ⁺
Br	82(36h)β ⁻ γ
C	14(5700y)β ⁻ γ
Ca	41(8.10 ⁴ y)K _{spont} ⁺ 45(165d)β ⁻ γ 47(4.5d)β ⁻ γ

Cd	115(43d)β ⁻ γ
Ce	141(32d)β ⁻ γ 143(33h)β ⁻ γ 144(285d)β ⁻ γ
Cf	242(350y)α _{spont} ⁺ 249(350y)α _{spont} ⁺ 251(1800y)α _{spont} ⁺
Cl	36(3.10 ⁵ y)β ⁻ γ
Cm	243(35y)α _{spont} ⁺ 245(9300y)α _{spont} ⁺ 247(10 ⁷ y)α _{spont} ⁺
Co	58(71d)K _{spont} ⁺ 60(5.27y)β ⁻ γ
Cr	51(27d)K _{spont} ⁺
Cs	134(2.0y)β ⁻ γ 135(3.0 ¹⁰ y)β ⁻ γ 137(30y)β ⁻ γ
Cu	64(12.8h)K _{spont} ⁺
Es	253(20d)α _{spont} ⁺ 254(1y)α _{spont} ⁺ 256(1.5y)β ⁻ γ
Eu	154(1.6y)β ⁻ γ 155(1.8y)β ⁻ γ

Fe	55(2.6y)K _{spont} ⁺ 59(45d)β ⁻ γ
Fm	255(20h)α _{spont} ⁺
Fr	223(22m)β ⁻ γ
Ga	72(14.1h)β ⁻ γ
Gd	153(236d)K _{spont} ⁺ 159(18h)β ⁻ γ
Ge	71(11d)K _{spont} ⁺
H	3(12.3y)β ⁻ γ
Hf	181(145d)β ⁻ γ
Hg	197(65h)K _{spont} ⁺ 203(47d)α _{spont} ⁺
Ho	166(27.3h)β ⁻ γ
I	129(10 ⁷ y)β ⁻ γ 131(8.05d)β ⁻ γ
In	114(50d)β ⁻ γ
Ir	192(74.4d)β ⁻ γ
K	40(10 ¹⁰ y)β ⁻ γ 42(12.4h)β ⁻ γ

La	140(40.2h)β ⁻ γ
Lu	176(10 ¹⁰ y)β ⁻ γ 177(6.8d)β ⁻ γ
Md	256(90m)K _{spont} ⁺
Mo	99(67h)β ⁻ γ
Na	22(2.6y)β ⁻ γ 24(1.5h)β ⁻ γ
Nd	147(11.1d)β ⁻ γ
Ni	63(125y)β ⁻ γ 59(8.10 ⁴ y)K _{spont} ⁺
Np	237(2.2 ¹⁰ 10 ⁶ y)α _{spont} ⁺ 239(2.33d)α _{spont} ⁺
Os	191(11.5d)β ⁻ γ
P	32(14.2d)β ⁻ γ
Pa	231(34000y)α _{spont} ⁺
Pb	210(19.4y)β ⁻ γ 202(10 ⁵ y)β ⁻ γ
Pd	103(17d)K _{spont} ⁺
Pm	147(2.6y)β ⁻ γ

Po	210(138.4d)β ⁻ γ 209(103y)α _{spont} ⁺ 85(64d)K _{spont} ⁺
Pr	143(13.8d)β ⁻ γ
Pt	197(18h)β ⁻ γ
Pu	242(3.8 × 10 ⁴ y)α _{spont} ⁺ 241(13y)α _{spont} ⁺ 239(24300y)α _{spont} ⁺
Ra	226(1620y)α _{spont} ⁺
Rb	86(18.6d)β ⁻ γ
Re	188(16.7h)β ⁻ γ 186(3.7d)β ⁻ γ
Rn	222(3.82d)α _{spont} ⁺
Ru	103(40d)β ⁻ γ 97(2.9d)K _{spont} ⁺
S	35(88d)β ⁻ γ
Sb	122(2.8d)β ⁻ γ 124(60d)β ⁻ γ
Sc	46(84d)β ⁻ γ
Se	75(120d)K _{spont} ⁺
Sm	153(47h)β ⁻ γ 145(340d)K _{spont} ⁺
Sn	113(119d)K _{spont} ⁺

Sr	90(28y)β ⁻ γ 89(51d)β ⁻ γ 85(64d)K _{spont} ⁺
Ta	182(11.5d)β ⁻ γ
Tb	160(73d)β ⁻ γ
Tc	99(2.10 ⁵ y)β ⁻ γ 97(10 ⁴ y)K _{spont} ⁺
Te	127(9.3h)β ⁻ γ
Th	232(1.41 ¹⁰ 10 ¹⁰ y)α _{spont} ⁺ 228(1.91y)β ⁻ γ
Ti	204(3.81y)β ⁻ γ
Tm	170(134d)β ⁻ γ
U	238(4.51 ¹⁰ 10 ⁹ y)α _{spont} ⁺ 234(2.51 ¹⁰ 10 ⁴ y)α _{spont} ⁺ 235(7.11 ¹⁰ 10 ⁸ y)α _{spont} ⁺ 233(1.61 ¹⁰ 10 ⁴ y)α _{spont} ⁺
W	185(75d)β ⁻ γ
Y	90(64h)β ⁻ γ
Yb	175(4.2d)β ⁻ γ 169(31d)K _{spont} ⁺
Zn	65(245d)K _{spont} ⁺
Zr	95(65d)β ⁻ γ 93(9.10 ⁴ y)β ⁻ γ

VIIIA	2	4.0026
-268.9	2	
-269.7	2	
0.126	2	
² He		
Helium		

19	39.102	20	40.08	21	44.956	22	47.90	23	50.942	24	51.996	25	54.938	26	55.847	27	58.933	28	58.71	29	63.54	30	65.37	31	69.72	32	72.59	33	74.922	34	78.96	35	79.909	36	83.80
760	1	1440	2	2730	3	3280	4,3	3450	5,4,3,2	2665	6,3,2	2150	7,6,4,2,3	3000	2,3	2900	2,3	2730	2,3	2595	2,1	906	2	2237	3	2830	4	613	±3.5	685	±2.6	58	±1.5	-152	
63.7	1	838	1	1539	1	1668	1	1900	1	1875	1	1245	1	1536	1	1495	1	1453	1	1083	1	419.5	1	937.4	1	817	1	572	1	217	1	-7.2	-157.3	2.6	
0.86	1.55	1.55	1.55	3.0	4.51	4.51	6.1	7.19	7.19	7.86	7.86	7.86	7.86	7.86	8.9	8.9	8.9	8.9	8.9	8.9	7.14	7.14	5.91	5.91	5.32	5.32	8.72	4.79	3.12	3.12	2.6	2.6	2.6		
[Ar]4s ¹	[Ar]4s ²	[Ar]4s ²	[Ar]4s ²	[Ar]3d ¹ 4s ²	[Ar]3d ² 4s ²	[Ar]3d ³ 4s ²	[Ar]3d ⁴ 4s ²	[Ar]3d ⁵ 4s ²	[Ar]3d ⁵ 4s ²	[Ar]3d ⁶ 4s ²	[Ar]3d ⁶ 4s ²	[Ar]3d ⁷ 4s ²	[Ar]3d ⁷ 4s ²	[Ar]3d ⁸ 4s ²	[Ar]3d ⁸ 4s ²	[Ar]3d ⁹ 4s ²	[Ar]3d ⁹ 4s ²	[Ar]3d ¹⁰ 4s ²	[Ar]3d ¹⁰ 4s ²	[Ar]3d ¹⁰ 4s ²	[Ar]3d ¹⁰ 4s ²	[Ar]3d ¹⁰ 4s ²	[Ar]3d ¹⁰ 4s ²	[Ar]3d ¹⁰ 4s ²	[Ar]3d ¹⁰ 4s ²	[Ar]3d ¹⁰ 4s ²	[Ar]3d ¹⁰ 4s ²	[Ar]3d ¹⁰ 4s ²	[Ar]3d ¹⁰ 4s ²	[Ar]3d ¹⁰ 4s ²	[Ar]3d ¹⁰ 4s ²	[Ar]3d ¹⁰ 4s ²			
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe

87	(223)	88	(226)	89	(227)	104
-	1	-	2	-	3*	-
-	1	-	2	-	3*	-
-	1	-	2	-	3*	-
⁸⁷ Fr		⁸⁸ Ra		⁸⁹ Ac		
Francium		Radium		Actinium		

58	140.12	59	140.907	60	144.24	61	(147)	62	150.35	63	151.96	64	157.25	65	158.924	66	162.50	67	164.930	68	167.26	69	168.934	70	173.04	71	174.97								
3468	3,4	3127	3,4	3027	3	(1027)	3	1900	3,2	1439	3,2	3000	3	2800	3,4	2600	3	2600	3	2900	3	1727	3,2	1427	3,2	3327	3								
795	1	935	1	1024	1	1027	1	1072	1	826	1	1312	1	1356	1	1407	1	1461	1	1497	1	1545	1	824	1	1652	1								
6.67	6.77	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.54	7.54	5.26	5.26	7.89	7.89	8.27	8.27	8.54	8.54	8.80	8.80	9.05	9.05	9.33	6.98	6.98	9.84	9.84									
[Xe]4f ¹⁴ 5d ²	[Xe]4f ¹⁴ 5d ¹	[Xe]4f ¹⁴ 5d ²	[Xe]4f ¹⁴ 5d ²	[Xe]4f ¹⁴ 5d ²	[Xe]4f ¹⁴ 5d ²	[Xe]4f ¹⁴ 5d ²	[Xe]4f ¹⁴ 5d ²	[Xe]4f ¹⁴ 5d ²	[Xe]4f ¹⁴ 5d ²	[Xe]4f ¹⁴ 5d ²	[Xe]4f ¹⁴ 5d ²	[Xe]4f ¹⁴ 5d ²	[Xe]4f ¹⁴ 5d ²	[Xe]4f ¹⁴ 5d ²	[Xe]4f ¹⁴ 5d ²	[Xe]4f ¹⁴ 5d ²	[Xe]4f ¹⁴ 5d ²	[Xe]4f ¹⁴ 5d ²	[Xe]4f ¹⁴ 5d ²	[Xe]4f ¹⁴ 5d ²	[Xe]4f ¹⁴ 5d ²	[Xe]4f ¹⁴ 5d ²	[Xe]4f ¹⁴ 5d ²	[Xe]4f ¹⁴ 5d ²	[Xe]4f ¹⁴ 5d ²	[Xe]4f ¹⁴ 5d ²	[Xe]4f ¹⁴ 5d ²	[Xe]4f ¹⁴ 5d ²	[Xe]4f ¹⁴ 5d ²	[Xe]4f ¹⁴ 5d ²	[Xe]4f ¹⁴ 5d ²	[Xe]4f ¹⁴ 5d ²			
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu																						

KEY

ATOMIC WEIGHT (2)

OXIDATION STATES (Bold most stable)

BOILING POINT, °C

MELTING POINT, °C

DENSITY (g/ml) (3)

SYMBOL (1)

ELECTRON STRUCTURE

NAME

30 **65.37**

Zn

[Ar]3d¹⁰4s²

Zinc

90	232.038	91	(231)	92	238.03	93	(237)	94	(242)	95	(243)	96	(247)	97	(247)	98	(249)	99	(254)	100	(253)	101	(256)	102	(254)	103	(257)								
3850	4	5,4	3,8	6,5,4,3	5,500	2,3,4,6,8	3000	5500	2,3,4,6	4530	2,4	2970	3,1	1457	4,2	1725	4,2	1560	3,5	1600	3,5	1560	3,5	1560	3,5	1560	3,5								
11.7	15.4	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	
[Rn]5f ¹⁴ 6d ²	[Rn]5f ¹⁴ 6d ¹	[Rn]5f ¹⁴ 6d ²	[Rn]5f ¹⁴ 6d ²	[Rn]5f ¹⁴ 6d ²	[Rn]5f ¹⁴ 6d ²	[Rn]5f ¹⁴ 6d ²	[Rn]5f ¹⁴ 6d ²	[Rn]5f ¹⁴ 6d ²	[Rn]5f ¹⁴ 6d ²	[Rn]5f ¹⁴ 6d ²	[Rn]5f ¹⁴ 6d ²	[Rn]5f ¹⁴ 6d ²	[Rn]5f ¹⁴ 6d ²	[Rn]5f ¹⁴ 6d ²	[Rn]5f ¹⁴ 6d ²	[Rn]5f ¹⁴ 6d ²	[Rn]5f ¹⁴ 6d ²	[Rn]5f ¹⁴ 6d ²	[Rn]5f ¹⁴ 6d ²	[Rn]5f ¹⁴ 6d ²	[Rn]5f ¹⁴ 6d ²	[Rn]5f ¹⁴ 6d ²	[Rn]5f ¹⁴ 6d ²	[Rn]5f ¹⁴ 6d ²	[Rn]5f ¹⁴ 6d ²	[Rn]5f ¹⁴ 6d ²	[Rn]5f ¹⁴ 6d ²	[Rn]5f ¹⁴ 6d ²	[Rn]5f ¹⁴ 6d ²	[Rn]5f ¹⁴ 6d ²	[Rn]5f ¹⁴ 6d ²	[Rn]5f ¹⁴ 6d ²	[Rn]5f ¹⁴ 6d ²		
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lw																						

- NOTES:**
- Black — solid.
Red — gas.
Blue — liquid.
Outline — synthetically prepared.
 - Based upon carbon — 12. () indicates most stable or best known isotope.
 - Values for gaseous elements are for liquids at the boiling point.

SARGENT-WELCH

SARGENT-WELCH SCIENTIFIC COMPANY

7300 LINDER AVENUE, SKOKIE, ILLINOIS 60076

www.DesktopCalc.com