

# Cicli geochimici e dinamica dei sistemi complessi

*CdS: Scienze della Natura*

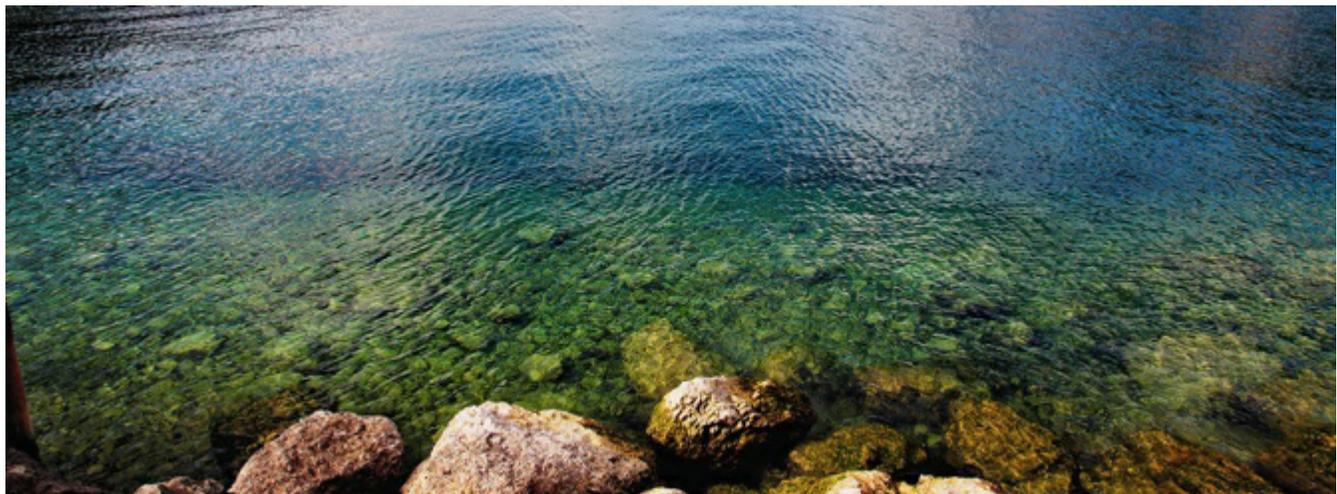
Lezione sulle Acque Naturali



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE

**Caterina Gozzi**

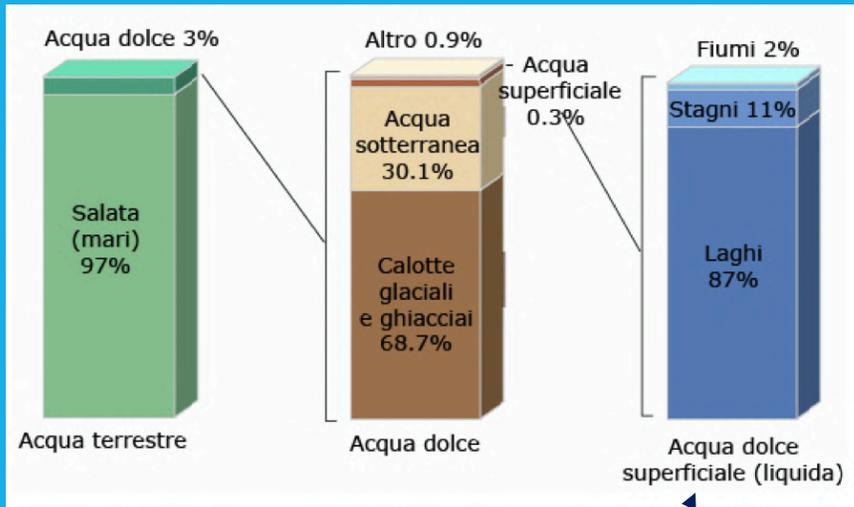
Università di Firenze  
Dipartimento di Scienze della Terra  
email: [caterina.gozzi@unifi.it](mailto:caterina.gozzi@unifi.it)



# Contenuto Lezione

- Ciclo idrologico
- Composizione chimica delle acque naturali
- Metodi classificativi
- Casi studio

# Distribuzione dell'acqua globale



Sebbene l'acqua sia abbondante su scala globale, più del 99% non è utilizzabile per i nostri scopi. Un misero **0.3%** è utilizzabile e una minore quantità accessibile!

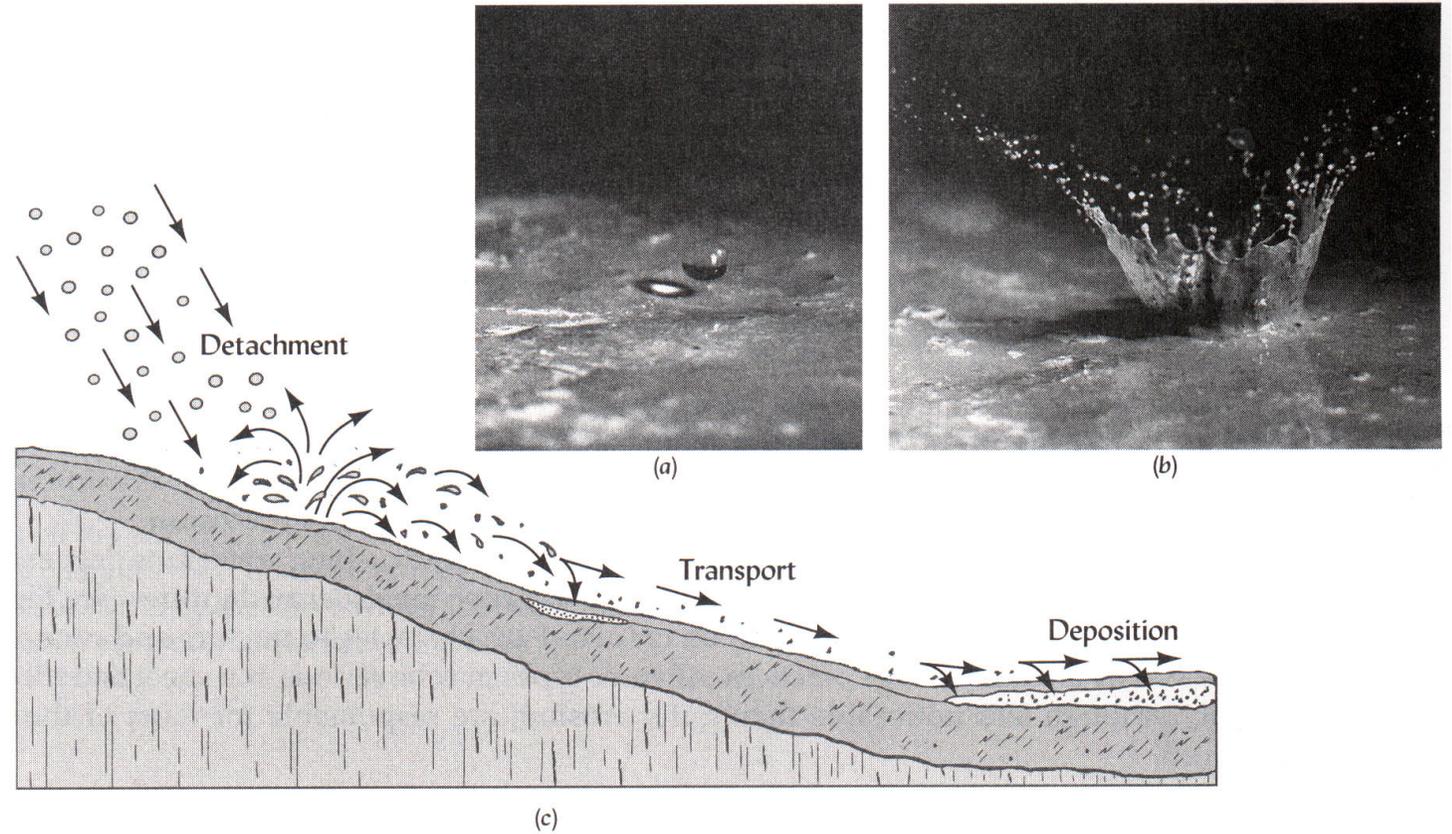
# Ciclo idrologico



Il comportamento geochimico e le proprietà chimiche ed isotopiche delle acque naturali sono influenzate dalla loro posizione nella idrosfera

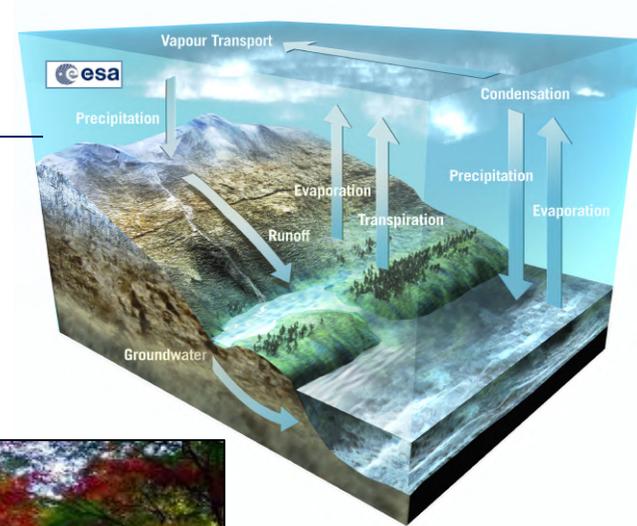
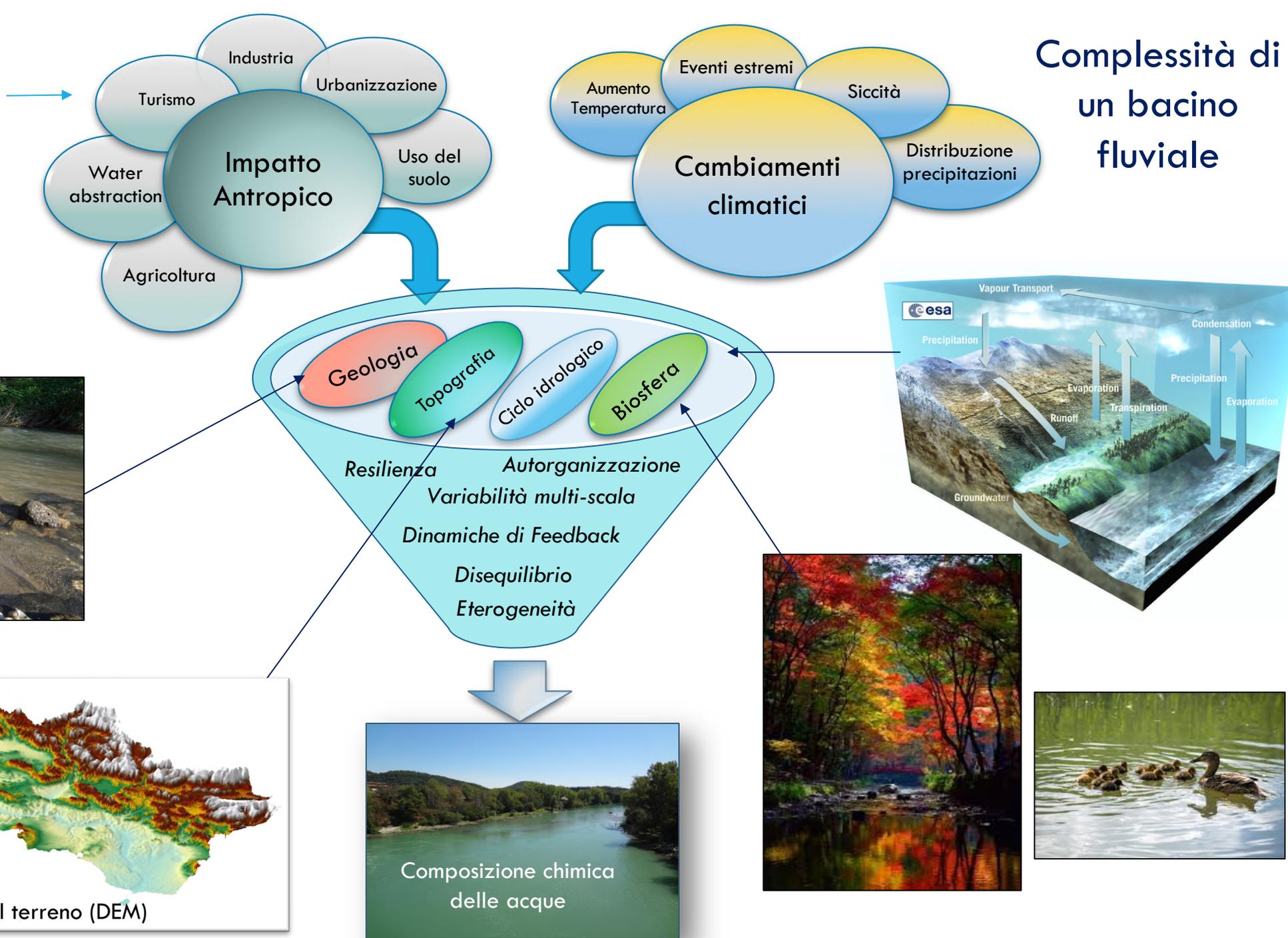
# Il tocco dell'acqua al suolo

1. Distacco
2. Trasporto
3. Deposizione
4. Infiltrazione





Sponde del Fiume Tevere  
Sett. 2018



## CONTENTS

1. INTRODUCTION	3
2. LIVING WITH CLIMATE CHANGE	8
3. SECURING OUR FOOD SUPPLY	12
4. SECURING OUR ENERGY SUPPLY	16
5. SECURING INFRASTRUCTURE AND LIVELIHOODS THROUGH NATURE-BASED SOLUTIONS	20
6. FINANCING CLIMATE ADAPTATION IN THE WATER SECTOR	22
7. PARTNER RECOMMENDATIONS	24
GLOSSARY	26
ENDNOTES	27

PUBLISHED JULY 2019

## INTRODUCTION

# WATER: WHERE CLIMATE IMPACTS ARE FELT AND WHERE RESILIENCE IS DEVELOPED

Climate action will be the focus of a series of critical conferences in 2019 and 2020, including the High-Level Political Forum, the United Nations Climate Summit and the official start of the Paris Climate Agreement.

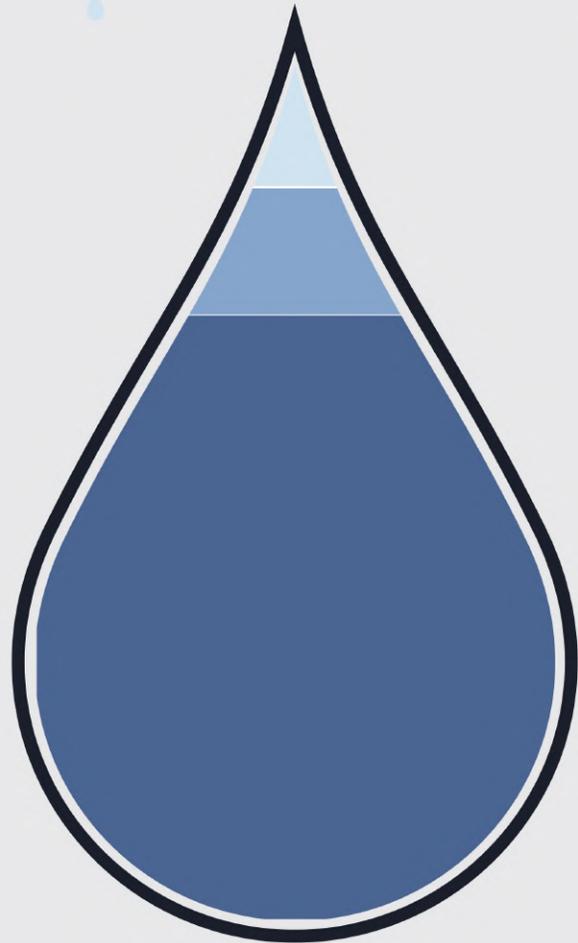
As this report shows, freshwater conservation issues must be at the heart of the climate agenda and efforts to achieve Sustainable Development Goal (SDG) 13. While freshwater is a major conduit through which climate impacts are felt, it can also play a central role in climate adaptation and resilience-building for people, economies and nature. Managing water carefully through nature-based solutions is a crucial element in tackling the most serious global climate risks.<sup>1</sup>

Strengthening water resilience to climate change is a key strategic opportunity for countries aiming to meet their United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) nationally determined contributions (NDCs). Cape Verde, for example,

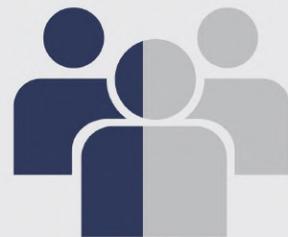
states that implementing integrated water resources management at a national level will be its NDC for climate adaptation. This report highlights the nature-based opportunities, which will help countries meet their NDCs at the same time as increasing their water resilience.

Climate change makes the water challenges we face more severe. However, at the same time, freshwater is the lever through which we can help mitigate climate risks. Sound water policies, practices, investments and governance that recognize the full value of functioning and healthy freshwater systems will make us more climate resilient. Water is the sector where most climate impacts are felt and where climate resilience must be developed.

## L'uso globale



## I Paesi che ne consumano di più



Nel 2030 il 47% della popolazione mondiale vivrà con problemi di scarsità d'acqua

## L'aumento dei consumi per il 2025

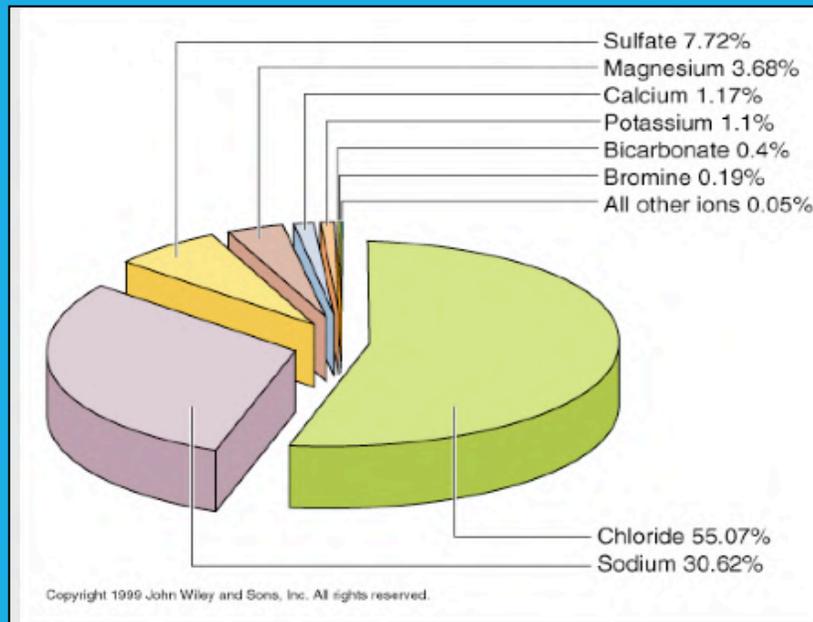
Paesi in via di sviluppo

**+50%**

**+18%**

Paesi industrializzati

# Composizione dell'acqua di mare



Constituent	mg/kg (ppm)
Na <sup>+</sup>	10,500
Mg <sup>2+</sup>	1,350
Ca <sup>2+</sup>	400
K <sup>+</sup>	380
Cl <sup>-</sup>	19,000
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2,700
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	142
Br <sup>-</sup>	65
Other solids	34
Total dissolved solids	34,500
Water (balance)	965,517

**Salinità H<sub>2</sub>Osw = 35 per mille (‰)**

Concentrazione tipiche (in mg/L) dei costituenti principali nelle piogge continentali e marine

Ion	Continental Rain	Marine and Coastal Rain
Na <sup>+</sup>	0.2–1	1–5
Mg <sup>++</sup>	0.05–0.5	0.4–1.5
K <sup>+</sup>	0.1–0.3 <sup>a</sup>	0.2–0.6
Ca <sup>++</sup>	0.1–3.0 <sup>a</sup>	0.2–1.5
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0.1–0.5 <sup>b</sup>	0.01–0.05
H <sup>+</sup>	pH = 4–6	pH = 5–6
Cl <sup>-</sup>	0.2–2	1–10 <sub>o</sub>
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	1–3 <sup>2,b</sup>	1–3
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.4–1.3 <sup>b</sup>	0.1–0.5

<sup>a</sup>In remote continental areas; K<sup>+</sup> = 0.02–0.07; Ca<sup>++</sup> = 0.02–0.20; SO<sub>4</sub> = 0.2–0.8

<sup>b</sup>In polluted areas; NH<sub>4</sub><sup>+</sup> = 1–2; SO<sub>4</sub><sup>-</sup> = 3–8; NO<sub>3</sub><sup>-</sup> = 1–3.

# Costituenti fondamentali di un'acqua

## Cationi:

$\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$

## Anioni:

$\text{HCO}_3^-$  ( $\text{CO}_3^{2-}$ ),  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$

Nella maggior parte dei casi sono i soluti sufficienti per una classificazione (geo)chimica delle acque

## Costituenti principali delle acque naturali

- Chimici
  - Gas disciolti:  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{CH}_4$ , He
  - Ioni principali:  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$
  - Nutrienti:  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{SiO}_2$
  - Microelementi (<10<sup>-3</sup>%): I<sup>-</sup>, Br<sup>-</sup>, F<sup>-</sup>,  $\text{BO}_2^-$ , metal ions
  - Composti Organici
- Biota: organismi viventi
  - Autotrofici: alghe
  - Eterotrofici: animali
  - Decompositori (riduttori): batteria, funghi



- **Temperatura:** ° C
- **pH:** concentrazione degli ioni  $H^+$  espressa come  $-\log(H^+)$
- **Conducibilità elettrica:** in  $\mu S/cm$  o  $mS/cm$ . Misura l'abilità di un materiale a trasportare una corrente elettrica.
- **Alcalinità:** L'Alcalinità di un'acqua è dovuta alle sostanze in essa disciolte che hanno carattere alcalino. Tra le più frequenti ricordiamo gli idrossidi, i carbonati, i bicarbonati, i silicati e i fosfati.
- **Alcalinità totale:** L'alcalinità totale si esprime normalmente in  $mg/L$  di  $CaCO_3$ :



## Durezza totale

Si esprime in mg/L di  $\text{CaCO}_3$  e si riferisce alla concentrazione di cationi a plurivalenza ed in particolare Ca e Mg:

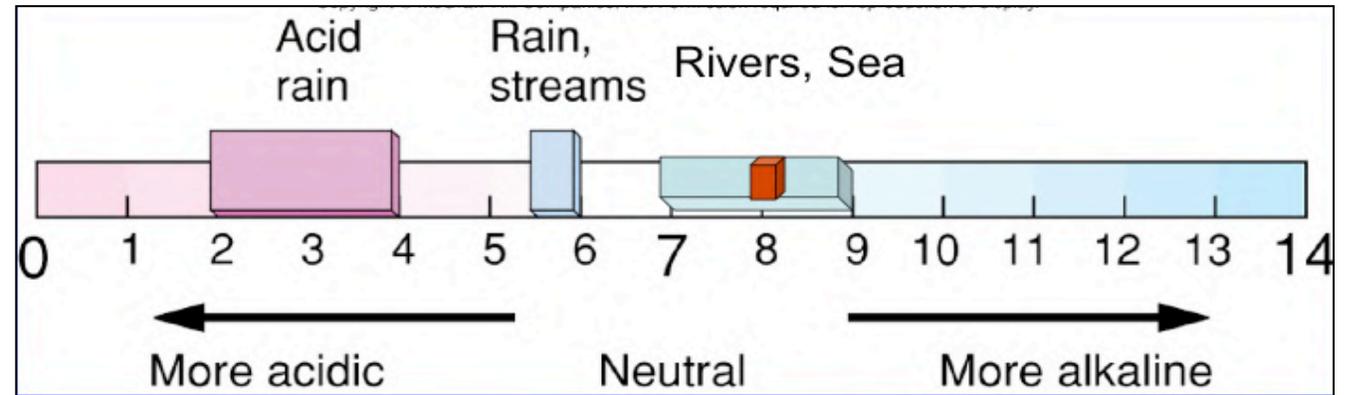
$$\text{Durezza} = \frac{2.497 \cdot \text{Ca (mg/L)} + 4.118 \cdot \text{Mg (mg/L)}}{10}$$

Molto dolci: 0-7°  
Dolci: 7-14°  
Mediocrementemente dure: 14-22°  
Abbastanza dure: 22-32°  
Dure: 32-54°  
Molto dure: >54°

Gradi  
francesi

f°

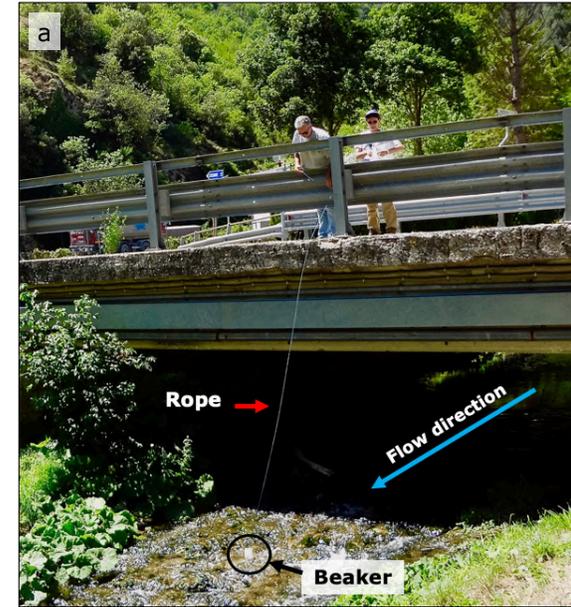
## pH nelle acque naturali



# Metodi di campionamento acque superficiali e sotterranee



Microdosimetro (a) e valigetta contenente la strumentazione per le misure di alcalinit  (b).



pH-metro e sonda multiparametrica per la misurazione dei parametri chimico-fisici delle acque.



Figura 14. GPS differenziale per misure di precisione.

# Metodi di analisi acque superficiali e sotterranee

Major species

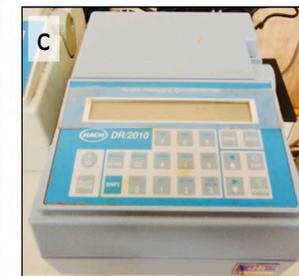
Ion-chromatography



Titration



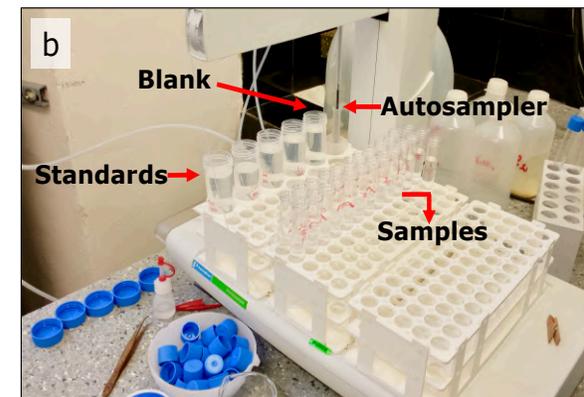
Spectrophotometry



Trace species

ICP-OES

Inductively Coupled Plasma  
Optical Emission Spectroscopy



Acque dolci



Acque minimamente mineralizzate: sali inferiori a 50 mg/L

Acque oligominerali o leggermente mineralizzate: sali non oltre 500 mg/L

Acque minerali:: sali non oltre 500 mg/L

## TDS: Total Dissolved Solids

Quantità di solidi disciolti e si misura per evaporazione dell'acqua (misurata) o come la sommatoria dei vari elementi determinati in soluzione (calcolata in mg/L).

TDS ca. = 0.66 EC.



In base al valore di TDS, le acque possono essere classificate nel modo seguente:

### TIPO

Acqua dolce (fresh water)

Acqua salmastra (brackish water)

Acqua salina (saline water)

Acqua molto salata (brine)

### TDS (mg/L)

<1000 (potabili)

1000-20000 (non potabili)

~35000 (simili all'acqua di mare)

>35000 (più saline dell'acqua di mare)

TDS media delle acque dei fiumi mondiali = 110 mg/L

## Composizione chimica media dei maggiori fiumi mondiali

Il 98% dei fiumi sono dominati da  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{HCO}_3^-$  dovuti all'alterazione delle rocce carbonatiche.

La composizione chimica dei fiumi dipende principalmente da:

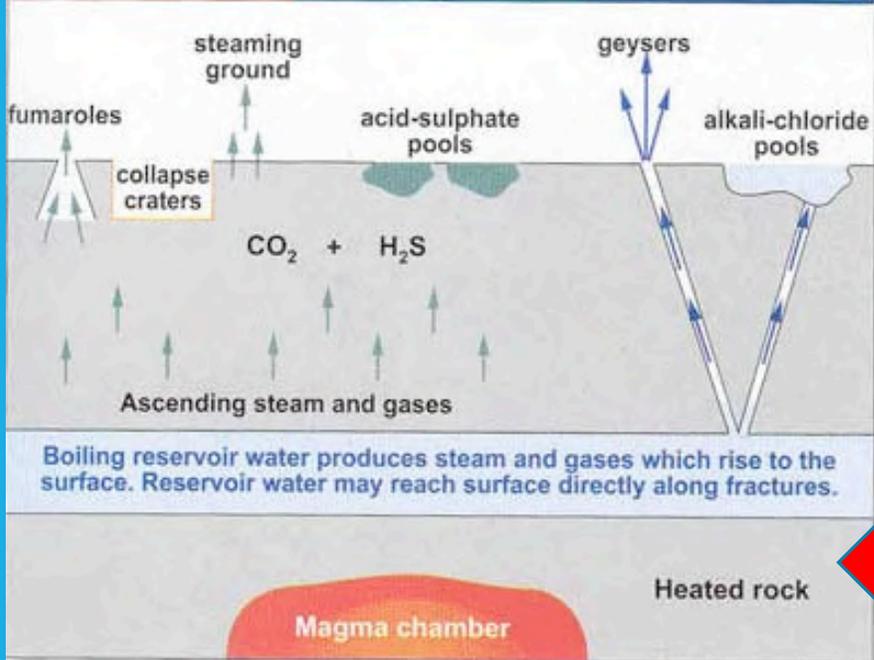
1. Composizione delle acque meteoriche
2. Substrato con cui le acque interagiscono
3. Fenomeni di evaporazione superficiale

RIVER	$\text{Ca}^{2+}$ mg/L	$\text{Mg}^{2+}$ mg/L	$\text{Na}^+$ mg/L	$\text{K}^+$ mg/L	Cl mg/L	$\text{SO}_4^{2-}$ mg/L	$\text{HCO}_3^-$ mg/L	$\text{SiO}_2$ mg/L	Discharge $\text{Km}^3/\text{y}$
<b>North America</b>									
Missisipi	34	8.9	11	2.8	10	26	116	7.6	580
Colorado	83	24	95	5.0	82	270	135	9.3	20
Rio Grande	109	24	117	6.7	171	238	183	30	2.4
<b>Europe</b>									
Danubio	49	9.0	9.0	1.0	20	24	190	5.0	203
<b>South America</b>									
Amazon (lower)	5.2	1.0	1.5	0.8	1.1	1.7	20	7.2	7245
<b>Africa</b>									
Congo (Zaire)	2.4	1.3	1.7	1.1	2.9	3.0	11	9.8	1230
Nile	25	7.0	17	4.0	7.7	9.0	134	21	83
<b>Asia</b>									
Ganges	25	5.0	4.9	3.1	3.4	8.5	105	13	450

$\text{Na}^+ > \text{K}^+$     $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$     $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$

Le acque sono uguali da un punto di vista composizionale?

<p><b>Steam discharge</b> Ascending steam and gas</p> <p><b>Features</b> Steaming ground Fumaroles Collapse craters</p> <p><b>Examples</b> Sulphur Cave, area around Devil's Ink Pots</p>	<p><b>Acid-sulphate water</b> Ascending steam and gas and rainwater in low lying areas</p> <p><b>Features</b> Muddy coloured pools, yellow pools, green pools</p> <p><b>Examples</b> Opal pool, mud pools, Frying Pan Flat</p>	<p><b>Alkali-chloride water</b> Discharging deep reservoir hot water through fractures to the surface</p> <p><b>Features</b> Clear blue water Silica sinter</p> <p><b>Examples</b> Lady Knox Geyser, Champagne Pool, Primrose Terrace</p>
---	--	---



**Acqua meteorica (Na-Cl e  $H^+$ , bassa TDS)**

↓

**Acqua di fiume (Ca- $HCO_3$  e  $OH^-$ , TDS intermedia)**

**Acqua di percolazione: acque relativamente aggressive per aumento solubilizzazione  $CO_2$ . Asportazione di elementi disponibili in funzione dei vari fattori visti in precedenza**

↙ ↘ ↙ ↘ ↙ ↘ ↙ ↘

**Trasferimento in falde acquifere più o meno profonde. Omogenizzazione delle acque superficiali. Equilibrio chimico?**

↗

**Acqua di mare: Na-Cl e  $OH^-$ , alta TDS**

↕ ↕ ↕ ↕ ↕ ↕ ↕ ↕

**Input dal profondo?**

↖

## Tipi di serbatoi e emergenze

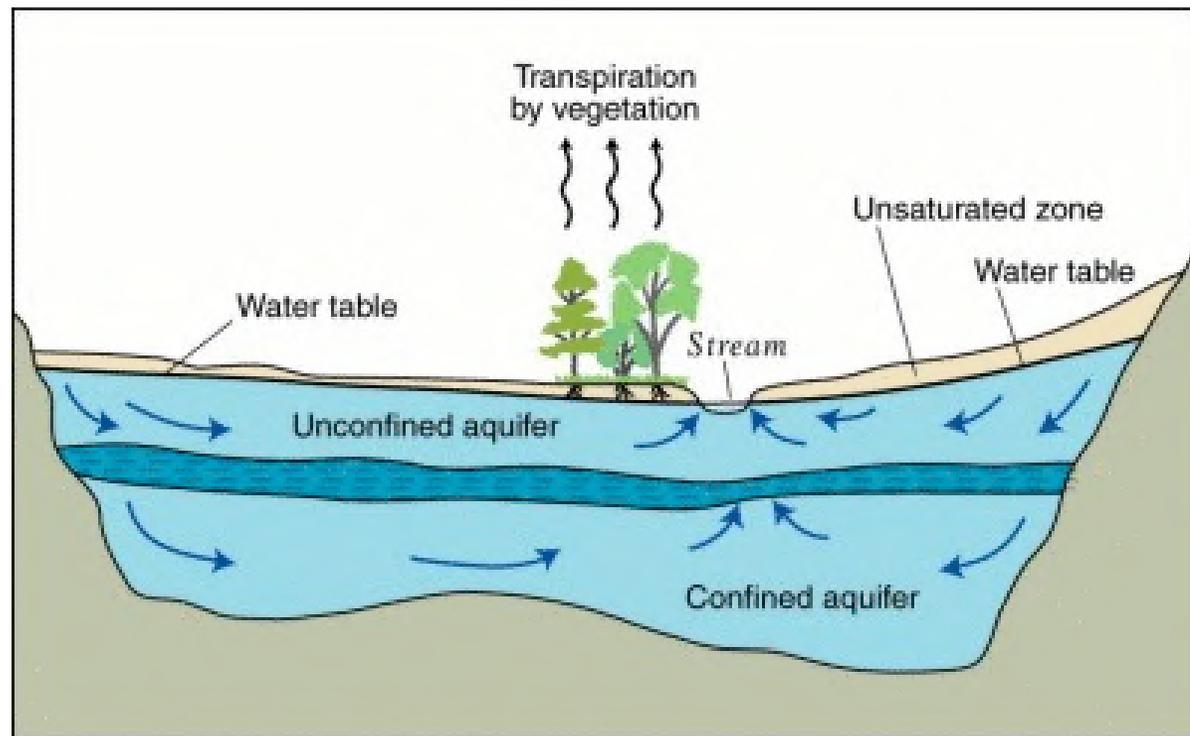
**Tavola d'acqua:** la superficie di un acquifero non confinato in cui la pressione di acqua nei pori è uguale a quella atmosferica

**Acquifero:** un livello sotterraneo di roccia o materiale inconsolidato che contiene acqua.

**Sorgente:** acqua di falda che risale verso la superficie attraverso fratture naturali o a contatto tra rocce permeabili ed impermeabili

**Acquitardo:** strato confinato e/o formazione rocciosa che ritarda ma non previene il flusso d'acqua verso o dagli acquiferi adiacenti. Se completamente impermeabile prende il nome di **acquicludo** o **acquifugo**.

**Acqua artesian:** acqua tenuta sottopressione in rocce porose o confinata in formazioni geologiche impermeabili.



### EXPLANATION



High hydraulic-conductivity aquifer



Low hydraulic-conductivity confining unit

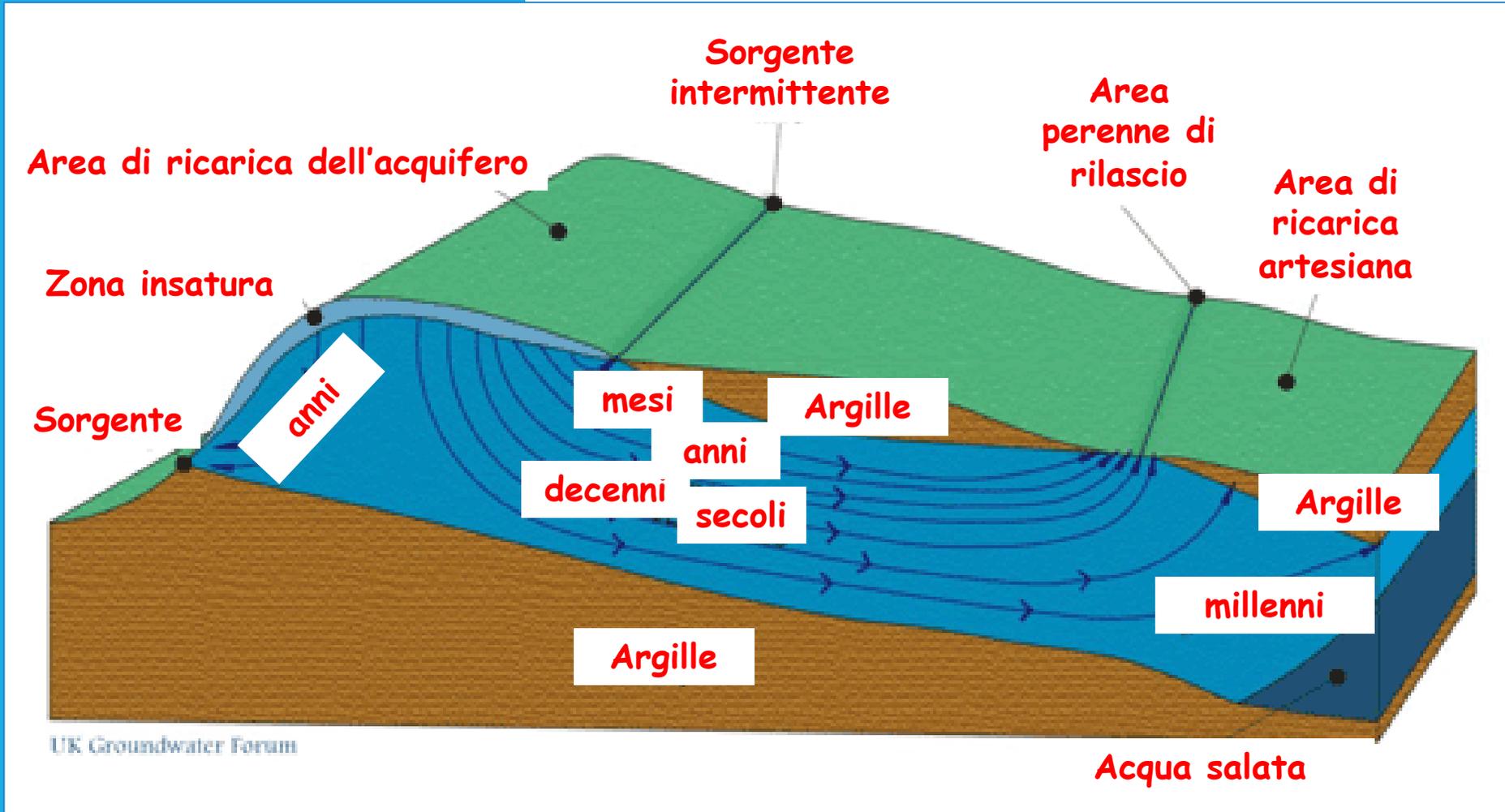


Very low hydraulic-conductivity bedrock



Direction of ground-water flow

# Tipi di serbatoi e emergenze



## Tipi di acque



**Acqua magmatica (acqua juvenile):** acqua portata verso la superficie dal profondo per movimenti verso l'alto di rocce ignee intrusive.

**Sistema idrotermale:** “acqua calda”. Le soluzioni idrotermali sono soluzioni di acqua calda di natura profonda. Possono avere temperature a livello di vapore surriscaldato o relativamente fredde come le acque termali.

**Acqua connata (acqua fossile):** Intrappolata nei sedimenti al momento della loro deposizione. La loro composizione può cambiare in funzione della storia della roccia. Le acque connate possono essere dense e saline anche rispetto all'acqua di mare.

**Acqua di formazione (acqua interstiziale):** è l'acqua inclusa nei pori di una roccia, e può essere stata non presente al momento in cui la roccia si stava formando

**Salamoie (brine):** acqua ricca in sali e, particolarmente NaCl: tipo acqua di mare.



## Le acque sono uguali da un punto di vista composizionale?

### Alterazione e composizione delle acque nel sottosuolo

- Le differenze nella composizione delle acque tra acque del sottosuolo e acqua di pioggia sono dovute all'interazione acqua-roccia, processi biologici ed antropici
- Mobilità di ioni nelle acque sotterranee:
  - $Ca > Na > Mg > Si > K > Al = Fe$
  - I silicati che si alterano più facilmente sono quelli a Na-Ca (plagioclasti), silicati a Mg (pirosseni, anfiboli), K è liberato dai minerali silicatici meno rapidamente, e.g. biotite, muscovite, K-feldspati

## Classificazione di un'acqua: caratterizzazione e aspetti genetici

- **Temperatura:** un'acqua viene definita termale quando la temperatura è apprezzabilmente superiore alla media locale della temperatura dell'aria:  $> 5^{\circ} \text{C}$

- Acque fredde: temperatura non superiore a  $20^{\circ} \text{C}$
- Acque ipotermali: temperatura tra  $20$  e  $30^{\circ} \text{C}$
- Acque termali: temperatura tra  $30$  e  $40^{\circ} \text{C}$
- Acque ipertermali: temperatura superiore a  $40^{\circ} \text{C}$

- **Composizione chimica principale:** specie cationiche e anioniche (Na, K, Ca, Mg,  $\text{HCO}_3$ , Cl,  $\text{SO}_4$ ). All'occasione possono essere utilizzate specie minori o in traccia (Al, Fe,  $\text{NH}_4$ ,  $\text{H}_3\text{BO}_3$ , ecc.)
- Non potendo tenere in considerazione gli effetti delle dissoluzioni incongruenti, le classificazioni si basano prevalentemente sui **sali solubili** (dissoluzione congruente).
- Il punto precedente più il fatto che è difficile sviluppare diagrammi in 7 dimensioni, fa sì che si considerino **coppie ioniche**.
- Una buona classificazione, oltre a tenere conto degli aspetti di definizione, dovrebbe indicare la **possibile origine dei soluti** ed eventuali **processi evolutivi**.

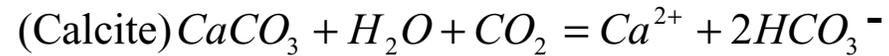
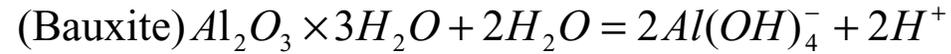
## Classificazione di un'acqua: caratterizzazione e aspetti genetici

- **Temperatura:** un'acqua viene definita termale quando la temperatura è apprezzabilmente superiore alla media locale della temperatura dell'aria:  $> 5^{\circ} \text{C}$

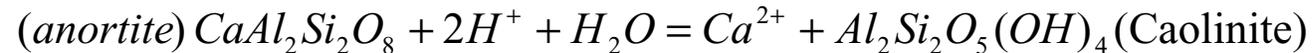
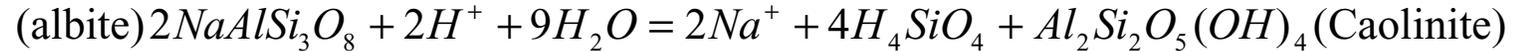
- Acque fredde: temperatura non superiore a  $20^{\circ} \text{C}$
- Acque ipotermali: temperatura tra  $20$  e  $30^{\circ} \text{C}$
- Acque termali: temperatura tra  $30$  e  $40^{\circ} \text{C}$
- Acque ipertermali: temperatura superiore a  $40^{\circ} \text{C}$

- **Composizione chimica principale:** specie cationiche e anioniche (Na, K, Ca, Mg,  $\text{HCO}_3$ , Cl,  $\text{SO}_4$ ). All'occasione possono essere utilizzate specie minori o in traccia (Al, Fe,  $\text{NH}_4$ ,  $\text{H}_3\text{BO}_3$ , ecc.)
- Non potendo tenere in considerazione gli effetti delle dissoluzioni incongruenti, le classificazioni si basano prevalentemente sui **sali solubili** (dissoluzione congruente).
- Il punto precedente più il fatto che è difficile sviluppare diagrammi in 7 dimensioni, fa sì che si considerino **coppie ioniche**.
- Una buona classificazione, oltre a tenere conto degli aspetti di definizione, dovrebbe indicare la **possibile origine dei soluti** ed eventuali **processi evolutivi**.

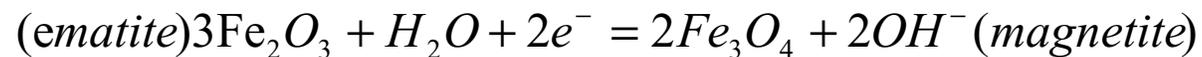
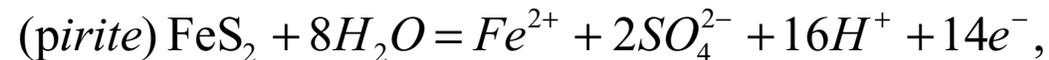
## Reazione di tipo congruente



## Reazione di tipo incongruente



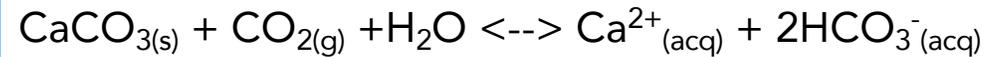
## Reazione redox



## Sali solubili

In linea di principio, la classificazione di un'acqua tiene conto della dissoluzione congruente di sali:

- NaCl: salgemma o halite
- Ca-HCO<sub>3</sub>: carbonato di Calcio



- Ca-SO<sub>4</sub>: solfato di calcio (anidrite: CaSO<sub>4</sub> o gesso: CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O)
- Mg-SO<sub>4</sub>: epsomite (MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O)
- Na(HCO<sub>3</sub>): trona Na<sub>2</sub>(CO<sub>3</sub>)(HCO<sub>3</sub>)·2(H<sub>2</sub>O)
- KCl: silvite

In linea generale possiamo definire questi minerali come **minerali evaporitici** che vanno a costituire le evaporiti: sedimenti chimici che precipitano quando il mezzo di deposizione (acqua) evapora. Raggiungono cioè la sovrassaturazione.

## Unità di misura

### Unità di misura di concentrazione per soluzioni acquose

#### Unità molari

1. *Molarità = moli per litro di soluzione = M:*

mM = millimolare = millimoli per litro =  $10^{-3}$  moli per litro

$\mu$ M = micromolare = micromoli per litro =  $10^{-6}$  moli per litro

nM = nanomolare = nanomoli per litro =  $10^{-9}$  moli per litro

pM = picomolare = picomoli per litro =  $10^{-12}$  moli per litro

fM = femtomolare = femtomoli per litro =  $10^{-15}$  moli per litro

2. *Normalità = moli di cariche equivalenti per litro di soluzione* (simile alla molarità, salvo che si riferisce alla carica)

- Si usa anche l'equivalente/L (eq/L)

1. **Peso % = g per 100 g o 0.1 L**

2. **Peso ‰ = g/kg o 1L**

3. **ppm = parti per milione = mg/kg o mg/L = milligrammi per litro ( $10^{-6}$ )**

4. **ppb = parti per miliardo =  $\mu$ g/kg o  $\mu$ g/L ( $10^{-9}$ )**

5. **ppt = parti per triliardo = ng/kg o ng/L ( $10^{-12}$ )**

#### Unità in peso

## Unità di misura

- Una **mole** é la quantità di una specie chimica e si riferisce al numero di Avogadro ( $6.022 \cdot 10^{23}$ ) di molecole rappresentate da una formula. La massa molare di una sostanza é la massa espressa in grammi di una mole di quella sostanza.

Cationi	mg/L o ppm	mmoli/L	meq/L	Massa
Ca <sup>2+</sup>	32.1	0.80	1.61	40.08
Mg <sup>2+</sup>	7.3	0.30	0.61	24.30
Na <sup>+</sup>	26.5	1.15	1.15	23.00
K <sup>+</sup>	0.9	0.02	0.02	39.00
Total			+3.39*	
Anioni				
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	152	2.49	2.49	61.00
Cl <sup>-</sup>	26	0.73	0.73	35.45
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	11	0.11	0.23	96.00
Total			-3.42*	
pH=7.4				
t° C=16      TDS=256ppm				
cond=350 μS/cm				

$$\text{Meq/L} = \frac{\text{conc. specie chimica in mg/L}}{\text{Peso molecolare}} \times \text{valenza}$$

$$\text{Parametro di Elettroneutralità (PE): } \frac{(\sum \text{cat} - \sum \text{an})}{(\sum \text{cat} + \sum \text{an})} \times 100$$

# Diagrammi classificativi

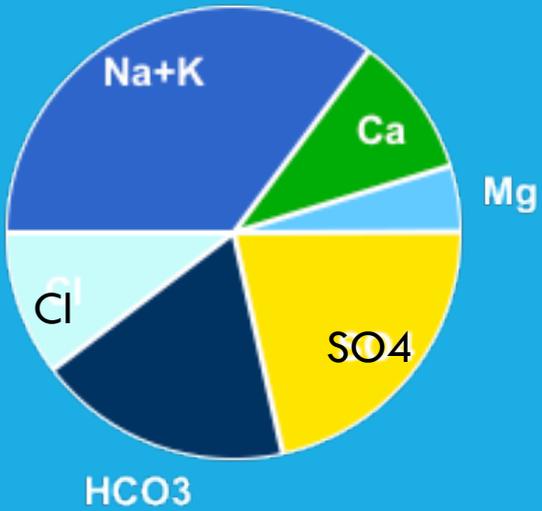
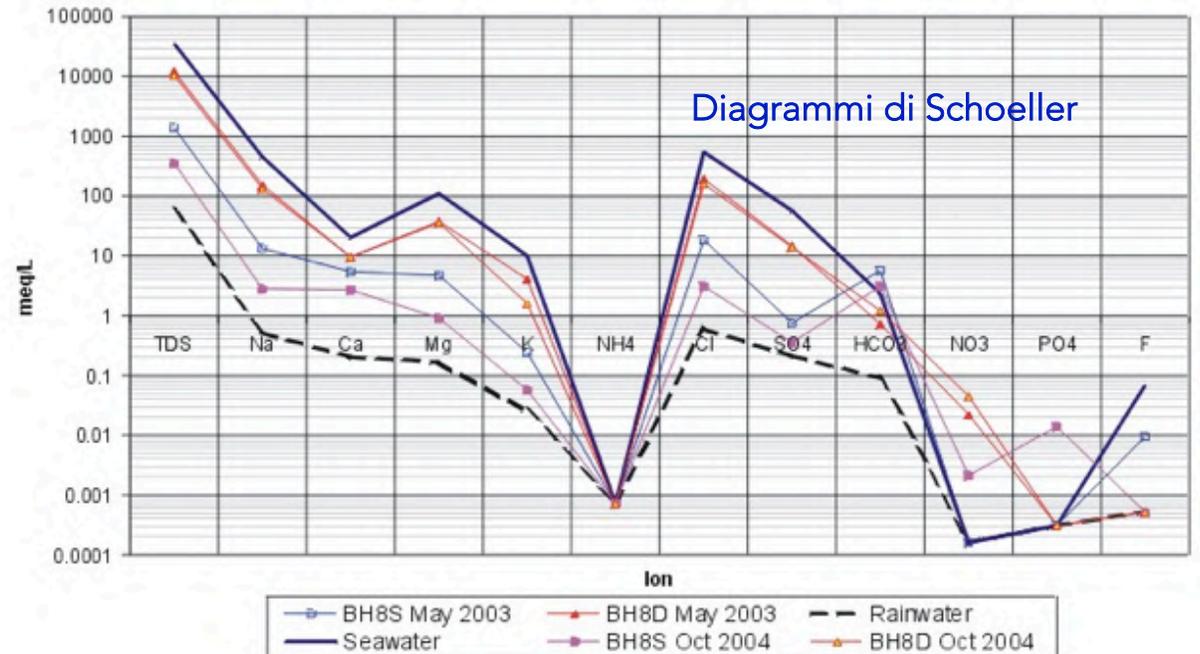
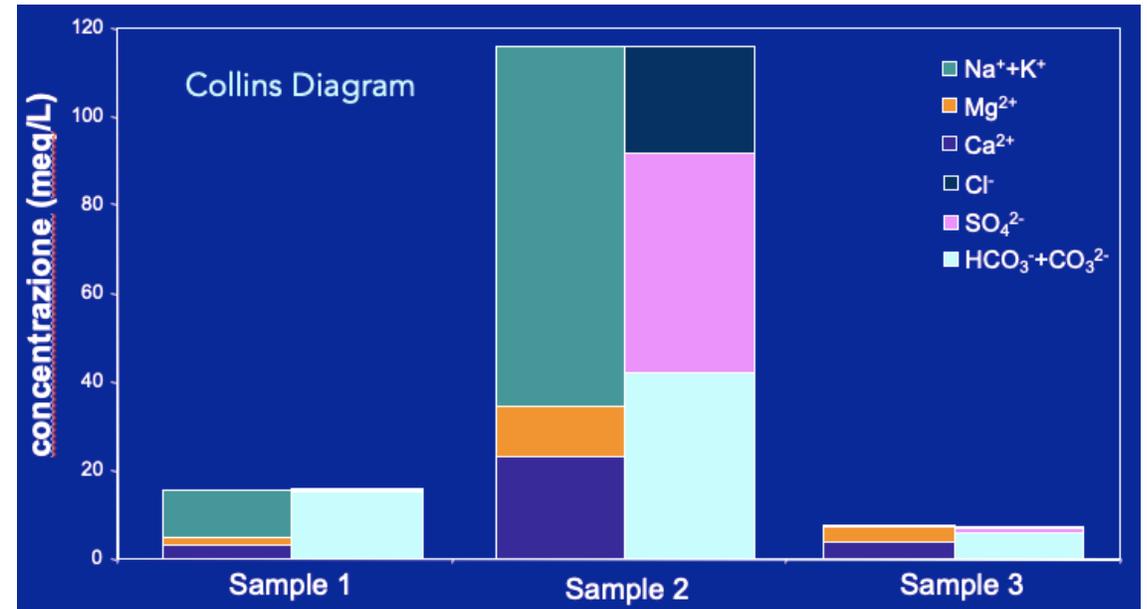


Diagramma a Torta

Sono diagrammi semi-logaritmici per rappresentare la composizione ionica principale (in meq/l) e per evidenziare le varie facies idrochimiche in uno stesso diagramma. Questa rappresentazione grafica permette di riportare tutti i componenti principali.



# Diagrammi di Stiff

I diagrammi di Stiff sono un metodo visuale per confrontare le proporzioni relative degli ioni in soluzione. Le concentrazioni ioniche sono in meq/L. I cationi sono sulla sinistra del diagramma e gli anioni sulla destra. La lunghezza dei vertici del poligono sono proporzionali al contenuto ionico. Quando è presente  $\text{NO}_3$  in concentrazioni paragonabili a quelle degli anioni questo viene riportato separatamente nella parte bassa a destra del diagramma.

Diagrammi a torta, Collins, Stiff e Scholler tengono conto delle caratteristiche chimiche di un'acqua ma da un punto di vista genetico non offrono particolari informazioni

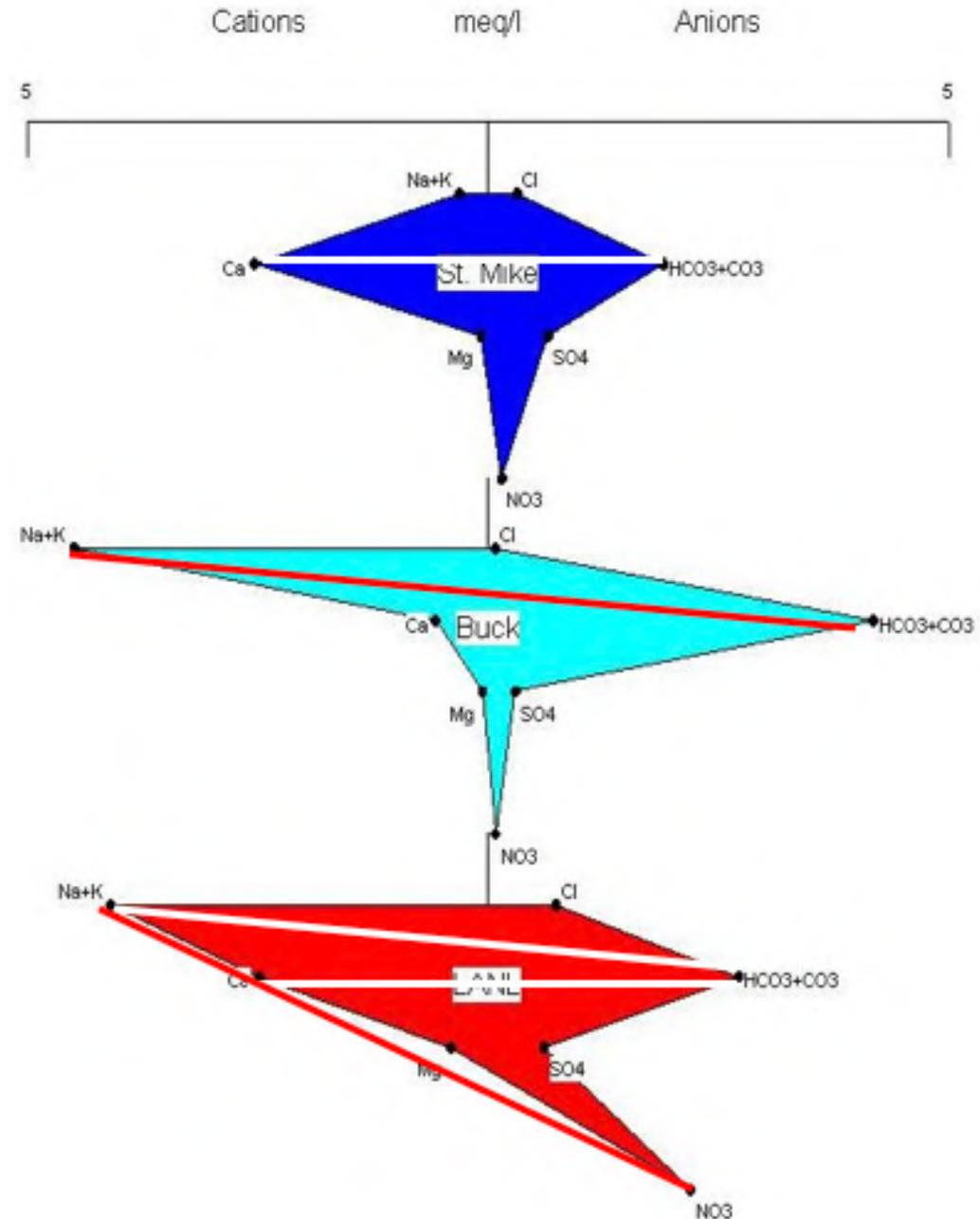
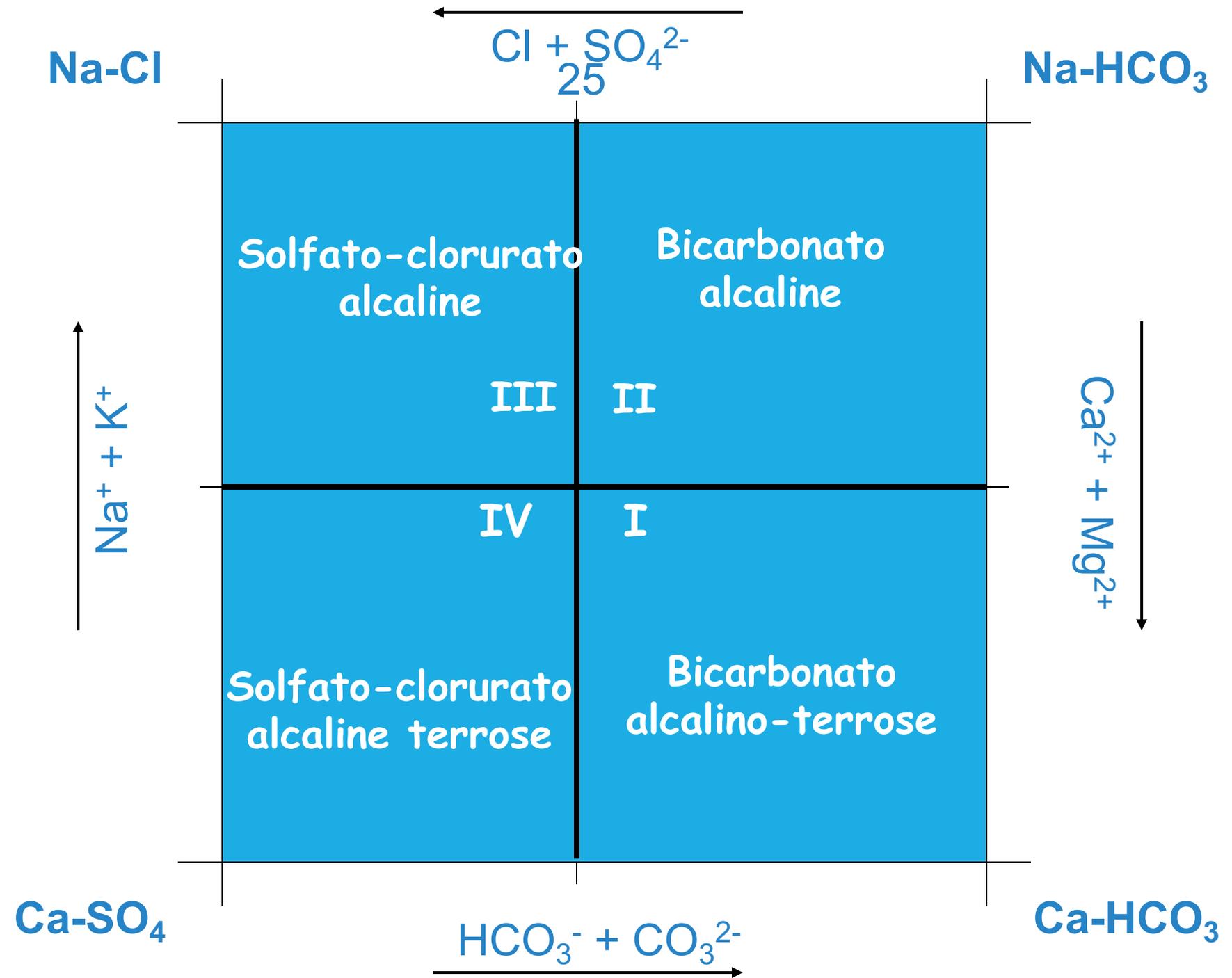


Diagramma quadrato  
(Langelier-Ludwig)



## Diagramma quadrato (Langelier-Ludwig)

classificare un'acqua con il diagramma di Langelier-Ludwig (LL)

Calcolo della sommatoria cationi ed anioni

Ricalcolo a 50 delle specie a coppie: valori di reazione

Inserimento punto nel diagramma e definizione del tipo di acqua

Calcolo della sommatoria cationi ed anioni:  $\Sigma\text{Cat}=3.39$ ;  $\Sigma\text{An}: 3.42$

Calcolo delle varie specie a coppie:

$\text{Na}+\text{K}=1.17$ ;  $\text{Ca}+\text{Mg}=2.22$ ;  $\text{HCO}_3+\text{CO}_3=2.49$ ;  $\text{Cl}+\text{SO}_4=0.96$

Ricalcolo a 50 delle specie a coppie: valori di reazione:

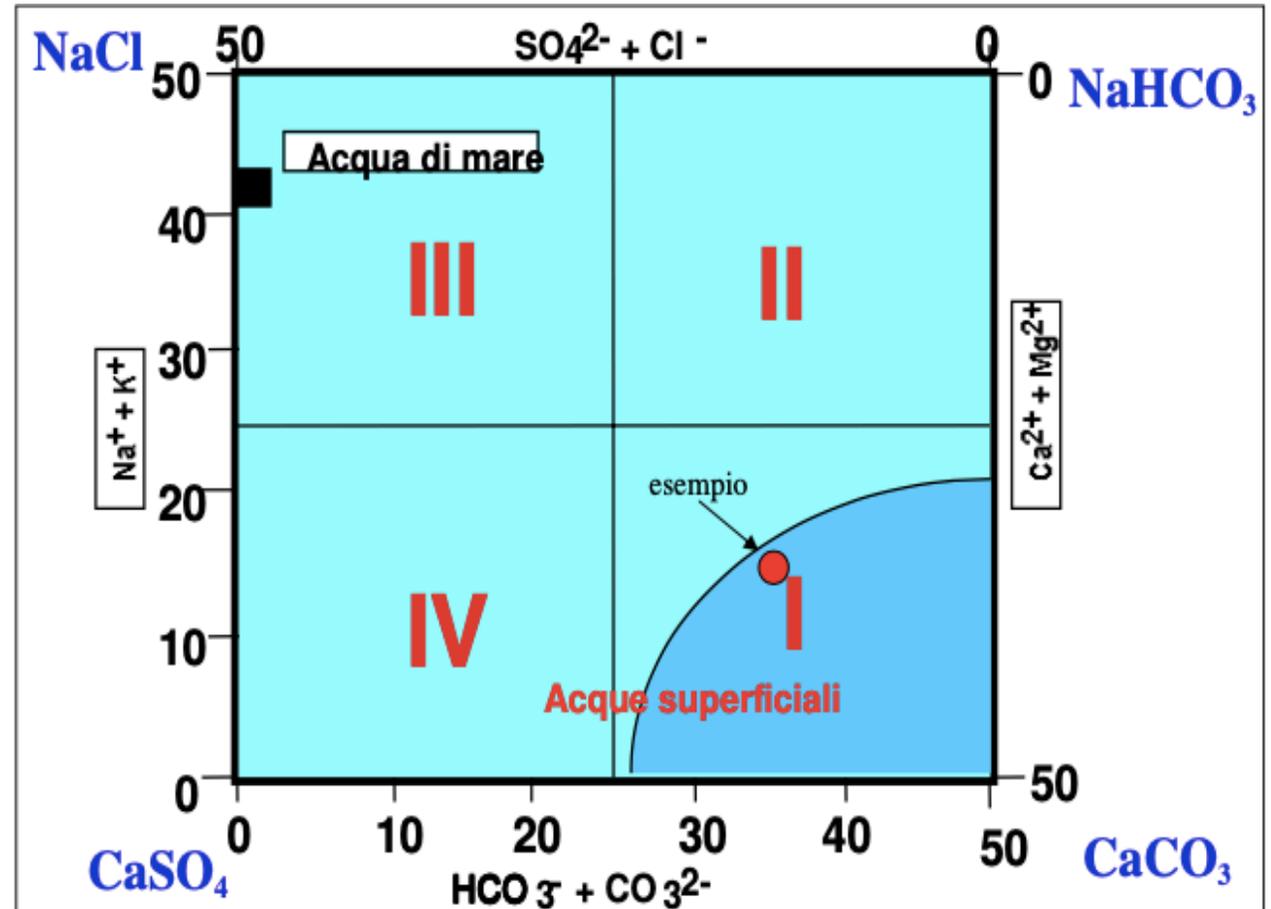
$1.17(\text{Na}+\text{K}):3.39=x:50$   $x=17.3$

$2.22(\text{Ca}+\text{Mg}):3.39=x:50$   $x=32.7$

$2.49(\text{HCO}_3+\text{CO}_3):3.45=x:50$   $x=36.1$

$0.96(\text{Cl}+\text{SO}_4):3.45=x:50$   $x=13.9$

**Valori di reazione**



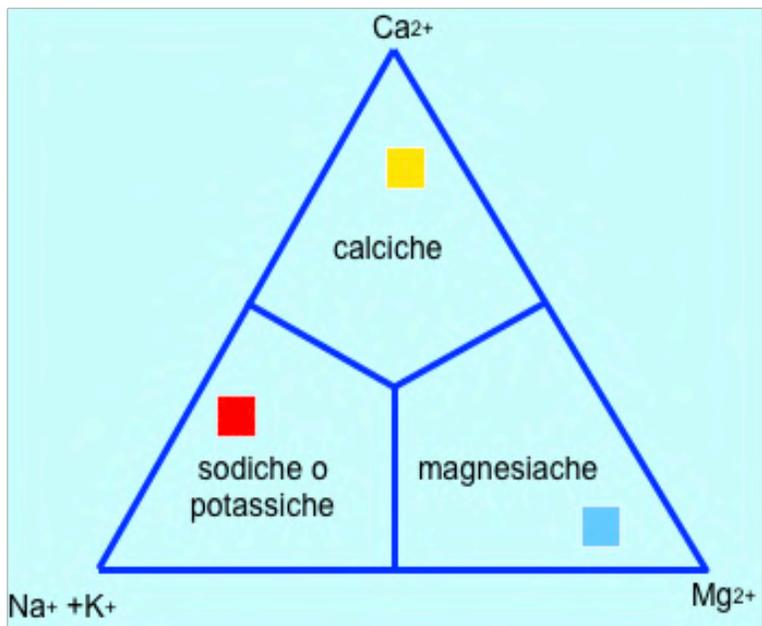
I Acque bicarbonato alcalino terrose

II Acque bicarbonato alcaline

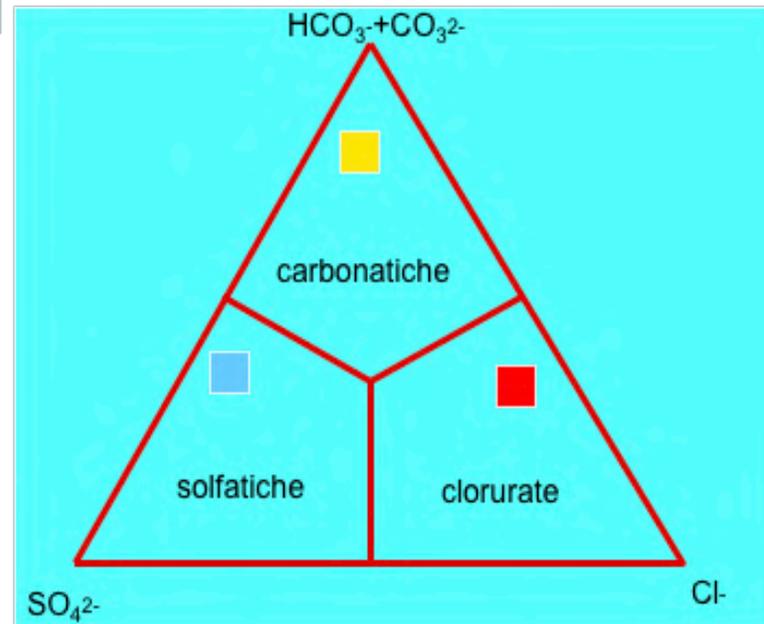
III Acque solfato-clorurato alcaline

IV Acque solfato alcalino terrose

# Diagramma Ternari

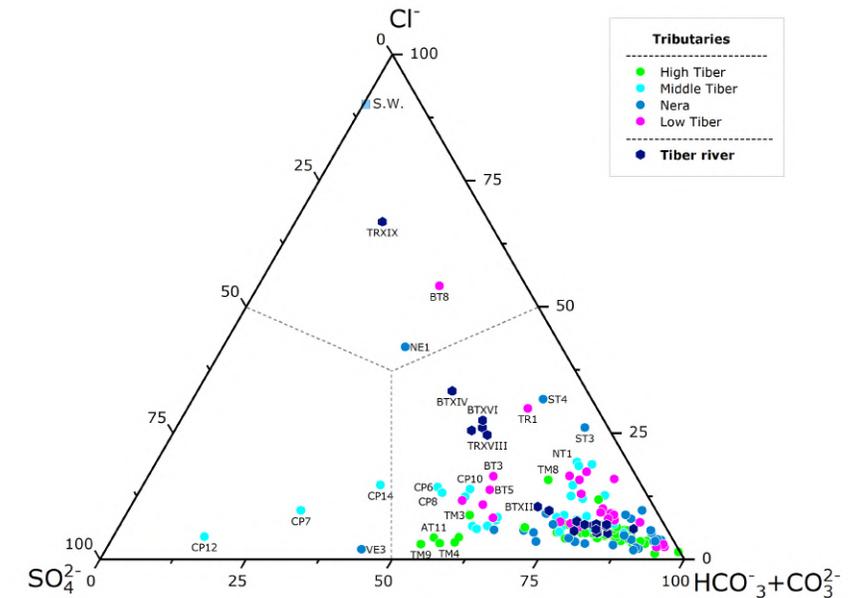
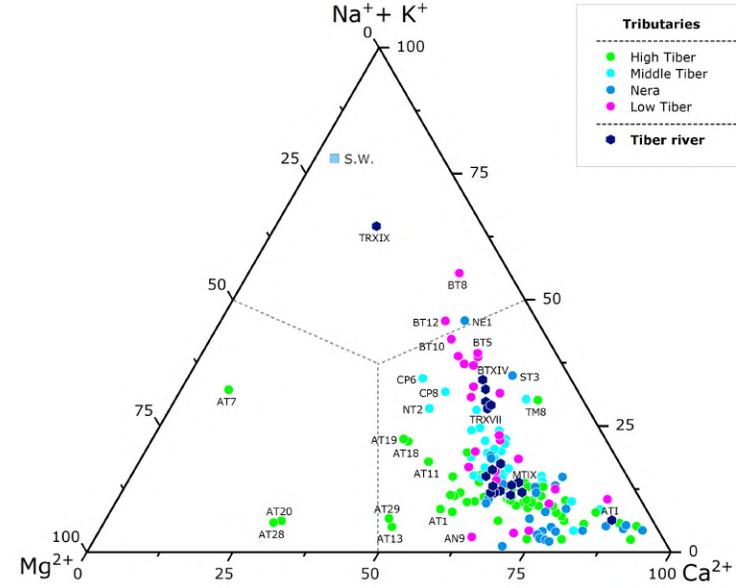
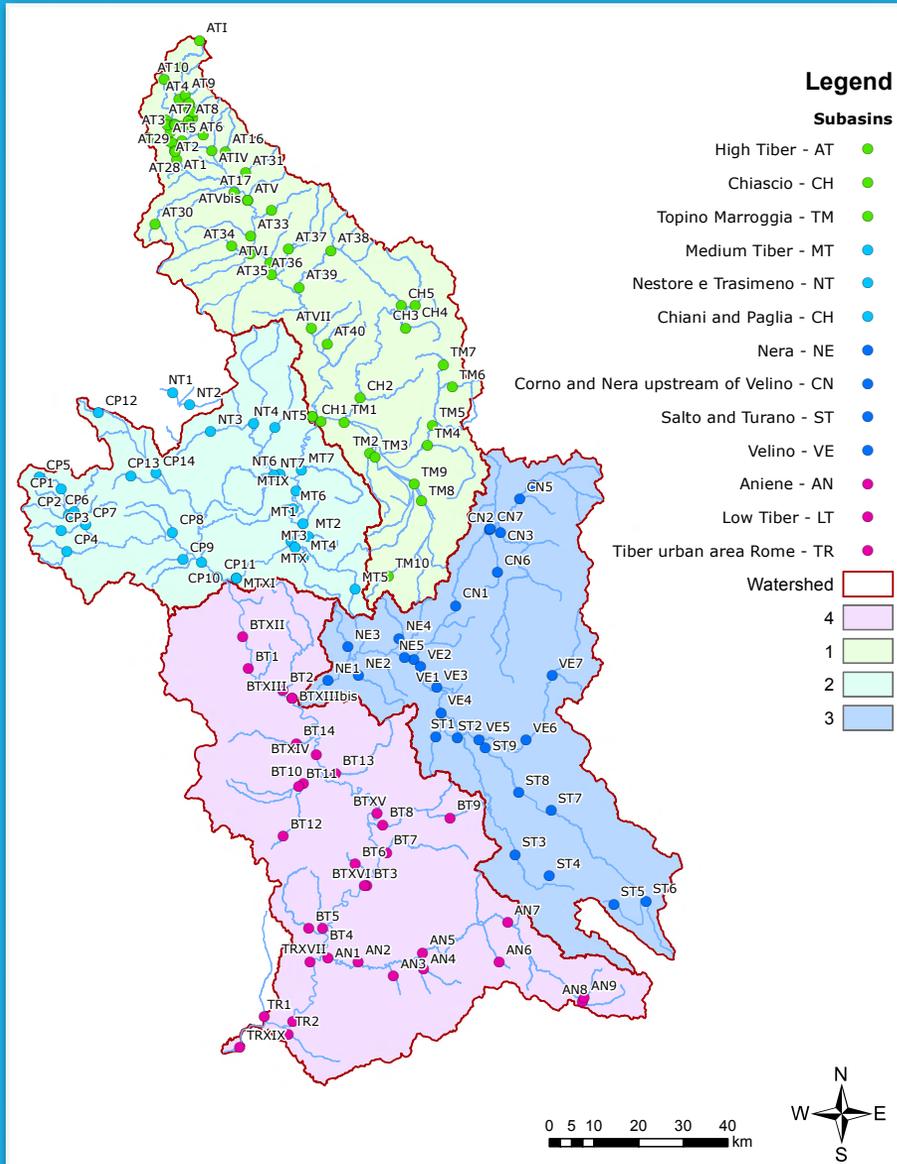


Si determina il baricentro del triangolo utilizzando le mediane le quali congiungono un vertice con il punto medio del lato opposto

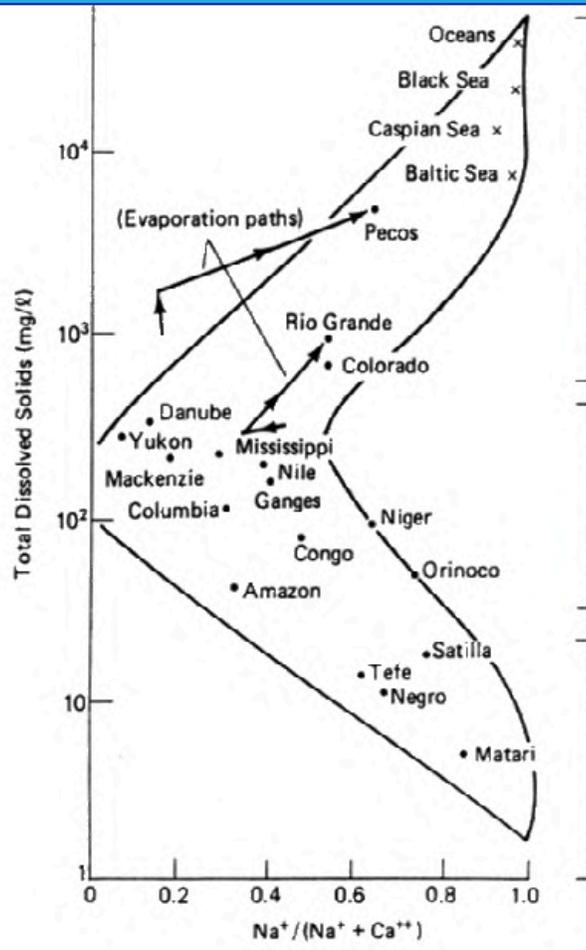


# Esempio: classificazione delle acque del Bacino del Tevere

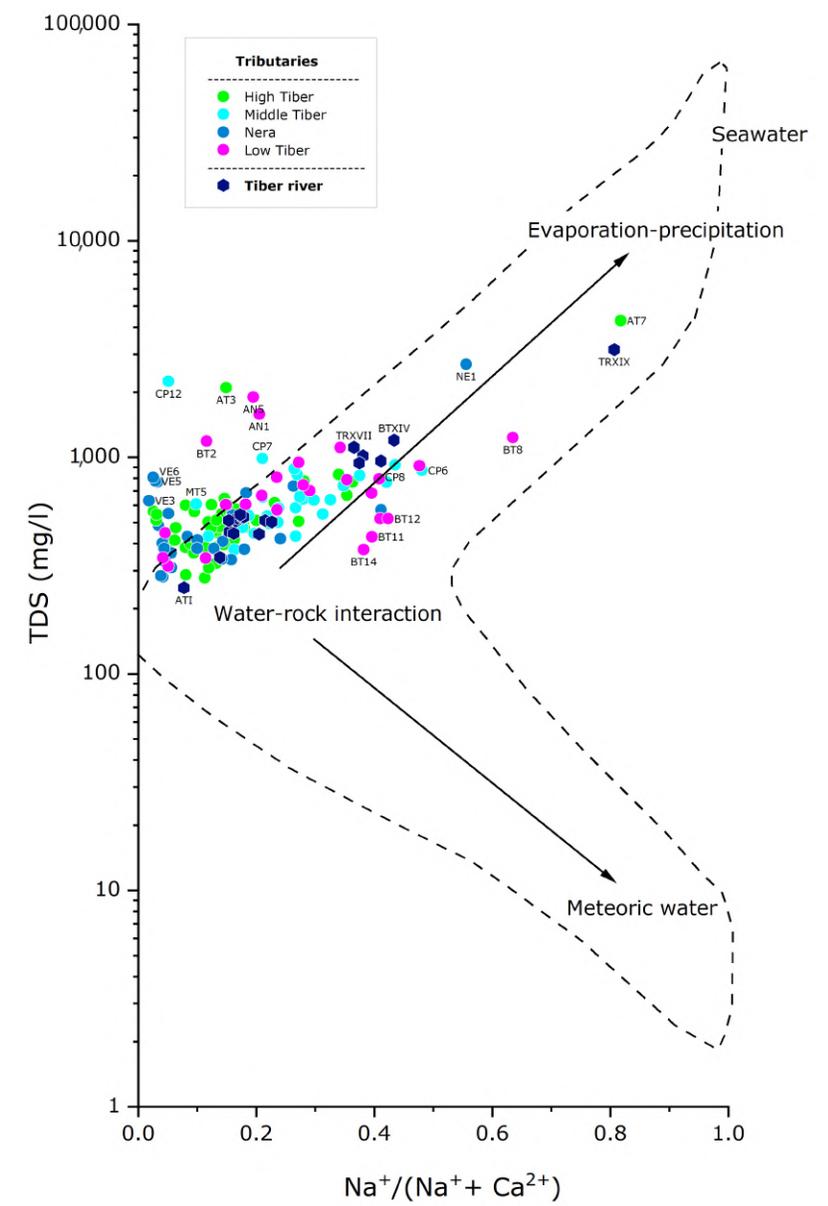
## Il Bacino del Tevere



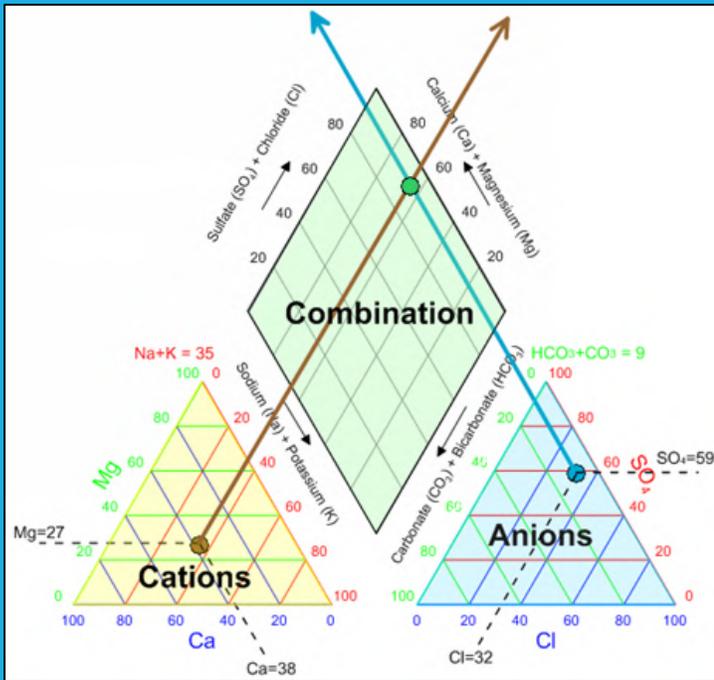
# Diagramma di Gibbs per le acque superficiali



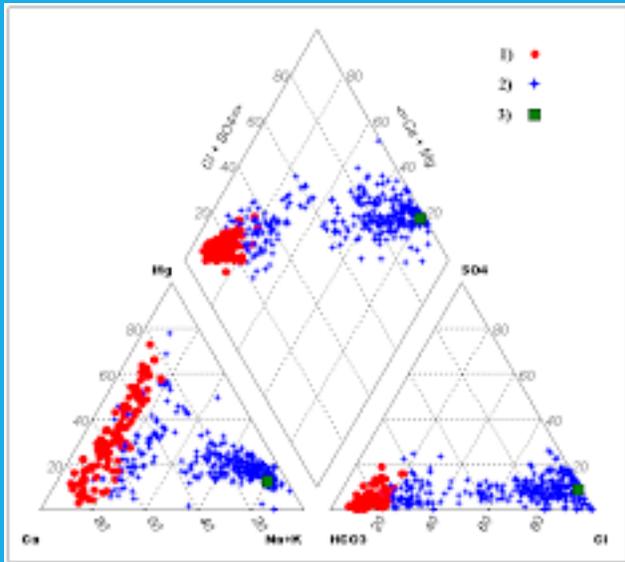
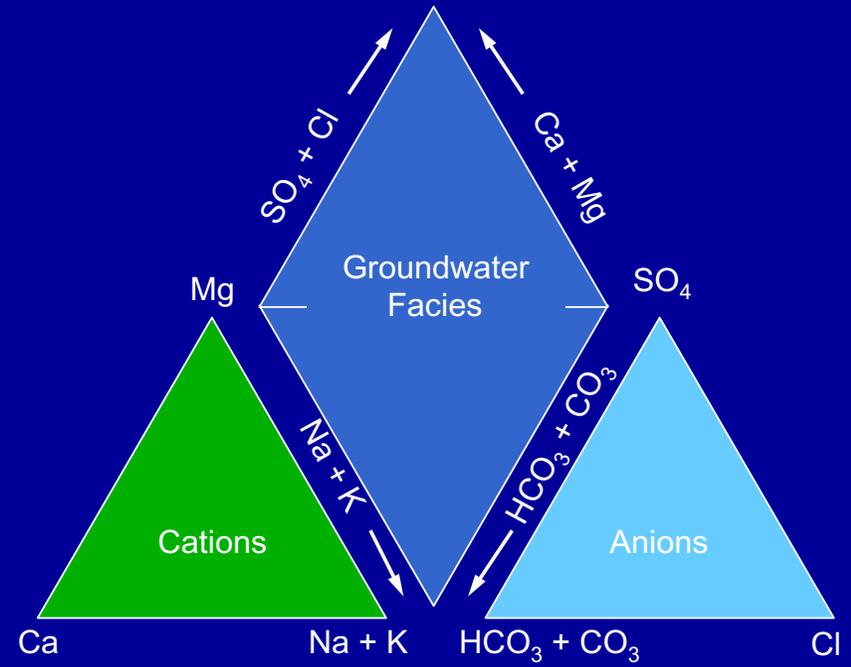
EVAPORATION-CRYSTALLIZATION DOMINANCE	
TDS (mg/L)	$Na^+/(Na^+ + Ca^{2+})$
Alta	Alto, $CaCO_3$ precipita
ROCK DOMINANCE	
TDS (mg/L)	$Na^+/(Na^+ + Ca^{2+})$
Media	Basso
PRECIPITATION DOMINANCE	
TDS (mg/L)	$Na^+/(Na^+ + Ca^{2+})$
Bassa	Alto, [Ca] nelle acque meteoriche è bassa



# Diagramma di Piper



# Piper Diagram



## Processi di Interazione acqua-roccia

### Influenza delle rocce sulla mineralizzazione dell'acqua



#### Rocce ignee e metamorfiche

- 1) Dissoluzione dei silicati influenzata da  $CO_2$
- 2) Lisciviazione di  $K^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$
- 3) Formazione di allumosilicati (argille)

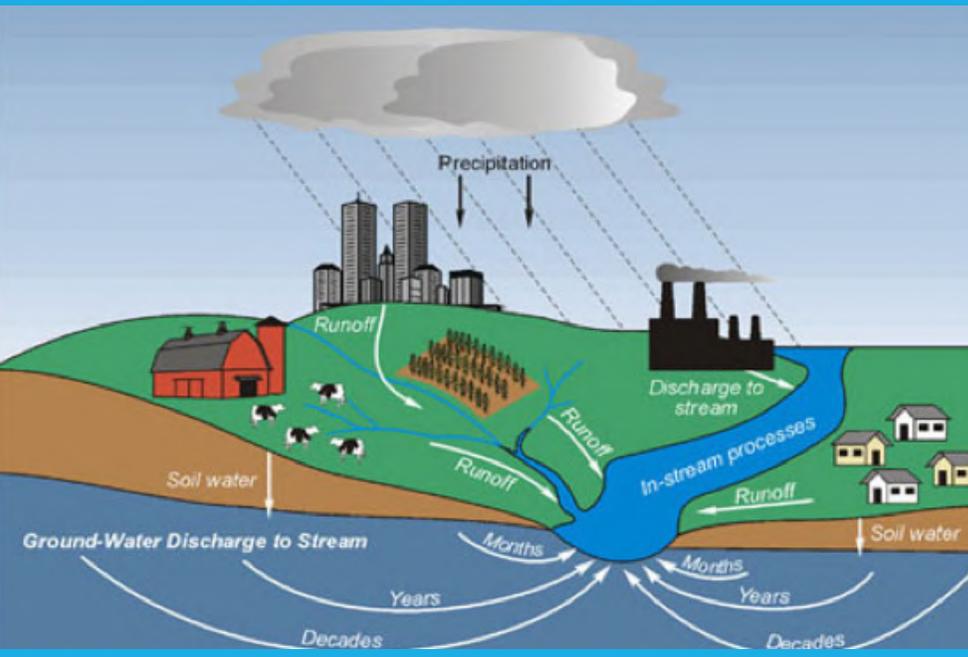


#### Rocce sedimentarie

- 1) Metalli alcalini scarsi nei calcari, abbondanti nelle marne e nelle argille
- 2)  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$  scarsi nei calcari, più abbondanti nei gessi, argille e marne

# Tipologie di inquinanti

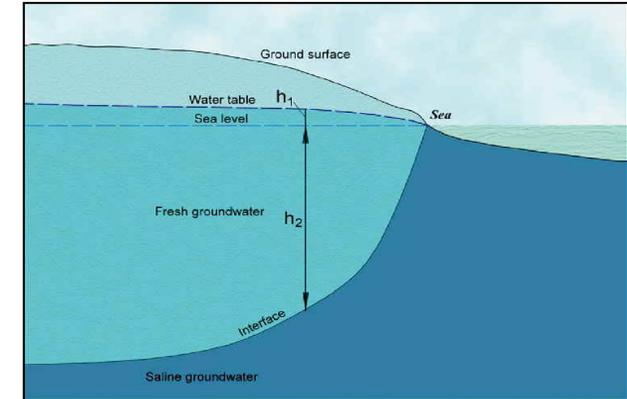
- Sorgenti diffuse (agricoltura)
- Sorgenti puntiformi (scarichi industriali e civili).



## Fonti naturali

- Natura chimica delle rocce su cui scorre l'acqua
- Percolato di urina di animali
- Feci di animali
- Frane e smottamenti
- Sorgenti vulcaniche
- Intrusione salina

### Intrusione salina



## Fonti antropiche

- Industrie conciarie
- Industrie chimiche
- Centrali elettriche a oli combustibili, a carbone, a gas.
- Industrie cartarie
- Industrie belliche
- Scarichi domestici
- Distributori di benzina
- Trasporti navali di sostanze chimiche

# Inquinamento da Percloroetilene nel corpo idrico di prato

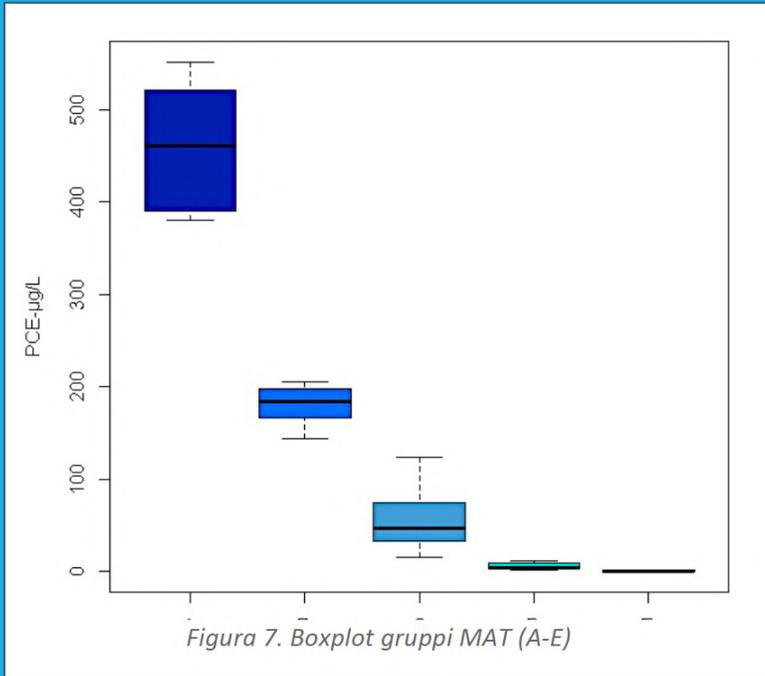
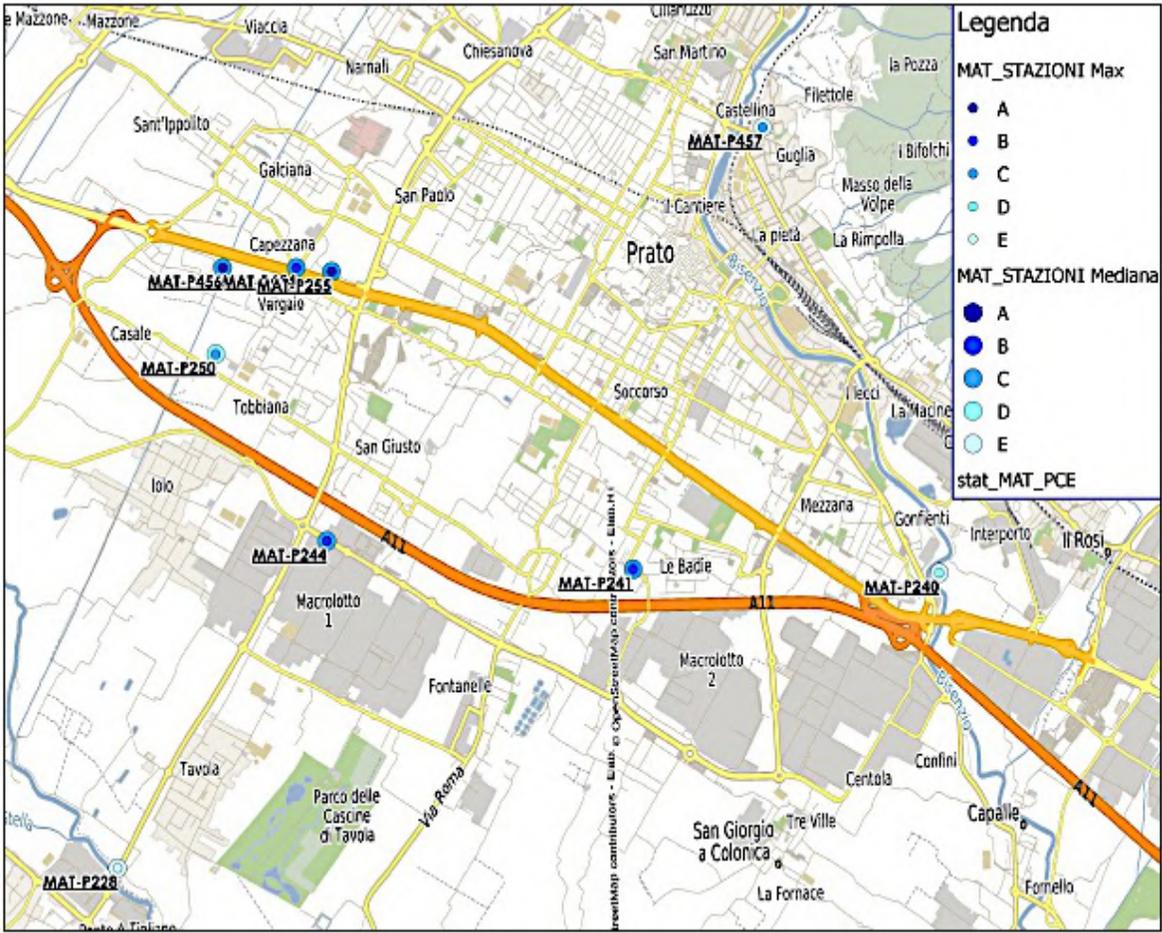


Figura 7. Boxplot gruppi MAT (A-E)



PCE-MAT	NumObs	Minimum	Maximum	Mean	Median	Variance
A	8	380	552	460,1	461,5	4725
B	8	144	206	180,5	183,5	430,9
C	96	15	124	55,4	46,8	748
D	32	1,4	11	5,469	4,4	11,49
E	27	0,1	1,2	0,67	0,7	0,0652