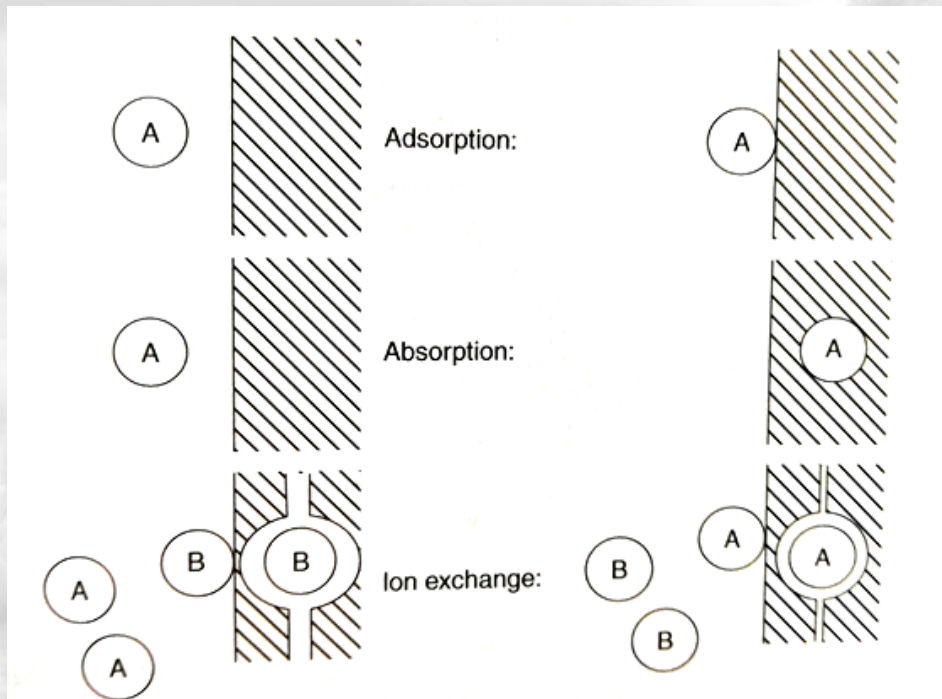


Scambio cationico effetto del mixing fra acque dolci e salate



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

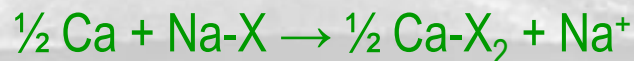
Lo **scambiatore** (X) aggiusta la sua composizione in relazione alla composizione dell'acqua con cui è a contatto

intrusione NaCl in +
acqua $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$



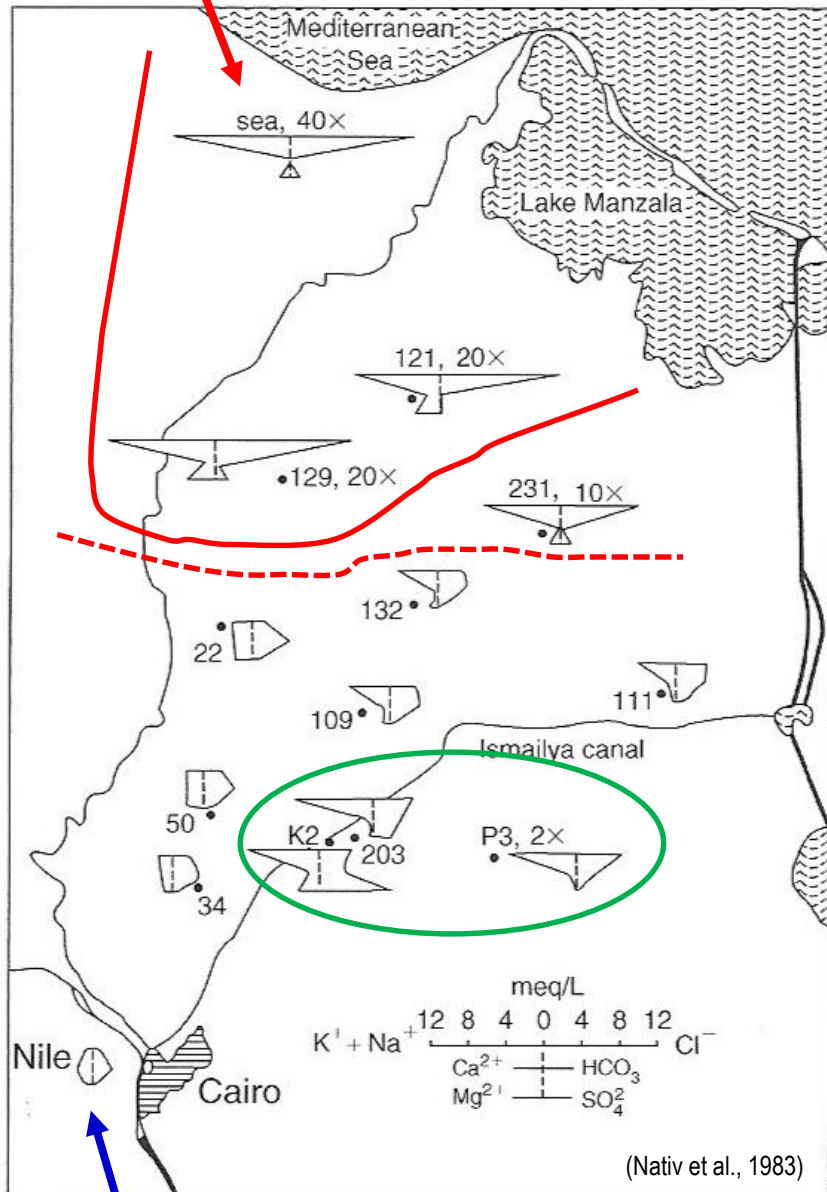
SALINIZZAZIONE
dell'acquifero (acqua CaCl_2)

intrusione $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$
in NaCl



ADDOLCIMENTO
acqua NaHCO_3

Acque marina: NaCl



Acque dolci del Nilo: Ca(HCO₃)₂

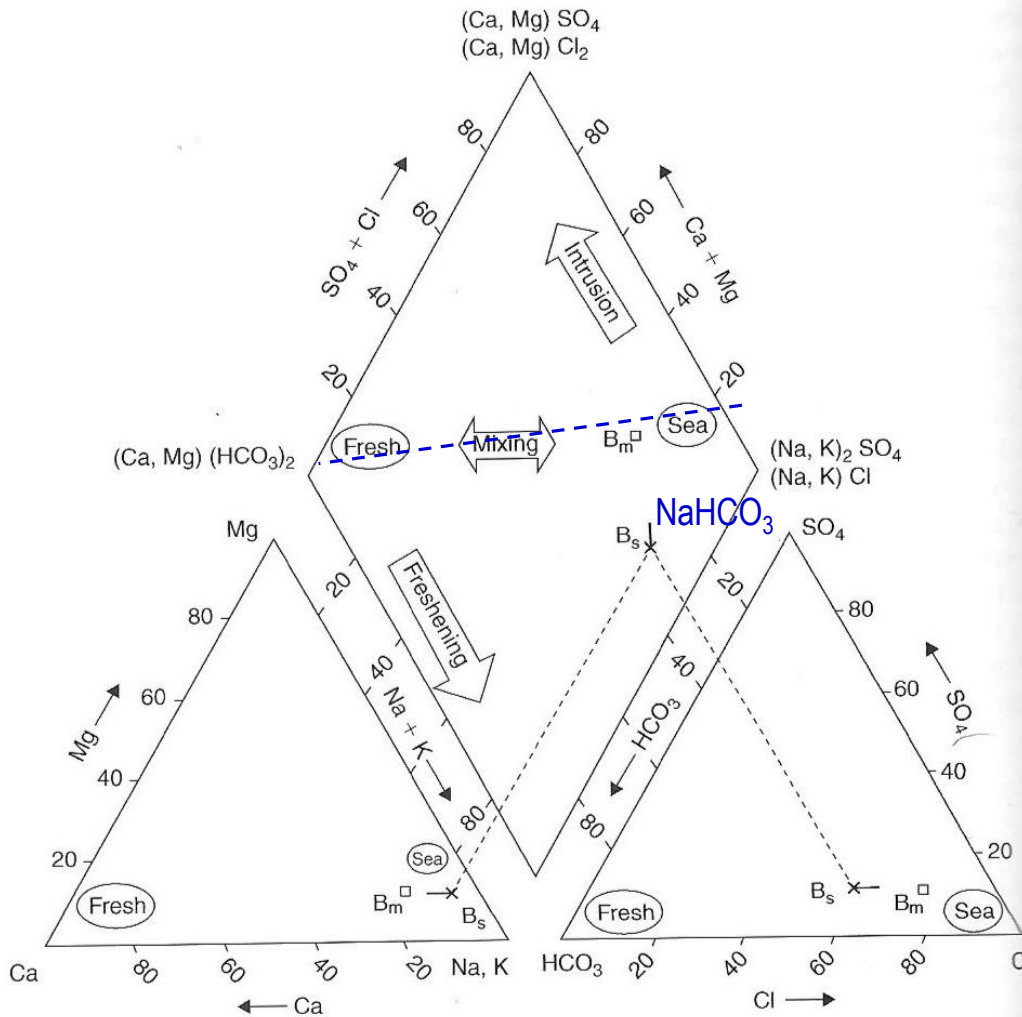
Scambio cationico/mixing fra acque dolci e salate

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



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?

..e se osserviamo un surplus di Ca^{2+} , dove cadrà il nostro campione?

Examples of Application of Piper Diagrams

A.

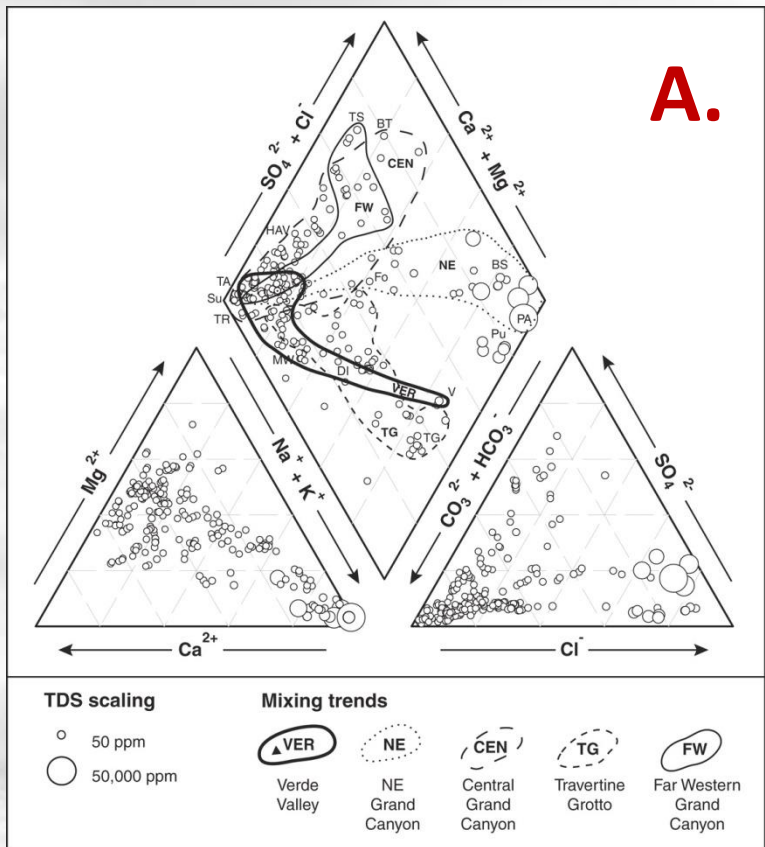


Figure 3: Piper diagram (Piper, 1944) showing regional mixing trends. **Fields show localized well-defined regional and subregional mixing trends.** Important end-member compositions and high-volume springs of the Colorado Plateau region.

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.

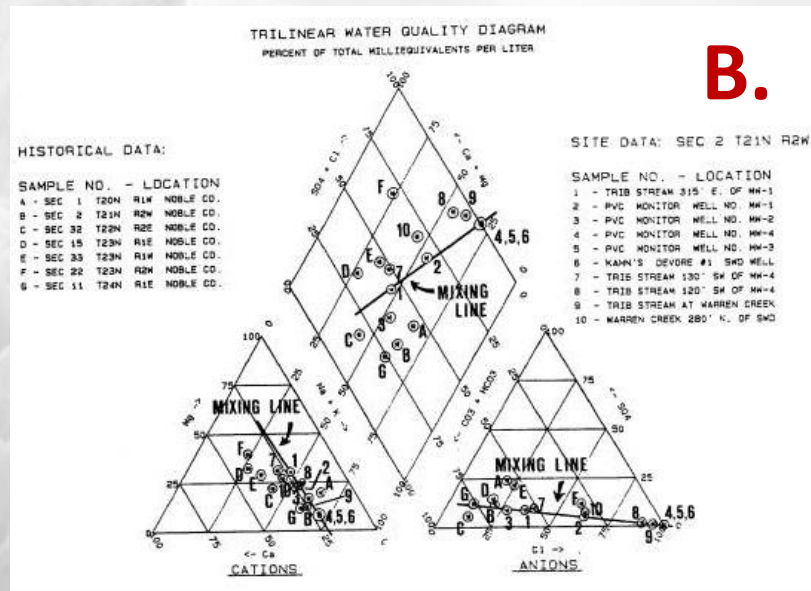


Figure 2: Piper plot of historical background (letters) and site (numbers) water quality analysis.

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**« (etichetta delle bottiglie).

Il residuo fisso è costituito dalle sostanze che rimangono dopo aver fatto evaporare un litro di acqua minerale a 180 °C: 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, ecc.**), anche se i limiti sono meno rigidi di quelli applicati per l'acqua potabile.

*Decreto Legislativo 25 gennaio 1992 n.105 **non entra nel D.Lgs.

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.

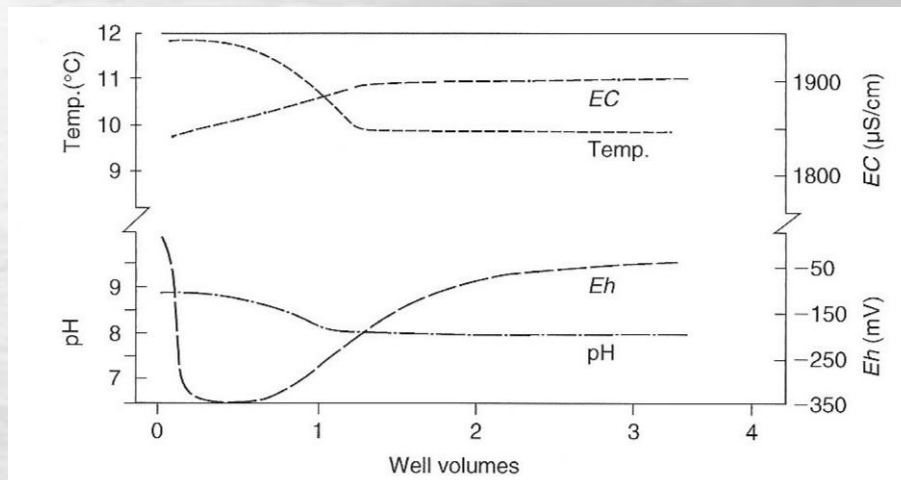
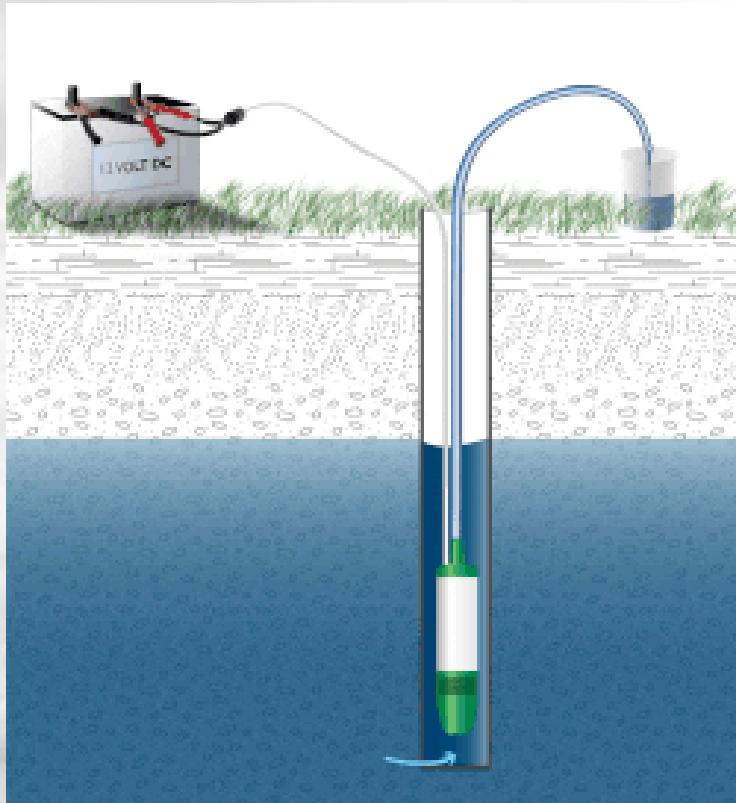
Come si campionano le acque superficiali e profonde?

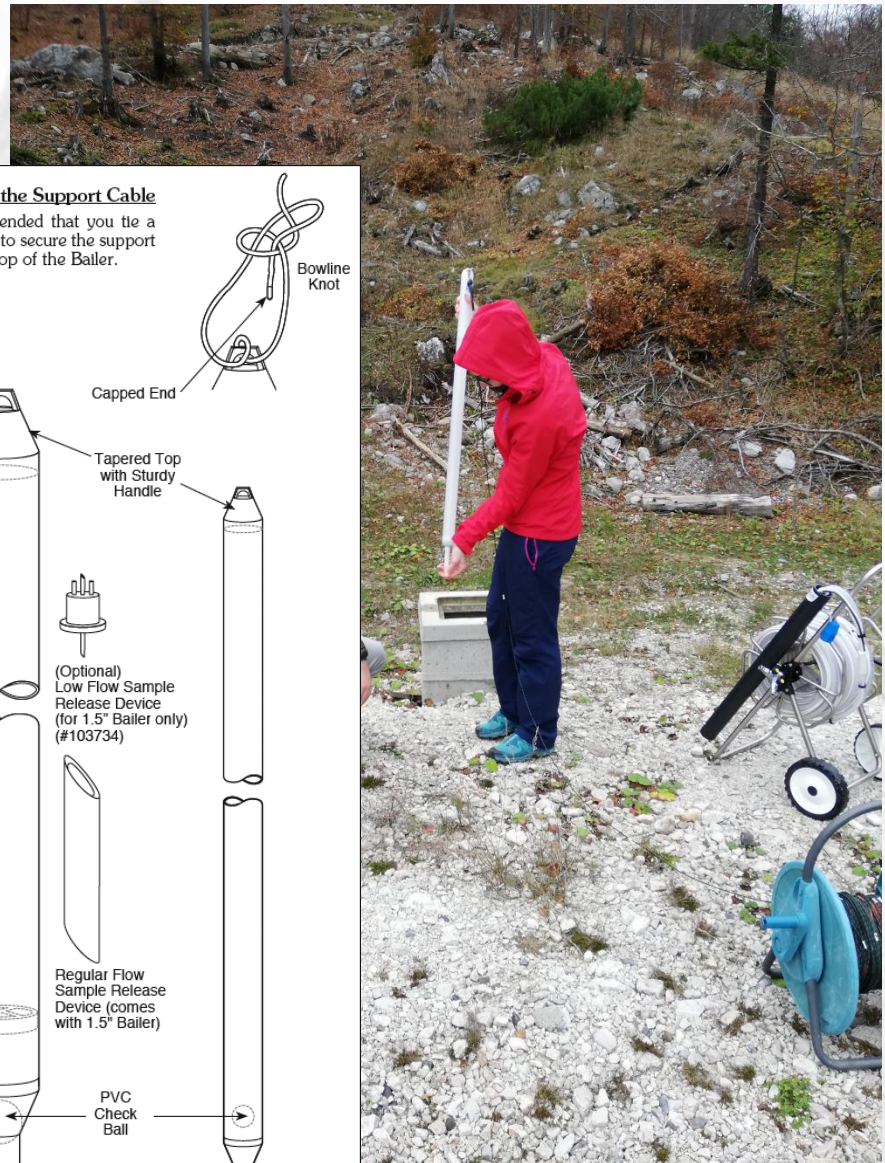






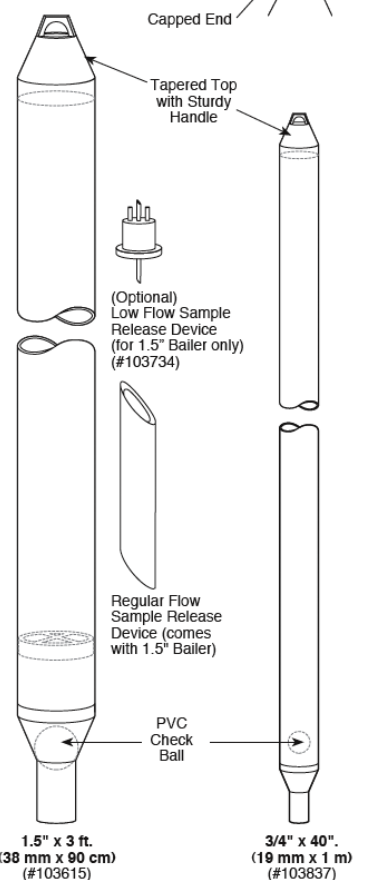
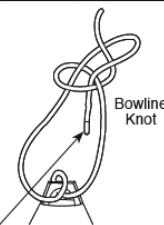
Come si campionano le acque superficiali e profonde?

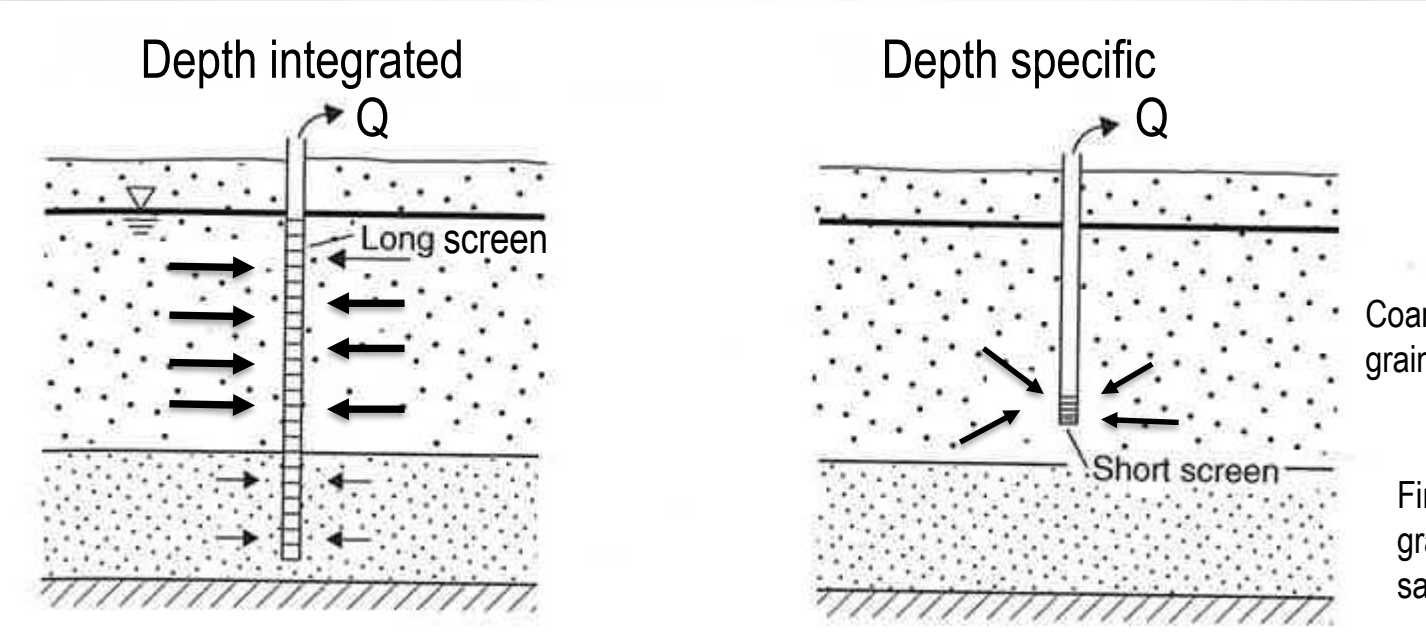




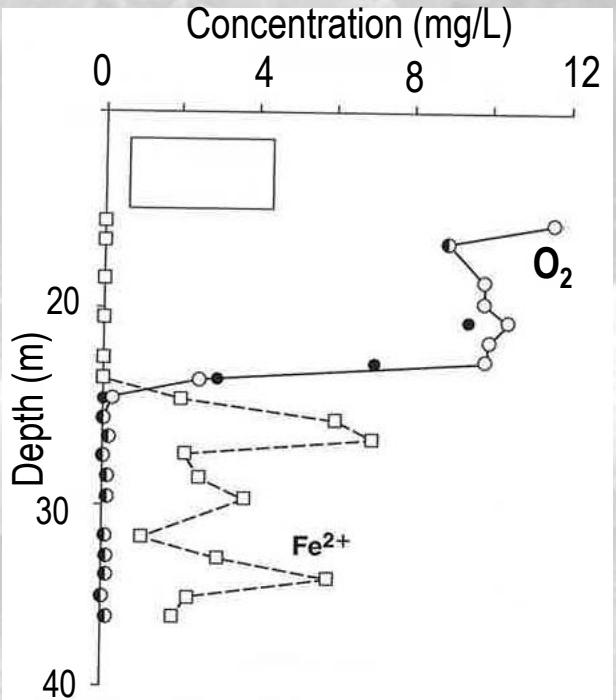
How to Tie the Support Cable

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





Cosa campiono ?



Distribution of O₂ and Fe²⁺ in a sandy aquifer

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

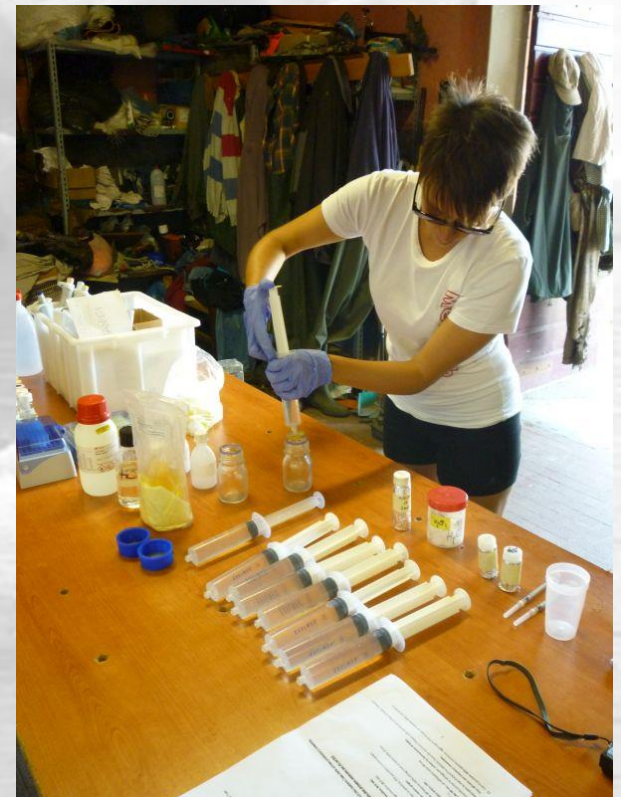
Acqua non filtrata

utile per analisi complessiva del metallo (comprende sia metallo disciolto che metallo associato al particolato in sospensione)

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 variabilità delle condizioni di portata.

Intervalli di concentrazioni normali in acque dolci non «inquinare»

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

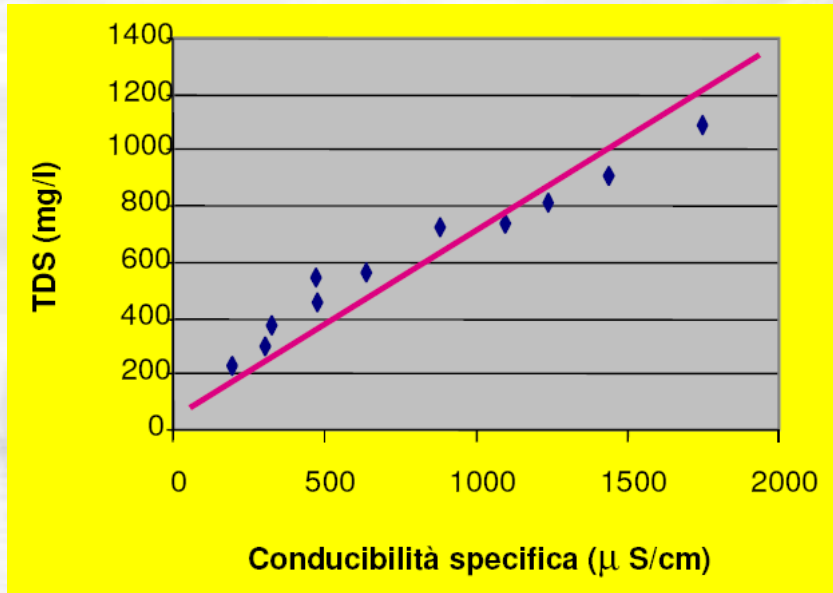
Sali utilizzati sulle strade, metalli pesanti, contaminazione atmosferica, gas serra, fertilizzanti, scorie radioattive

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)

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)

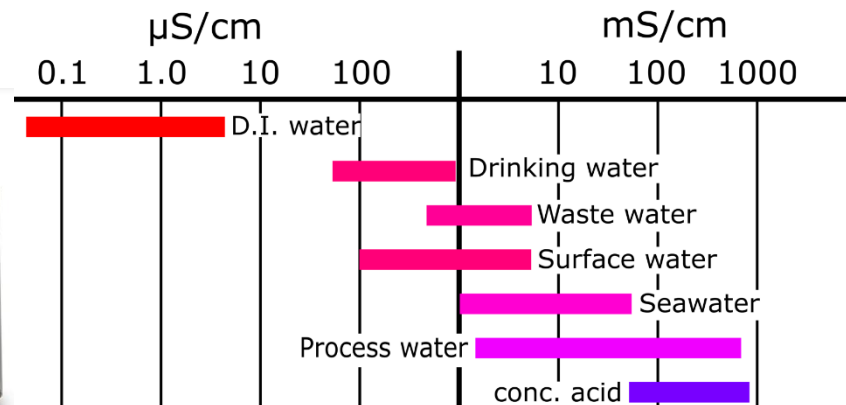
Salamoie (*brine*) > 100.000

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

N.B! TDS si misurano per evaporazione di un campione filtrato a $0.45 \mu\text{m}$ in capsula di porcellana tarata



Electrical conductivity of solutions



N.B! acqua potabile < $2.500 \mu\text{Scm}^{-1}$ DLgs. 31/2001

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 - 1/2

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
- Nell'industria tessile, gli ioni fanno precipitare saponi usati per il lavaggio delle fibre; 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 equivalenti.

DUREZZA - 2/2

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 .

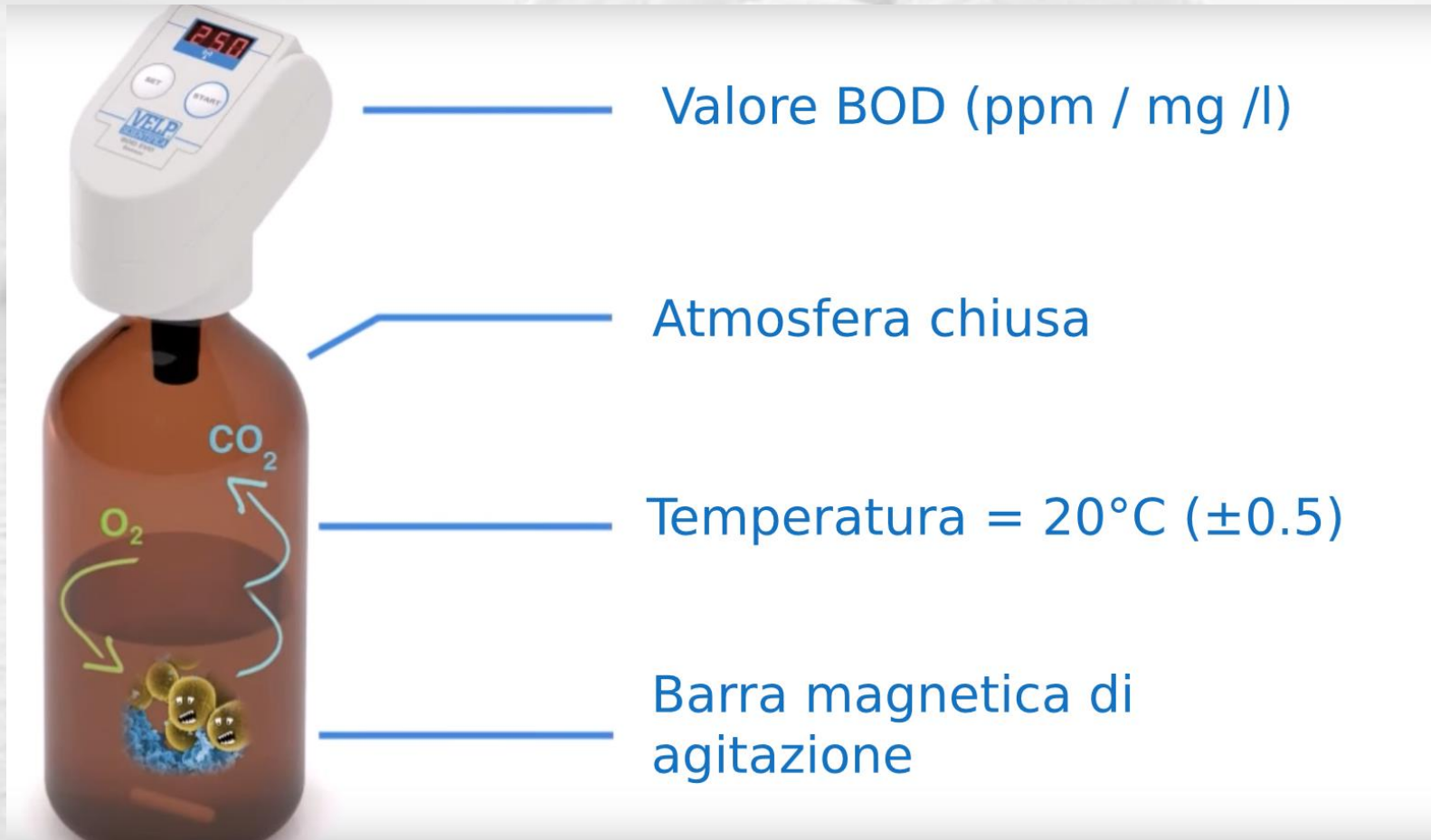
Un fiume con elevato contenuto di carbonati è in grado di ricevere un elevato quantitativo di inquinanti acidi senza manifestare una diminuzione significativa di pH (elevata capacità tampone).

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) 1/3

- 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)**.



BOD (Biological Oxygen Demand) 2/3

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

- Composti organici, i cui atomi di carbonio vengono utilizzati dai microrganismi 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) 3/3

Quando si parla di B.O.D., senza specificare, ci si riferisce alla frazione carboniosa; si basa sull'utilizzo di microorganismi per decomporre la materia organica nel campione tramite respirazione aerobica.

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) 1/2

Quantità di ossigeno (mg/l) richiesta per l'ossidazione con K-dicromato (in presenza di sostanze catalizzanti e H_2SO_4) delle sostanze organiche e inorganiche ossidabili presenti in un litro d'acqua (metodica 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 delle 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.

COD (Chemical Oxygen Demand) 2/2

- 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.



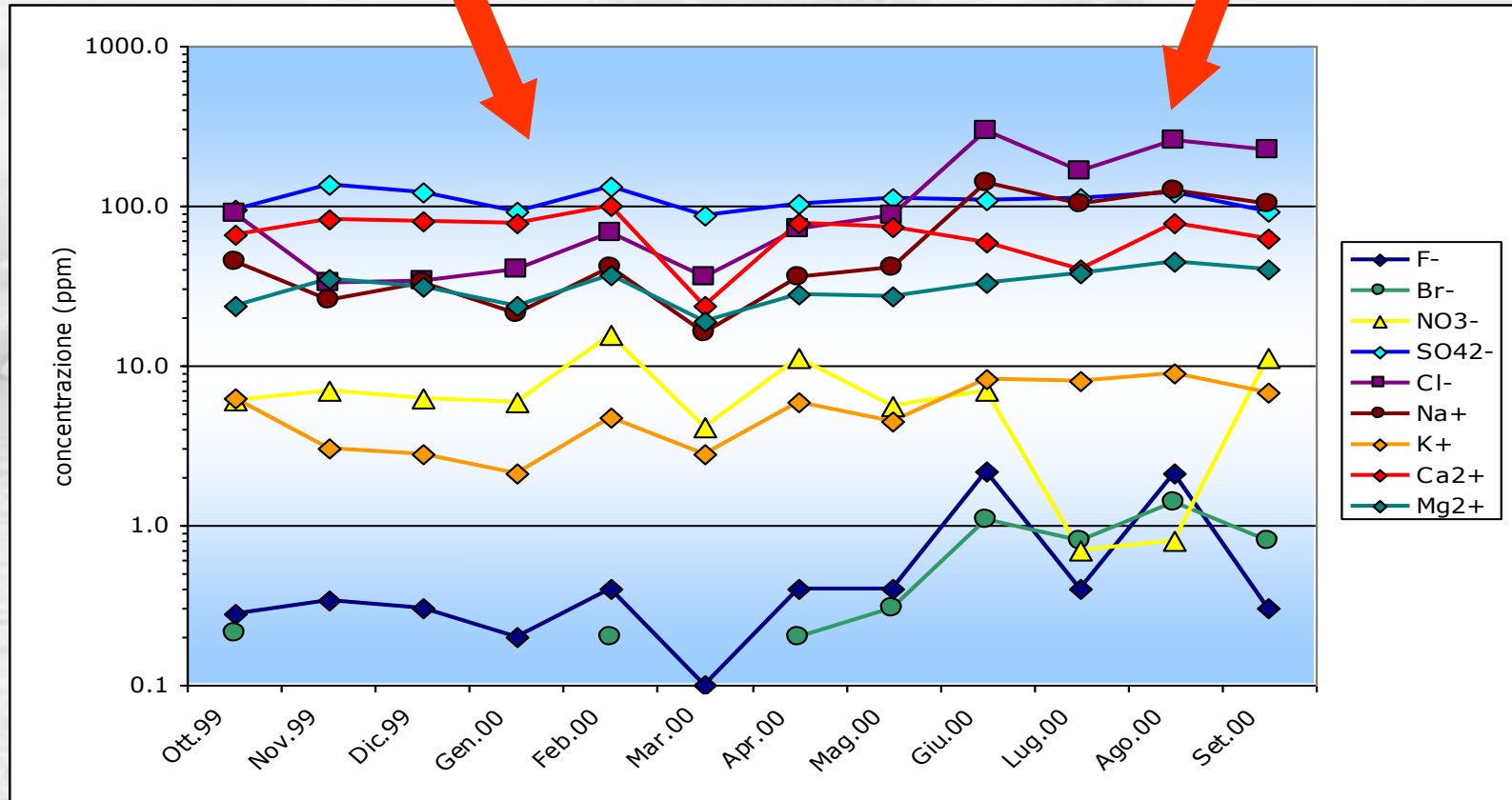
- Il rapporto COD/BOD è un indice che identifica la biodegradabilità di un refluo. (1,9-2,5 nelle acque reflue urbane).
- E' più alto negli scarichi industriali nei quali prevalgono sostanze organiche non biodegradabili.
- Per lo scarico in acque superficiali (fiumi, ecc.), la normativa italiana ammette 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

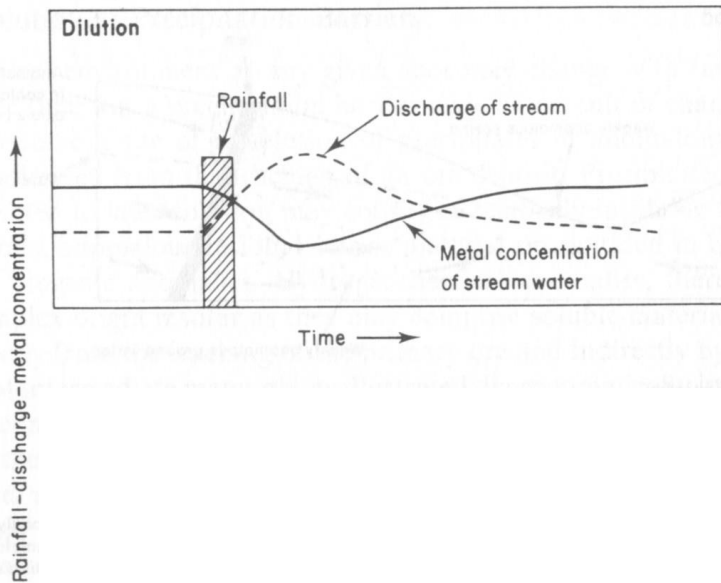


Fig. 14.13. Diagrammatic illustration of the effects of dilution and flushing on the metal content of stream water.

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 principale apporto di acqua ai fiumi durante i periodi di scarsa piovosità.

Tra i parametri più sensibili **N, P e 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!

SO₄ / 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, sono 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	H
-239.2	
0.071	
¹ s ¹	Hydrogen

IIA

3	6.939	4	9.0122
1330	Li	2770	Be
180.5		1227	
0.53		1.85	
¹ s ² 2s ¹	Lithium	¹ s ² 2s ²	Beryllium

11	22.9898	12	24.312
892	Na	1107	Mg
97.8		650	
0.97		1.74	
[Ne]3s ¹	Sodium	[Ne]3s ²	Magnesium

Ac	227(223)β ⁻ α
Ag	110(24)β ⁻ γ
	111(7.5d)β ⁻ γ
Am	241(458)α _{spont} γ
	242(16.0h)β ⁻ α _{spont} γ
	243(8000y)α _{spont} γ
As	76(26.7h)β ⁻ γ
	77(39h)β ⁻ γ
At	210(8.3h)K _{spont} γ
	211(7.2h)K _{spont} γ
Au	198(2.69d)β ⁻ γ
Ba	131(12d)K _{spont} γ
	133(7.2y)K _{spont} γ
Bi	210(5d)β ⁻ γ
Bk	245(4.9d)K _{spont} γ
	249(314d)β ⁻ α _{spont} SF
Br	82(36h)β ⁻ γ
C	14(5700y)β ⁻ γ
Ca	41(1.8x10 ¹⁰ y)K
	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} SF
	249(360y)α _{spont} SF
	251(1800y)γ
Cl	36(3x10 ¹⁰ y)β ⁻ γ
Cm	243(35y)α _{spont} γ
	245(9300y)α _{spont} γ
	247(10 ⁷ y)γ
Co	58(71d)K _{spont} γ
	60(5.27y)β ⁻ γ
Cr	51(27d)K _{spont} γ
Cs	134(2.0y)β ⁻ γ
	135(3x10 ¹⁰ y)β ⁻ γ
	137(30y)β ⁻ γ
Cu	64(12.8h)K _{spont} β ⁻ γ
Es	253(20d)α _{spont} SF
	254(1y)α _{spont} SF
Eu	154(1.6y)β ⁻ γ
	155(1.8y)β ⁻ γ

Fe	55(2.6y)K
	59(45d)β ⁻ γ
Fm	255(20h)β ⁻ γ
Fr	223(22m)β ⁻ γα
Ga	72(14.1h)β ⁻ γ
Gd	153(236d)K _{spont} γ
	159(18h)β ⁻ γ
Ge	71(111d)K
H	3(12.3y)β ⁻ γ
Hf	181(145d)β ⁻ γe ⁻
Hg	197(65h)K _{spont} γ
	203(47d)β ⁻ γe ⁻
Ho	166(27.3h)β ⁻ γ
I	129(10.7y)β ⁻ γe ⁻
	131(8.05d)β ⁻ γe ⁻
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 ⁻ γK _{spont}
	177(6.8d)β ⁻ γ
Md	256(90m)K _{spont} SF
Mo	99(67h)β ⁻ γ
Na	22(2.6y)β ⁻ γK _{spont}
	24(1.5h)β ⁻ γ
Nd	147(11.1d)β ⁻ γ
Ni	63(125y)β ⁻ γ
	59(8x10 ¹⁰ y)K
Np	237(2.2x10 ⁶ y)α _{spont} γ
	239(2.33d)β ⁻ γ
Os	191(11.5d)β ⁻ γe ⁻
P	32(14.2d)β ⁻ γ
Pa	231(34000y)α _{spont} γ
Pb	210(19.4y)β ⁻ γe ⁻
	202(10 ¹⁰ y)β ⁻ γ
Pd	103(17d)K _{spont} γ
Pm	147(2.6y)β ⁻ γ

Po	210(138.4d)β ⁻ γ
	209(103y)β ⁻ γK _{spont}
Pr	143(13.8d)β ⁻ γ
Pt	197(18h)β ⁻ γ
Pu	242(3.8 x 10 ⁴ y)α _{spont} SF
	241(13y)β ⁻ γ
	239(24300y)α _{spont} SF
Ra	226(1620y)α _{spont} γ
Rb	86(18.6d)β ⁻ γ
Re	188(16.7h)β ⁻ γ
	186(3.7d)β ⁻ γ
Rn	222(3.82d)β ⁻ γ
Ru	103(40d)β ⁻ γ
	97(2.9d)K _{spont} γe ⁻
S	35(88d)β ⁻ γ
Sb	122(2.8d)β ⁻ γK _{spont} γ
	124(60d)β ⁻ γ
Sc	46(84d)β ⁻ γ
Se	75(120d)K _{spont} γ
Sm	153(47h)β ⁻ γ
	145(340d)K _{spont} γ
Sr	90(28y)β ⁻ γ
	89(51d)β ⁻ γ
	85(64d)K _{spont} γ

Ta	182(11.5d)β ⁻ γ
Tb	160(73d)β ⁻ γ
Tc	99(2x10 ⁵ y)β ⁻ γ
	97(10 ¹⁰ y)K
Te	127(9.3h)β ⁻ γ
Th	232(1.4x10 ¹⁰ y)α _{spont} γ
	228(1.91y)β ⁻ γ
Ti	204(3.81y)β ⁻ γK
Tm	170(134d)β ⁻ γe ⁻
U	238(4.5x10 ⁹ y)α _{spont} SF
	234(2.5x10 ⁴ y)α _{spont} SF
	235(7.1x10 ⁸ y)α _{spont} SF
	233(1.6x10 ¹⁰ y)α _{spont} γ
W	185(75d)β ⁻ γ
Y	90(64h)β ⁻ γe ⁻
Yb	175(4.2d)β ⁻ γ
	169(31d)K _{spont} γ
Zn	65(245d)K _{spont} γ
Zr	95(65d)β ⁻ γ
	93(9x10 ¹⁰ y)β ⁻ γ

VIIIA

2	4.0026
-268.9	He
-269.7	
0.126	
¹ s ²	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	K	1440	Ca	2730	Sc	3280	Ti	3450	V	2665	Cr	2150	Mn	3000	Fe	2900	Co	2730	Ni	2595	Cu	906	Zn	2237	Ga	2830	Ge	613	As	685	Se	58	Br	152	Kr	
63.7		838		1539		1668		1900		1875		1245		1536		1495		1453		1083		419.5		937.4		817		572		217		-7.2				
0.86		1.55		3.0		4.51		6.1		7.19		7.86		7.86		8.9		8.9		8.96		7.14		5.91		5.32		8.72		4.79		3.12				
[Ar]4s ¹	Potassium	[Ar]4s ²	Calcium	[Ar]3d ¹ 4s ²	Scandium	[Ar]3d ² 4s ²	Titanium	[Ar]3d ³ 4s ²	Vanadium	[Ar]3d ⁴ 4s ¹	Chromium	[Ar]3d ⁵ 4s ¹	Manganese	[Ar]3d ⁶ 4s ²	Iron	[Ar]3d ⁷ 4s ²	Cobalt	[Ar]3d ⁸ 4s ²	Nickel	[Ar]3d ⁹ 4s ¹	Copper	[Ar]3d ¹⁰ 4s ¹	Zinc	[Ar]3d ¹⁰ 4s ²	Gallium	[Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ¹	Germanium	[Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ²	Arsenic	[Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ³	Selenium	[Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁴	Bromine	[Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁵	Krypton	[Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁶

37	85.47	38	87.62	39	88.905	40	91.22	41	92.906	42	95.94	43	(98)	44	101.07	45	102.905	46	106.4	47	107.870	48	112.40	49	114.82	50	118.69	51	121.75	52	127.60	53	126.904	54	131.30	
688	Rb	1380	Sr	2927	Y	3580	Zr	3300	Nb	5560	Mo	2140	Tc	4900	Ru	4500	Rh	3980	Pd	2110	Ag	765	Cd	2000	In	2270	Sn	1380	Sb	989.8	Te	183	I	108.0	Xe	
38.9		768		1509		1852		2468		2610		11.5		12.4		12.0		1552		960.8		320.9		156.2		231.9		6.62		4.94		113.7		-111.9		
1.53		2.6		4.47		6.49		8.4		10.2		11.5		12.2		12.0		12.0		10.5		8.65		7.31		7.30		6.24		4.94		3.06		3.06		
[Kr]5s ¹	Rubidium	[Kr]5s ²	Strontium	[Kr]4d ¹ 5s ²	Yttrium	[Kr]4d ² 5s ²	Zirconium	[Kr]4d ⁴ 5s ¹	Niobium	[Kr]4d ⁵ 5s ¹	Molybdenum	[Kr]4d ⁵ 5s ²	Techetium	[Kr]4d ⁷ 5s ²	Ruthenium	[Kr]4d ⁸ 5s ¹	Rhodium	[Kr]4d ⁹ 5s ¹	Palladium	[Kr]4d ¹⁰ 5s ¹	Silver	[Kr]4d ¹⁰ 5s ²	Cadmium	[Kr]4d ¹⁰ 5s ²	Indium	[Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ¹	Tin	[Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ²	Antimony	[Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ³	Tellurium	[Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ⁴	Iodine	[Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ⁵	Xenon	[Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ⁶

55	132.905	56	137.34	57	138.91	72	178.49	73	180.948	74	183.85	75	186.2	76	190.2	77	192.2	78	195.09	79	196.967	80	200.59	81	204.37	82	207.19	83	208.980	84	(210)	85	(210)	86	(222)	
490	Cs	1640	Ba	3470	La	5400	Hf	5635	Ta	5930	W	5900	Re	5500	Os	4530	Ir	4530	Pt	2970	Au	357	Hg	1457	Tl	1725	Pb	1560	Bi	254	Po	(802)	At	(-61.8)	Rn	
28.7		714		920		2222		2994		3410		3180		3000		2454		2454		1063		-38.4		303		327.4		271.3		(9.2)		(-71)		(-71)		
1.90		3.5		6.17		13.1		16.6		19.3		21.0		22.6		22.5		21.4		19.3		13.6		11.85		11.4		9.8								
[Xe]6s ¹	Cesium	[Xe]6s ²	Barium	[Xe]5d ¹ 6s ²	Lanthanum	[Xe]4f ¹ 5d ¹ 6s ²	Hafnium	[Xe]4f ¹⁴ 5d ² 6s ²	Tantalum	[Xe]4f ¹⁴ 5d ³ 6s ²	Wolfram	[Xe]4f ¹⁴ 5d ⁴ 6s ²	Rhenium	[Xe]4f ¹⁴ 5d ⁵ 6s ¹	Osmium	[Xe]4f ¹⁴ 5d ⁶ 6s ²	Iridium	[Xe]4f ¹⁴ 5d ⁷ 6s ²	Platinum	[Xe]4f ¹⁴ 5d ⁹ 6s ¹	Gold	[Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ¹	Mercury	[Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ²	Thallium	[Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ¹	Lead	[Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ²	Bismuth	[Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ³	Polonium	[Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ⁴	Astatine	[Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ⁵	Radon	[Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ⁶

87	(223)	88	(226)	89	(227)	104	
-	Fr	700	Ra	1050	Ac		
(27)		5.0					
[Rn]7s ¹	Francium	[Rn]7s ²	Radium	[Rn]6d ¹ 7s ²	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	Ce	3127	Pr	3027	Nd	(1027)	Pm	1900	Sm	1439	Eu	3000	Gd	2800	Tb	2500	Dy	2600	Ho	2900	Er	1727	Tm	1427	Yb	3327	Lu
795		935		1024				1072		826		1312		1356		1407		1461		1497		1545		824		1652	
6.67		6.77		7.00				7.54		5.2																	