

La Geochimica*

La geochimica è la scienza che si occupa della costituzione chimica del globo terrestre e determina la distribuzione e la frequenza, nello spazio e nel tempo, degli elementi che lo compongono, allo stato libero o in combinazione.

Ovvero, la geochimica studia la «storia» degli elementi chimici del globo terrestre e il loro comportamento nelle differenti condizioni naturali termodinamiche e chimico-fisiche.

Le conoscenze dirette sulla composizione chimica e sui processi di trasformazione sono limitate a un certo spessore della crosta terrestre comprendente **litosfera** (parte solida), **idrosfera** (parte liquida), **atmosfera** (parte aeriforme) e **biosfera** (materia vivente).

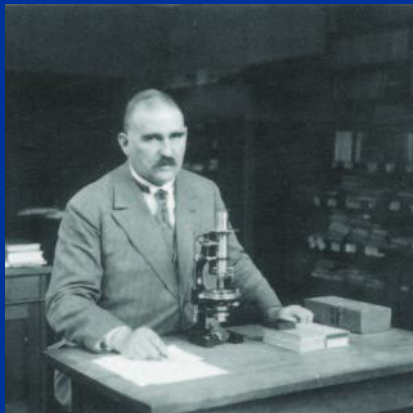
Si potrà parlare, quindi, di **litogeochimica**, **idrogeochimica**, **atmogeochimica** e **biogeochimica**.

* Termine coniato dal chimico e mineralogista Christian Friederich Schoenbein (1799-1868) nel 1838

I risultati delle ricerche del norvegese **Victor Moritz Goldschmidt (1888-1947)** e di numerosi ricercatori russi rappresentano un punto di riferimento per tutte le branche della moderna geochemica.

Il Goldschmidt fu anche il primo ricercatore che propose una **classificazione completa degli elementi chimici** sulla base delle loro caratteristiche e del loro comportamento, completando in termini geochemici la classificazione di **Dimitrij Mendeleev (1834-1907)**, il padre della tabella periodica degli elementi.

Dopo la seconda guerra mondiale i metodi geochemici hanno subito una estensione nelle applicazioni ed un approfondimento delle conoscenze e delle tecnologie talmente vasto che ha prodotto una diversificazione di questa scienza in diverse branche, ad esempio:



V.M. Goldschmidt
sitting in his office
in the Mineralogisk-
Geologisk Museum
in Oslo in the 1920s

Geochemica Inorganica
Geochemica Organica
Geochemica Isotopica
Biogeochemica
Geochemica Ambientale

In 1988, one hundred years after V.M. Goldschmidt was born, the first Goldschmidt Conference was held in Baltimore, Maryland (USA) and was attended by 463 geochemists



My Goldschmidt



Welcome to Goldschmidt2025!

Goldschmidt is the foremost annual, international conference on geochemistry and related subjects, organized by the **European Association of Geochemistry** and the **Geochemical Society**.

Please [sign up](#) to receive email updates for this meeting.

<https://conf.goldschmidt.info/goldschmidt/2025/meetingapp.cgi>

<https://www.societageochimica.it/>



SOCIETÀ GEOCHIMICA ITALIANA

[Home](#) [Società](#) [Attività](#) [Newsletter](#) [Premi](#) [Risorse](#) [Gallery](#) [Iscriviti](#) [Contatti](#) 



Scuole e Giornate
Tematiche



Iscriviti



Congressi



**VULCANO
SUMMER SCHOOL 2025**

*In situ measurements and
sampling of volcanic gases*

9-13 June 2025

Vulcano Summer
School 2025

Geochimica Ambientale:

è una branca della geochimica che studia l'abbondanza, distribuzione e comportamento degli elementi chimici nelle sfere geochimiche di superficie:

atmosfera

- particolato atmosferico
- CO₂, CO, NO_x, ecc...
- IPA

pedosfera

- suolo

idrosfera

- acque superficiali
- acque sotterranee
- precipitazioni atmosferiche

biosfera

- piante
- organismi animali

litosfera

- rocce
- sedimenti

Gli elementi chimici

- Conosciuti fino dall'antichità:
oro, argento, rame, ferro, piombo, stagno, mercurio, zolfo e carbonio.
- **Arsenico, antimonio, bismuto, fosforo e zinco** vennero scoperti dagli alchimisti durante il medioevo.
- Nel corso del XVIII sec. vennero scoperti alcuni importanti elementi gassosi (**azoto, ossigeno, idrogeno e cloro**) e diversi metalli (tra cui **platino, nichel, manganese, uranio, cromo e titanio**).
- All'inizio del XIX sec., grazie all'impiego dell'elettrolisi, vennero scoperti altri sei importanti elementi metallici (**potassio, sodio, calcio, magnesio, bario e stronzio**).
- Intorno al 1850 si conoscevano circa 50 elementi !

Gli elementi chimici

Quanti elementi rimanevano da scoprire?

Come classificare gli elementi?

Il primo criterio utilizzato fu quello del *peso atomico (numero di massa)*.

Risultati più interessanti si ottennero invece raggruppando gli elementi in base a *proprietà chimiche simili*.

Nel 1869, il chimico russo **Dimitri I. Mendeleev (1834 – 1907)** ordinò gli elementi allora conosciuti (63!) in una tabella formata da righe orizzontali, chiamate *periodi*, e colonne verticali dette *gruppi*.

Successivamente alla scoperta dei *numeri atomici (Z)*, tale classificazione fu perfezionata ed i vari elementi vennero classificati secondo il *numero atomico crescente*: si arrivò in questo modo alla moderna tavola periodica degli elementi.

Gli elementi chimici

- 98 elementi chimici naturali identificati nell'universo
- 98 elementi chimici naturali presenti sulla Terra ($Z = 1 - 83$ elementi sia stabili che radioattivi) di cui $Z > 83$ elementi radioattivi
- Il **Tecnezio**, il **Promezio** e i primi 6 elementi transuranici, cioè **Nettunio**, **Plutonio**, **Americio**, **Curio**, **Berkelio** e **Californio**, un tempo ritenuti artificiali in quanto sintetizzati artificialmente, sono stati invece rinvenuti in ultratracce in materiali uraniferi
- 118 elementi in totale, includendo quelli trovati con reazioni chimiche artificiali o nucleari

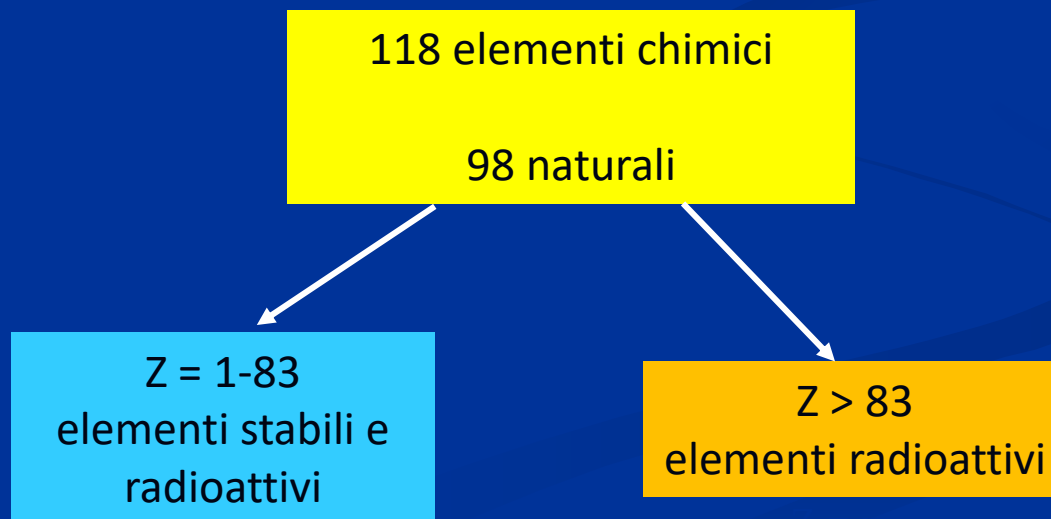


TABELLA PERIODICA DEGLI ELEMENTI

gruppi

I A

II A

III A

IV A

V A

VIA

VII A

VIII A

periodi

1

2

3

4

5

6

7

1	1 H																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											</
---	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----

WWW.ANDREAMININI.ORG

Gruppi: stessa configurazione elettronica esterna (s, p, d, f) e comportamento simile
 Periodi: diversi livelli energetici occupati dall'atomo non eccitato

Tavola Periodica degli elementi

Tavola Periodica degli elementi																		18 VIIIA		
1 IA																		2 VIIA		
1	1,0079 -1 1,1																	2	4,0026 0 -272,1 -269	
Idrogeno																		Elio		
2 IIA																				
3	6,941 +1 1,85 138,1 1324																	4	9,0122 +2 1,85 138,2 2472	
Litio Berillio																				
11	22,9898 +1 1,74 89,9 883																	12	24,305 +2 1,90 100,1 1036	
Sodio Magnesio																				
3 IIIB 4 IVB 5 VB 6 VIB 7 VIIB 8 VIIIB 9 VIIIB 10 VIIIB 11 IB 12 IIB																				
19	39,0983 +1 0,86 62,8 758																	20	40,08 +2 1,55 84,8 1484	
Potassio Calcio																				
37	85,4678 +1 1,33 38,9 694																	38	87,62 +2 2,56 78,9 1375	
Rubidio Stronzio																				
55	132,9054 +1 1,87 28,5 682																	56	137,33 +2 2,9 70,4 2125	
Cesio Bario																				
87	(223) +1 27 874																	88	226,025 +2 5 70,4 1507	
Francio Radio																				
21	44,9559 +3 3,02 103,8 2801																	22	47,9 +4 4,5 103,8 3389	
Scandio Titanio																				
41	92,9064 +5 8,4 101,1 4000																	42	95,94 +6 8,4 101,1 4000	
Vanadio Cromo																				
73	180,9479 +5 13,3 212,4 4603																	74	183,85 +6 13,3 212,4 4603	
Tantalio Tungsteno																				
105	(262) +6 18,07 194,9 3300																	106	(266) +6 18,07 194,9 3300	
Rutherfordio Dubnio																				
107	(264) +6 18,07 194,9 3300																	108	(277) +6 18,07 194,9 3300	
Bohrio Hassio																				
111	(272) +6 18,07 194,9 3300																	112	(285) +6 18,07 194,9 3300	
Roentgenio Copernicio																				
STATI DI AGGREGAZIONE A 20 °C																				
SOLIDI LIQUIDI GASSOSI ARTIFICIALI																				
Serie dei Lantanidi																				
Serie degli Attinidi																				

La Tabella Periodica degli elementi chimici - 1

Ad una data posizione corrisponde un determinato comportamento chimico dell'elemento definito da diverse proprietà «periodiche»

1) Configurazione elettronica esterna

Gli elementi appartenenti allo stesso gruppo hanno la stessa configurazione elettronica esterna, anche se l'ultimo livello energetico è diverso.



Mostrano comportamento chimico simile

Gruppo VII

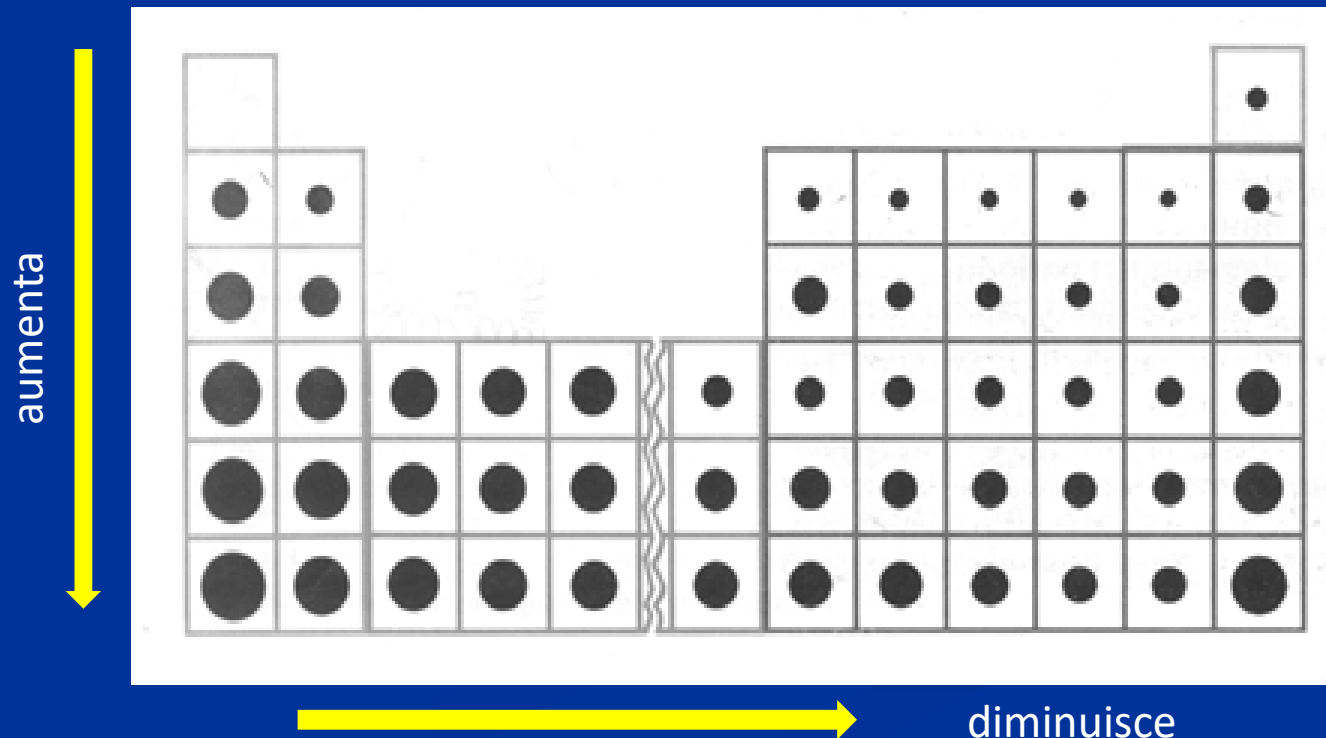
Fluoro	$2S^2$	$2P^5$	HF
Cloro	$3S^2$	$3P^5$	HCl
Bromo	$4S^2$	$4P^5$	HBr
Iodio	$5S^2$	$5P^5$	HI

La Tabella Periodica degli elementi chimici – 2/1

Ad una data posizione corrisponde un determinato comportamento chimico dell'elemento determinato da:

2) Raggio atomico (volume atomico)

Aumenta verso il basso nei gruppi mentre diminuisce procedendo da sinistra a destra nei periodi con un'unica eccezione....



La Tabella Periodica degli elementi chimici – 2/2

Tutto in natura tende spontaneamente verso la maggiore stabilità.

Tutti gli elementi reagiscono e formano legami per raggiungere la **configurazione elettronica esterna ottimale**:

8 elettroni nell'ultimo livello energetico, $nS^2, nP^6 \rightarrow$ la Regola dell'otteto

Gli elementi che possiedono 8 elettroni superficiali (configurazione ottimale) risultano particolarmente stabili o inerti, nel senso che manifestano pochissima tendenza a reagire con altri elementi chimici.



I gas nobili

He, Ne, Ar, Kr, Xe, Rn

La Tabella Periodica degli elementi chimici – 2/3

Se l'atomo cede elettroni assume una carica positiva e si trasforma in uno ione positivo o catione.

Se invece l'atomo acquista elettroni assume una carica negativa, diventando uno ione negativo o anione.

Per quale motivo un atomo dovrebbe cedere o acquistare degli elettroni?

Per raggiungere l'ottetto o comunque la configurazione elettronica del gas nobile più vicino.

gruppo	Ioni monoatomici	gruppo	Ioni monoatomici
I°	Cationi monovalenti (Na ⁺ ; K ⁺ ecc.)	V°	raramente cationi trivalenti (Bi 3 ⁺) o anioni trivalenti (N 3 ⁻)
II°	cationi bivalenti (Mg 2 ⁺ ; Ca 2 ⁺ ecc.)		
III°	cationi trivalenti (Al 3 ⁺)	VI°	anioni bivalenti (O 2 ⁻ ; S 2 ⁻)
IV°	cationi tetraivalenti (Sn 4 ⁺ ; Pb 4 ⁺)	VII°	anioni monovalenti (Cl ⁻ ; F ⁻ ; ecc.)

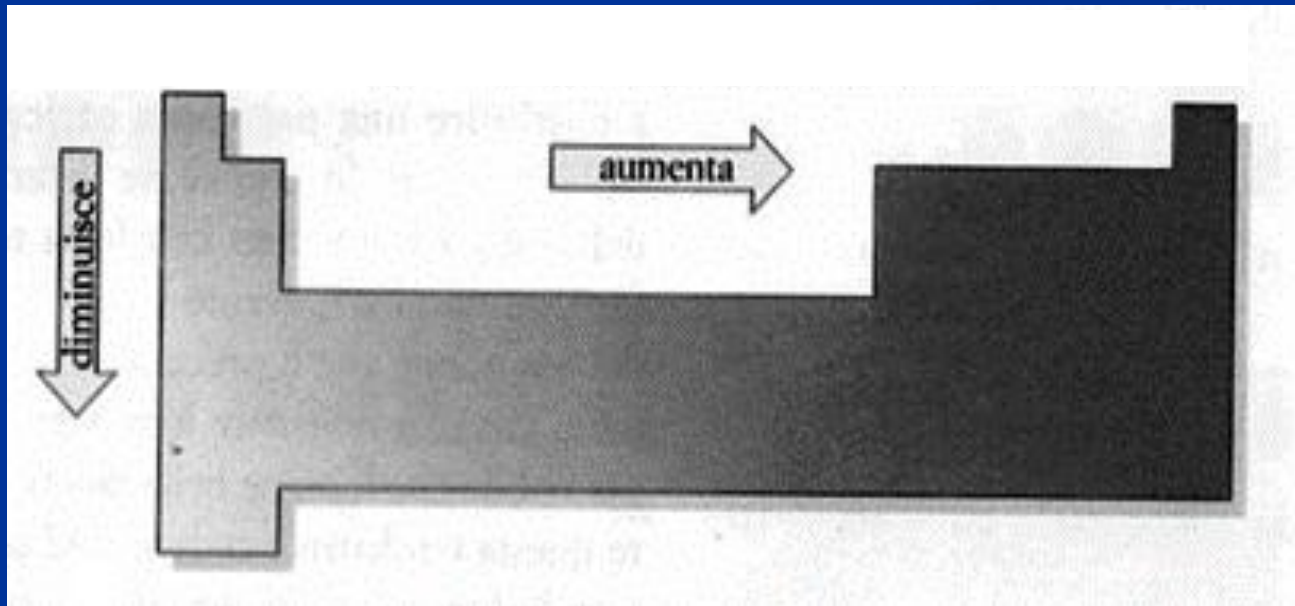
La Tabella Periodica degli elementi chimici - 3

Ad una data posizione corrisponde un determinato comportamento chimico dell'elemento determinato da:

3) Energia di ionizzazione

Fornita all'atomo per «strappare» un elettrone esterno e ionizzarsi (cationi).

Aumenta dal basso verso l'alto nei gruppi (max per raggi atomici piccoli) e da sinistra verso destra nei periodi (max per i gas nobili)



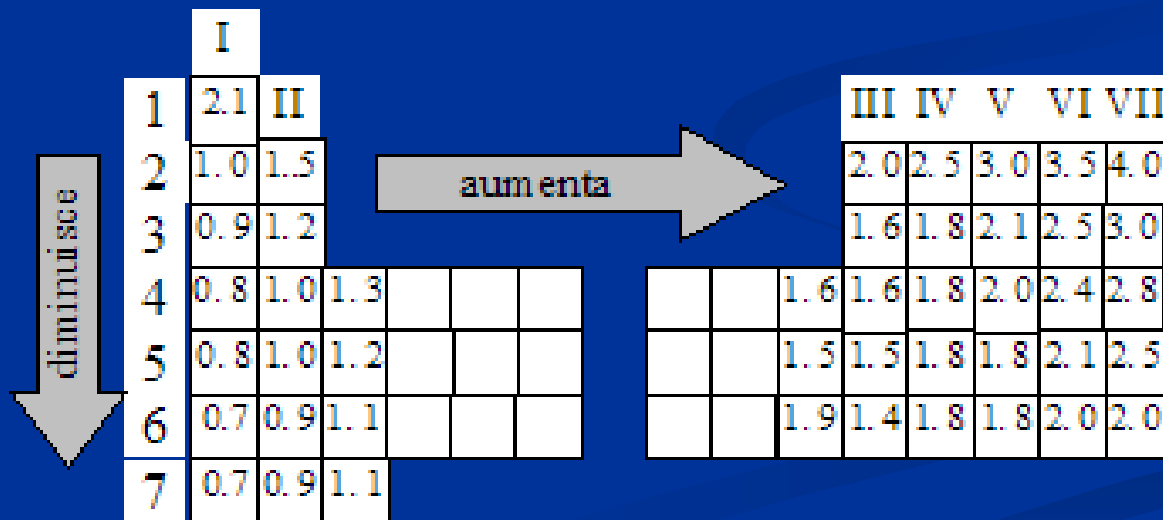
La Tabella Periodica degli elementi chimici - 4

Ad una data posizione corrisponde un determinato comportamento chimico dell'elemento determinato da:

4) Elettronegatività

Tendenza ad attrarre elettroni di legame.

Aumenta dal basso verso l'alto nei gruppi e da sinistra a destra nei periodi
(valori > in alto a dx, valori < in basso a sx)



...gli atomi piccoli attraggono gli elettroni più fortemente di quelli grandi!

Aspetti ambientali della Tavola Periodica degli elementi

H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
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
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac															

Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Th	Pa	U	Np	Pu									



Elementi con valenza tossicologica non ben definita



Elementi potenzialmente tossici



Elementi tossici



Elementi tossici e radioattivi

L'abbondanza degli elementi chimici

Gli elementi chimici non hanno uguale abbondanza, sia che si consideri la sola terra oppure, in generale, tutto l'Universo.

Da dove arriva la conoscenza dell'abbondanza degli elementi chimici?

- 1) Analisi spettroscopiche dell'atmosfera solare, delle stelle e delle nebulose
- 2) Analisi della composizione media delle meteoriti
- 3) Analisi della composizione media delle rocce terrestri (e lunari)

L'abbondanza degli elementi chimici - 1

1) analisi spettroscopiche dell'atmosfera solare, delle stelle e delle nebulose

- Ogni corpo incandescente da origine ad uno spettro continuo.
- Ogni gas incandescente (a bassa P) produce un insieme di righe la cui posizione (lunghezza d'onda) e numero dipendono dalla natura chimica della sorgente luminosa.
- Se la luce proveniente da un corpo che emette uno spettro continuo passa attraverso un gas a bassa pressione, questo "sottrae" alcune lunghezze d'onda (righe di assorbimento o di Fraunhofer).

Gli spettri sono una specie di “impronte digitali” dei vari elementi chimici.

E' possibile dedurre la composizione chimica della sorgente e dei gas attraversati.

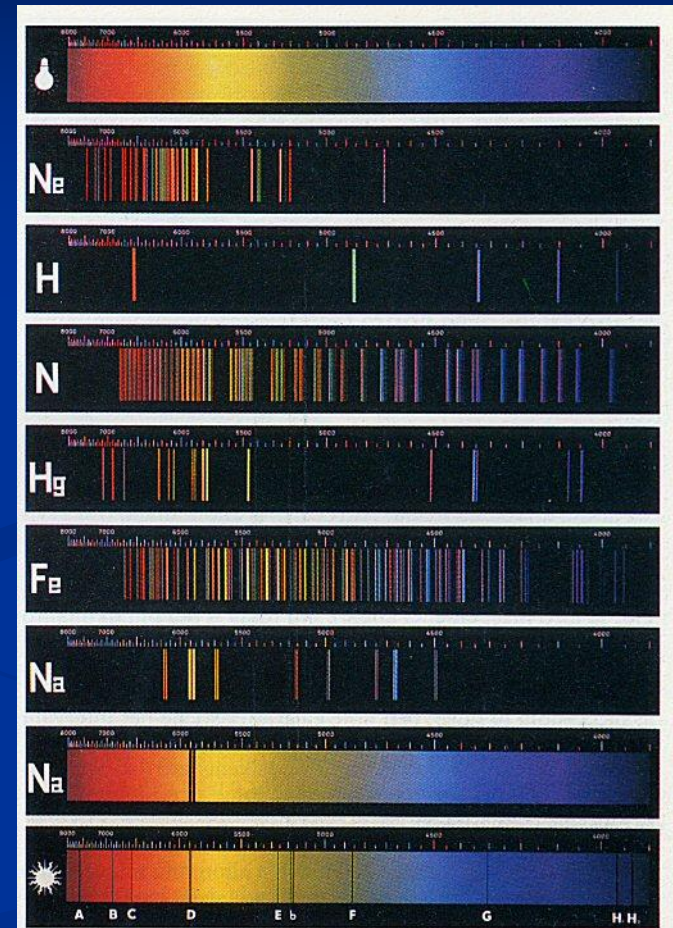


Fig. 1.8. Esempi di spettri. Dall'alto: spettro continuo (lampada a incandescenza); spettri di emissione (neon, idrogeno, azoto, mercurio, ferro, sodio); spettri di assorbimento (vapori di sodio, Sole). (Officine Galileo, Firenze)

Tenendo conto dei vari tipi spettrali dovuti alle diverse temperature e facendo una media di quanto risulta dagli innumerevoli spettri esaminati, si ricava per le stelle la seguente composizione chimica media:

- il **50-75%** della loro materia è data da **H**,
- il **45-20%** è composto di **He**,
- la parte rimanente (poco più del 5%) va attribuita a tutti gli altri elementi chimici che conosciamo

L'abbondanza degli elementi chimici - 2

2) analisi della composizione chimica delle meteoriti, delle rocce terrestri e del materiale lunare

Le rocce terrestri ed il materiale lunare rappresentano solo la parte più superficiale dei due corpi celesti.

Le meteoriti rappresentano, invece, i resti di materiale stellare indifferenziato.

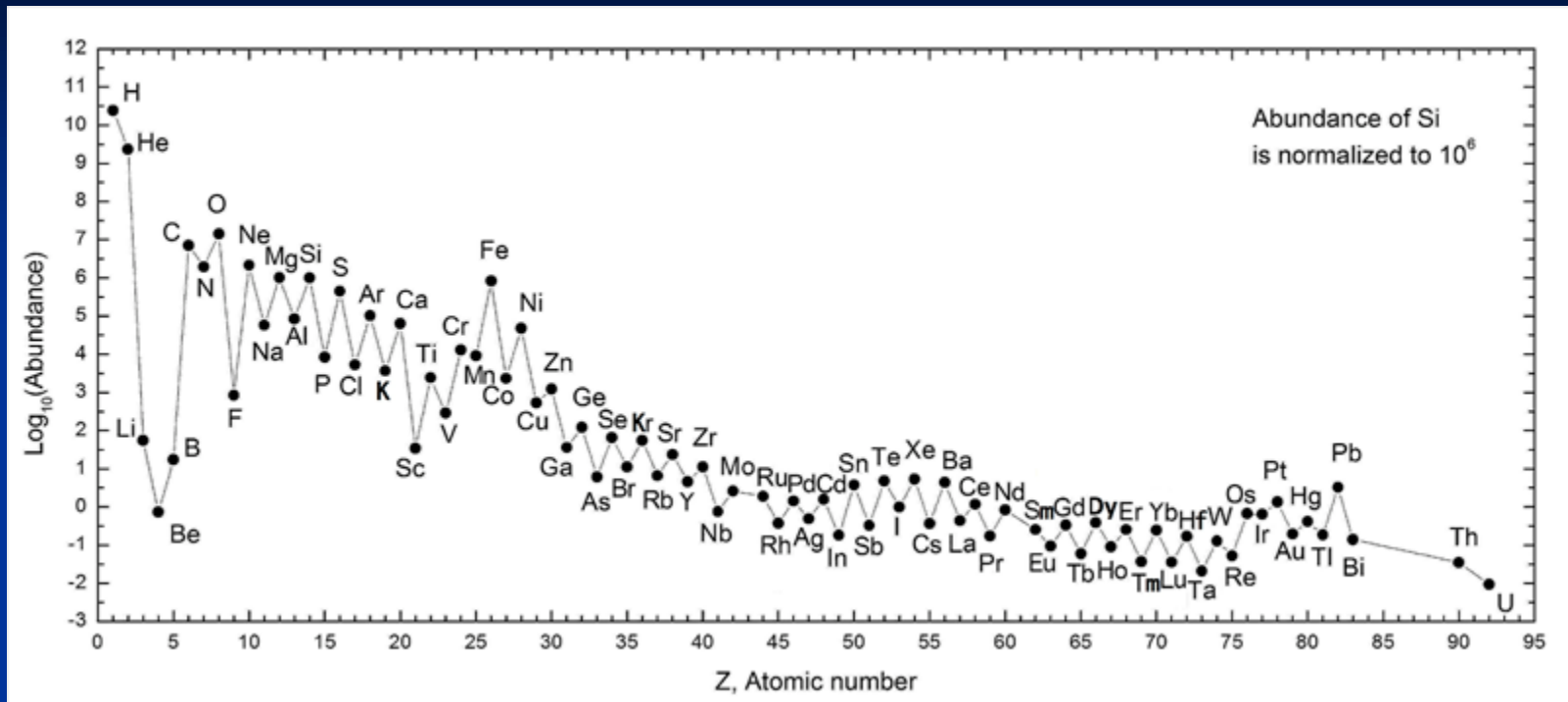
Le meteoriti, in particolare le **condriti carbonacee**, rare e primitive, possono essere considerate (se si escludono elementi atmofili come H, He, N, O, C e gli altri gas nobili), **rappresentative di materia primordiale non differenziata** ed hanno una composizione simile alle rocce terrestri ultramafiche (Ni e Fe) con tracce di H₂O e composti organici (amminoacidi).

Allende-MES: la più antica (4,56 Miliardi d'anni !!!)

Murchison-AUS: di origine cometaria (12% d'acqua) e 92 amminoacidi



L'abbondanza cosmica degli elementi chimici - 3

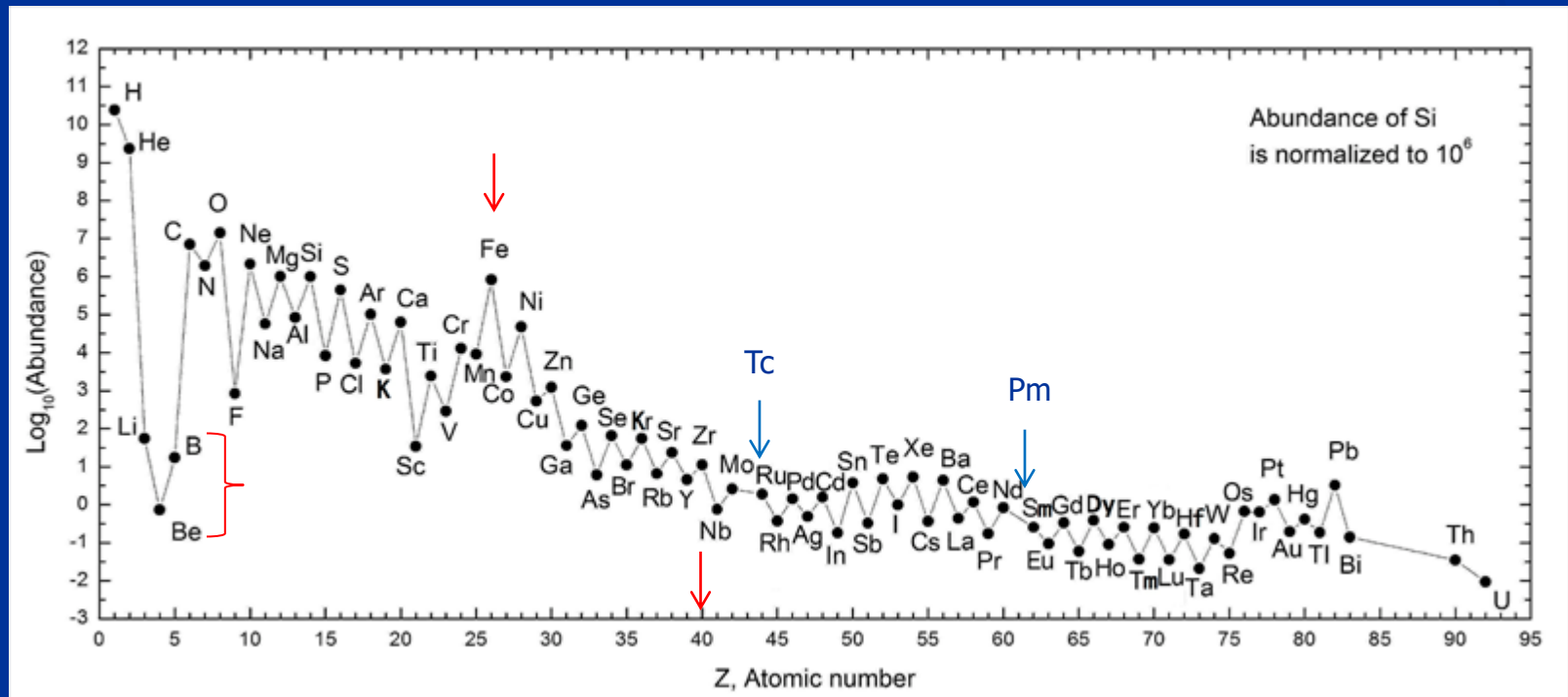


Esaminando il complesso dei dati si può osservare che:

- l'**H** è l'**elemento più abbondante**, seguito da **He, O, C, Ne, N, Si, Mg, Fe** ecc. atomico (la somma H+He costituisce il 95-98% degli elementi)
- l'**H, He, Ne, N, C** sono molto abbondanti nelle stelle e poco nella crosta terrestre
- l'**O, Si, Al, Mg, Fe** sono molto abbondanti sia nelle atmosfere stellari che nella crosta terrestre.

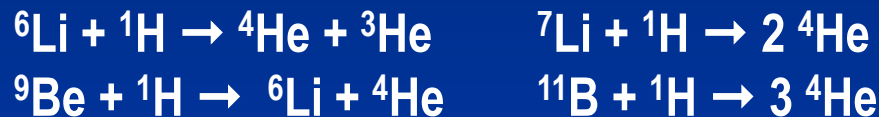
In generale si può affermare che :

- 1) L'abbondanza degli elementi diminuisce al crescere del numero atomico Z (*prima legge della geochimica*).
- 2) Gli elementi con numero atomico pari sono più abbondanti di quelli con numero atomico dispari che li precedono e seguono immediatamente (*legge di Oddo-Harkins*)



Ci sono delle **anomalie evidenti** per alcuni elementi come **Li, Be, B e Fe**.

I primi tre verificano la *legge di Oddo Harkins* nelle condriti, ma nelle stelle si trasformano secondo le reazioni:



mentre l'anomalia positiva del gruppo del **Ferro** è dovuta ai processi di formazione e/o "**processi all'equilibrio**" dove ad ogni processo di fusione corrisponde un processo di fotodisintegrazione.



alle temperature dell'ordine di $4 \cdot 10^9$ K, la fotodisintegrazione è in equilibrio con la fusione. In queste condizioni, i nuclei con energia di legame più elevata, come quelli del **Ferro**, sono più stabili.

PRIMA DIFFERENZIAZIONE GEOCHIMICA:

Formazione del nucleo e del mantello

Le elevate temperature provocarono la quasi totale fusione dei materiali costituenti il nostro proto-pianeta.



Prima differenziazione geochimica:
la formazione e separazione di 2 distinte fasi, metallica e silicatica

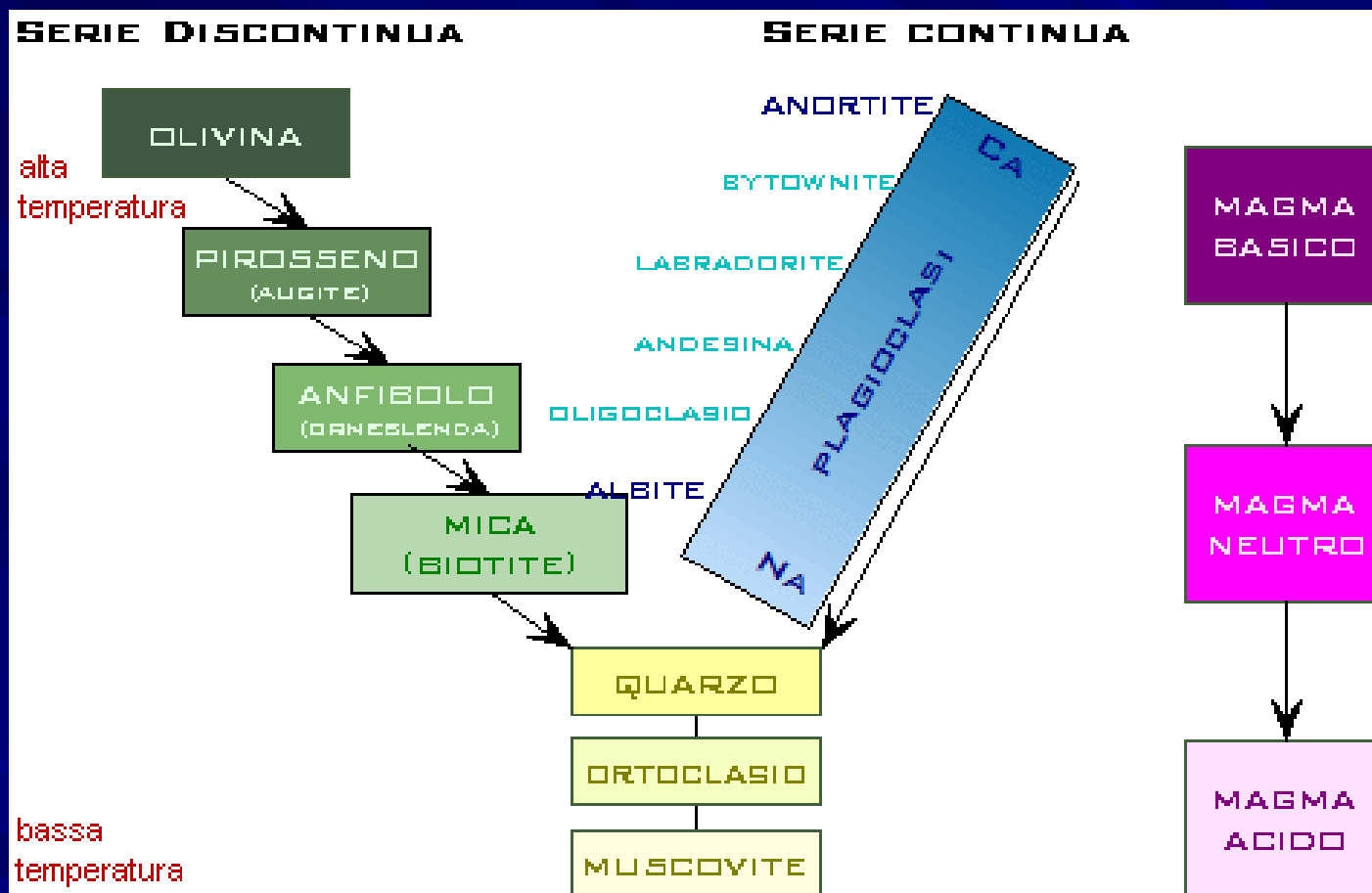
- Gran parte del Fe e del Ni (allo stato fuso) si separarono in una fase metallica che, per la sua maggiore densità, confluì verso il centro del pianeta.
- Formazione del nucleo terrestre.
- Raffreddamento e solidificazione del restante materiale a costituire il mantello.
- Composizione silicatica ultrafemica (O, Si, Mg, Fe).

SECONDA DIFFERENZIAZIONE GEOCHIMICA:

Formazione della crosta terrestre

- La crosta terrestre, l'idrosfera e l'atmosfera si sono formate dopo il nucleo ed il mantello, secondo processi più lenti e più complessi innescati dal rilascio di "materiali" dal mantello superiore nei primi stadi della vita della Terra.
- La crosta terrestre si è formata, e si forma tuttora, in seguito ad una complessa sequenza di processi magmatici in cui giocano un ruolo primario i fenomeni di fusione parziale e cristallizzazione frazionata.
- Questi processi magmatici coinvolgono sia il mantello sia la crosta terrestre (oceanica e continentale).
- L'insieme di questi eventi individua la seconda differenziazione geochimica.

La cristallizzazione frazionata è il più potente meccanismo di differenziazione magmatica.



Classificazione Geochimica degli elementi secondo Goldschmidt

Questa classificazione si deve a Goldschmidt che introdusse il concetto di **affinità geochimica** di un elemento. Piuttosto che riferirsi a pure condizioni di equilibrio termodinamico preferì considerare la ripartizione di ciascun elemento fra coppie di sistemi naturali (es. crosta e atmosfera) considerando un fattore di arricchimento (E.F. *Enrichment Factor*):

$$E.F. = (N/Fe)_{\text{atm}} / (N/Fe)_{\text{lit}}$$

dove N=Azoto e Fe=Ferro

In base all'ipotesi di una differenziazione geochimica del pianeta in un nucleo denso, formato da leghe di **Fe e Ni**, circondato da **Solfuri**, quindi uno strato di **Silicati** ed infine dall'**Atmosfera**, gli elementi sono stati distinti in:

SIDEROFILI CALCOFILI LITOFILI ATMOFILI

SIDEROFILI

Elementi che hanno spiccata affinità con la fase metallica (nucleo). Il comportamento siderofilo di un elemento è in relazione con la sua inerzia chimica, associata ad un alto potenziale di ionizzazione.

Appartengono a questo gruppo molti degli elementi di transizione (Fe, Co, Ni, Mo, Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt, Au) che si rinvengono concentrati nel nucleo

CALCOFILI

Elementi che hanno spiccata affinità per lo Zolfo e quindi, in assenza di Ossigeno, tendono a combinarsi con questo elemento formando legami covalenti.

Minerali tipici sono quelli appartenenti al gruppo dei **Solfuri**.

Molti elementi di transizione e parte degli elementi dei gruppi IV, V e VI (Cu, Zn, As, Ag, Cd, Sn, Sb, Hg, Pb).

LITOFILI

Elementi che tendono a formare legami spiccatamente ionici con l'Ossigeno (I e II gruppo e alcuni elementi di transizione), presenti in mantello e crosta, in minerali quali silicati, ossidi, carbonati e cloruri.

ATMOFILI

Elementi volatili (N e gas nobili) legati alla formazione della proto-Terra che sono rimasti allo stato gassoso. Impoveriti rispetto all'abbondanza nel sistema solare.

Classificazione Geochimica degli elementi secondo Goldschmidt

Siderofili	Calcofil	Litofili	Atmofili
P, Ge, Sn, Fe, Co, Ni, Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt, Au, Re, Mo	Cu, Zn, Ga As, Se, Ag, Cd, In, Sb, Te, Hg, Tl, Pb, Bi	Li, Be, B, Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Cs, Ba, T.R., Hf, Ta, W	H, C, N, O, He, Ne, Ar, Kr, Xe, Rn, (Hg)

1 H																	2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	57 La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	89 Ac															
			58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu	
			90 Th	91 Pa	92 U												

L'abbondanza degli elementi chimici sulla terra

Per quanto riguarda la composizione degli elementi chimici presenti sulla terra, solo una piccolissima porzione superficiale è disponibile per osservazioni e analisi dirette, mentre per la restante parte ci si deve basare sulle interpretazioni del comportamento di altri parametri fisici.

La parte che è accessibile all'indagine diretta è limitata alla parte composta dalla crosta più quella parte del mantello che presenta le caratteristiche tipiche di un solido detta **litosfera**, all'involucro gassoso che circonda la terra o **atmosfera**, al complesso delle acque continentali, oceaniche, ghiacciai e nevi perenni detta **idrosfera**, al complesso della sostanza vivente detta **biosfera**.

L'atmosfera, idrosfera, biosfera e litosfera (pedosfera) costituiscono le cosiddette “sfere geochimiche esterne”.

L'atmosfera

Uniforme dal punto di vista composizionale nei primi 60 km!

Elementi principali: **N_2 , O_2 , Ar**

Gas minori: **CO_2** , Ne, He, CH_4 , Kr, N_2O , H_2 , **O_3** , Xe

L'anidride carbonica (**CO_2**) è particolarmente importante insieme all'ozono (**O_3**) che è abbondante specialmente nella troposfera ed assorbe le radiazioni ultraviolette.

La massa dell'atmosfera è in perenne movimento per effetto della circolazione delle masse d'aria (venti) che determina il trasporto del vapore acqueo oltreché di fini particelle solide (polveri).

L'idrosfera

La sua composizione media è praticamente quella degli oceani!

Ioni maggiori disciolti: Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-}

L'idrosfera occupa una massa ragguardevole data essenzialmente dagli **oceani** ($1370 \times 10^6 \text{ km}^3$) che raccolgono **più del 97 % dell'acqua del pianeta** e rappresenta un mezzo di trasporto potente di materiale sia in sospensione che in soluzione.

Il restante volume è l'acqua in forma solida dei ghiacciai, quelle appartenente alle acque sotterranee, a fiumi e laghi, al suolo e all'atmosfera. L'acqua contenuta negli organismi rappresenta la riserva più piccola.

Volume d'acqua conservato nelle riserve del ciclo idrologico		
Riserva	Volume (10^6 km^3)	Percentuale del totale
Oceani	1370	97,25
Ghiacciai	29	2,05
Acque sotterranee	9,5	0,68
Laghi	0,125	0,01
Umidità del suolo	0,065	0,005
Atmosfera	0,013	0,001
Corsi d'acqua	0,0017	0,0001
Biosfera	0,0006	0,00004

La biosfera

Pur rappresentando percentualmente una massa molto inferiore alle altre sfere geochimiche terrestri (idrosfera/atmosfera/biosfera = 70.000/300/1), qualitativamente la sua importanza è enorme!

La massa totale della biosfera è principalmente formata da:

H, C, N, O e P

La **biosfera** è, semplificando, **formata da acqua** (dal 50% per i vegetali al 99% per gli invertebrati marini), **nella quale si trovano macromolecole organiche complesse**.

Dal punto di vista geochimico, la biosfera è importante per il bilancio $\text{CO}_2\text{-O}_2$ attraverso processi come la **fotosintesi** e la **respirazione**, per la **formazione di sedimenti biogenici** (es. coralligeni) e di **precipitazione chimica** (es. fosforiti, evaporiti) e la **formazione di sedimenti organici** da cui hanno origini i combustibili fossili (petrolio, gas, carbone).

La litosfera

Crosta, mantello e nucleo sono i 3 grandi “gusci concentrici” della struttura interna del pianeta.

La **LITOSFERA**, comprende la crosta e la parte superiore del mantello (litosferico). Di questa piccola porzione superficiale, si possono avere notizie dirette sulla composizione mineralogica dalle osservazioni e dalle analisi dei materiali provenienti dall'**Astenosfera** che è la parte a comportamento plastico del mantello (100-300 km).

I dati diretti riguardano comunque una porzione che arriva ad una profondità massima di circa 300 km, mentre la parte sottostante viene dedotta dal comportamento delle onde sismiche e da valutazioni che giustifichino la massa e altri parametri fisici (dati indiretti).

Il XX° secolo ha visto un susseguirsi di teorie che hanno cercato di spiegare la **formazione delle rocce cristalline** e l'evoluzione della parte superficiale terrestre passando attraverso la **teoria della deriva dei continenti** di Alfred Wegner fino alla **teoria della tettonica a placche**, suggerita nel 1928 dal britannico Arthur Holmes.

Origine della terra

Dal punto di vista dell'età della terra, le **datazioni** ottenute **con metodi radiometrici** su campioni di meteoriti, **ci indicano** un'età che si aggira sui **4,5 – 5 miliardi di anni**.

Questo valore è verosimilmente l'età della terra e anche del sistema solare.

Nel confronto con altri pianeti, a prescindere da altre caratteristiche, balza evidente la **densità (ρ)** rispetto all'acqua, alta per i cosiddetti pianeti interni, bassa per quelli esterni :

Mercurio 5,42 g/cm³

Venere 5,25

Terra 5,52

Marte 3,94

Giove 1,31

Saturno 0,69

Urano 1,29

Nettuno 1,64

Plutone 2,03

In particolare, la Terra ha la densità massima rispetto agli altri pianeti del sistema solare e quindi un'accelerazione di gravità che consente di impedire la perdita di elementi gassosi

La terra: densità

Tenendo conto dell'accelerazione di gravità sulla superficie terrestre e dell'attrazione gravitazionale, la **densità media** della terra è di circa **$5,5 \text{ g cm}^{-3}$** .

Questo valore è molto maggiore di quello medio delle rocce che affiorano in superficie ($2,2\text{-}2,9 \text{ g cm}^{-3}$), quindi l'interno della terra deve avere densità sicuramente maggiore di $5,5 \text{ g cm}^{-3}$, arrivando a $9\text{-}13 \text{ g cm}^{-3}$ nel nucleo.

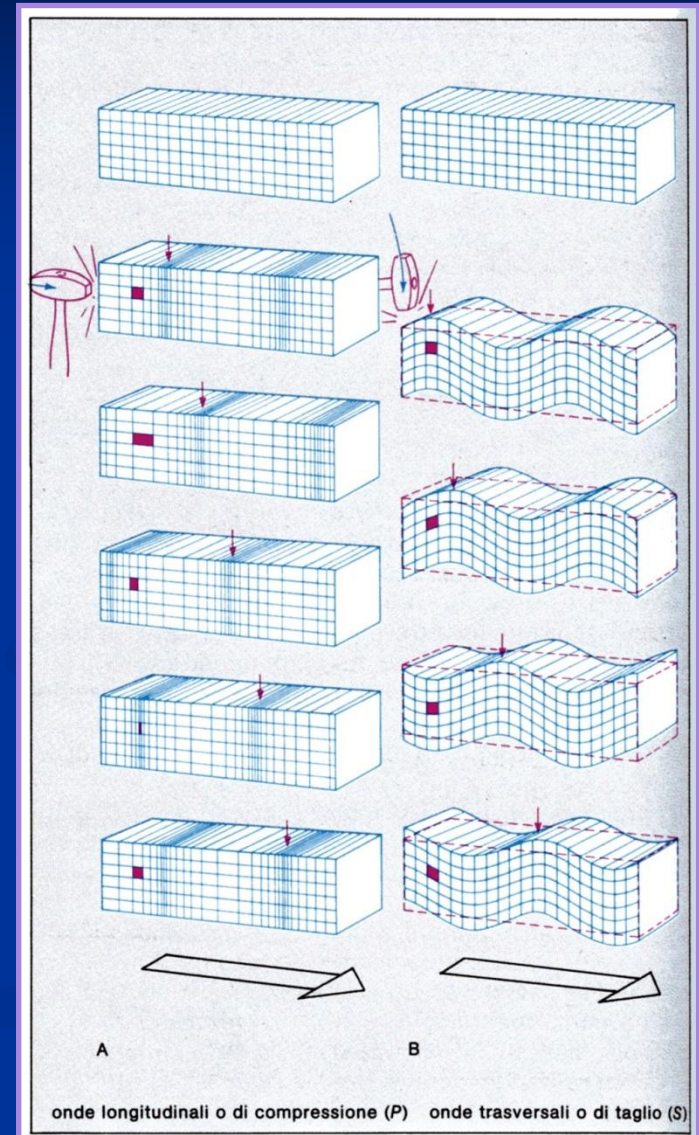
Inoltre, dal calcolo del momento d'inerzia della terra come fosse una sfera omogenea con densità media indicata, questo risulta minore.

L'aumento di densità verso il centro del pianeta è, molto probabilmente, dovuto a due fattori:

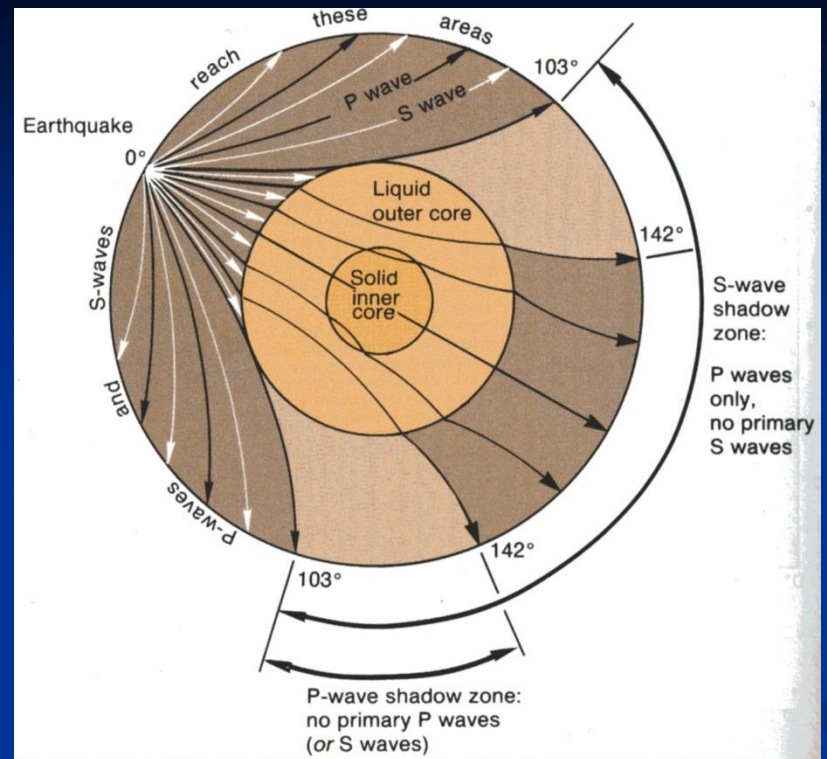
- a) aumento della compressione
- b) concentrazione di elementi più densi ad una distanza minore dall'asse di rotazione.

Le onde sismiche

- Onde interne (di volume)
 1. *compressive o primarie (P):*
5.95-6.75 km/s
 2. *di taglio o secondarie (S):*
2.9-4.0 km/s maggior ampiezza e distruttività



Propagazione delle onde sismiche



- Le onde di taglio (S) non “viaggiano” attraverso il nucleo esterno liquido
- La rifrazione interessa le onde di compressione (P)
- Esiste una “zona d’ombra” per le onde S diametralmente opposta al fuoco del sisma

I dati forniti dalle caratteristiche
fisiche della Terra

I dati forniti dallo studio
delle meteoriti

I dati forniti dallo studio
delle onde sismiche

Ci permettono di ricavare un

MODELLO DELLA STRUTTURA INTERNA DELLA TERRA

che presenta

Involucri concentrici

suddivisi in

litosfera

mantello

nucleo

costituita da

costituito da

costituito da

Crosta
superficiale

Mantello
litosferico

Astenosfera
Mantello sup.

Mantello
inferiore

Nucleo
esterno

Nucleo
interno

Separati dalla discontinuità
di Mohorovicich

Separati dalla discontinuità
di Gutenberg

Separati dalla discontinuità
di Lehmann

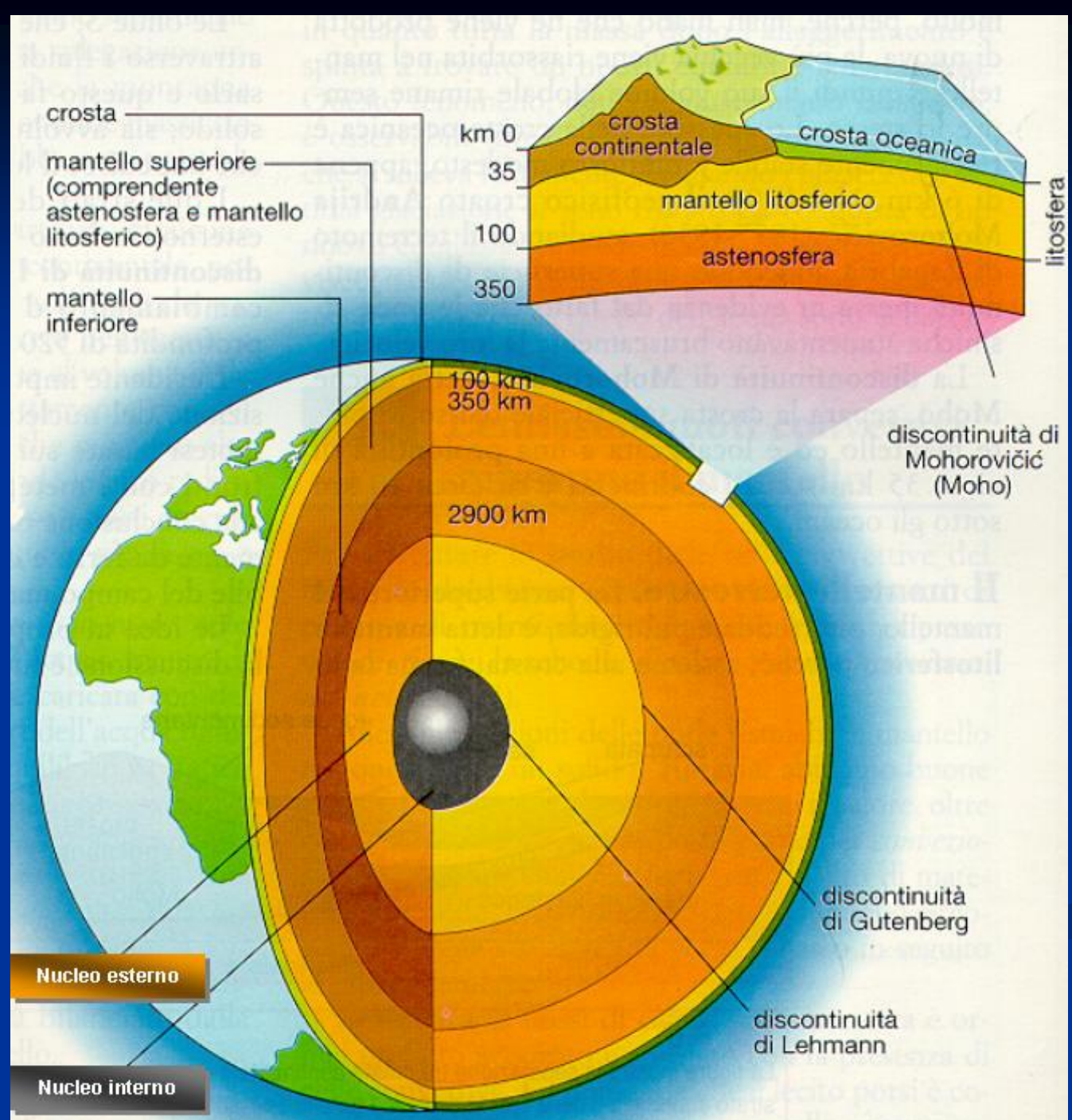
Divisa in crosta continentale e crosta
oceanica

Qui si evidenzia la
Isostasia

Qui sono attive
le celle
convettive

Qui si genera il
Magnetismo terrestre

La struttura della terra



km DI PROFONDITÀ		
		Crosta superiore mediamente a composizione granitica DENSITA' $2.5 \div 2.7 \text{ gcm}^{-3}$ Crosta inferiore: la cosiddetta discontinuità di Conrad che dovrebbe separare la crosta superiore da quella inferiore probabilmente non esiste in termini di differenze composizionali. DENSITA' $\sim 2.8 \text{ gcm}^{-3}$ Velocità delle onde P (Vp) nella crosta = 7.7 kms^{-1}
10÷40	CROSTA	
400	rocce ultrafemiche densità $\sim 3.3 \text{ gcm}^{-3}$	DISCONTINUITA' DI MOHOROVICIC (MOHO)
700	MANTELLLO densità $\sim 3.7 \div 4.5 \text{ gcm}^{-3}$	
	Vp = 8.1 kms^{-1} materiali ricchi in silicati di Fe e Mg densità variabile da ~ 3.9 a $\sim 5.1 \text{ gcm}^{-3}$	Litosfera: comprende Crosta e Mantello litosferico Mantello litosferico: comprende il settore sottostante la crosta con peridotiti a spinello e kimberliti. Astenosfera: da circa 100 a circa 300 km con peridotiti a granato e comportamento plastico. Mesosfera o zona di transizione al mantello inferiore da circa 600 a circa 1000km. Mantello inferiore a comportamento rigido da circa 1000 a circa 2885 km Vp = 13.7 kms^{-1}
2885	Vp = 13.7 kms^{-1}	DISCONTINUITA' DI GUTENBERG
	Vp = 8.1 kms^{-1}	Discontinuità di Gutenberg: assorbimento delle onde sismiche trasversali e brusca variazione di velocità di quelle longitudinali.
5200	NUCLEO ESTERNO densità variabile da ~ 11 a $\sim 14 \text{ gcm}^{-3}$ Vp = 10.4 kms^{-1}	Nucleo esterno a comportamento fluido: probabili elevati contenuti in Fe e Ni. E' la più probabile sorgente del campo magnetico terrestre generato da moti convettivi dal mantello fluido.
	Vp = 11.0 kms^{-1}	DISCONTINUITA' DI LEHMANN
	NUCLEO INTERNO densità fino a $\sim 16 \text{ gcm}^{-3}$ Vp = 11.3 kms^{-1}	Nucleo interno a comportamento rigido probabilmente costituito da ferro ed altri elementi non ben identificati.

La struttura della terra



Peridotite a Spinello



Kimberlite



Peridotite a Granato

Composizione chimica della terra

Per quanto riguarda la composizione chimica della terra, non essendo possibile il controllo diretto ci si deve basare su teorie che giustificano alcuni parametri fisici altrimenti di difficile interpretazione.

Per il **nucleo** e la **terra** nel suo insieme si suppone ci siano le seguenti abbondanze in % in peso:

Nucleo
Fe = 79,39
Ni = 4,87
Si = 7,35
S = 2,30
O = 4,10

Terra nel suo insieme	
O = 32,44	Na = 0,25
Si = 17,22	K = 0,02
Al = 1,51	S = 0,70
Mg = 15,87	Ti = 0,07
Fe = 28,18	Ni = 1,61
Ca = 1,61	

Per il **mantello originario**, quello cioè primigenio che non ha subito fusioni parziali e quindi differenziazioni magmatiche, si è fatto riferimento a **Lherzoliti*** provenienti dal mantello superiore e vengono proposte le seguenti percentuali in peso

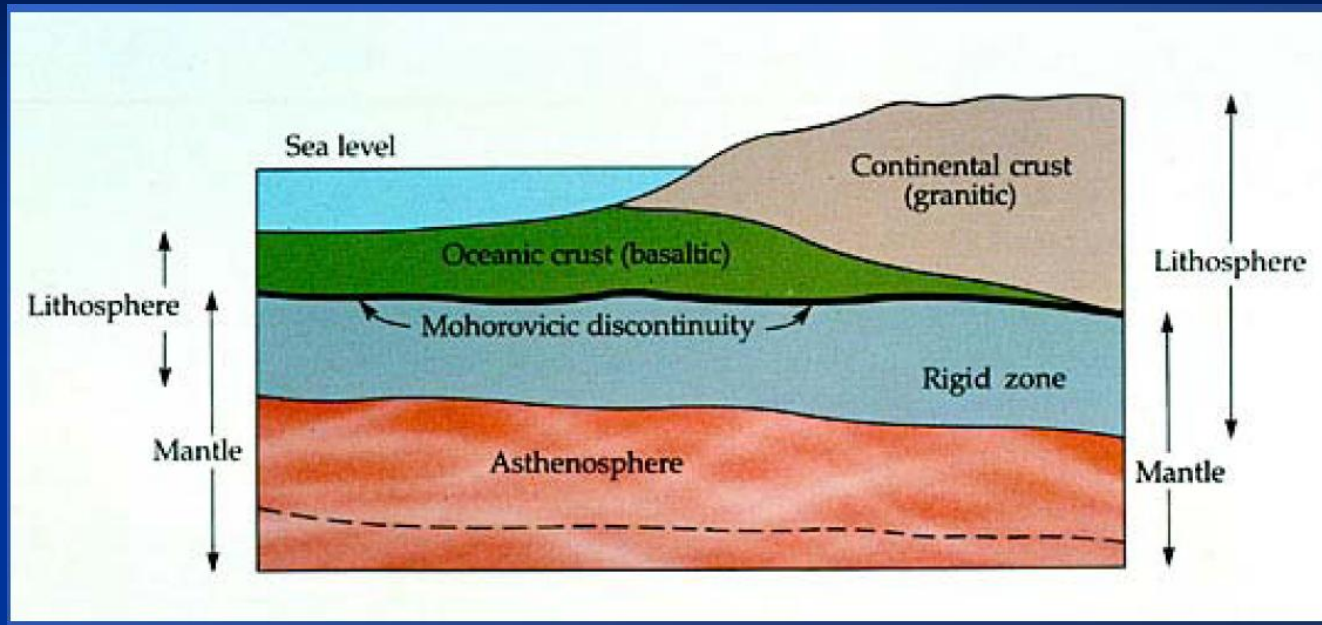
O = 44,79	Fe = 5,82	Mn = 0,116
Si = 21,52	Ca = 2,31	Ti = 0,112
Al = 2,16	K = 0,03	Ni = 0,200
Mg = 22,78	Na = 0,26	Cr = 0,270



Questi dati non si devono considerare assolutamente definitivi, in quanto sono frutto di osservazioni e analisi in continua evoluzione anche in virtù dell'evoluzione tecnologica che permette di ottenere informazioni impensabili fino a cinquant'anni fa.

*rocce ultrabasiche composte da olivina, clinopirosseno e ortopirosseno (fasi accessorie: plagioclasio, spinello, granato, ilmenite, cromite e magnetite)

La crosta terrestre: crosta oceanica e crosta continentale



La Crosta terrestre costituisce circa l'1% della massa della Terra. Nella terra solida si distingue una parte superiore della Crosta, fortemente irregolare e sottile, che dalla superficie giunge sino alla **discontinuità di Mohorovicic** che nelle aree continentali si rinviene mediamente tra i 30 e 40 km, negli oceani a circa 7 km di profondità.

Tra la **Crosta Continentale**, fortemente eterogenea, e quella **Oceanica** più regolare, esiste un netto contrasto strutturale e compositivo.

Composizione chimica della Crosta

Le conoscenze circa la composizione chimica della crosta e, quindi, della distribuzione degli elementi, derivano da numerose analisi di vari tipi di rocce eruttive, sedimentarie e metamorfiche.

La prima stima della composizione media delle rocce eruttive si deve a Clarke e Washington alla quale seguirono numerose altre.

1 media aritmetica di 5159 rocce eruttive

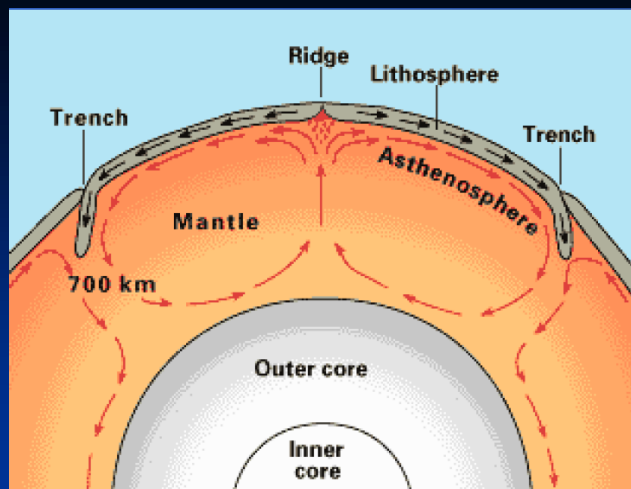
2 media pesata di rocce crostali sia continentali che oceaniche

3 media pesata di rocce crostali continentali

4 media pesata di rocce eruttive della crosta superiore

5 media pesata di rocce crostali sia continentali che oceaniche

	Clarke & Washington (1924)	Poldervaart (1955)	Taylor (1964)	Wedepohl (1969)	Ronov & Yaroshevsky (1969)
	1	2	3	4	5
SiO ₂	59.1	55.2	60.4	66.4	59.3
TiO ₂	1.0	1.6	1.0	0.7	0.9
Al ₂ O ₃	15.3	15.3	15.7	14.9	15.9
Fe ₂ O ₃	3.1	2.8	7.2	1.5	2.5
FeO	3.8	5.8		3.0	4.5
MgO	3.5	5.2	3.9	2.2	4.0
CaO	5.1	8.8	5.8	3.8	7.2
Na ₂ O	3.8	2.9	3.2	3.6	3.0
K ₂ O	3.1	1.9	2.5	3.3	2.4
H ₂ O	1.1	-	-	0.6	-



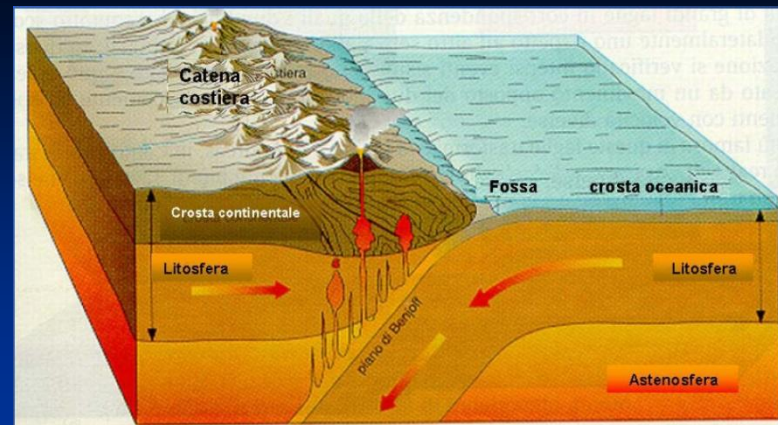
Crosta oceanica

Contenuto medio dei principali elementi chimici nella crosta oceanica (analisi di 1266 campioni di Mid-Ocean Ridge Basalts - MORB).

Basalto →

Il chimismo della crosta oceanica può essere ricondotto a quello medio dei basalti che si formano lungo le dorsali medio oceaniche

contenuto medio (%)	
SiO ₂	50.39
TiO ₂	1.72
Al ₂ O ₃	14.93
FeO(tot)	10.20
MnO	0.18
MgO	7.34
CaO	11.29
Na ₂ O	2.86
K ₂ O	0.25
P ₂ O ₅	0.35
99.52	



Crosta continentale

Chimismo medio della crosta continentale di tipo andesitico.

SiO ₂	59-63
TiO ₂	0.6-0.7
Al ₂ O ₃	15-16
FeO	4.9-6.6
MnO	0.1
MgO	2.8-4.4
CaO	4.7-6.4
Na ₂ O	3.2-4.2
K ₂ O	1.9-2.4
P ₂ O ₅	0.1-0.2

- Dall'esame comparativo dei dati ottenuti progressivamente nel tempo risulta che il margine di incertezza relativo alla **composizione della crosta** è ormai molto ristretto.

O = 46 %	Mg = 4 %
Si = 28 %	Ca = 2,4 %
Al = 8 %	K = 2,3 %
Fe = 6 %	Na = 2,1 %

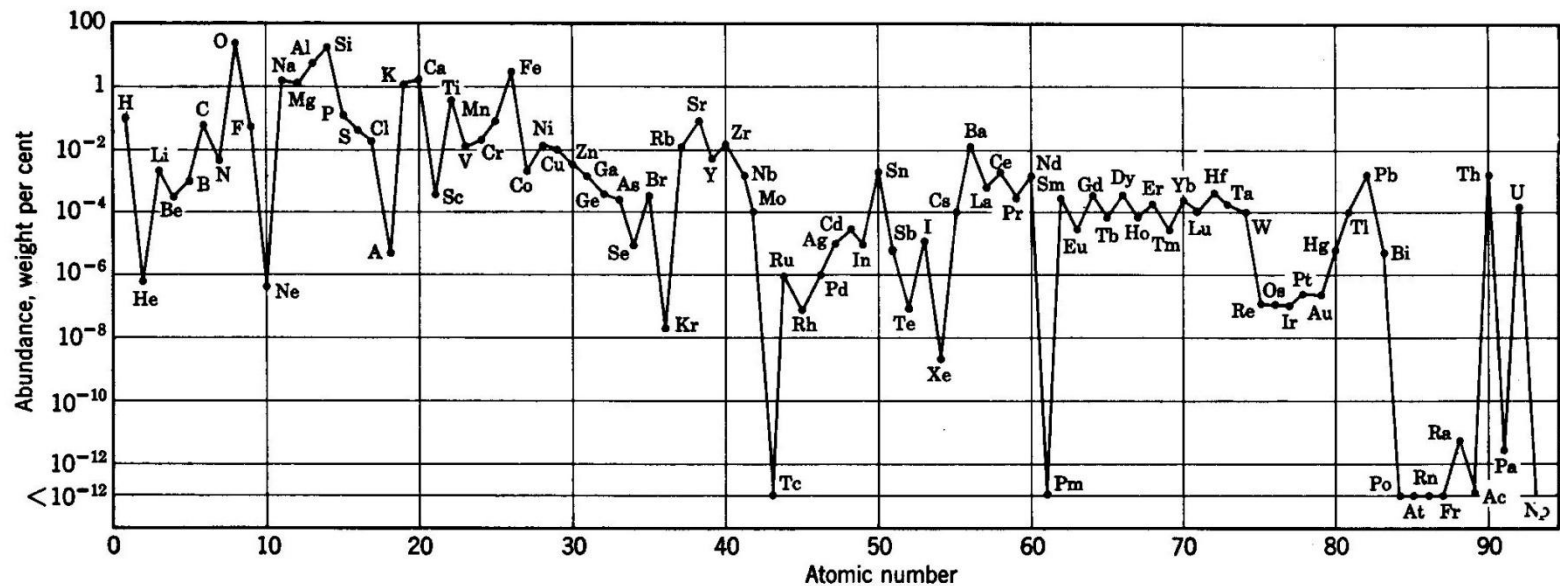
- **L'elemento più abbondante è l'ossigeno.** Si può considerare la crosta come costituita fundamentalmente da un impacchettamento di atomi di ossigeno tenuti assieme da interazioni elettrostatiche con cationi (*Goldschmidt*).
- Seguono, in ordine di abbondanza decrescente Si, Al, Fe, Mg, Ca, K e Na, che, con l'ossigeno, costituiscono il 98.5% in peso della crosta. Questi **elementi** sono detti "**maggiori**", perchè sono presenti nella crosta con una **percentuale in peso > dell' 1 %**.
- Il restante 1,5 % è rappresentato dagli **elementi "minori" (percentuale in peso compresa tra 1 e 0,1 %)** (il solo Titanio è presente con lo 0.5 %) e dagli **elementi "in tracce" (concentrazione inferiore a 0,1 %, cioè in ppm)**, la cui importanza geochimica non è sicuramente minore se si considera che fra questi si trovano elementi quali Cu, Ag, Pb, C, Zn, Hg ecc.

Composizione della Crosta

Elemento	ppm (g/ton)	Elemento	ppm (g/ton)	Elemento	ppm (g/ton)	Elemento	ppm (g/ton)
O	455000	Cl	126	Th	8.01	Tl	0.7000
Si	272000	Cr	122	Sm	7.00	Tm	0.5000
Al	83000	Ni	99	Gd	6.01	I	0.4600
Fe	62000	Rb	78	Er	3.05	In	0.2400
Ca	46600	Zn	76	Yb	3.01	Sb	0.2000
Mg	27640	Cu	68	Hf	2.08	Cd	0.1600
Na	22700	Ce	66	Cs	2.06	Ag	0.0800
K	18400	Nd	40	Br	2.05	Hg	0.0800
Ti	6320	La	35	U	2.03	Se	0.0500
H	1520	Y	31	Sn	2.01	Pd	0.0150
P	1120	Co	29	Eu	2.01	Pt	0.0100
Mn	1060	Sc	25	Be	2.00	Bi	0.0080
F	544	Nb	20	As	1.08	Os	0.0050
Ba	390	N	19	Ta	1.07	Au	0.0040
Sr	384	Ga	18	Ge	1.05	Ir	0.0010
S	340	Li	18	Ho	1.03	Te	0.0010
C	180	Pb	13	Mo	1.02	Re	0.0007
Zr	162	Pr	9.01	W	1.02	Ru	0.0001
V	136	B	9.00	Tb	1.02	Rh	0.0001

Osservando i dati della tabella si può evidenziare come alcune idee correnti sull'**abbondanza** o rarità di certi **elementi** debbano essere rivedute.

- Il **Cu**, ritenuto un elemento comune è meno abbondante dello **Zr**, il **Rb** e le cosiddette "**terre rare**" sono più abbondanti dello **Sn, Pb, Hg**.
- Il comportamento anomalo del **S** rispetto al **P** e di altri elementi dimostrano che la crosta è risultato di un intenso processo di differenziazione.



Crustal abundances of elements of atomic numbers 1 to 93.

- Alcuni elementi, pur essendo **relativamente abbondanti**, sono **poco “disponibili”** altri, **meno abbondanti**, sono **più disponibili**.
- Un elemento risulta **disponibile**, anche se poco abbondante, se è **capace di formare minerali propri** e se tali minerali si trovano convenientemente concentrati (es. Cu, Pb, Sb, Zn).
- Viceversa, un elemento anche abbondante può non essere capace di formare minerali propri, poiché si trova totalmente **incorporato nelle strutture cristalline di minerali comuni**, che fungono da ospiti: si parla in questo caso di **elementi dispersi** (es. Ga, Rb, alcune terre rare).
- Vi sono poi degli elementi i quali danno luogo a formazioni di minerali propri, ma tali minerali raramente si trovano concentrati: essi, abitualmente, sono disseminati come costituenti accessori nelle rocce comuni. Si parla in questo caso di **minerali dispersi** e di **elementi in minerali dispersi** (es. zirconio > Zr-Hf).
- Alcuni elementi sono oggi più disponibili di quanto non lo fossero in passato in seguito allo sviluppo di nuove tecniche estrattive o di lavorazione. Così, ad esempio, la disponibilità di Afnio (Hf) è attualmente considerevole per la lavorazione di notevoli quantitativi di zirconio.

I minerali* della crosta terrestre

Silicati

Feldspati (feldspato potassico + plagioclasì)	60%
Quarzo	12%
Silicati femici (olivine, pirosseni, anfiboli, biotite)	17%
	tot. 89%

Le rimanenti fasi mineralogiche (ca. 11%) della crosta terrestre sono rappresentate da:

1. altri silicati (es. minerali argillosi)
2. ossidi ed idrossidi (es. magnetite, ematite)
3. carbonati (es. calcite, dolomite)
4. solfuri (es. pirite)
5. solfati (es. gesso)
6. fosfati (es. apatite)
7. alogenuri (es. cloruri e fluoruri)
8. elementi nativi (es. oro, argento)

*Un minerale è un elemento o un composto chimico naturale che, generalmente è inorganico, solido, con una composizione chimica ben definita ed omogenea, con una struttura cristallina propria e che si forma spontaneamente in natura come risultato di un processo geologico

Sfruttamento delle risorse utili all'uomo

La crosta terrestre, sebbene rappresenti solo una piccola frazione della massa terrestre (circa 0,5%), è la parte più importante per quanto riguarda le interazioni con l'uomo.

La parte più superficiale è l'unica che si presta ad uno sfruttamento delle risorse presenti in essa.

Ai fini della utilizzazione di un materiale naturale per l'estrazione di un elemento, quest'ultimo deve essere presente in una percentuale sufficiente per giustificarne, dal punto di vista economico, la lavorazione.

L'abbondanza di ciascun elemento nella crosta può essere considerata come una costante caratteristica per l'elemento in questione, il cui valore può essere assunto come termine di riferimento per giudicare l'arricchimento o l'impovertimento di ciascun elemento nei diversi tipi di materiali.

Si definisce come “**Clarke**” di un elemento **la percentuale media dell’elemento nella crosta.**

Clarke di concentrazione = concentrazione dell’elemento in un materiale / Clarke dell’elemento stesso.

Il **Clarke di concentrazione** consente di stimare quale deve essere il rapporto di concentrazione di un elemento in un dato deposito, rispetto al valor medio crostale, affinché questo si possa considerare economicamente interessante.

Elementi	Clarke elemento	Percentuale minima Utile nel materiale	Clarke di concentrazione
Al	8.30	3	4
Fe	5.60	30	5
Mn	0.095	35	368
Cr	0.01	30	3000
Cu	0.0055	1	182
Ni	0.0075	1.5	200
Zn	0.0070	4	571
Sn	0.0002	1	5000
Pb	0.0013	4	3077
U	0.0003	0.1	333

Per poter ricavare degli elementi utili per l'uomo, in modo economicamente conveniente, è necessario individuare i siti dove risultino positive le **anomalie di concentrazione** rispetto alle percentuali medie della crosta terrestre.

Occorre identificare le zone favorevoli allo sfruttamento delle risorse, quindi è importante conoscere la distribuzione particolareggiata degli elementi su quella porzione di crosta accessibile all'uomo.

Le carte geochemiche sono **strumenti importanti** per poter fare considerazioni sulle possibilità di approvvigionamento di elementi utili anche se, molto spesso, si limitano alla rappresentazione di uno spessore molto limitato in rapporto alle dimensioni della crosta.

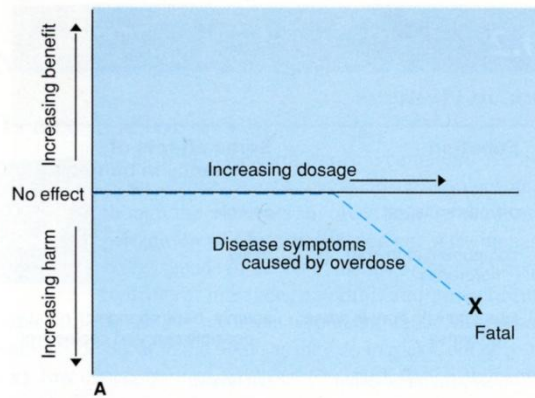
Oggi la geochimica, non è più finalizzata unicamente allo sfruttamento delle risorse minerarie, ma sta diventando uno strumento utile alla localizzazione di quegli elementi in traccia significativi per la vita.

La crosta terrestre e l'acqua marina sono le uniche fonti di approvvigionamento sulla terra degli elementi utilizzati nello sviluppo della vita.

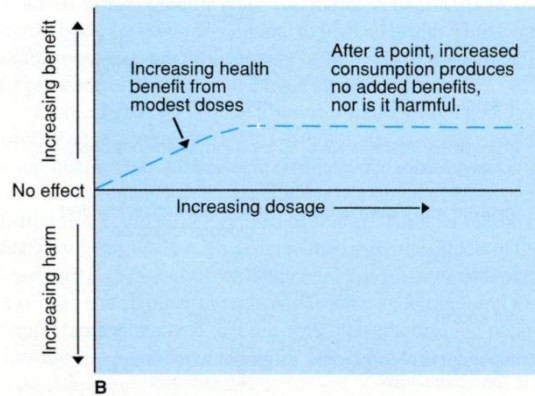
Gli elementi in traccia sono più importanti delle vitamine in quanto non possono essere sintetizzati, ma devono essere presenti nell'ambiente entro un intervallo di concentrazioni relativamente ristretto, al di fuori del quale si possono verificare danni dovuti sia alla carenza che alla tossicità per eccesso.

Non tutti gli elementi hanno uguali funzioni vitali....

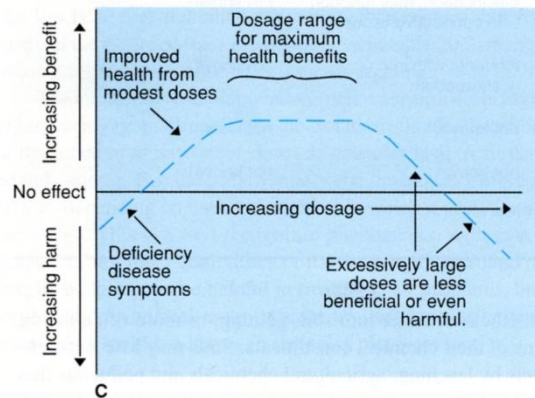
Effetti benefici o tossici in risposta alle dosi assunte



← Nessun effetto a basse dosi, letale a dosi elevate (es. Pb, Hg, As, Tl)



← Benefici iniziali ed inferiori a determinate dosi; nessun effetto a dosi elevate (es. Ca)



← Non può mancare; benefici modesti a dosi basse; da tossico a letale in dosi elevate (es. Cu, Mo, F)

FLUORO (curva tipo C)

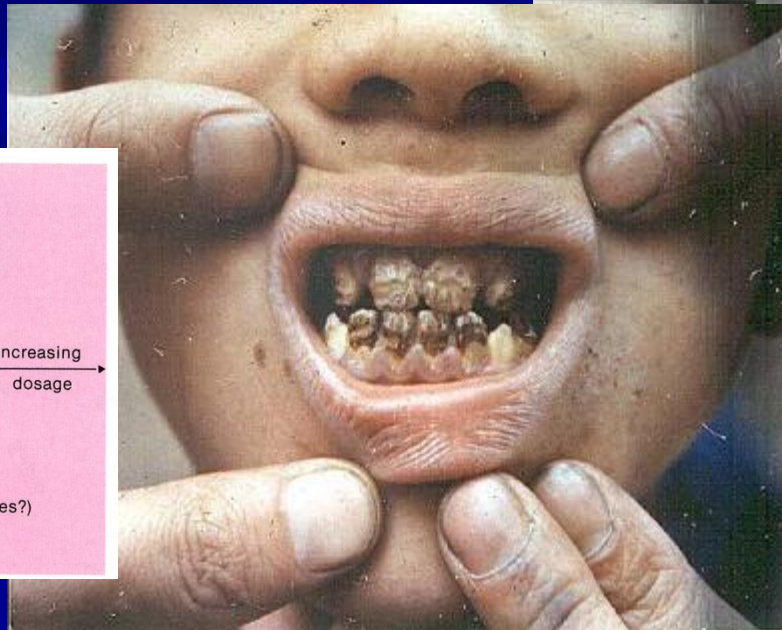
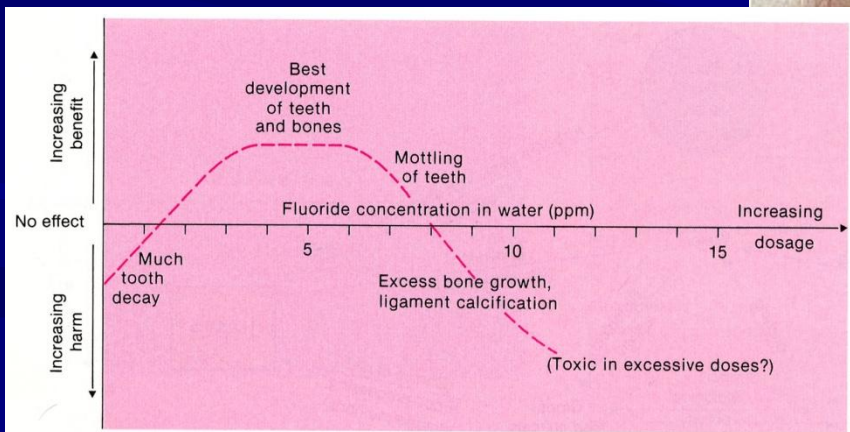
- nella crosta terrestre in alcune centinaia di ppm, nelle acque naturali in pochi ppm
- necessario per ridurre l'incidenza della carie (concentrazione ideale 1 ppm $\rightarrow$ 1 mg/l)
- 0.3-5 mg/giorno = dosi assumibili variabili in base alla dieta $\rightarrow$ suoli
- importante nella riduzione dell'osteoporosi

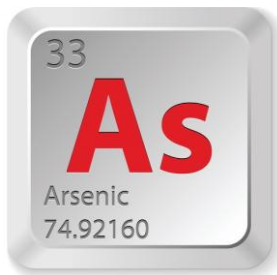
dosi anomali: 2-8 x dosi normali

causa: acque ricche in ioni F^- (in rocce ignee)

effetti: alterazione del colore nella dentatura

fluorosi dentaria (20-40 x)
e scheletrica





Metalloide
Calcofilo
Gruppo V

Sorgenti naturali: scisti carboniferi, zolfo, sedimenti, sorgenti vulcaniche e termali.

Minerali:

Arsenopirite (FeAsS), Pirite arseniosa ($\text{Fe}(\text{AsS})_2$),
Realgar (As_4S_4), Orpimento (As_2S_3)



Sorgenti antropogeniche:

Attività mineraria

Carbone

Pesticidi

Industria del vetro

Microelettronica

(GaAs, semiconduttore, laser, led,
DVD, celle fotovoltaiche)

Medicina ($\text{As}_2\text{O}_3 \rightarrow$ leucemia)

$\text{As}_2\text{S}_2 \rightarrow$ pigmenti

Gas tossici militari (lewisite, $\text{C}_2\text{H}_2\text{AsCl}_3$)

Tossicità: Arsina (AsH_3) > As^{3+} inorg > As^{3+} org > As^{5+} inorg > As^{5+} org > As^0

Acute and chronic As exposure via drinking water has been reported all over the world

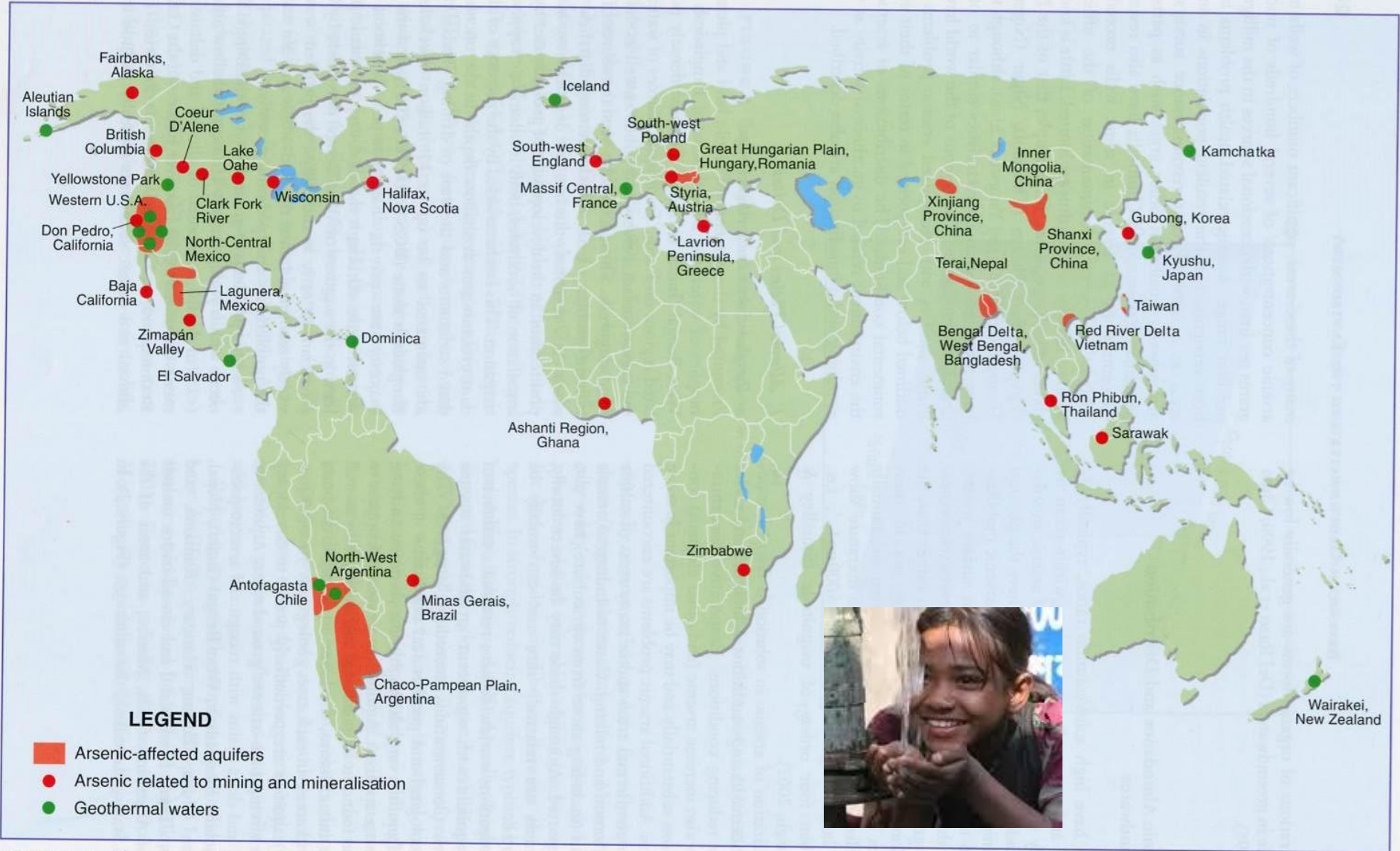


FIGURE 2 Occurrence of documented arsenic problems in groundwater (arsenic >50 µg L⁻¹) in major aquifers and (Smedley and Kinniburgh, 2002). Related to mining and geothermal sources.

Drinking water (WHO): 50 µg/l (1942); 10 µg/l (2002)

Smedley & Kinniburgh, 2005 - BGS

Arsenic in groundwaters of Bangladesh

Need of drinking waters → surface freshwaters polluted from bacteriological point of view → groundwaters as alternative hydrological resource

- 1993: first evidence of poisoning
- As in groundwaters: $<0.50\text{--}3200\text{ }\mu\text{g/l}$
- 2 millions of wells for drinking water supply
- 130 millions of inhabitants → 30 (80?) millions at risk
- 200.000 cronical affected: hyperpigmentation, arsenicosis and cancer of lung, skin, liver, urinary bladder, kidney and colon
- social problems



Anthropogenic factors or “natural” processes?

Arsenic-Induced Skin Disorders



Hyperpigmentation

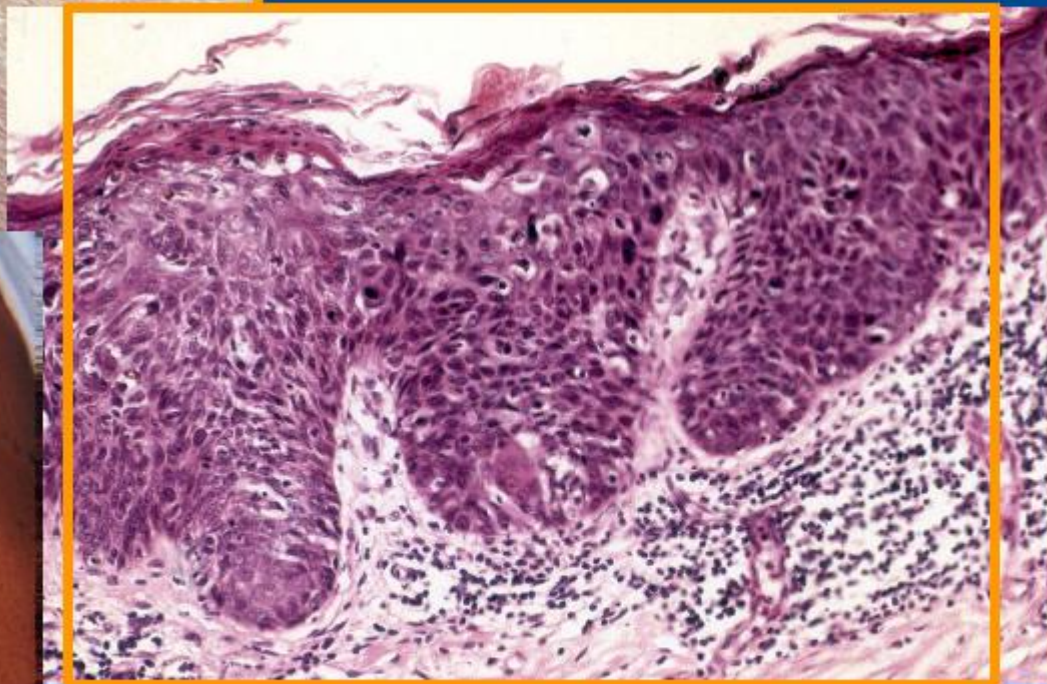


Hyperkeratosis

Photos: Courtesy of Prof. Baoshan Zheng, China and Prof. Arnulfo Portales, Mexico

Arsenic-Induced Bowen's Disease

Carcinoma intraepidermico



Centeno JA, et al. 2000 (ISBN:1-881041-68-9)

What is the mechanism for As release in groundwaters?

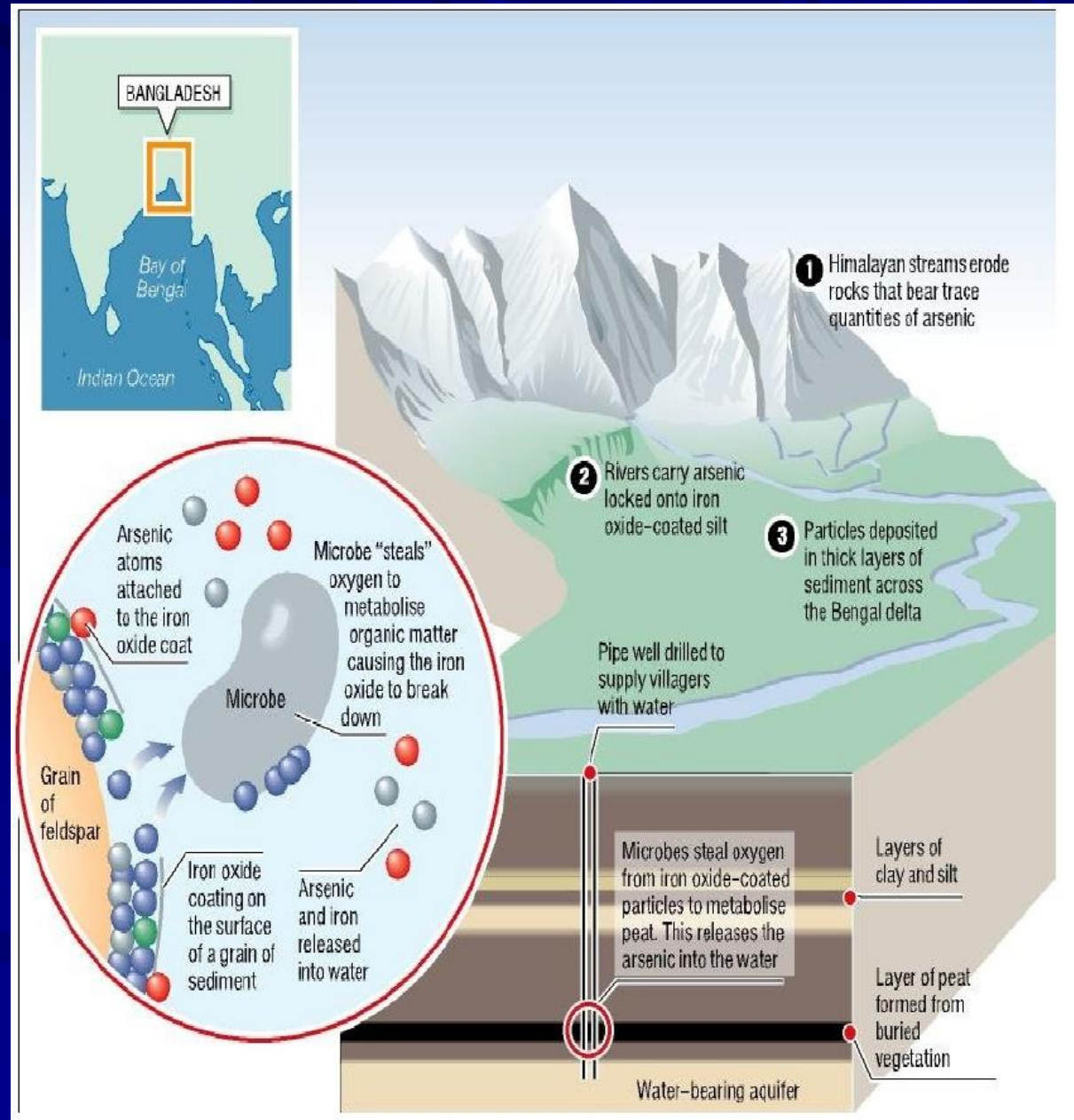
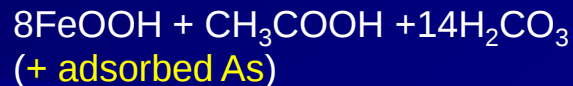


- 1) Oxidation of arsenopyrite (FeAsS) in groundwaters and release of As
$$4\text{FeAsS} + 13\text{O}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{Fe}^{2+} + \text{AsO}_4^{3-} + 4\text{SO}_4^{2-} + 12\text{H}^+$$
- 2) “Competitiveness” among anions: adsorbed As is released in solution in favour of phosphates (organic matter, fertilizers ?)

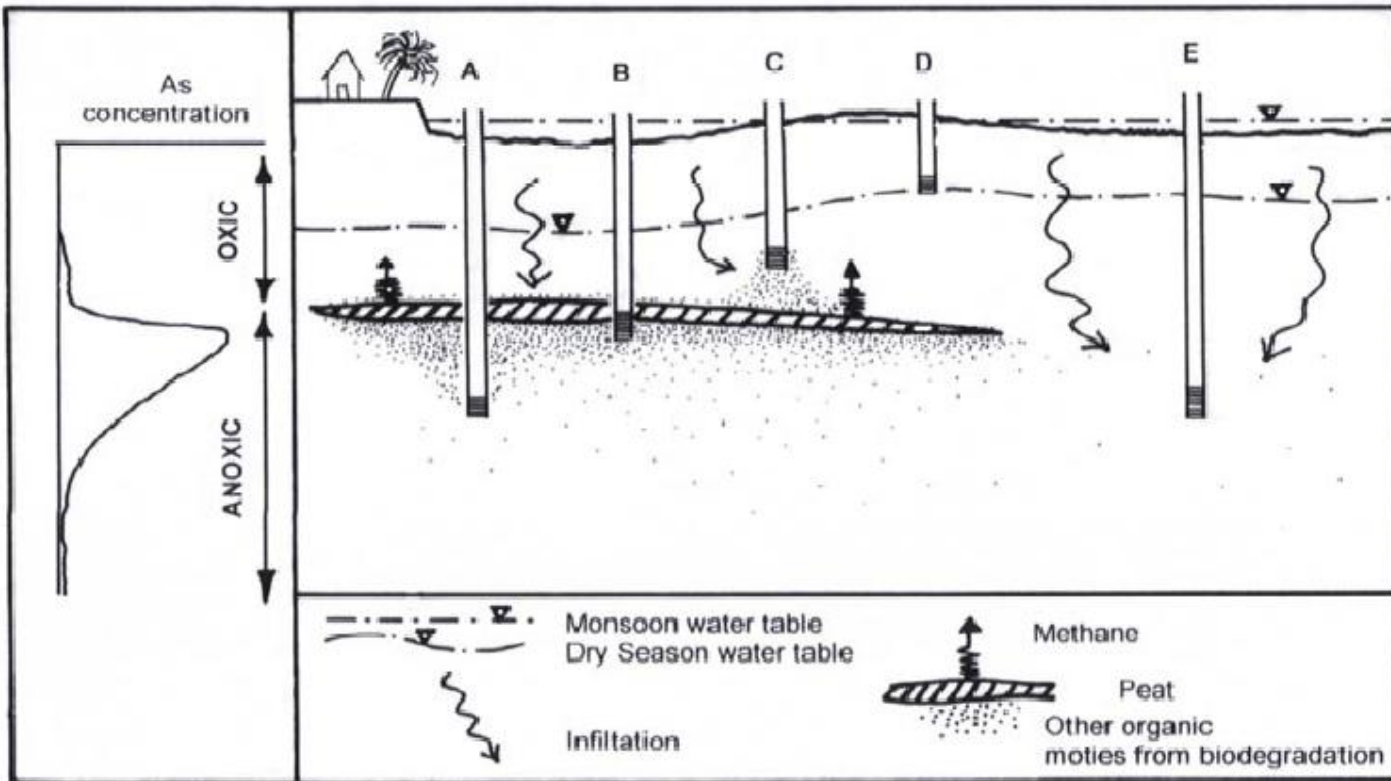
3) the most reliable hypothesis

Decomposition of peat levels (Holocene *optimum climatico*, 6000 BP)
mediated by bacteria

Release of Arsenic from
hydrates Fe-oxides in
groundwaters



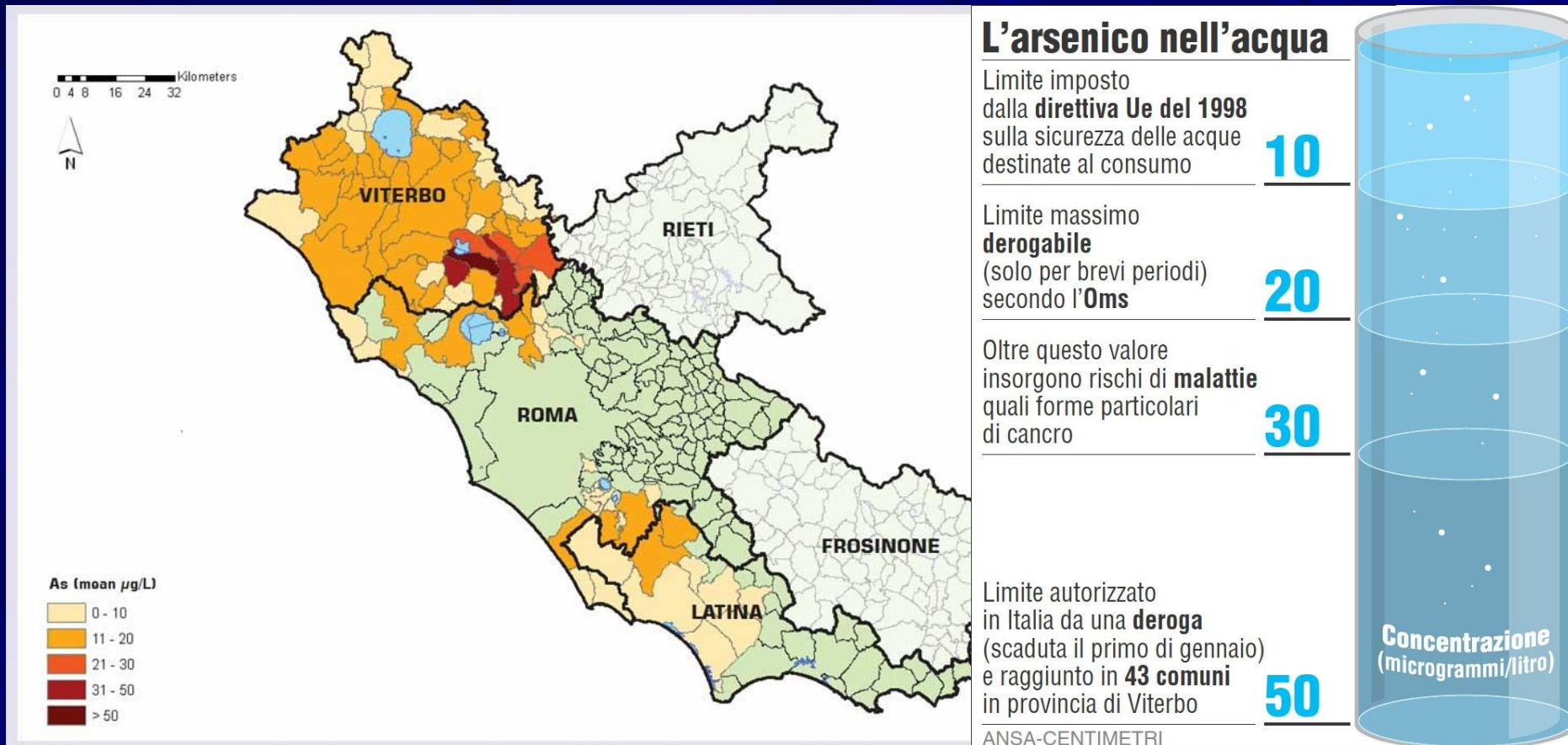
What does contamination degree depend on?



From Ravenscroft et al. (2001). In: *Arsenic Exposure and Health Effects IV*. W.R. Chappell, C.O. et al. (Eds), 53-77, Elsevier Science Ltd., Oxford.

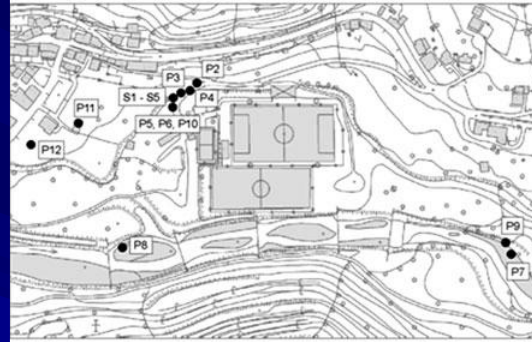
- A) low organic matter, peat level distant, less FeOOH reduction, low As content released
- B) high organic matter, peat level, high FeOOH reduction and As release
- C) migration of As and organic matter due to pumping, FeOOH reduction
- D) lower depth well, oxidized zone, no As release
- E) Contamination depends on mobility of organic matter before being consumed by FeOOH reduction and mobility of As

Arsenico nelle acque sotterranee in Italia

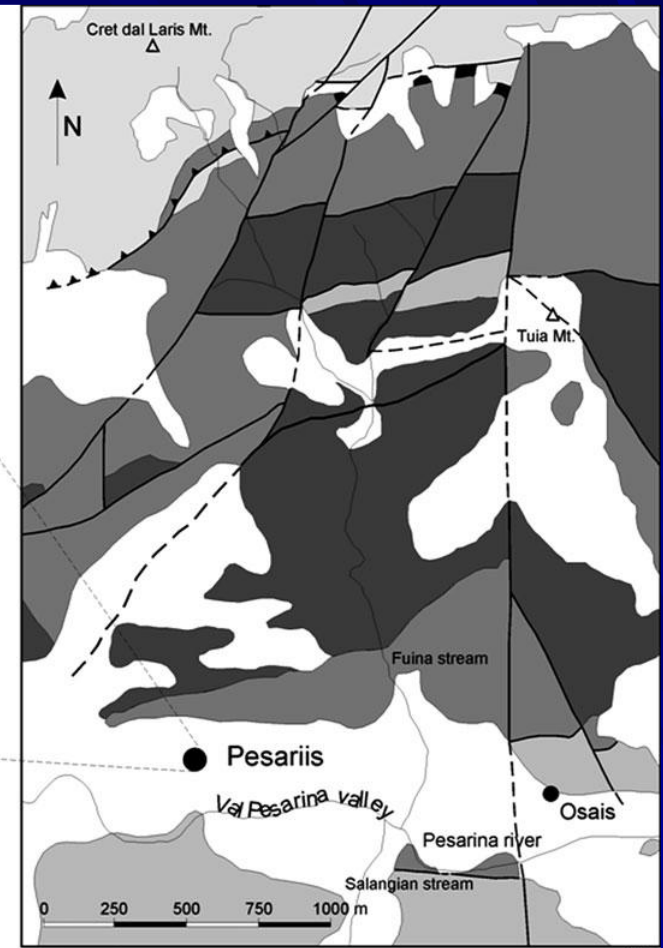


Arsenico nelle acque potabili: allarme a Roma e nella vicina Regione - 7 acquedotti e 500 utenti nella Capitale. In tutto, 90 comuni nella Regione e quasi 1 milione di persone.
Soluzione: trattamento con ossido di Fe granulare

Natural Arsenic contamination in waters from the Pesariis village, NE Italy



(B)



(A)

- Alluvial and slope deposits - Quaternary
- Schlern Dolomite - Middle Triassic
- Buchenstein Formation - Lower Triassic
- Serla Formation - Lower Triassic
- Werfen Formation - Lower Triassic
- Bellerophon Formation - Upper Permian
- Thrusts
- Faults





Sorgente sulfurea

As = 728 $\mu\text{g/l}$



Scolo sorgente sulfurea
As = 778 $\mu\text{g/l}$



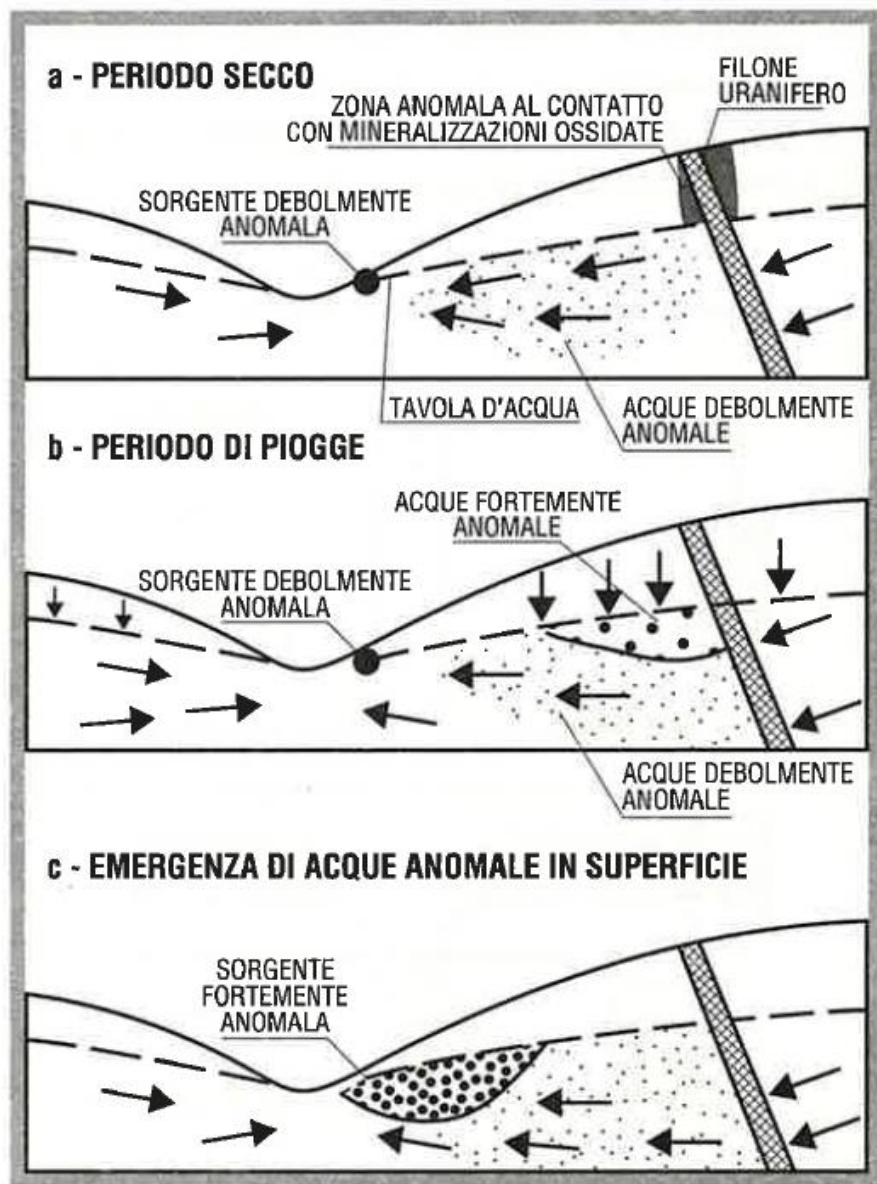


Figura 22 — Esempio di dispersione geochimica prodotta da acque sotterranee (da Germanvov et al., 1958, mod.).

Interpretazione ?

Mineralizzazione data da **marcasite arseniosa** (FeS_2), vene di pirite in rocce dolomitiche con rara sfalerite (ZnS).



Ossidazione del minerale



Incorporazione di As in ossidi idrati di Fe amorfi



Ambiente riducente in profondità



Incremento di concentrazione di Fe e As nelle acque di falda

Carte Geochimiche

Lo strumento della carta geochimica rappresenta un utile aiuto per chi si deve occupare di problemi ambientali perché consente di stabilire, consultando semplicemente una rappresentazione cartografica, le concentrazioni naturali di molti elementi ed evidenzia altresì la presenza di situazioni anomale.

Matrici utilizzabili:

Rocce, Suoli, Sedimenti fluviali (stream sediments), Sedimenti lacustri, Acque, Piante

Generalmente si ottengono dal campionamento sistematico e dall'analisi delle diverse matrici raccolte per ricavare informazioni su tenori di elementi a scopo:

Ambientale Nutrizionale Tossicologico Giacimentologico

Alcune anomalie possono derivare dall'affioramento di litologie particolari:

- aree basiche e ultrabasiche
- aree con mineralizzazioni metallifere
- rocce argillose
- aree carbonatiche, arenacee, granitiche

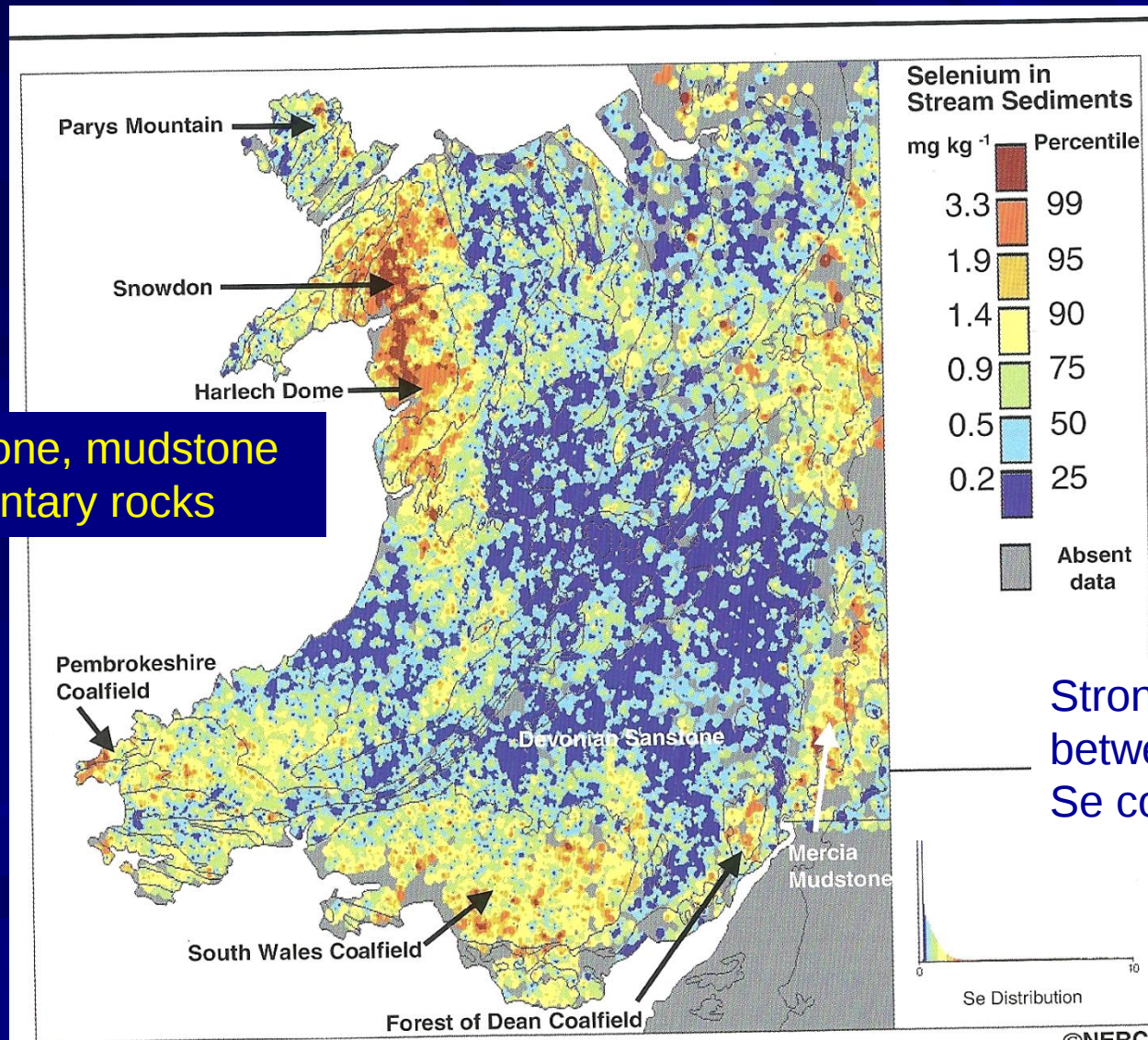
Cr, Ni

As, Cd, Cu, Cr, F, Mo, Ni, Pb, U, Zn

Se, Tl, Mo

Cu, Mn, Co, Cr, Zn, V

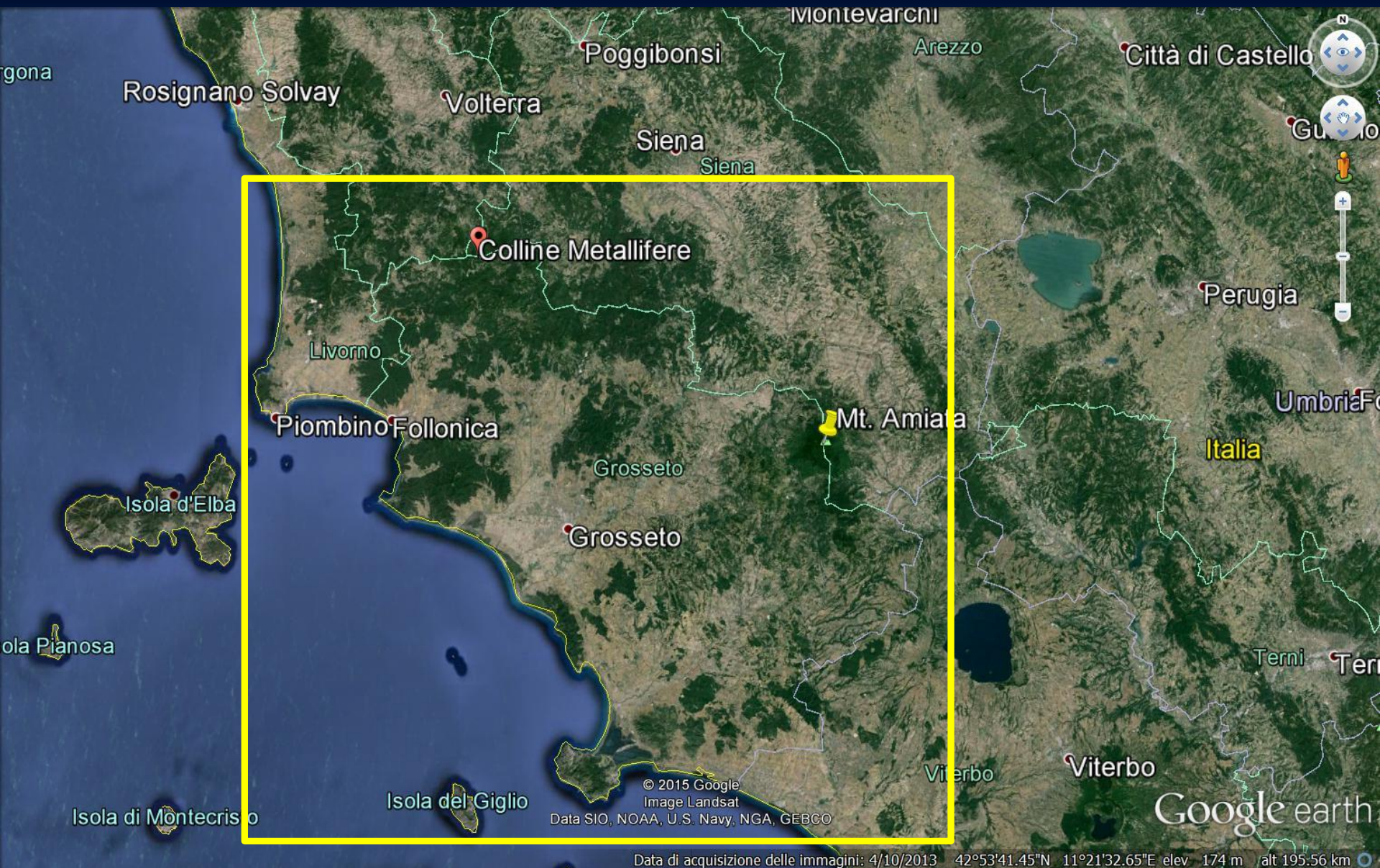
Selenium (curve type C)



Sandstone, mudstone
Sedimentary rocks

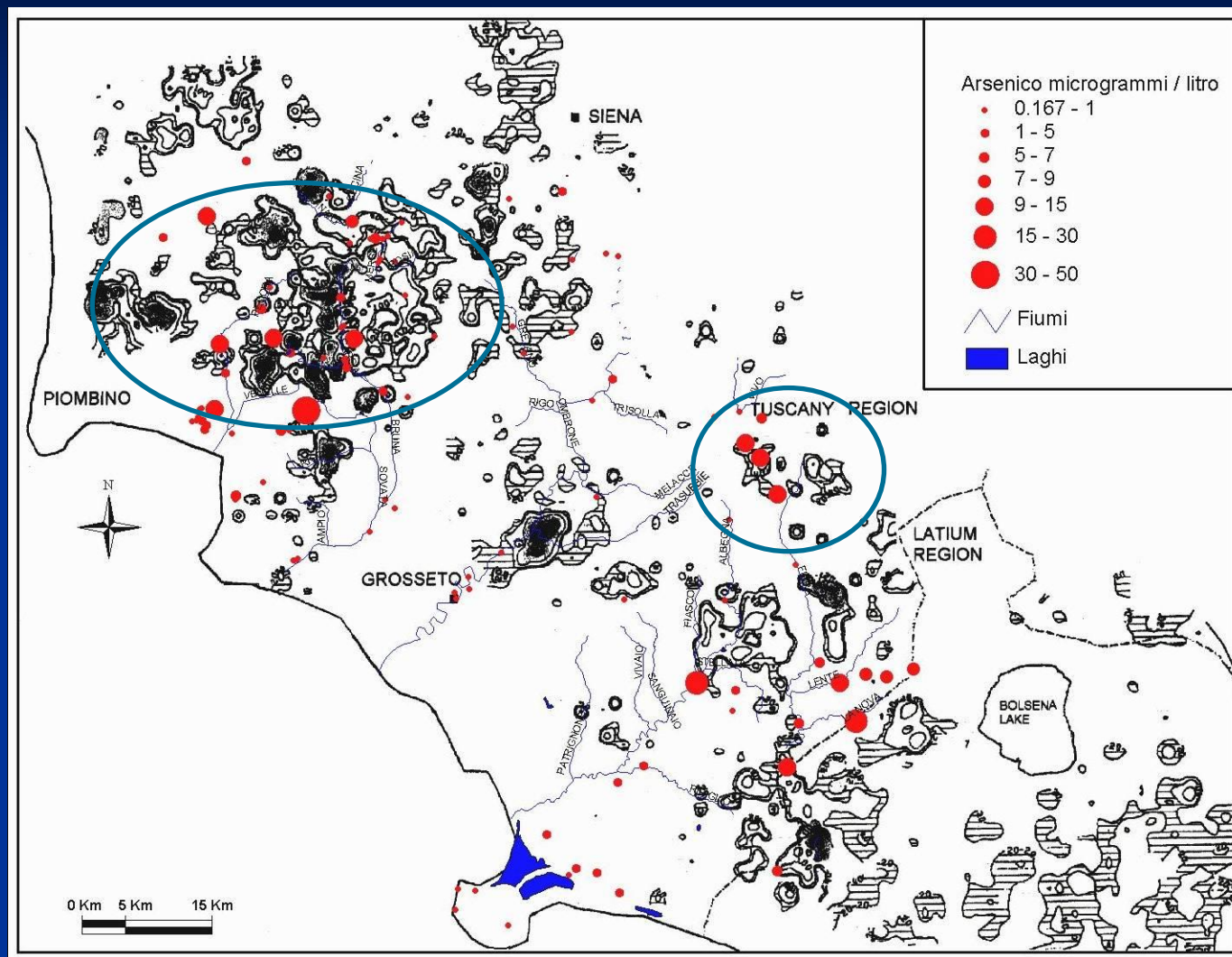
Strong relationship
between geology and
Se concentrations





Carta della distribuzione areale delle concentrazioni di Arsenico nelle acque.

Sono evidenti elevate anomalie di valori presenti in particolare in corrispondenza delle mineralizzazioni a solfuri delle Colline Metallifere, nonché dell'area geotermica e con mineralizzazioni a cinabro del Monte Amiata.



Arsenico

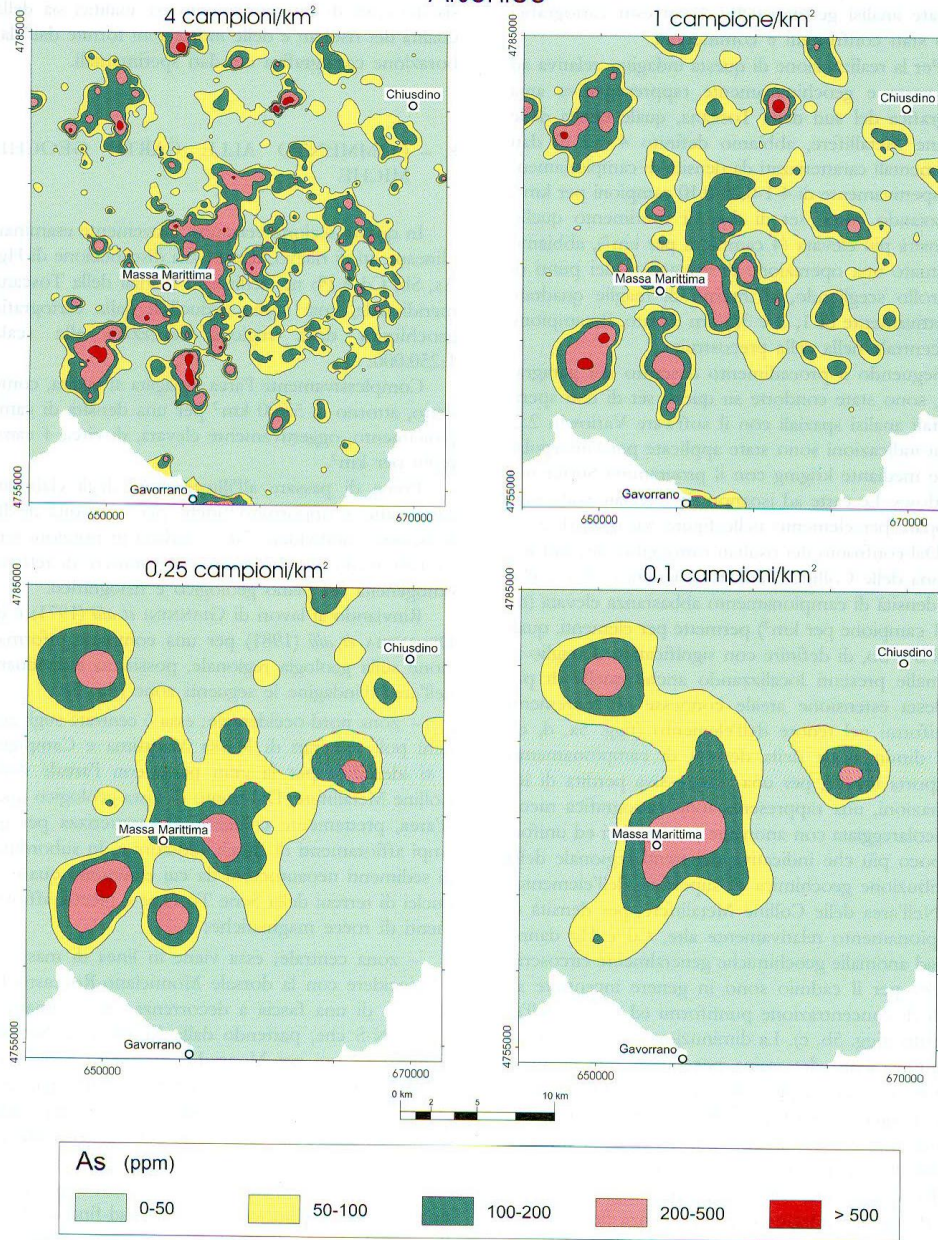


Fig. 5a – Andamento delle isonemale per As nell'area delle Colline Metallifere sulla base di differenti densità di campionamento. Notare come al di sotto della densità di campionamento di 1/Km² (vedi anche figg. 5b, c, d, e) si perdano sensibilmente le informazioni circa l'articolazione delle anomalie.

Densità di campionamento ed effetti sui risultati cartografici per la distribuzione degli elementi: l'esempio dell'Arsenico nelle Colline Metallifere in Toscana

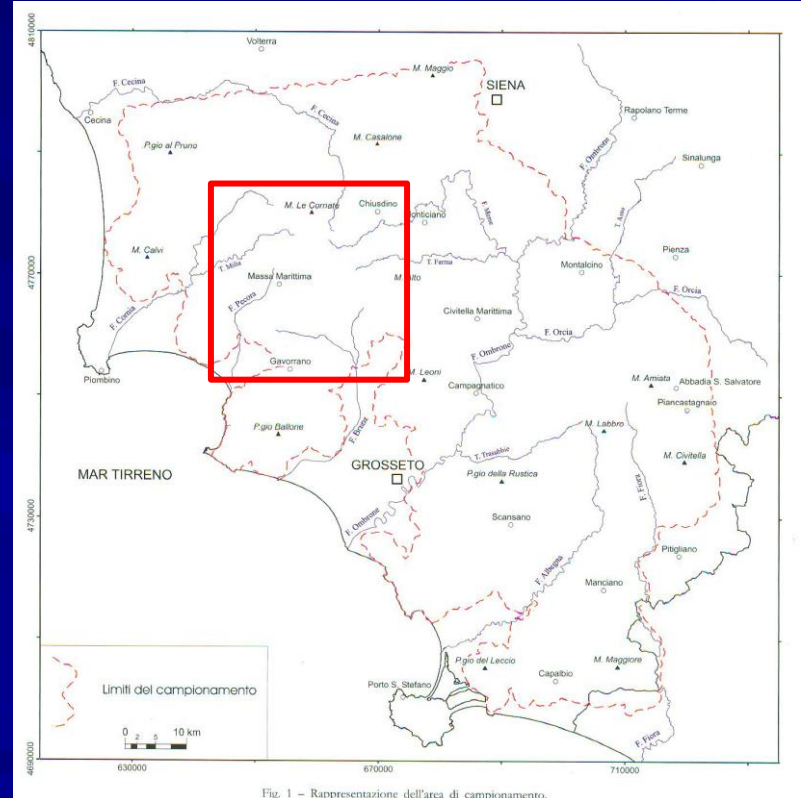


Fig. 1 - Rappresentazione dell'area di campionamento

Mercurio negli *stream sediments* nella'area del Mt. Amiata: campionamenti ed analisi ripetuti a distanza di tempo

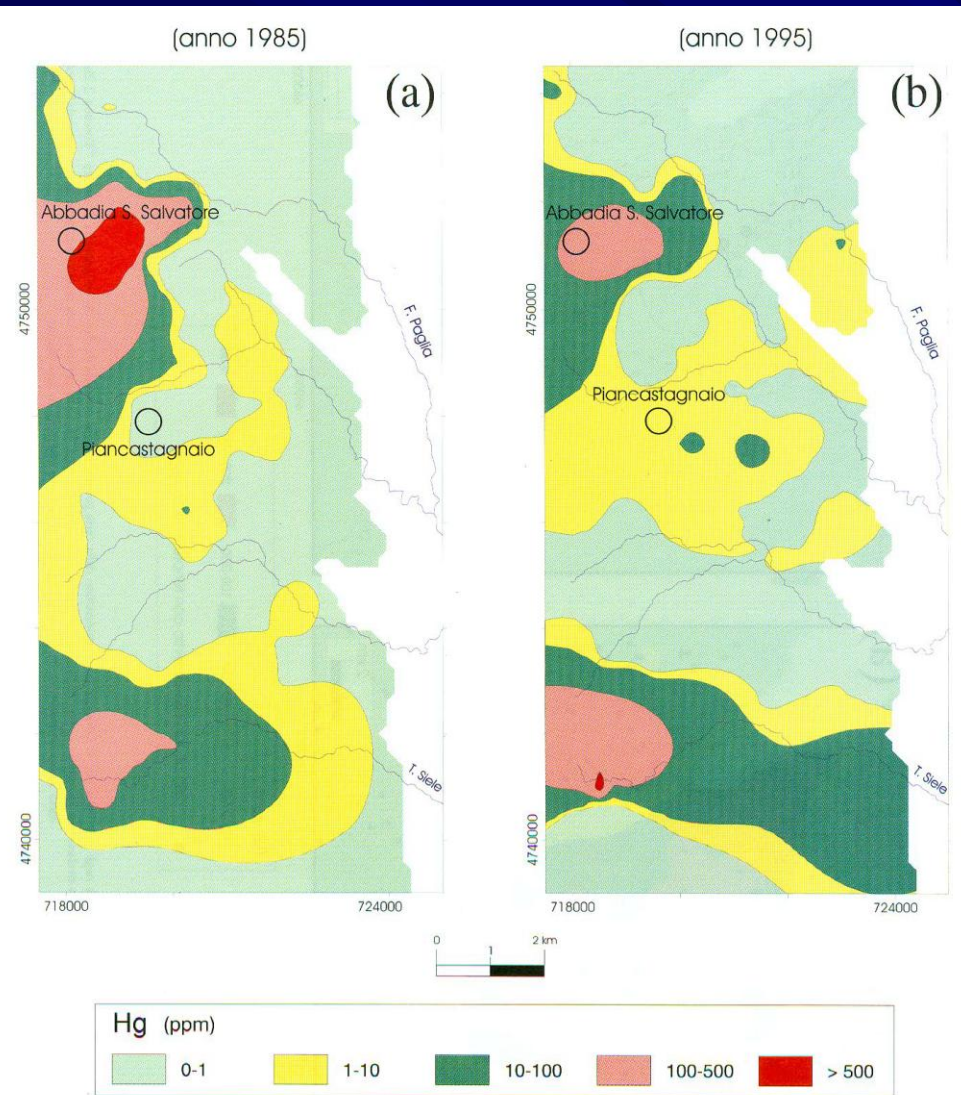
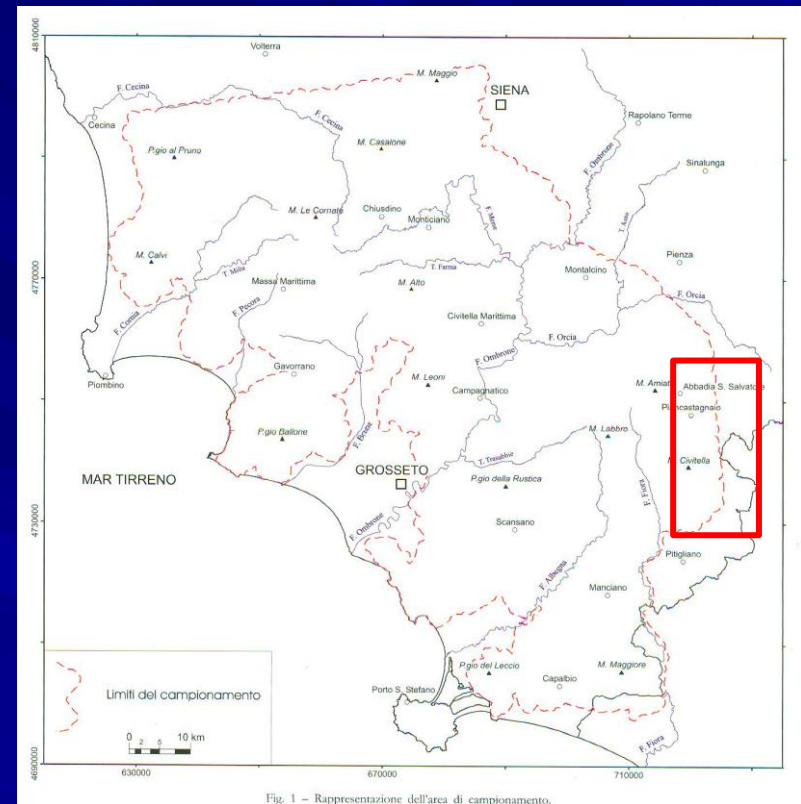


Fig. 7 - Carte geochimiche relative alla distribuzione del mercurio in un settore dell'area amiatina. Gli elaborati sono stati ottenuti sulla base di dati geochimici ricavati (a) dal programma di ricerca "Toscana 2-2bis" (1985) e (b) da un campionamento di controllo effettuato dagli autori nel 1995.



Anomalie di Arsenico nell'area nord-est di Grosseto non confermate a distanza di un decennio: probabile fonte antropica (agricoltura)

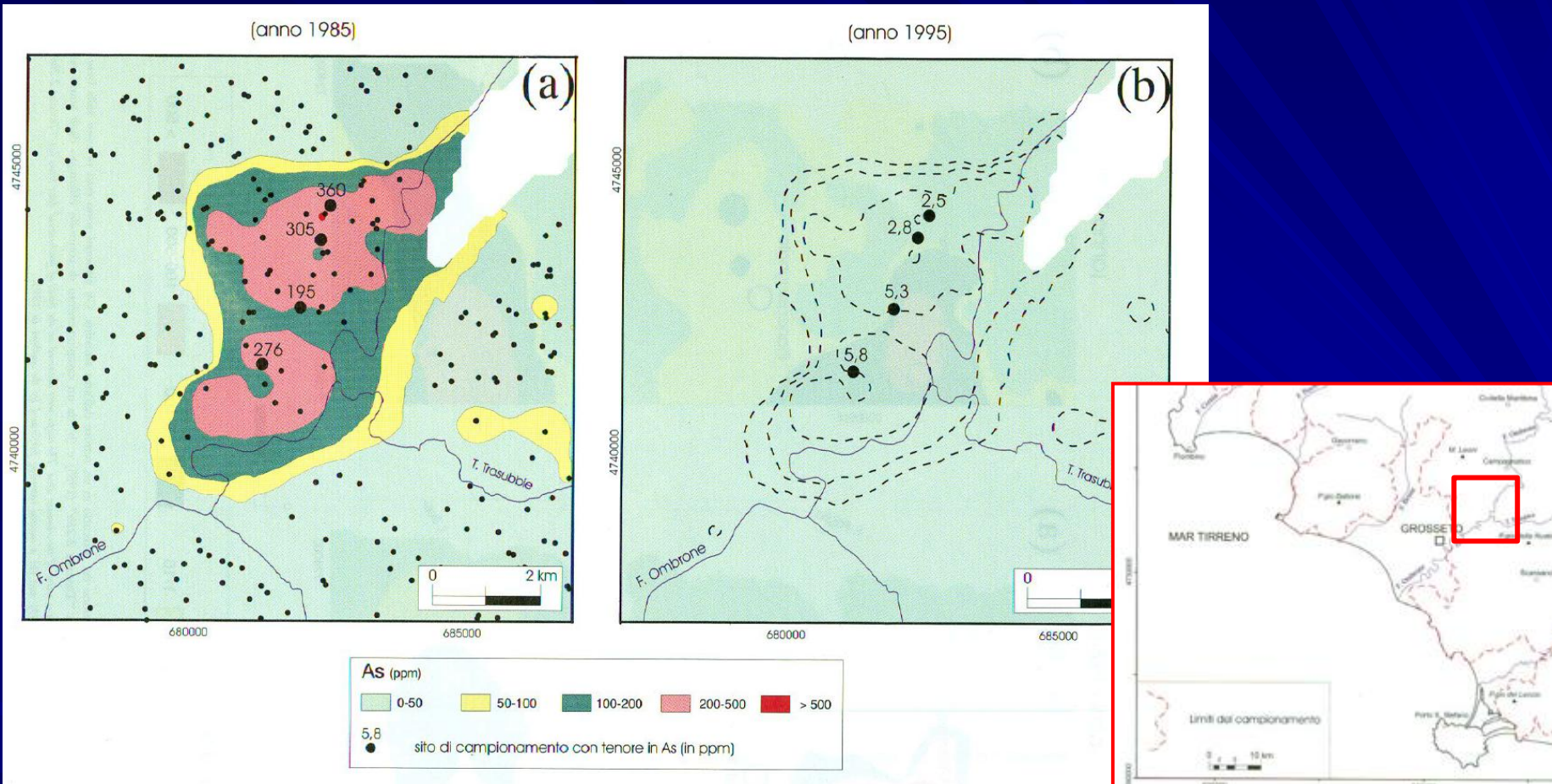
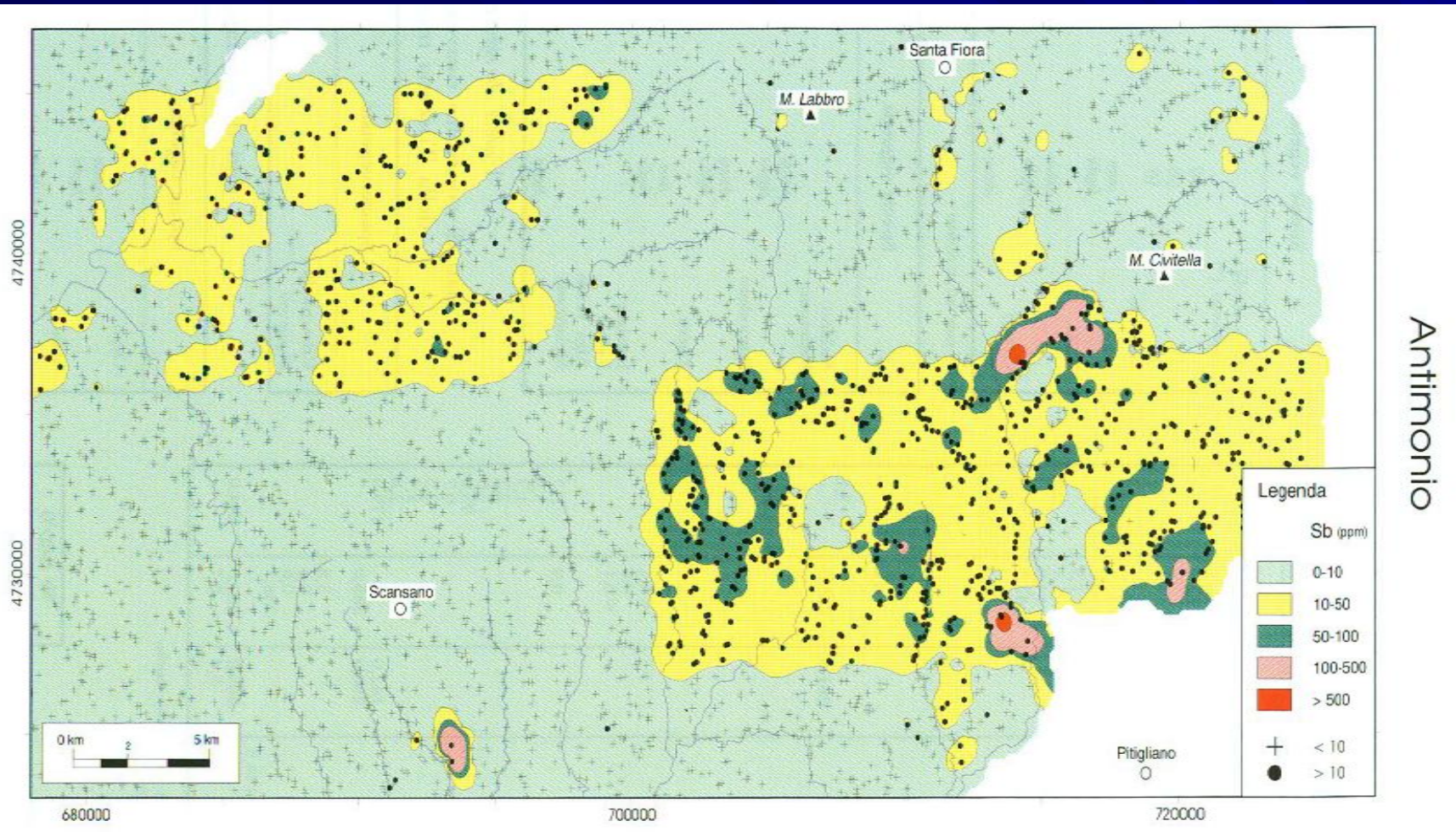


Fig. 8 – La figura illustra una anomalia per As presente negli anni '80 a NE di Grosseto come evidenziato dalla carta geochimica (a) ottenuta da dati del programma di ricerca "Toscana 2-2bis" del 1985. I successivi dati ricavati nel 1995 sugli stessi siti di campionamento rivelano che l'anomalia è stata riassorbita nel fondo geochimico dell'area (b) e che pertanto essa rappresenta una "ghost anomaly" probabilmente dovuta ad un fatto acuto di inquinamento legato all'impiego di prodotti arsenicali in agricoltura.

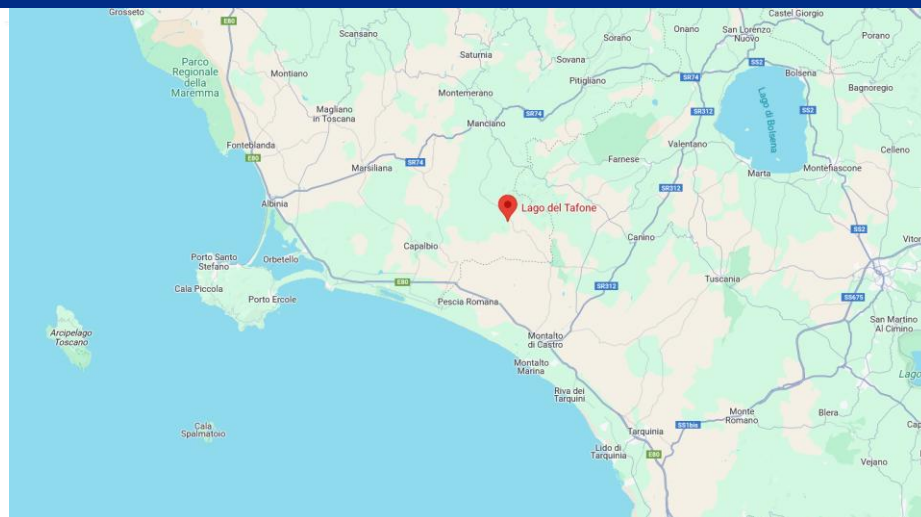
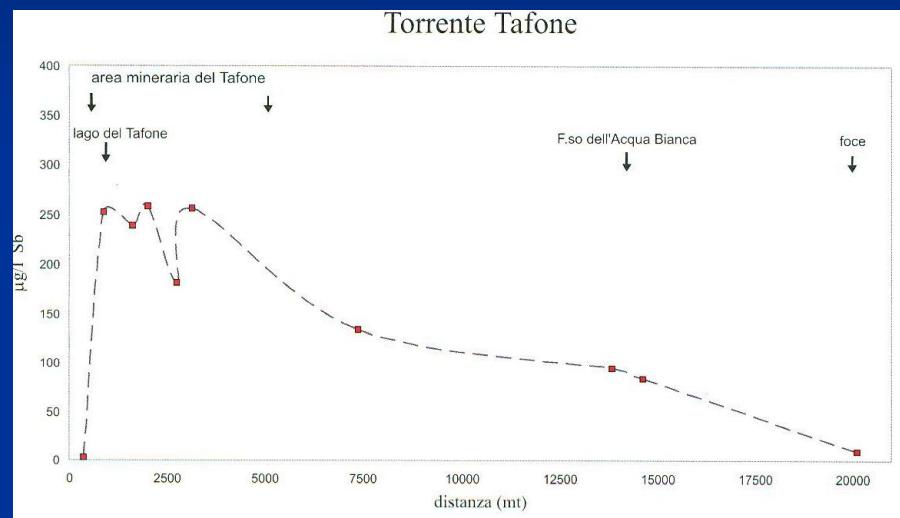
Anomalie di Antimonio (Sb) nell'area ad est di Grosseto dalla peculiare morfologia rettangolare dovute a....

Termalismo associato alla tettonica (lineamenti di fratture subsuperficiali E-W)



Anomalie di Antimonio (Sb) nelle acque superficiali nell'area ad est di Grosseto possono essere, invece, riconducibili a....

...attività minerarie dismesse non adeguatamente «messe in sicurezza»

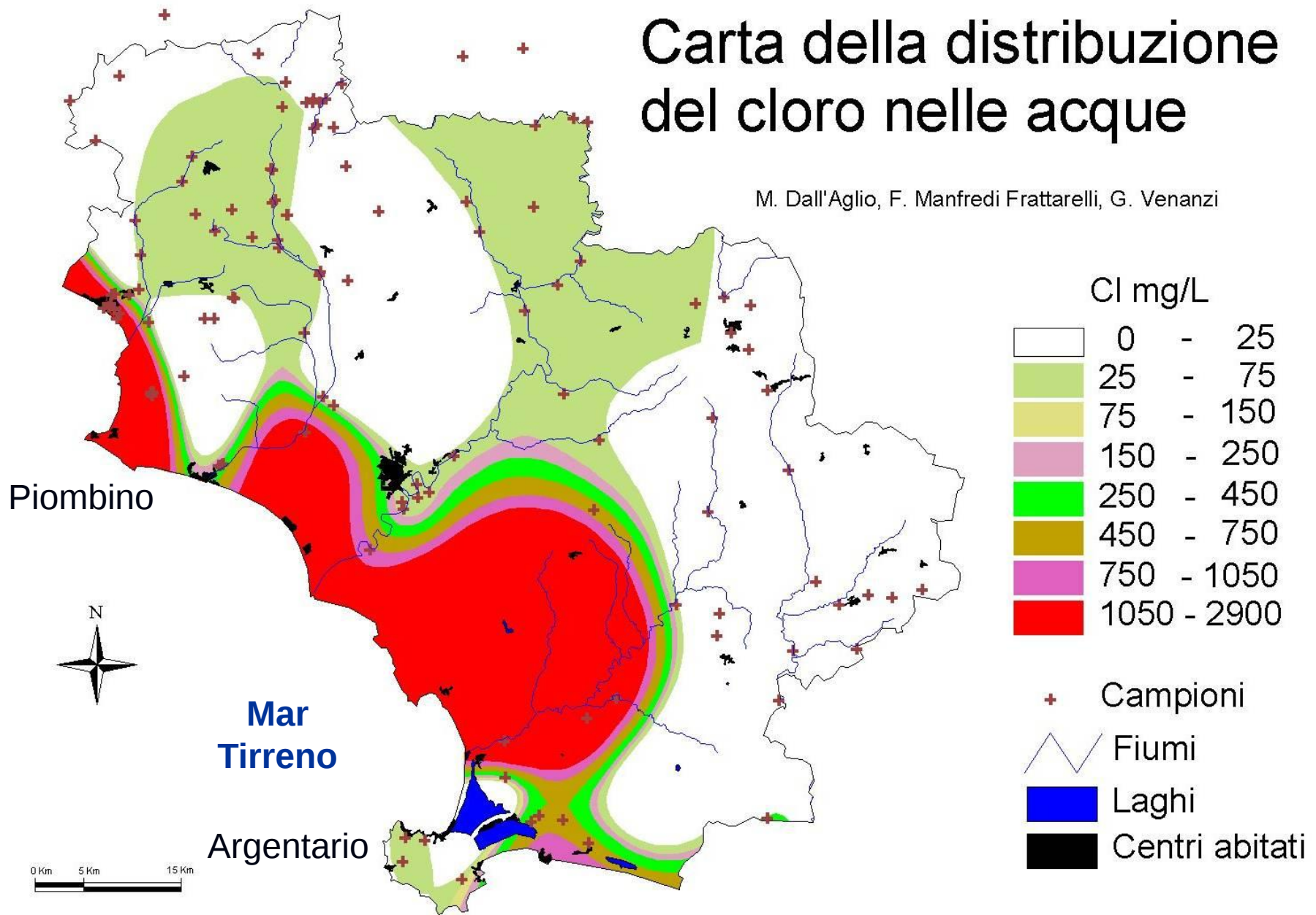


Protano et al., 1998 Mem. Soc. Geol. It.

La **cartografia geochemica** rappresenta, per il geochimico, il **punto di arrivo** per una prima valutazione a carattere generale ma, allo stesso tempo, un **punto di partenza per una serie di approfondimenti** che potranno contemplare anche lo studio di altre matrici (**acque, suoli e vegetazione**) ed informazioni derivanti da altre competenze.

Carta della distribuzione del cloro nelle acque

M. Dall'Aglio, F. Manfredi Frattarelli, G. Venanzi



Accordi di collaborazione tra Regione FVG e Università Degli Studi di Trieste

Direzione Regionale Ambiente ed Energia *Servizio disciplina gestione rifiuti e siti inquinati*

2019-22: "Definizione del comportamento geochimico di elementi in tracce potenzialmente tossici nell'area di Cave del Predil"

2022-25: "Valutazione della potenziale mobilità del Tallio dai bacini minerali di Cave del Predil"

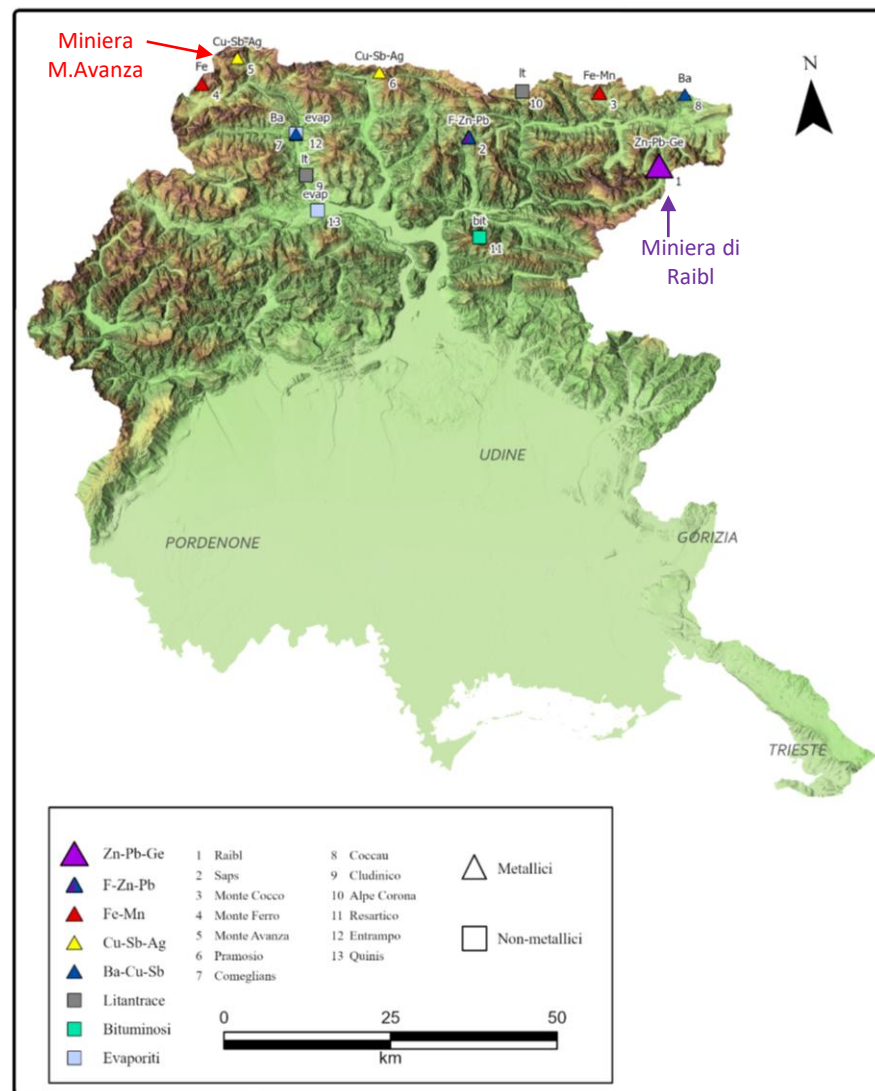
Work in progress

Direzione Regionale Ambiente ed Energia *Servizio Geologico*

2019-22: "Mappatura risorse minerarie. Rivalutazione preliminare delle risorse minerarie in Friuli Venezia Giulia finalizzata alla ricerca di elementi critici di carattere strategico per la transizione energetica-ecologica"

2023-25: "Strutture di deposito nelle aree minerarie del Friuli Venezia Giulia e loro preliminare caratterizzazione"

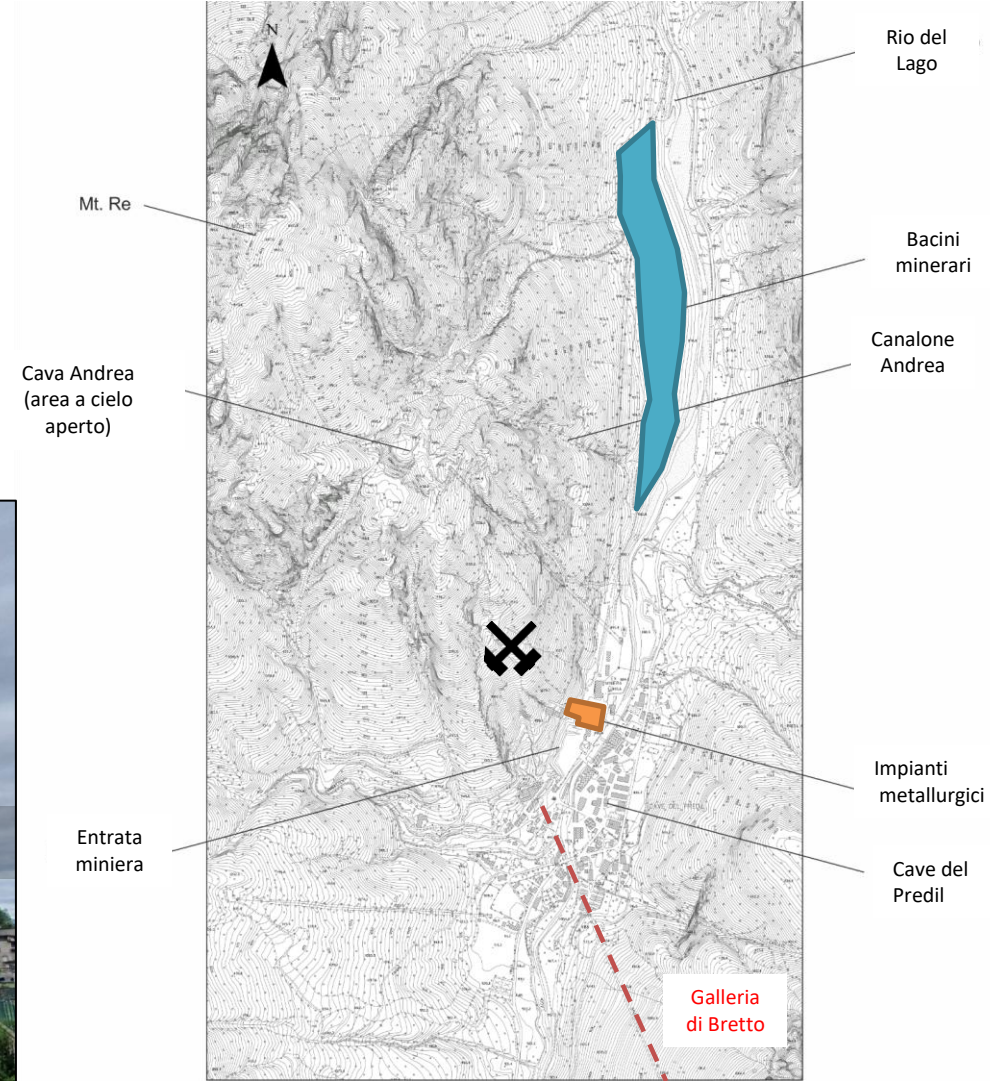
Work in progress



Miniera di Raibl (Cave del Predil, UD)

I primi documenti sull'attività mineraria risalgono almeno al 1320 e l'estrazione è proseguita quasi ininterrottamente fino alla **chiusura nel 1991**.

Il picco di produzione si è verificato negli anni '60 del XX secolo, con 1132 lavoratori, circa **1.000.000 t di concentrato di sfalerite (ZnS)**, nel periodo **1951-81**.



Miniera di Raibl

La paragenesi è composta principalmente da:



pirite (FeS_2)



galena (PbS)



sphalerite (ZnS)



Fe ossi-idrossidi



cerussite (PbCO_3)

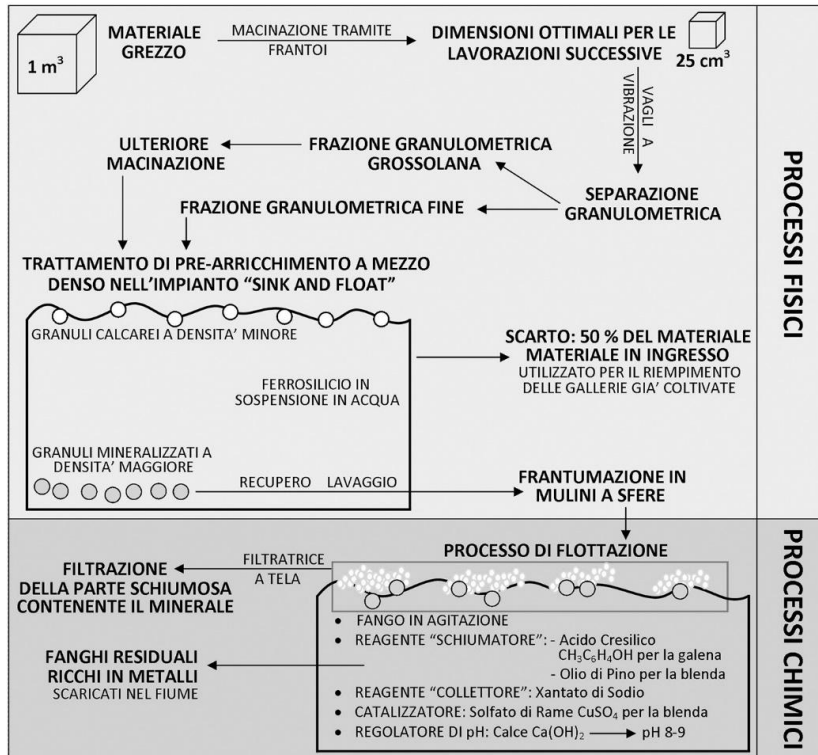


idrozincolite $\text{Zn}_5(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_6$



smithsonite ZnCO_3

Il trattamento del minerale: «Sink and float» e gli «sterili» di miniera



Strutture della miniera di Raibl con impianto «sink and float» per la separazione del minerale dalla ganga



Ciò che non galleggia viene chiamato «sterile» che, a differenza del nome, ha ancora elevate concentrazioni di metalli !

Gli **sterili di flottazione** sono il prodotto industriale di scarto della lavorazione del minerale

Prima del 1976, gli sterili venivano scaricati direttamente nel torrente Rio del Lago.



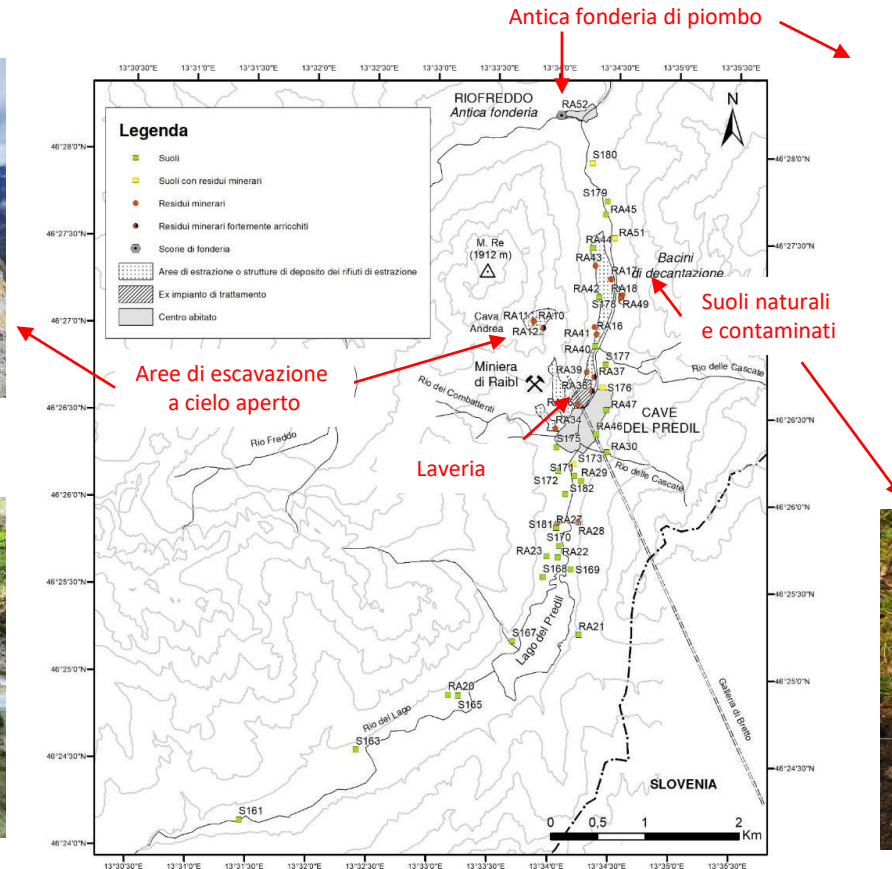
Circa **4 milioni di tonnellate di residui minerari e di sterili** sono stoccati nei 4 bacini minerari (2 milioni di m³).

ANALISI DELLA MATRICE SOLIDA: METALLI E METALLOIDI

Residui minerari



Sedimenti fluviali



Scorie di fonderia

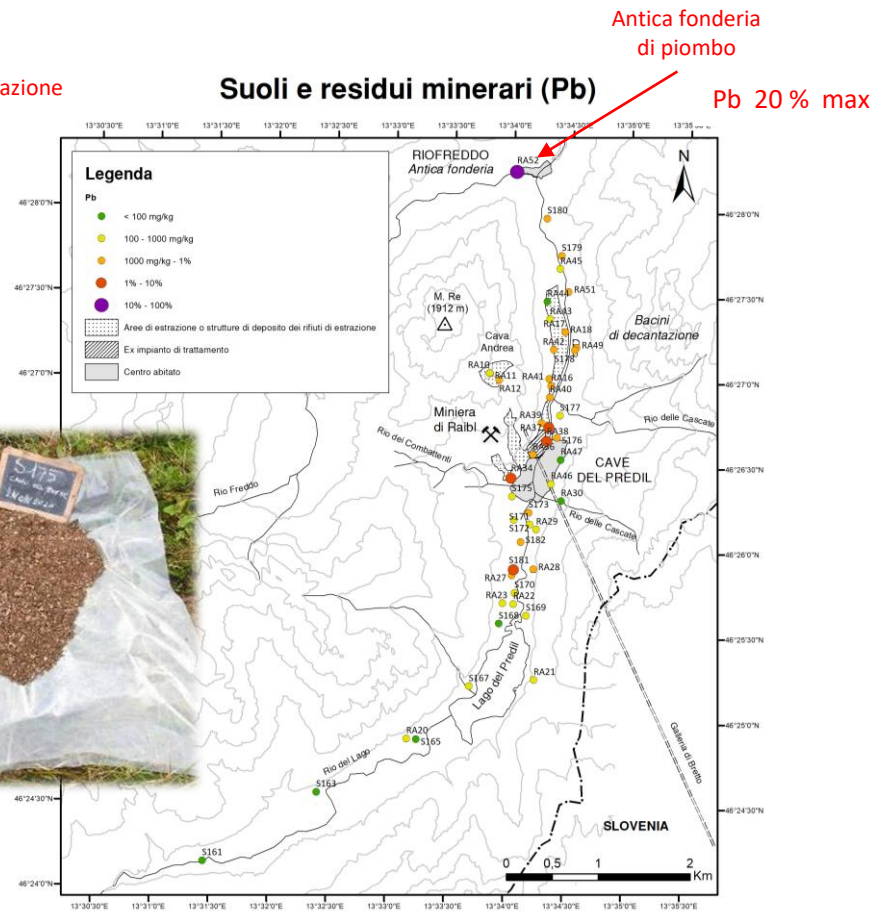
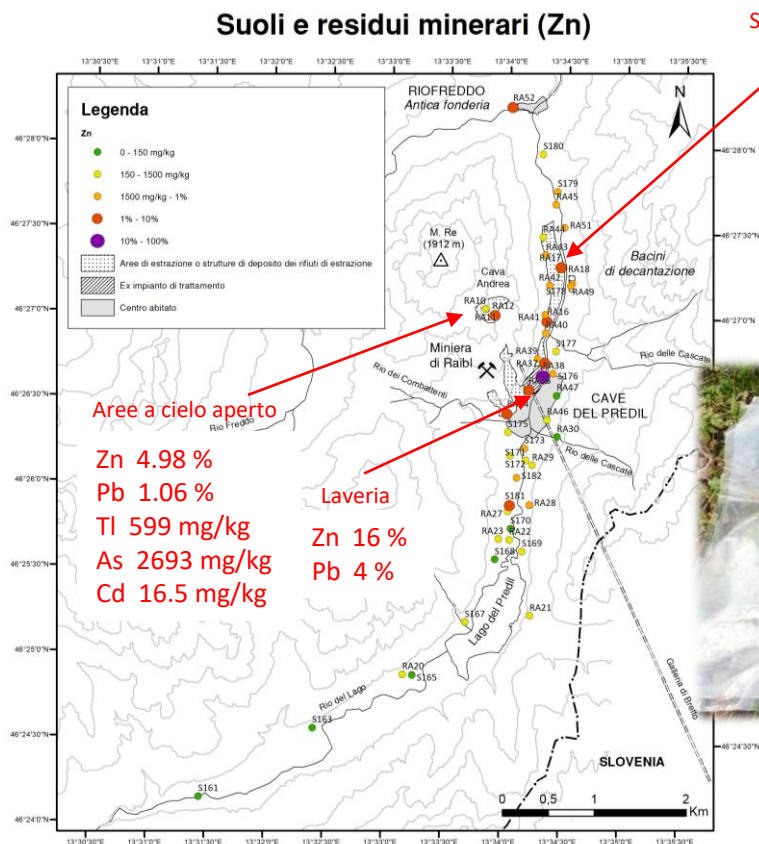


Suoli



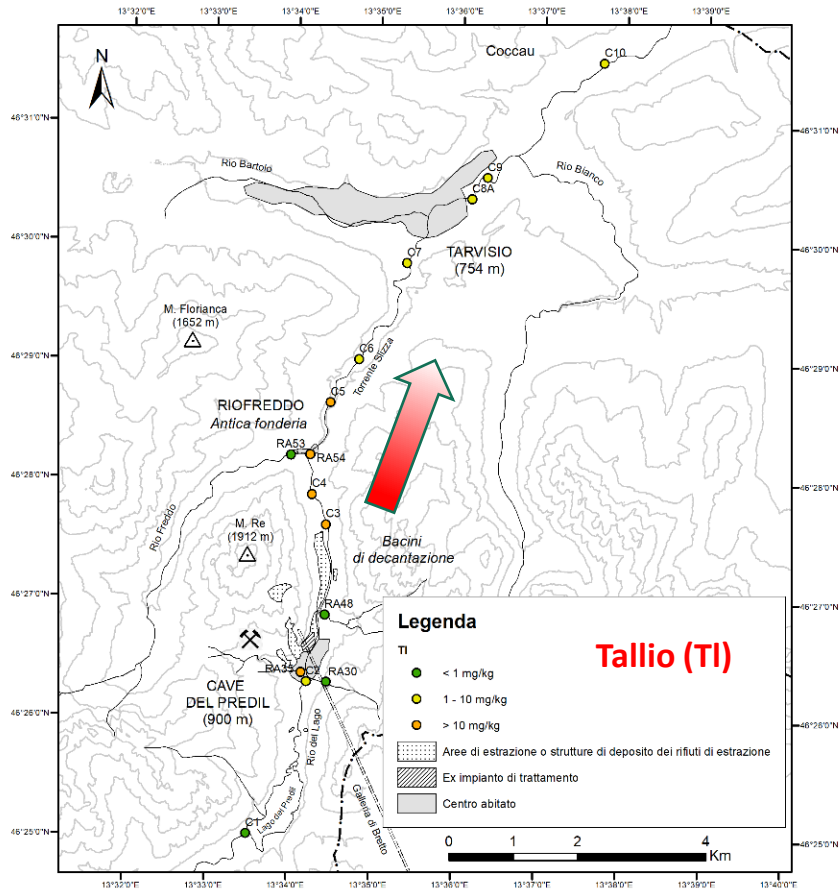
Barago et al. (2025) Env. Geochem. & Health

MATRICE SUOLO e RESIDUI MINERARI: ZINCO E PIOMBO



MATRICE SEDIMENTI FLUVIALI

Sedimenti fluviali (TI)



Storicamente usati per tracciare la provenienza di anomalie geochimiche, con applicazione nei settori delle prospezioni minerarie ed in geochimica ambientale



Nicolò Barago PhD thesis



L'obiettivo dell'UE di **ridurre le emissioni di gas a effetto serra di almeno il 55% entro il 2030** pone l'Europa su un percorso responsabile verso il conseguimento della **neutralità climatica entro il 2050**.

Per raggiungere questi obiettivi è necessario che i paesi si orientino verso economie a basse emissioni di Carbonio, **implementando tecnologie energetiche rinnovabili** e alternative, tecnologie di cattura e stoccaggio del Carbonio e migliorando l'efficienza energetica.

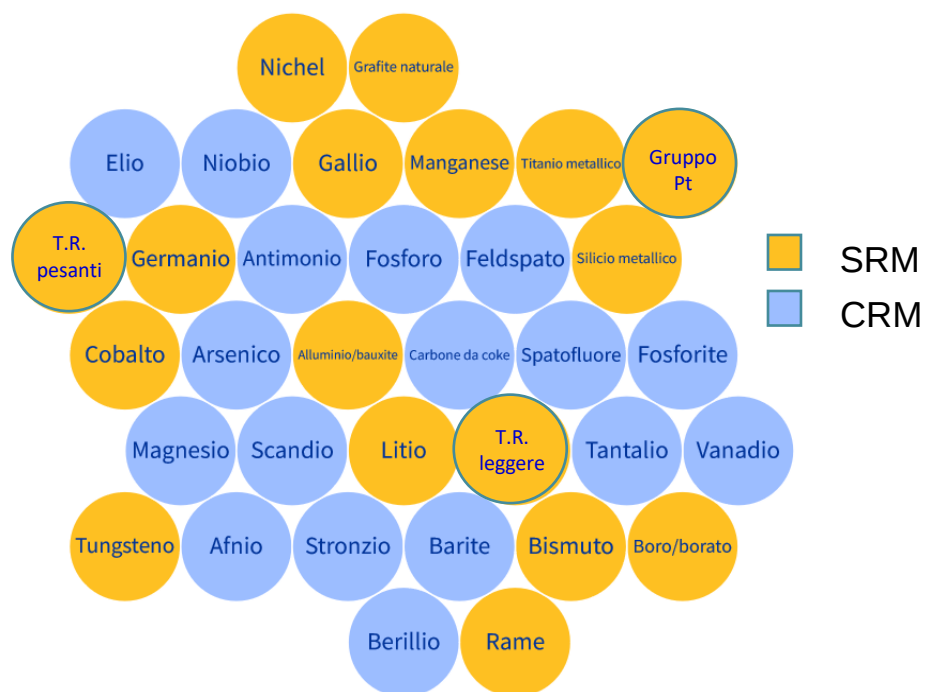
Molte di queste tecnologie dipendono da materiali classificati come critici...
...i CRITICAL RAW MATERIALS (CRMs)

CRITICAL RAW MATERIALS: qualche esempio



Platinoids: Pt, Rh, Pd

La **Commissione Europea (Critical Raw Material Act, marzo 2023)** ha fornito la lista aggiornata delle **34 materie prime critiche (CRMs)** di cui **16 (17*)** sono considerate risorse **strategiche (SRMs)** per la **transizione digitale e lo sfruttamento delle energie rinnovabili**, nonché per le loro applicazioni nei settori della **difesa**, dell'**esplorazione spaziale** e della **sanità**.



Quali i criteri considerati ?

- Importanza economica della risorsa (**Economic Importance, EI**)
- Rischio di approvvigionamento (**Supply Risk, SR**)



Contesto geopolitico dinamico

Nel marzo 2023 la Commissione europea ha presentato una proposta di «Regolamento europeo sulle materie prime critiche (Critical Material Act)».

Perché un regolamento dell'UE sulle materie prime critiche?

Con l'abbandono da parte dell'UE dei combustibili fossili e il passaggio a sistemi energetici puliti che richiedono una maggior quantità di materie prime, **la loro domanda è destinata ad aumentare in modo esponenziale.**

Necessario un **approvvigionamento sicuro e sostenibile** ma come rafforzare tutte le fasi della **catena di fornitura delle materie prime critiche** in UE ?



diversificando le importazioni dell'UE per ridurre le dipendenze strategiche



migliorando il monitoraggio e attenuando i rischi di perturbazioni dell'approvvigionamento di materie prime critiche

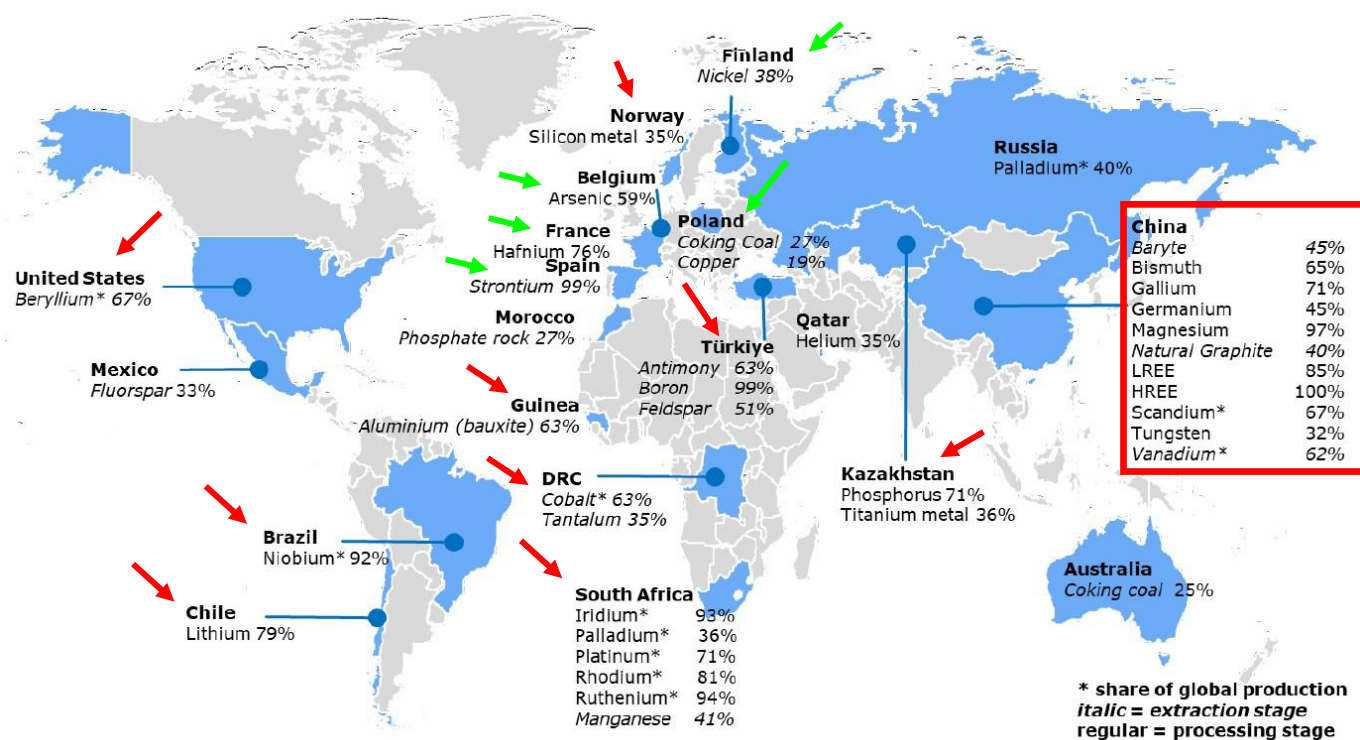


rafforzando la circolarità e la sostenibilità

Marzo 2024: il Consiglio approva in via definitiva il regolamento sulle materie prime critiche

Nuove norme per assicurare l'approvvigionamento sicuro e sostenibile delle materie prime critiche strategiche. Pubblicata in Gazzetta Ufficiale (n. 189 del 13 agosto 2024) la legge 115/2024, che converte, con modifiche, il decreto legge 25 giugno 2024, n. 84, allineando il nostro ordinamento agli obiettivi previsti dal Reg. UE 2024/1252

Principali fornitori di CRMs alla UE (2023)



Source: European Commission, 2023

La dipendenza dell'UE dalle importazioni di CRM è estremamente elevata e talvolta raggiunge il 100% (ad esempio per gli elementi delle terre rare - REE)

La salvaguardia dell'economia della UE (transizioni verde e digitale) passa da eventuali interruzioni delle forniture di materie prime critiche e strategiche.

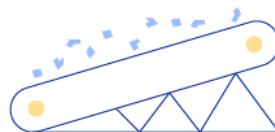
Il Consiglio Europeo, sulla base del **Critical Raw Materials Act**, indica 4 obiettivi per limitare la dipendenza dai paesi terzi entro il 2030 con un approvvigionamento sicuro e sostenibile.



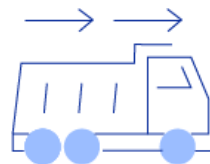
Il 10% delle materie critiche (CRMs) e strategiche (SRMs) utilizzate dai paesi membri dell'UE dovrà essere estratto da miniere europee;



Il 15% (20%*)
dovrà derivare
dalle attività di
recupero e
riciclo;



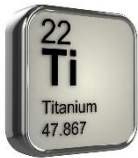
Il 40% (50%*) del consumo annuo di CRMs dovrà essere trasformato in Europa;



Diversificare le importazioni di materie prime strategiche e nessun paese terzo dovrà fornire oltre il 65% del consumo annuo dell'UE per ciascun CRM;

*Il Consiglio (giugno 2023) ha chiesto di innalzare la soglia

CRM in Italia: l'esempio del Titanio (TiO_2 rutilo)



Rocce ofiolitiche

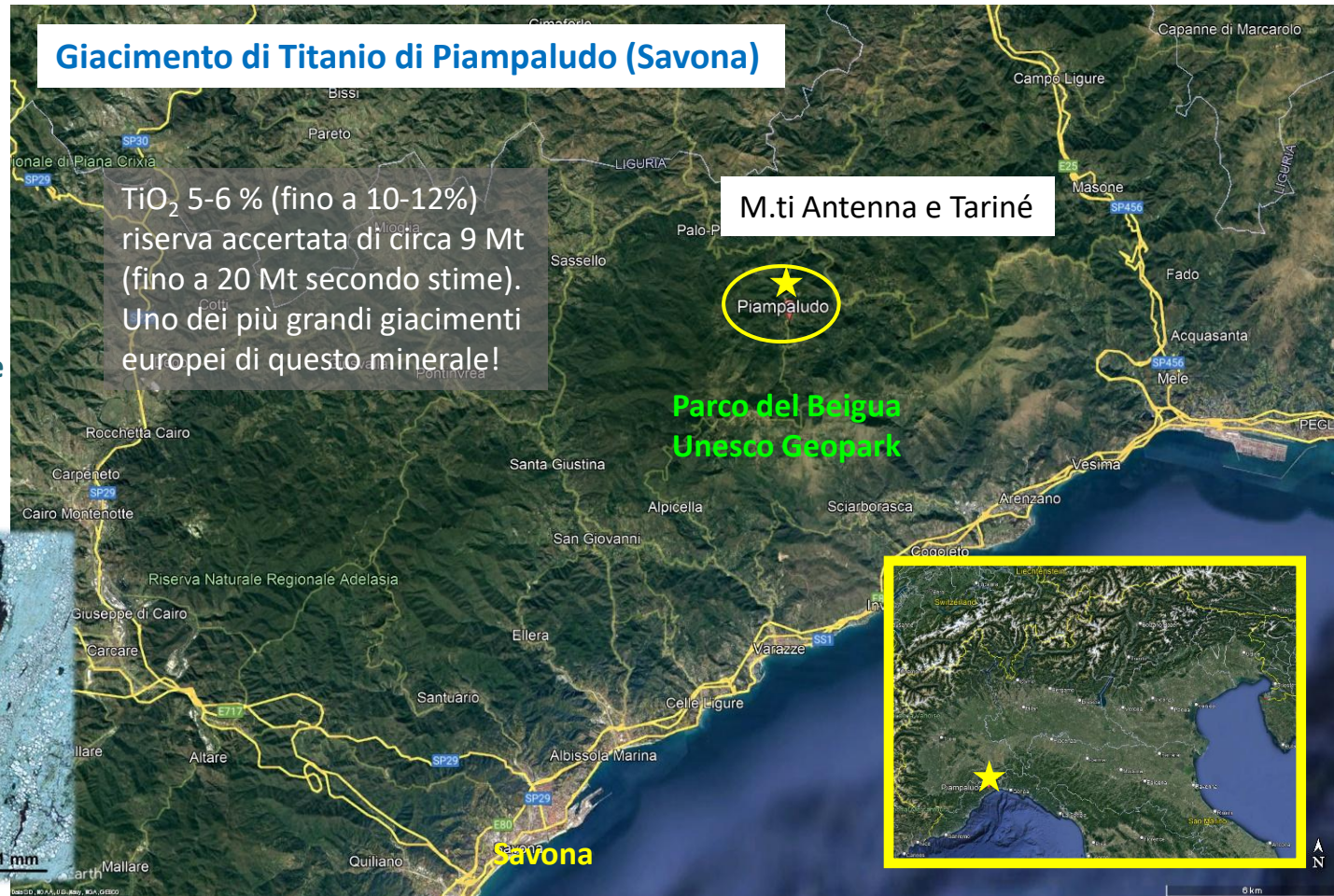
- Durezza elevata
- Elevati costi di estrazione
- Rischio ambientale e sanitario (amianto)

ECLOGITE

Rutilo

Foto di M. Scambelluri

1 mm



Litio: tutti lo vogliono, tutti lo cercano !

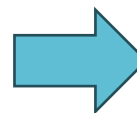
Salar de Uyuni (Bolivia)*

L'oro bianco

Salar de Atacama
(Chile)

> 60% deriva da brine o
salamoie (*salars*)
(es. Sud America)

Salar de l'Hombre Muerto
(Argentina)



- Grandi estese sotterranee di sale
- Estrazione costosa del Li_2CO_3
- Tecniche estrattive invasive:
elevato consumo d'acqua e
produzione di rifiuti tossici
- Danni ambientali

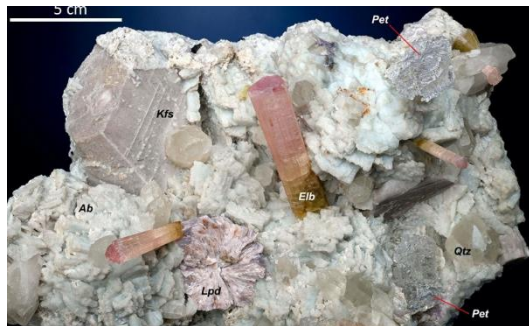


*Un deserto bianco di oltre 10.000 km², a 3650 metri di quota!

Litio: dove in Italia ?

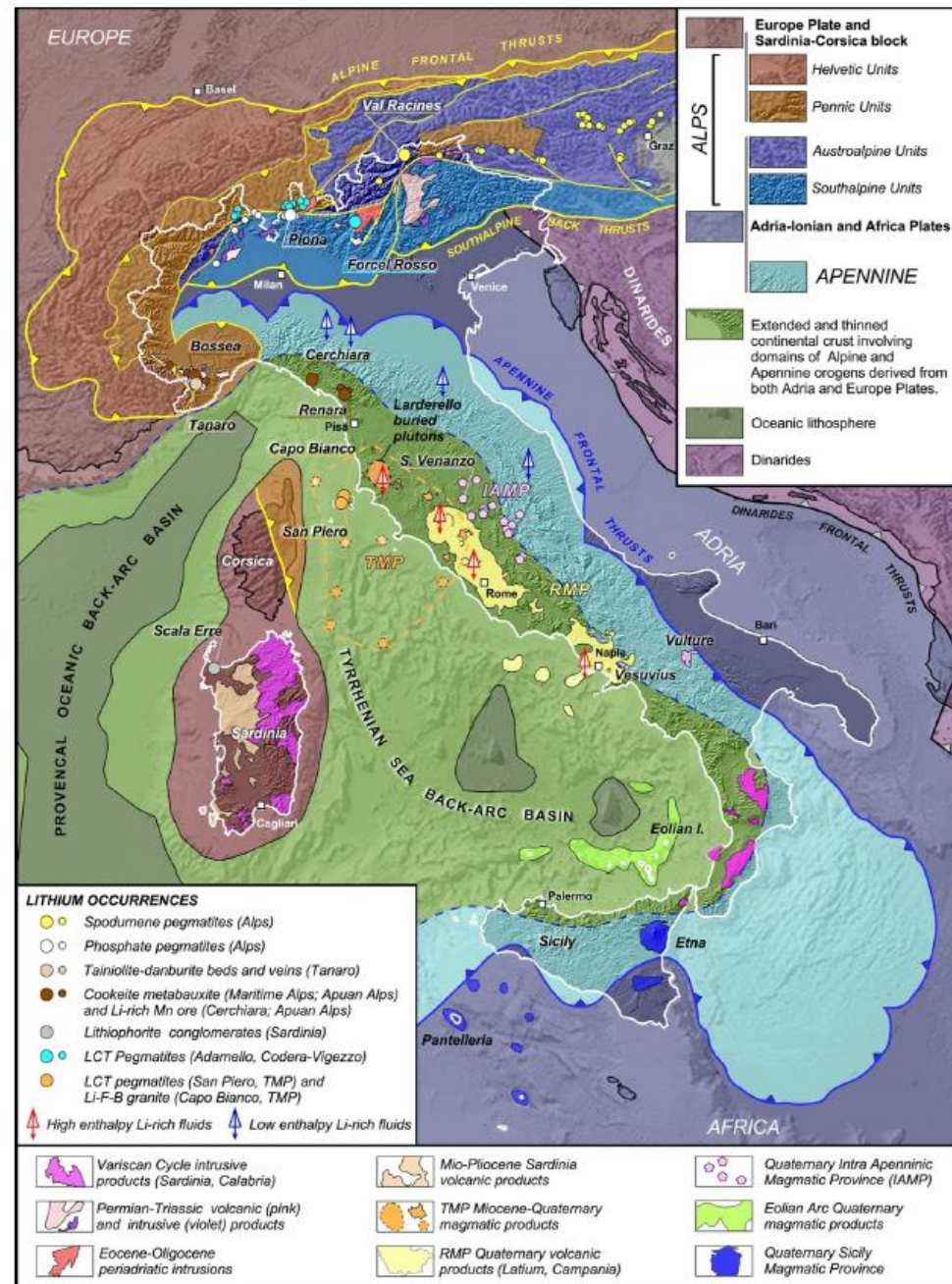
Potenziali aree estrattive:

Pegmatiti a spodumene del Permo-Triassico nelle unità Australpine delle Alpi Centrali

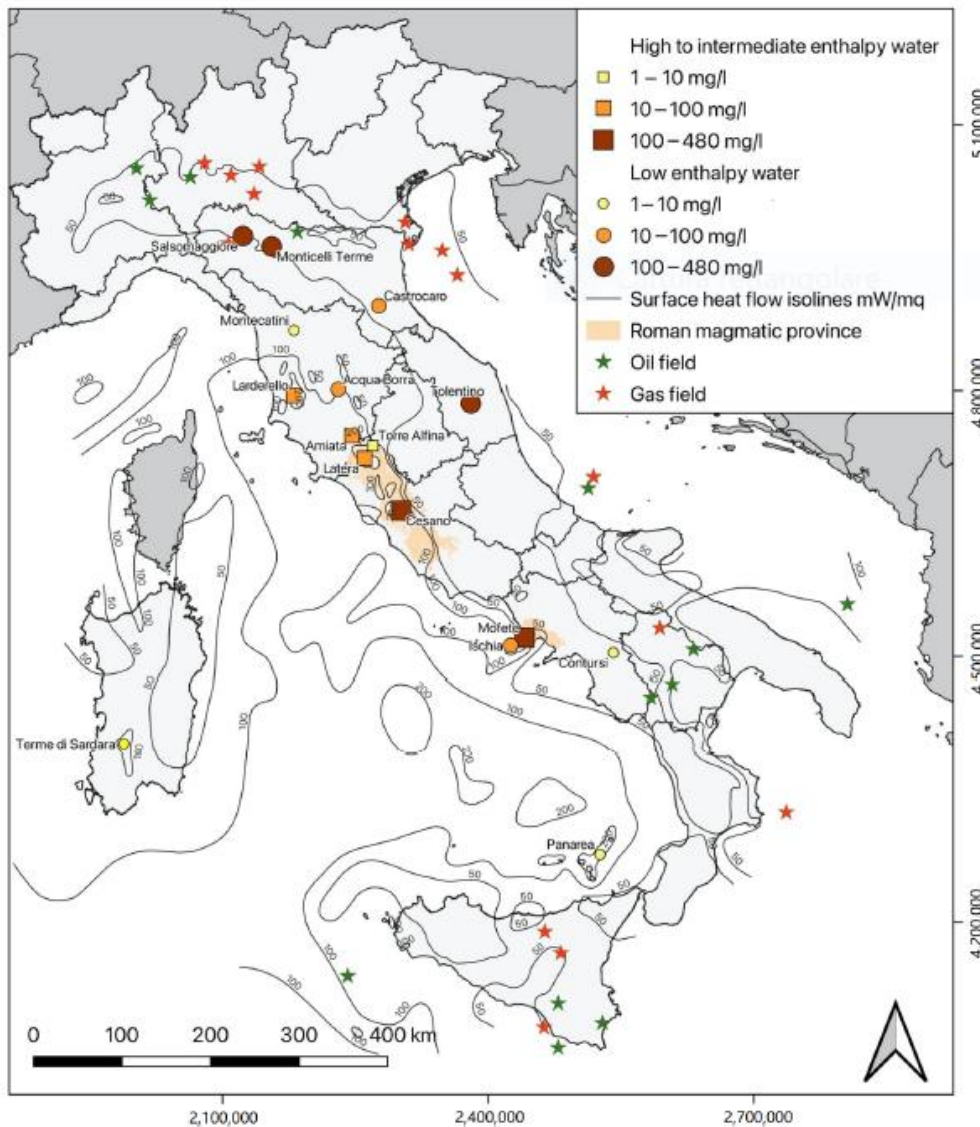


Pegmatiti del Terziario (Isola d'Elba e Alpi Centrali)

Particolarità: rocce magmatiche Terziario-Quaternarie della provincia Toscana-laziale presentano elevate concentrazione di Li (graniti 350 µg/g di Li, apfite di Capo Bianco (Elba) 1000 µg/g) rispetto a rocce ignee simili nel resto del mondo



Litio in Italia: il potenziale più promettente



Il potenziale più promettente sembra essere associato ai fluidi del sottosuolo.

I fluidi ad alta entalpia nei campi geotermici possono contenere fino a 480 mg/L di Li.

Anche le acque termali a bassa temperatura possono contenere una quantità significativa di Li (>10 mg/L).

In prospettiva, difficile ma non impossibile, si potrebbe considerare l'iniezione profonda di acqua per interagire con le rocce magmatiche ed estrarne il Li.

Source: Dini et al. (2022), Minerals

Archivio Geochimico Nazionale

APAT – CNR

«Convenzione per la realizzazione di prototipi di carte tematiche di parte del territorio nazionale alla scala 1:250.000 riportanti i tenori naturali di alcuni elementi chimici di significativo impatto ambientale»

Matrici indagate:

Acque superficiali e sotterranee
Rocce
Sedimenti fluviali
Suoli
Gas



Database acque superficiali e di falda



Database emissioni gassose



Database rocce



Database sedimenti fluviali

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

VIIIA

2 4.0026
He
Helium

VIIA

10 20.183
Ne
Neon

18 39.948
Ar
Argon

36 83.80
Kr
Krypton

54 131.30
Xe
Xenon

86 (222)
Rn
Radon

118 294.107
Og
Oganesson

119 289.101
Ts
Tennessine

120 289.101
Lv
Livermorium

116 289.101
Nh
Nihonium

115 289.101
Mc
Moscovium

114 289.101
Fl
Flerovium

113 289.101
Nh
Nihonium

112 289.101
Nh
Nihonium

111 289.101
Nh
Nihonium

110 289.101
Nh
Nihonium

109 289.101
Nh
Nihonium

108 289.101
Nh
Nihonium

107 289.101
Nh
Nihonium

106 289.101
Nh
Nihonium

105 289.101
Nh
Nihonium

104 289.101
Nh
Nihonium

103 289.101
Nh
Nihonium

102 289.101
Nh
Nihonium

101 289.101
Nh
Nihonium

100 289.101
Nh
Nihonium

99 289.101
Nh
Nihonium

98 289.101
Nh
Nihonium

97 289.101
Nh
Nihonium

96 289.101
Nh
Nihonium

95 289.101
Nh
Nihonium

94 289.101
Nh
Nihonium

93 289.101
Nh
Nihonium

92 289.101
Nh
Nihonium

91 289.101
Nh
Nihonium

90 289.101
Nh
Nihonium

89 289.101
Nh
Nihonium

88 289.101
Nh
Nihonium

87 289.101
Nh
Nihonium

86 289.101
Nh
Nihonium

85 289.101
Nh
Nihonium

84 289.101
Nh
Nihonium

83 289.101
Nh
Nihonium

82 289.101
Nh
Nihonium

81 289.101
Nh
Nihonium

80 289.101
Nh
Nihonium

79 289.101
Nh
Nihonium

78 289.101
Nh
Nihonium

77 289.101
Nh
Nihonium

76 289.101
Nh
Nihonium

75 289.101
Nh
Nihonium

74 289.101
Nh
Nihonium

73 289.101
Nh
Nihonium

72 289.101
Nh
Nihonium

71 289.101
Nh
Nihonium

70 289.101
Nh
Nihonium

69 289.101
Nh
Nihonium

68 289.101
Nh
Nihonium

67 289.101
Nh
Nihonium

66 289.101
Nh
Nihonium

65 289.101
Nh
Nihonium

64 289.101
Nh
Nihonium

63 289.101
Nh
Nihonium

62 289.101
Nh
Nihonium

61 289.101
Nh
Nihonium

60 289.101
Nh
Nihonium

59 289.101
Nh
Nihonium

58 289.101
Nh
Nihonium

57 289.101
Nh
Nihonium

56 289.101
Nh
Nihonium

55 289.101
Nh
Nihonium

54 289.101
Nh
Nihonium

53 289.101
Nh
Nihonium

52 289.101
Nh
Nihonium

51 289.101
Nh
Nihonium

50 289.101
Nh
Nihonium

49 289.101
Nh
Nihonium

48 289.101
Nh
Nihonium

47 289.101
Nh
Nihonium

46 289.101
Nh
Nihonium

45 289.101
Nh
Nihonium

44 289.101
Nh
Nihonium

43 289.101
Nh
Nihonium

42 289.101
Nh
Nihonium

41 289.101
Nh
Nihonium

40 289.101
Nh
Nihonium

39 289.101
Nh
Nihonium

38 289.101
Nh
Nihonium

37 289.101
Nh
Nihonium

36 289.101
Nh
Nihonium

35 289.101
Nh
Nihonium

34 289.101
Nh
Nihonium

33 289.101
Nh
Nihonium

32 289.101
Nh
Nihonium

31 289.101
Nh
Nihonium

30 289.101
Nh
Nihonium

29 289.101
Nh
Nihonium

28 289.101
Nh
Nihonium

27 289.101
Nh
Nihonium

26 289.101
Nh
Nihonium

25 289.101
Nh
Nihonium

24 289.101
Nh
Nihonium

23 289.101
Nh
Nihonium

22 289.101
Nh
Nihonium

21 289.101
Nh
Nihonium

20 289.101
Nh
Nihonium

19 289.101
Nh
Nihonium

18 289.101
Nh
Nihonium

17 289.101
Nh
Nihonium

16 289.101
Nh
Nihonium

15 289.101
Nh
Nihonium

14 289.101
Nh
Nihonium

13 289.101
Nh
Nihonium

12 289.101
Nh
Nihonium

11 289.101
Nh
Nihonium

10 289.101
Nh
Nihonium

9 289.101
Nh
Nihonium

8 289.101
Nh
Nihonium

7 289.101
Nh
Nihonium

6 289.101
Nh
Nihonium

5 289.101
Nh
Nihonium

4 289.101
Nh
Nihonium

3 289.101
Nh
Nihonium

2 289.101
Nh
Nihonium

1 289.101
Nh
Nihonium

GROUP
IA

1 1.00797
H
Hydrogen

3 6.939
Li
Lithium

11 22.9898
Na
Sodium

19 39.102
K
Potassium

37 85.47
Rb
Rubidium

55 132.905
Cs
Cesium

87 (223)
Fr
Francium

104
Lr
Lawrencium

103 (257)
Nh
Nihonium

102 (254)
Nh
Nihonium

101 (256)
Nh
Nihonium

100 (253)
Nh
Nihonium

99 (254)
Nh
Nihonium

98 (249)
Nh
Nihonium

97 (247)
Nh
Nihonium

96 (247)
Nh
Nihonium

95 (243)
Nh
Nihonium

94 (242)
Nh
Nihonium

93 (237)
Nh
Nihonium

92 (238.03)
Nh
Nihonium

91 (231)
Nh
Nihonium

90 (232.038)
Nh
Nihonium

89 (227)
Nh
Nihonium

88 (226)
Nh
Nihonium

87 (223)
Nh
Nihonium

86 (222)
Nh
Nihonium

85 (220)
Nh
Nihonium

84 (216)
Nh
Nihonium

83 (209)
Nh
Nihonium

82 (208.98)
Nh
Nihonium

81 (208.98)
Nh
Nihonium

80 (208.98)
Nh
Nihonium

79 (208.98)
Nh
Nihonium

78 (208.98)
Nh
Nihonium

77 (208.98)
Nh
Nihonium

76 (208.98)
Nh
Nihonium

75 (208.98)
Nh
Nihonium

74 (208.98)
Nh
Nihonium

73 (208.98)
Nh
Nihonium

72 (208.98)
Nh
Nihonium

71 (208.98)
Nh
Nihonium

70 (208.98)
Nh
Nihonium

69 (208.98)
Nh
Nihonium

68 (208.98)
Nh
Nihonium

67 (208.98)
Nh
Nihonium

66 (208.98)
Nh
Nihonium

65 (208.98)
Nh
Nihonium

64 (208.98)
Nh
Nihonium

63 (208.98)
Nh
Nihonium

62 (208.98)
Nh
Nihonium

61 (208.98)
Nh
Nihonium

60 (208.98)
Nh
Nihonium

59 (208.98)
Nh
Nihonium

58 (208.98)
Nh
Nihonium

57 (208.98)
Nh
Nihonium

56 (208.98)
Nh
Nihonium

55 (208.98)
Nh
Nihonium

54 (208.98)
Nh
Nihonium

53 (208.98)
Nh
Nihonium

52 (208.98)
Nh
Nihonium

51 (208.98)
Nh
Nihonium

50 (208.98)
Nh
Nihonium

49 (208.98)
Nh
Nihonium

48 (208.98)
Nh
Nihonium

47 (208.98)
Nh
Nihonium

46 (208.98)
Nh
Nihonium

45 (208.98)
Nh
Nihonium

44 (208.98)
Nh
Nihonium

43 (208.98)
Nh
Nihonium

42 (208.98)
Nh
Nihonium

41 (208.98)
Nh
Nihonium

40 (208.98)
Nh
Nihonium

39 (208.98)
Nh
Nihonium

38 (208.98)
Nh
Nihonium

37 (208.98)
Nh
Nihonium

36 (208.98)
Nh
Nihonium

35 (208.98)
Nh
Nihonium

34 (208.98)
Nh
Nihonium

33 (208.98)
Nh
Nihonium

32 (208.98)
Nh
Nihonium

31 (208.98)
Nh
Nihonium

30 (208.98)
Nh
Nihonium

29 (208.98)
Nh
Nihonium

28 (208.98)
Nh
Nihonium

27 (208.98)
Nh
Nihonium

26 (208.98)
Nh
Nihonium

25 (208.98)
Nh
Nihonium

24 (208.98)
Nh
Nihonium

23 (208.98)
Nh
Nihonium

22 (208.98)
Nh
Nihonium