

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).

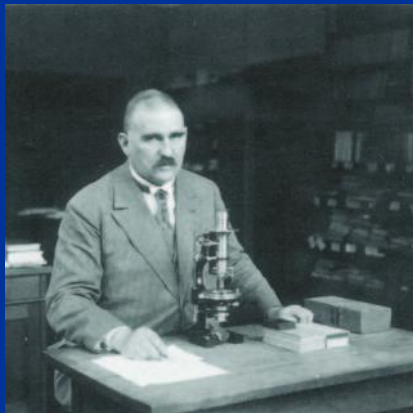
Si potrà parlare, quindi, di **litogeochimica**, **idrogeochimica**, **atmogeochimica** e **biogeochimica**.

* 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 geochimica.

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 geochimici la classificazione di **Dimitrij Mendeleev (1834-1907)**, il padre della tabella periodica degli elementi.

Dopo la seconda guerra mondiale, i metodi geochimici 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**, quali:



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

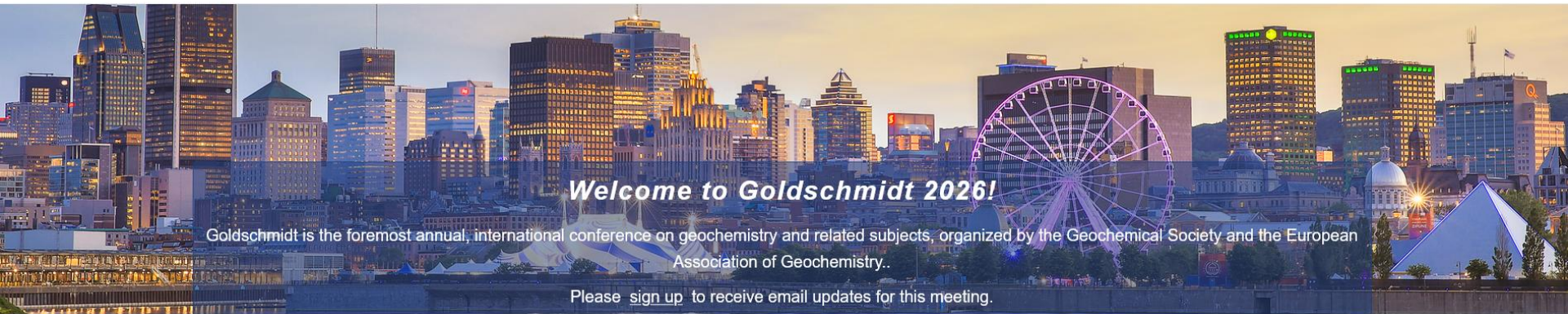
Geochimica Inorganica
Geochimica Organica
Geochimica Isotopica
Biogeochimica
Geochimica Ambientale

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



12 – 17 July 2026 | Montreal, Canada

My Goldschmidt



<https://conf.goldschmidt.info/goldschmidt/2026/goldschmidt/2026/meetingapp.cgi>

Most Recent Conferences

[2025 Goldschmidt Conference](#)

6-11 July • Prague, Czech Republic

[2024 Goldschmidt Conference](#)

18-23 August • Chicago, Illinois, USA and Online

[2023 Goldschmidt Conference](#)

9-14 July • Lyon, France and Online

[2022 Goldschmidt Conference](#)

10-15 July • Honolulu, Hawaii, USA and Online



SOCIETÀ GEOCHIMICA ITALIANA



Scuole e Giornate
Tematiche



Iscriviti



Congressi



3° CONGRESSO
SOCIETÀ GEOCHIMICA ITALIANA
GEOCHEMISTRY ACROSS TIME AND SPACE
RAVENNA – 30 GIUGNO - 3 LUGLIO 2026

3° Congresso
So.Ge.I.

Home

Società

Attività

Newsletter

Premi

Risorse

Gallery

Iscriviti

Contatti



GeochemNewsletter n.21

E' disponibile il ventunesimo numero della newsletter della Società
Geochemica Italiana.

Notizie

Sono attivi i canali social della So.Ge.I.:
seguiteci su Facebook, Twitter e LinkedIn!

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

Geochimica Ambientale

E' 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

idrosfera

- acque superficiali
- acque sotterranee
- precipitazioni atmosferiche

biosfera

- piante
- organismi animali

pedosfera

- suolo

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

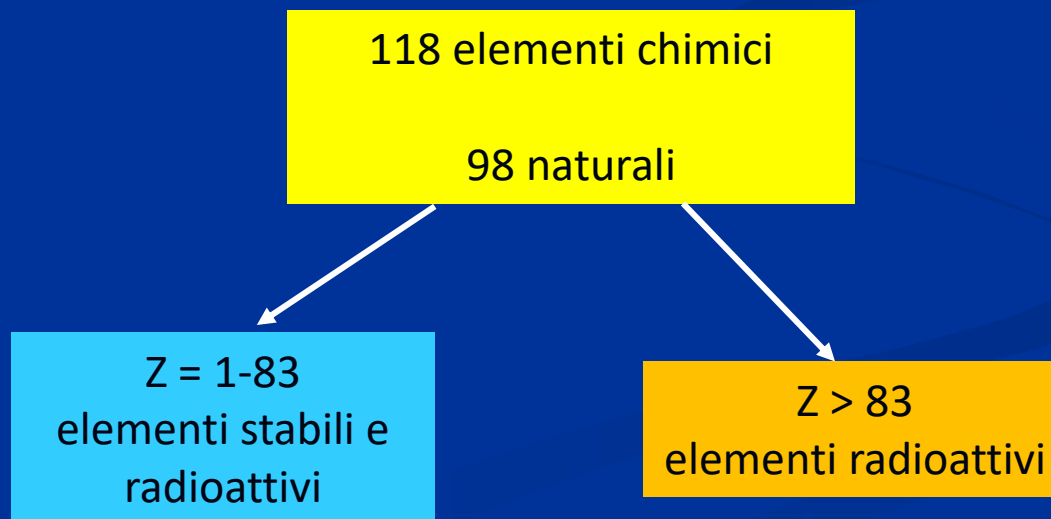


TABELLA PERIODICA DEGLI ELEMENTI

gruppi →

	I A		II A										III A	IV A	V A	VI A	VII A		VIII A	
1	1 H																			2 He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F			10 Ne
3	11 Na	12 Mg	III B	IV B	V B	VIB	VII B	VIII B			IB	II B	13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl		16 Ar	
4	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	
5	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	
6	55 Cs	56 Ba	57 La	72 Af	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	
7	87 Fr	88 Ra	89 Ac	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Nh	114 Fl	115 Mc	116 Lv	117 Ts		118 Og	

- orbitale s
- orbitale p
- orbitale d
- orbitale f

lantanidi	56 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
attinidi	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

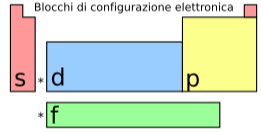
WWW.ANDREAMININI.ORG

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

Gruppo 1																		18																																																																																																																																																																																																																																																																																															
Periodo 1																		2																																																																																																																																																																																																																																																																																															
1																		2																																																																																																																																																																																																																																																																																															
2																		3																		4																		5																		6																		7																		8																		9																		10																		11																		12																		13																		14																		15																		16																		17																		18																	
3																		4																		5																		6																		7																		8																		9																		10																		11																		12																		13																		14																		15																		16																		17																		18																																			
4																		5																		6																		7																		8																		9																		10																		11																		12																		13																		14																		15																		16																		17																		18																																																					
5																		6																		7																		8																		9																		10																		11																		12																		13																		14																		15																		16																		17																		18																																																																							
6																		7																		8																		9																		10																		11																		12																		13																		14																		15																		16																		17																		18																																																																																									
7																		8																		9																		10																		11																		12																		13																		14																		15																		16																		17																		18																																																																																																											

peso atomico standard o numero di massa più stabile: 55.845
 numero atomico: 26
 prima energia di ionizzazione in kJ/mol: 762.5 1.83
 elettronegatività: +6, +5, +4, +3, +2, +1, -1, -2
 simbolo chimico: Fe
 nome: Ferro
 configurazione elettronica: [Ar] 3d⁶ 4s²
 stati di ossidazione: gli elementi più comuni sono in grassetto
 gli elementi radioattivi hanno le masse tra parentesi



Note

- 1 kJ/mol ≈ 0.1013636 eV
- tutti gli elementi sono implicati a avere l'ossidazione di zero

13																		14																		15																		16																		17																		18																																																																																																																																																																																																					
3																		4																		5																		6																		7																		8																		9																		10																		11																		12																		13																		14																		15																		16																		17																		18																	
4																		5																		6																		7																		8																		9																		10																		11																		12																		13																		14																		15																		16																		17																		18																																			
5																		6																		7																		8																		9																		10																		11																		12																		13																		14																		15																		16																		17																		18																																																					
6																		7																		8																		9																		10																		11																		12																		13																		14																		15																		16																		17																		18																																																																							
7																		8																		9																		10																		11																		12																		13																		14																		15																		16																		17																		18																																																																																									
8																		9																		10																		11																		12																		13																		14																		15																		16																		17																		18																																																																																																											
9																		10																		11																		12																		13																		14																		15																		16																		17																		18																																																																																																																													
10																		11																		12																		13																		14																		15																		16																		17																		18																																																																																																																																															
11																		12																		13																		14																		15																		16																		17																		18																																																																																																																																																																	
12																		13																		14																		15																		16																		17																		18																																																																																																																																																																																			
13																		14																		15																		16																		17																		18																																																																																																																																																																																																					
14																		15																		16																		17																		18																																																																																																																																																																																																																							
15																		16																		17																		18																																																																																																																																																																																																																																									
16																		17																		18																																																																																																																																																																																																																																																											
17																		18																																																																																																																																																																																																																																																																													
18																																																																																																																																																																																																																																																																																															

- metalli alcalini
- metalli alcalino terrosi
- lantanoidi
- metalli di transizione
- proprietà sconosciute
- metalli di post-transizione
- metalloidi
- non metalli reattivi
- gas nobili
- attinoidi

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)



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 *ottetziale***:

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

Gli elementi che possiedono 8 elettroni superficiali (configurazione ottetziale) 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 tetravalenti (Sn ⁴⁺ ; Pb ⁴⁺)	VII°	anioni monovalenti (Cl ⁻ ; F ⁻ ; ecc.)

La Tabella Periodica degli elementi chimici - 3

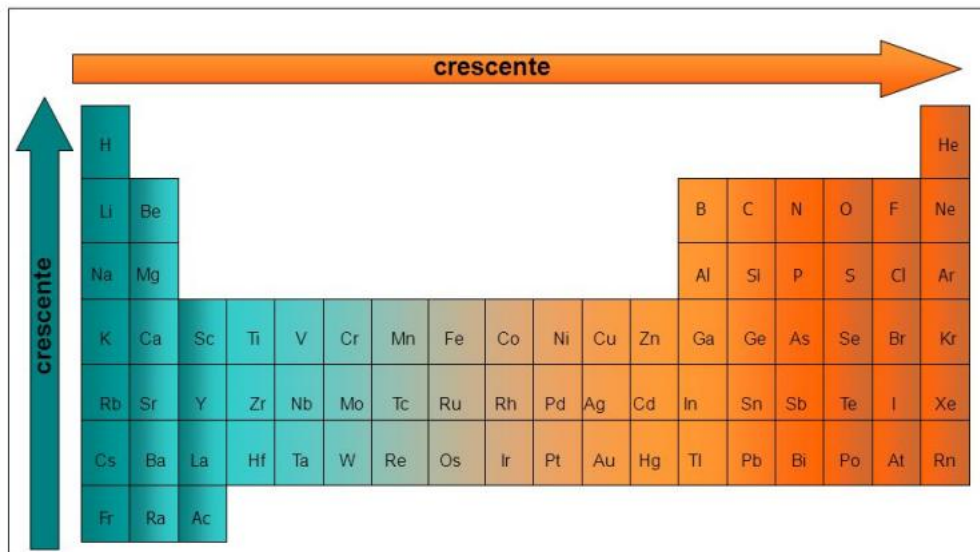
Ad una data posizione corrisponde un determinato comportamento chimico dell'elemento determinato da:

3) Energia di ionizzazione

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

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)

Variazione dell'energia di ionizzazione e dell'affinità elettronica



La Tabella Periodica degli elementi chimici - 4

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

4) Elettronegatività

Capacità di un atomo di 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)

gruppi →

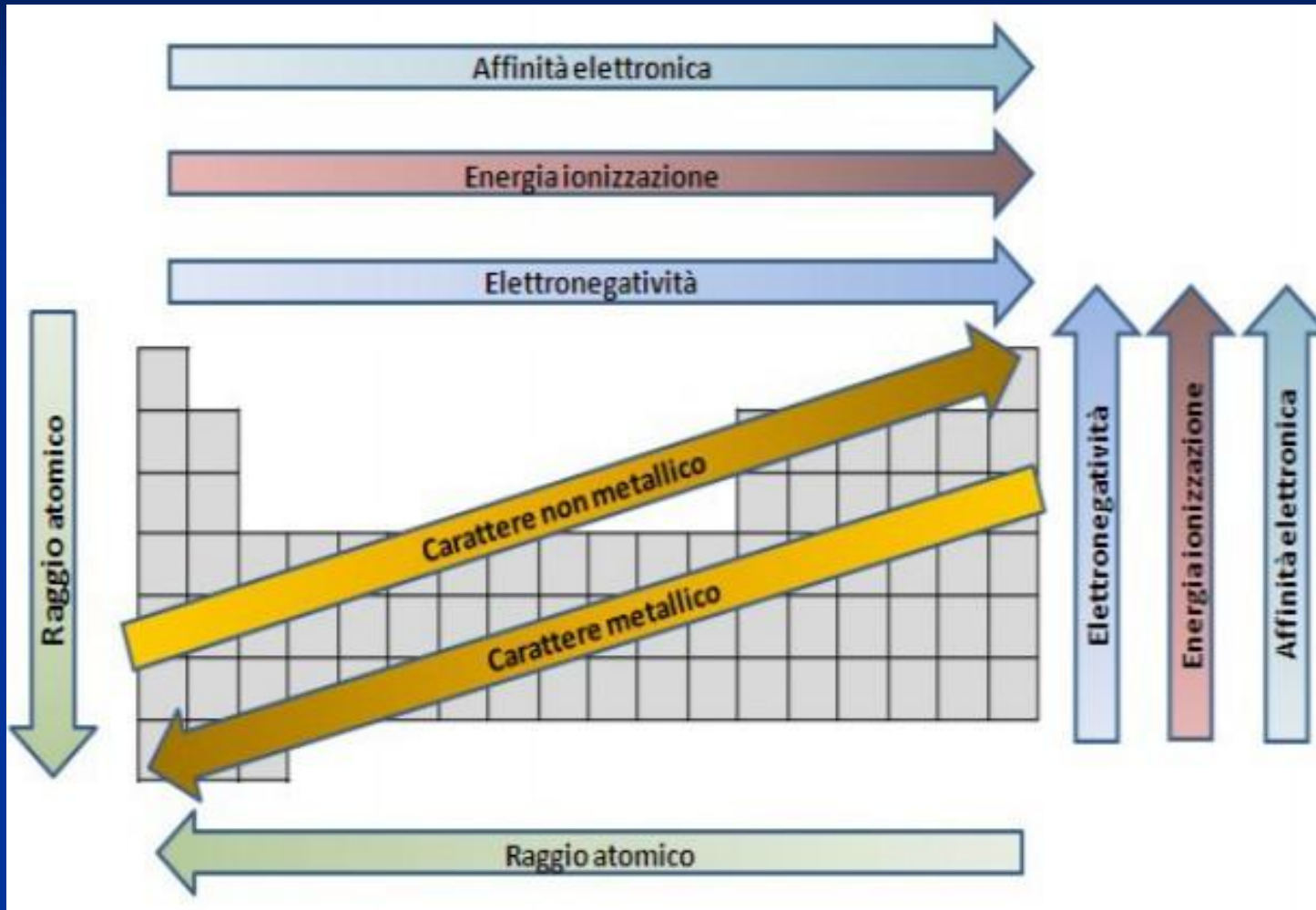
		elettronegatività (scala di Pauling)																			
												III A	IV A	V A	VIA	VII A					
periodi ↓	1	IA	H 2,1	II A											III A	IV A	V A	VIA	VII A	VIII A	He
	2		Li 1,0	Be 1,5											B 2,0	C 2,5	N 3,0	O 3,5	F 4,0	Ne	
	3		Na 0,9	Mg 1,2	III B	IV B	V B	VI B	VII B	VIII B			IB	II B	Al 1,5	Si 1,8	P 2,1	S 2,5	Cl 3,0	Ar	
	4		K 0,8	Ca 1,0	Sc 1,3	Ti 1,5	V 1,6	Cr 1,6	Mn 1,5	Fe 1,8	Co 1,9	Ni 1,9	Cu 1,9	Zn 1,6	Ga 1,6	Ge 1,8	As 2,0	Se 2,4	Br 2,8	Kr 3,0	
	5		Rb 0,8	Sr 1,0	Y 1,2	Zr 1,4	Nb 1,6	Mo 1,8	Tc 1,9	Ru 2,2	Rh 2,2	Pd 2,2	Ag 1,9	Cd 1,7	In 1,7	Sn 1,8	Sb 1,9	Te 2,1	I 2,5	Xe 2,6	
	6		Cs 0,7	Ba 0,9	La 1,1	Hf 1,3	Ta 1,5	W 1,7	Re 1,9	Os 2,2	Ir 2,2	Pt 2,2	Au 2,4	Hg 1,9	Tl 1,8	Pb 1,9	Bi 1,9	Po 2,0	At 2,2	Rn 2,2	
	7		Fr 0,7	Ra 0,9	Ac 1,1	Th 1,3	Pa 1,4	U 1,4													

elementi rappresentativi
elementi di transizione

WWW.ANDREAMININI.ORG

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





Riassumendo...



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 tossici
-  Elementi potenzialmente 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 di campioni 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.

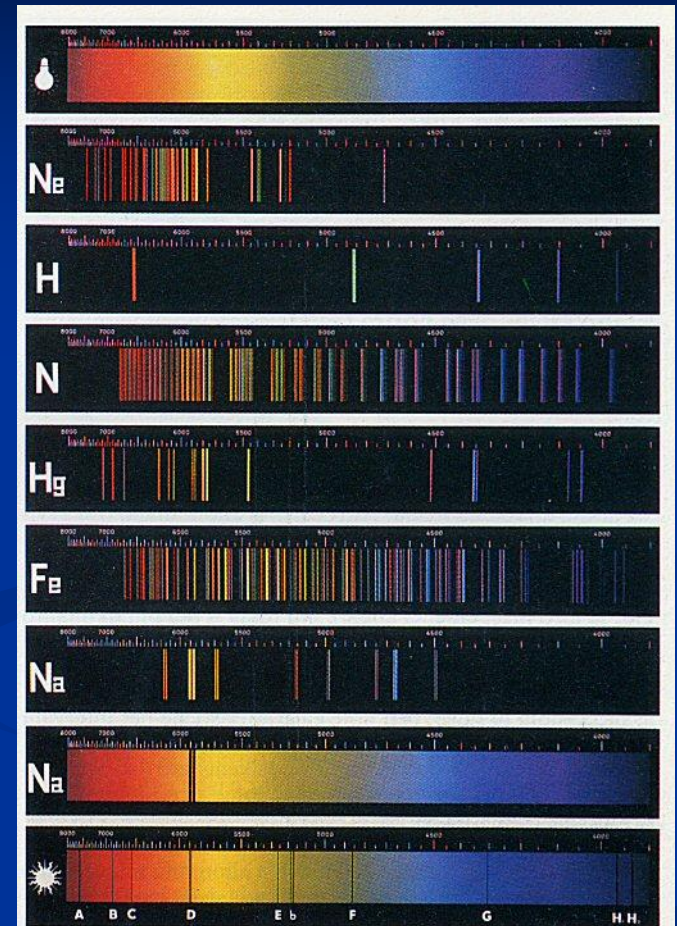


Fig. 1.8. Esempi di spettri. Dall'alto: spettro continuo (lampada a incandescenza); spettri di emissione (neon, idrogeno, azoto, mercurio, ferro, sodio); spettri di assorbimento (vapori di sodio, Sole). (Officine Galileo, Firenze)

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 – 2/1

2) analisi della composizione chimica delle meteoriti

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

Le **meteoriti**, in particolare le **condriti*** **carbonacee**, rare e primitive, possono essere considerate **rappresentative di materia interstellare** 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 !!!)

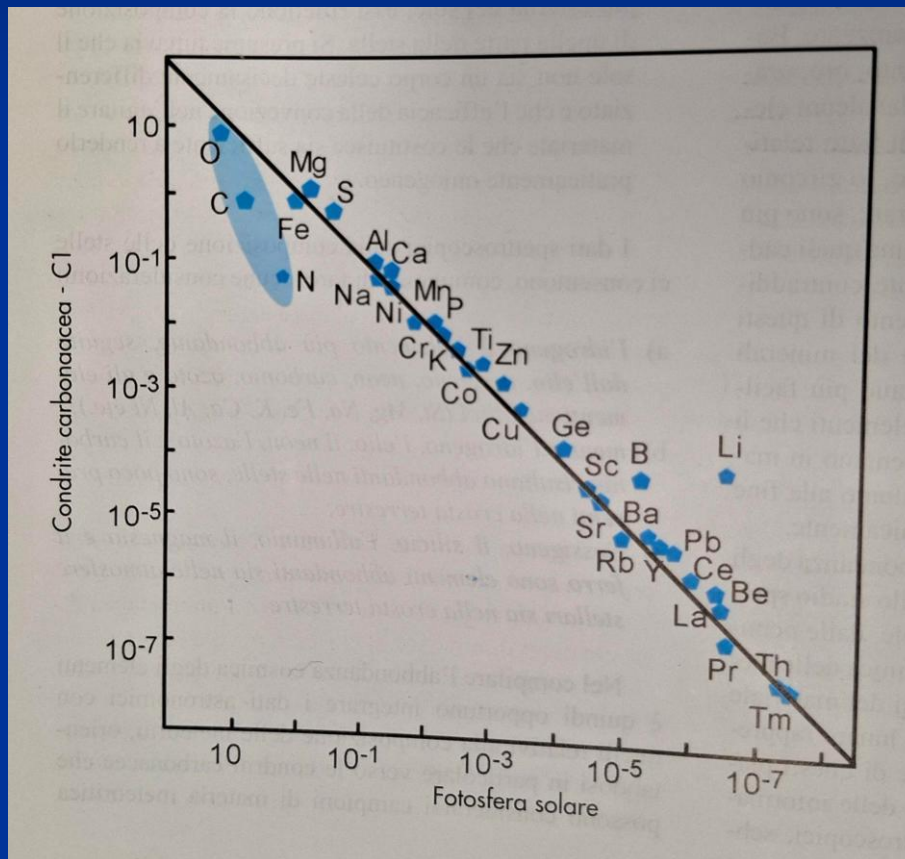
Murchison-AUS: di origine cometaria (12% d'acqua) e 92 amminoacidi

*condrulle: sferule di minerali mafici con grani di piccole dimensioni, indicativi di un rapido raffreddamento



L'abbondanza degli elementi chimici – 2/2

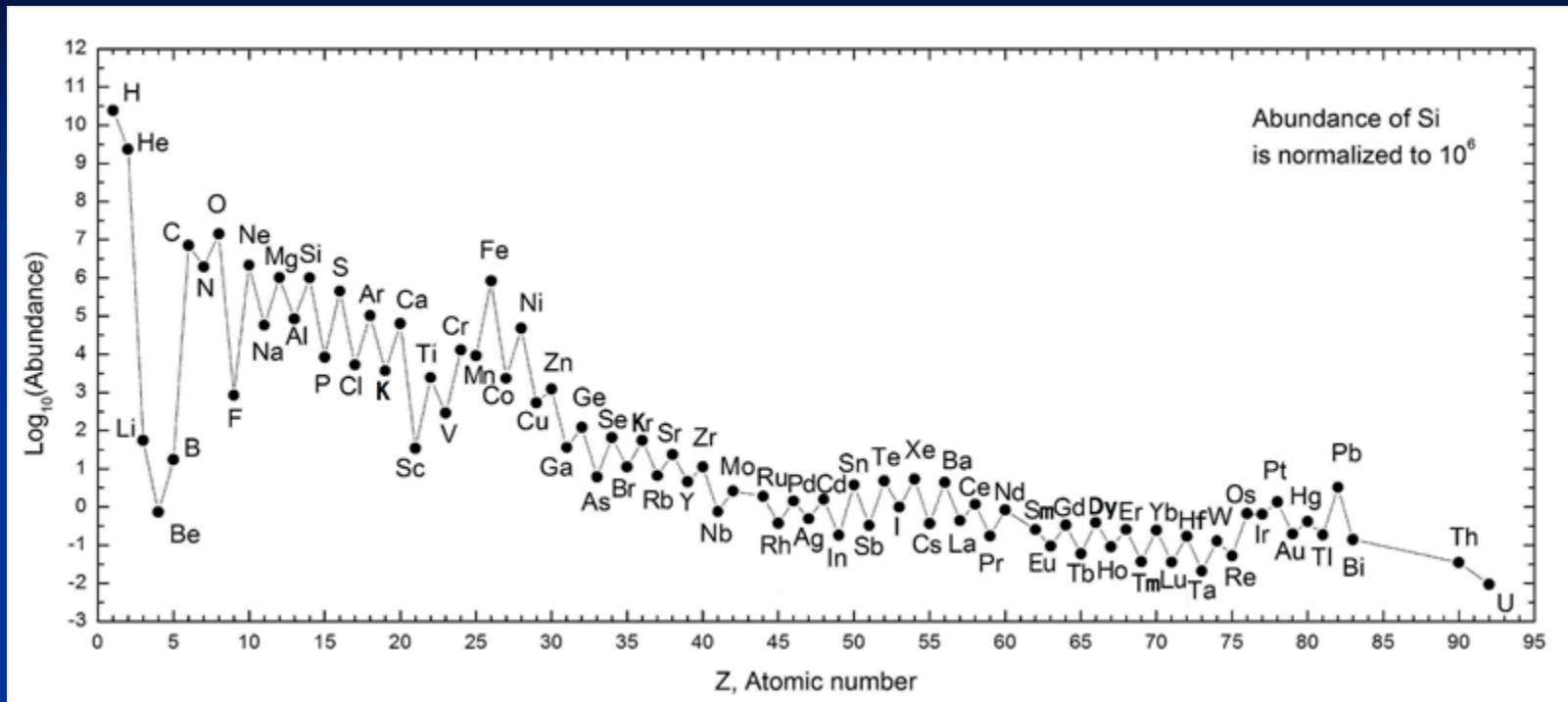
2) analisi della composizione chimica delle meteoriti



Escludendo gli elementi atmosferici (C, N, O, H ed He con altri gas nobili) esiste una similarità evidente fra la composizione media delle meteoriti e quella del sole e delle stelle in generale.

Se ne deduce che le condriti possono essere considerate rappresentative del materiale interstellare indifferenziato al momento della formazione del sistema solare.

L'abbondanza cosmica degli elementi chimici - 3

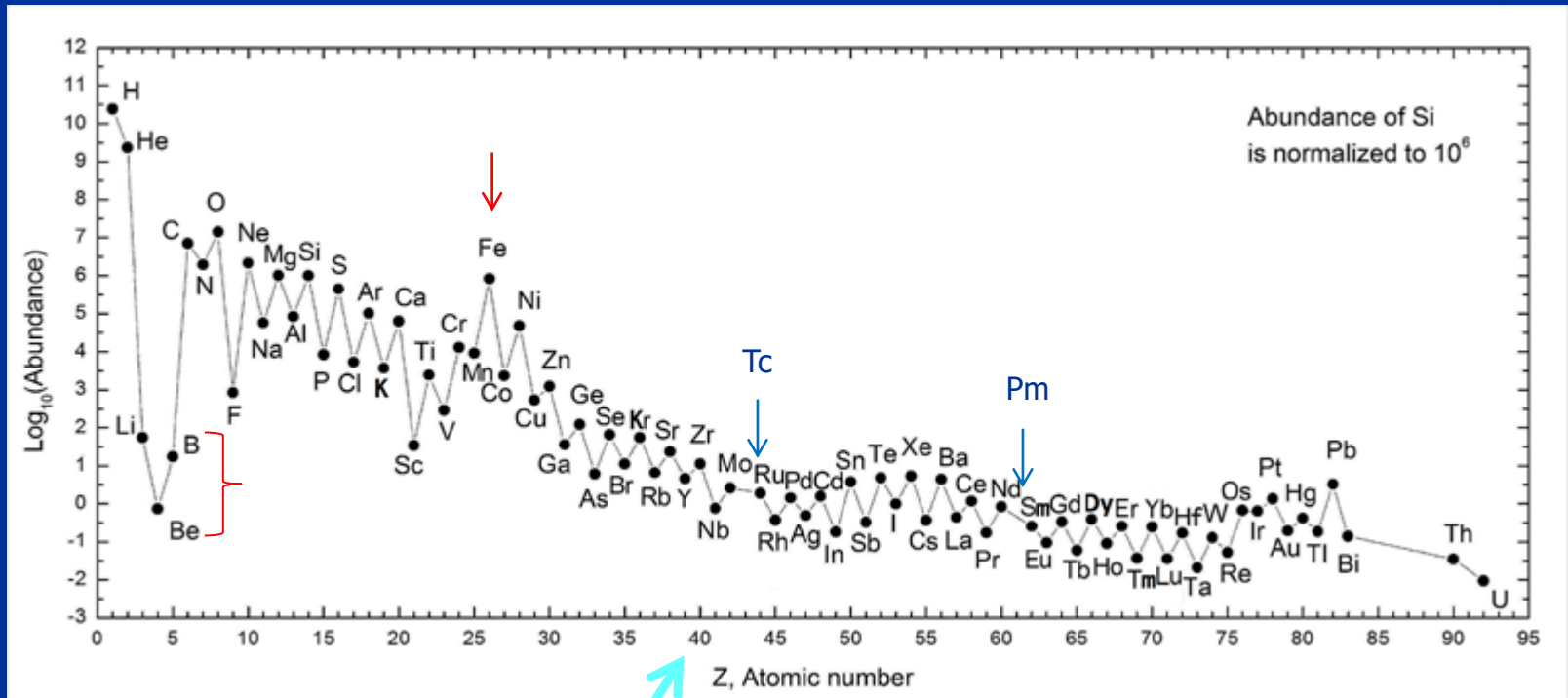


Integrando i dati spettroscopici con quelli relativi alla composizione delle meteoriti:

- **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)
- **H, He, Ne, N, C** sono molto abbondanti nelle stelle e poco nella crosta terrestre
- **O, Si, Al, Mg, Fe** sono molto abbondanti sia nelle atmosfere stellari che nella crosta terrestre.

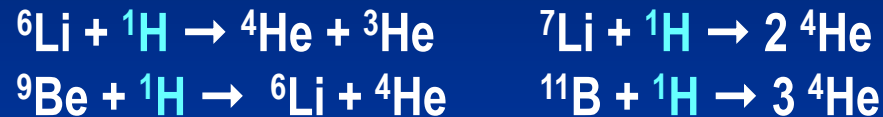
In generale si può affermare che :

- 1) L'abbondanza degli elementi diminuisce al crescere del numero atomico Z (*prima legge della geochemica*).
- 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 per bombardamento di protoni, secondo le reazioni:



Il **Ferro** è particolarmente comune poiché **rappresenta il nuclide a minima energia**, quello **più stabile** che può essere **creato dal processo di fusione** nelle stelle.

Le stelle sono giganteschi «reattori nucleari». Bruciano Idrogeno in Elio, poi Elio in Carbonio, e così via, creando elementi sempre più pesanti, producendo energia.

Tuttavia, quando una stella arriva a produrre Ferro, il processo si ferma bruscamente in quanto fondere il Ferro non produce energia, ma ne richiede.

Il nucleo della stella collassa su se stesso causando l'esplosione di una Supernova.

Poiché il Ferro è il prodotto finale di tutte le reazioni che generano energia, esso si accumula enormemente nei nuclei stellari prima delle esplosioni.

PRIMA DIFFERENZIAZIONE GEOCHIMICA: Formazione del nucleo e del mantello

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



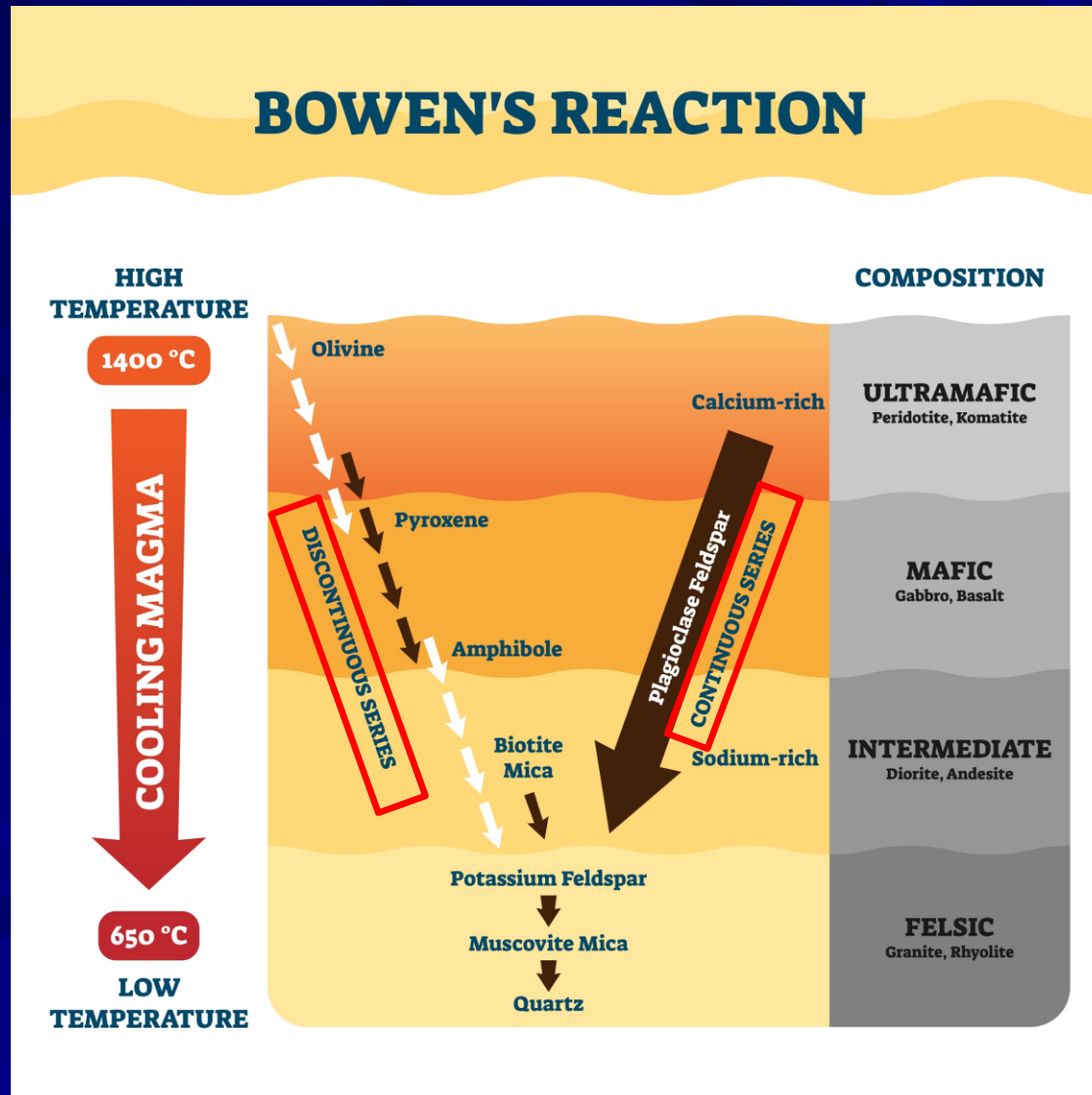
Prima differenziazione geochimica:
la formazione e separazione di 2 distinte fasi, metallica e silicatica

- 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: la serie di Bowen



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*):

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

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, U e Th), 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	Calcofili	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 lo studio 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!

Composti principali: **N₂, O₂, Ar**

Gas minori: **CO₂, Ne, He, CH₄, Kr, N₂O, H₂, O₃, Xe**

L'anidride carbonica (**CO₂**) è particolarmente importante insieme all'ozono (**O₃**) 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⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Cl⁻, SO₄²⁻**

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 Wegener 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 g cm⁻³**.

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

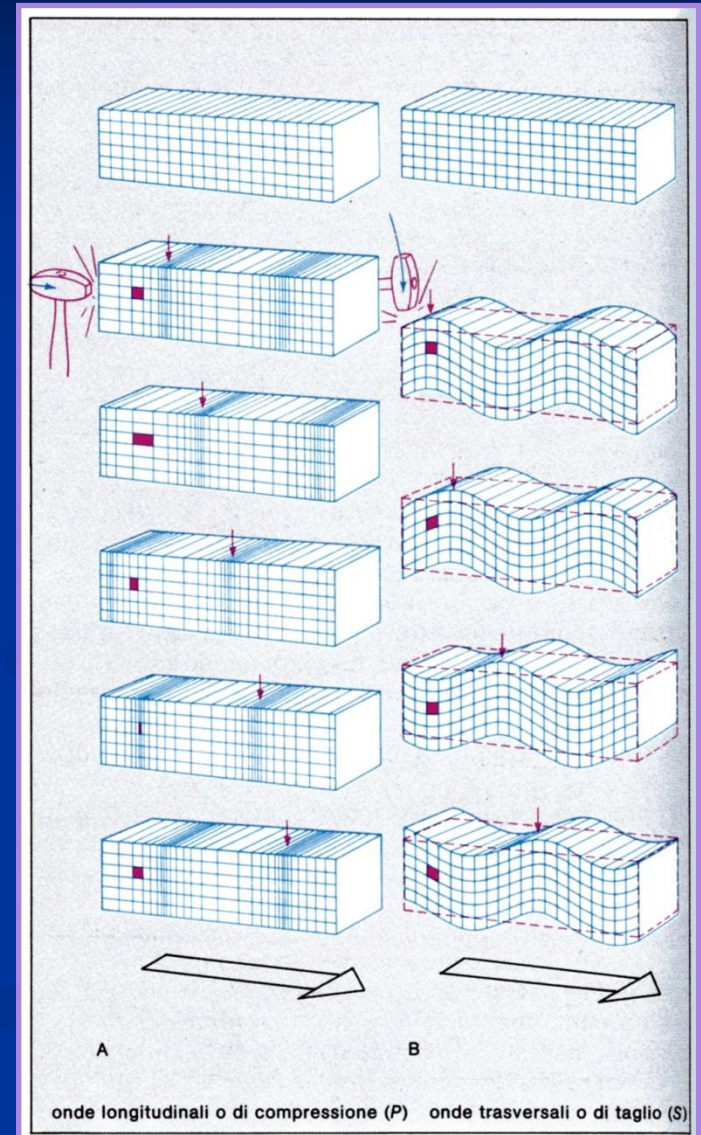
L'aumento di densità verso il centro del pianeta è, molto probabilmente, dovuto a due fattori:

a) aumento della compressione

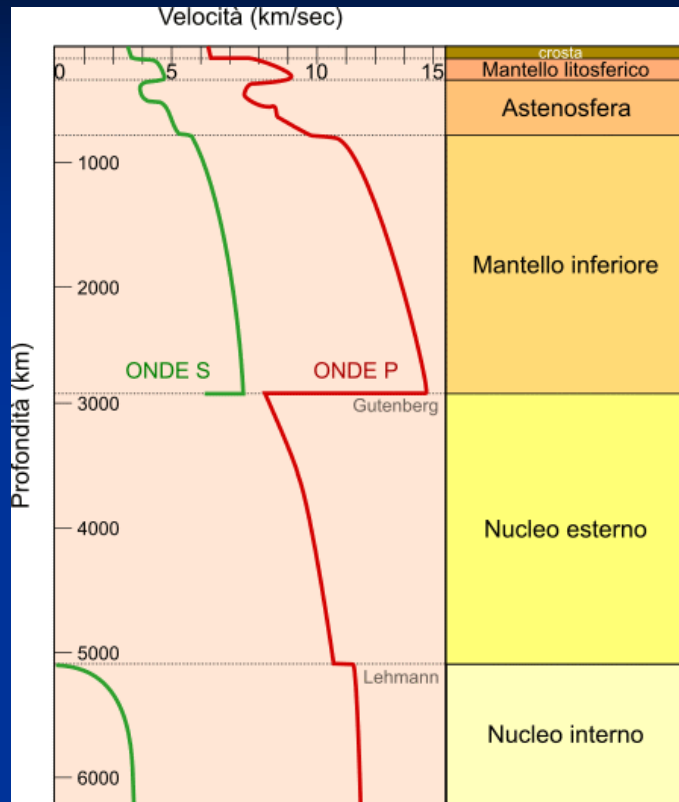
b) concentrazione di elementi più densi ad una distanza minore dall'asse di rotazione.

Le onde sismiche

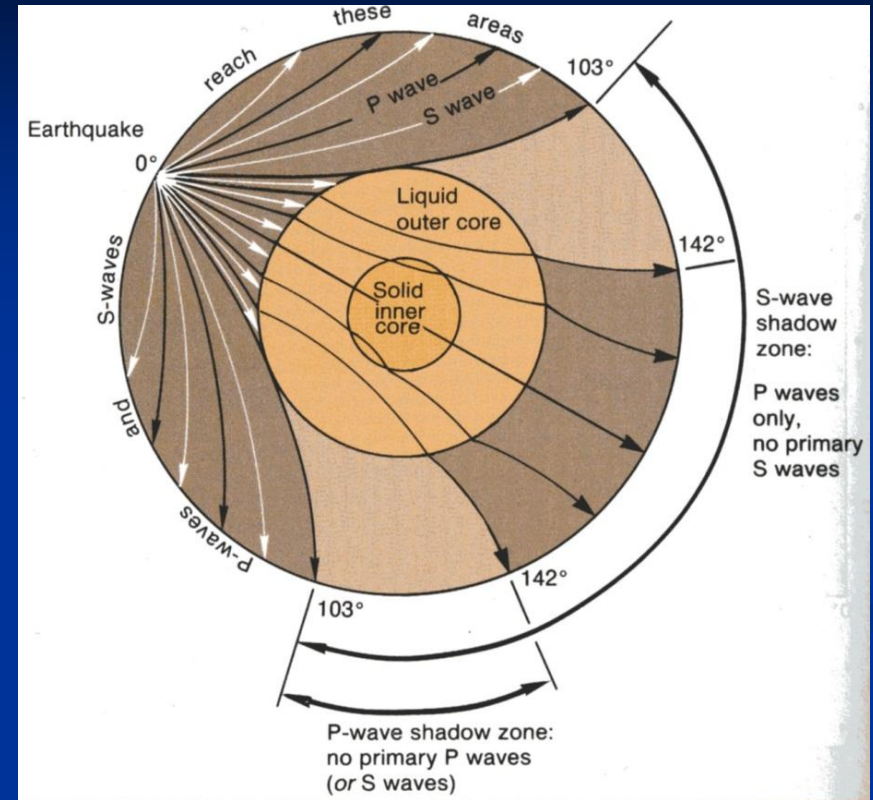
- Onde interne (di volume)
 1. *compressive o primarie (P):*
5.95-6.75 km/s
 2. *di taglio o secondarie (S):*
2.9-4.0 km/s maggior ampiezza e
distruttività



Propagazione delle onde sismiche



<https://www.gmpe.it>



- 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 e
Mantello sup.

Mantello
inferiore

Nucleo
esterno

Nucleo
interno

Separati dalla discontinuità
di Mohorovicich

Separati dalla discontinuità
di Gutenberg

Separati dalla discontinuità
di Lehmann

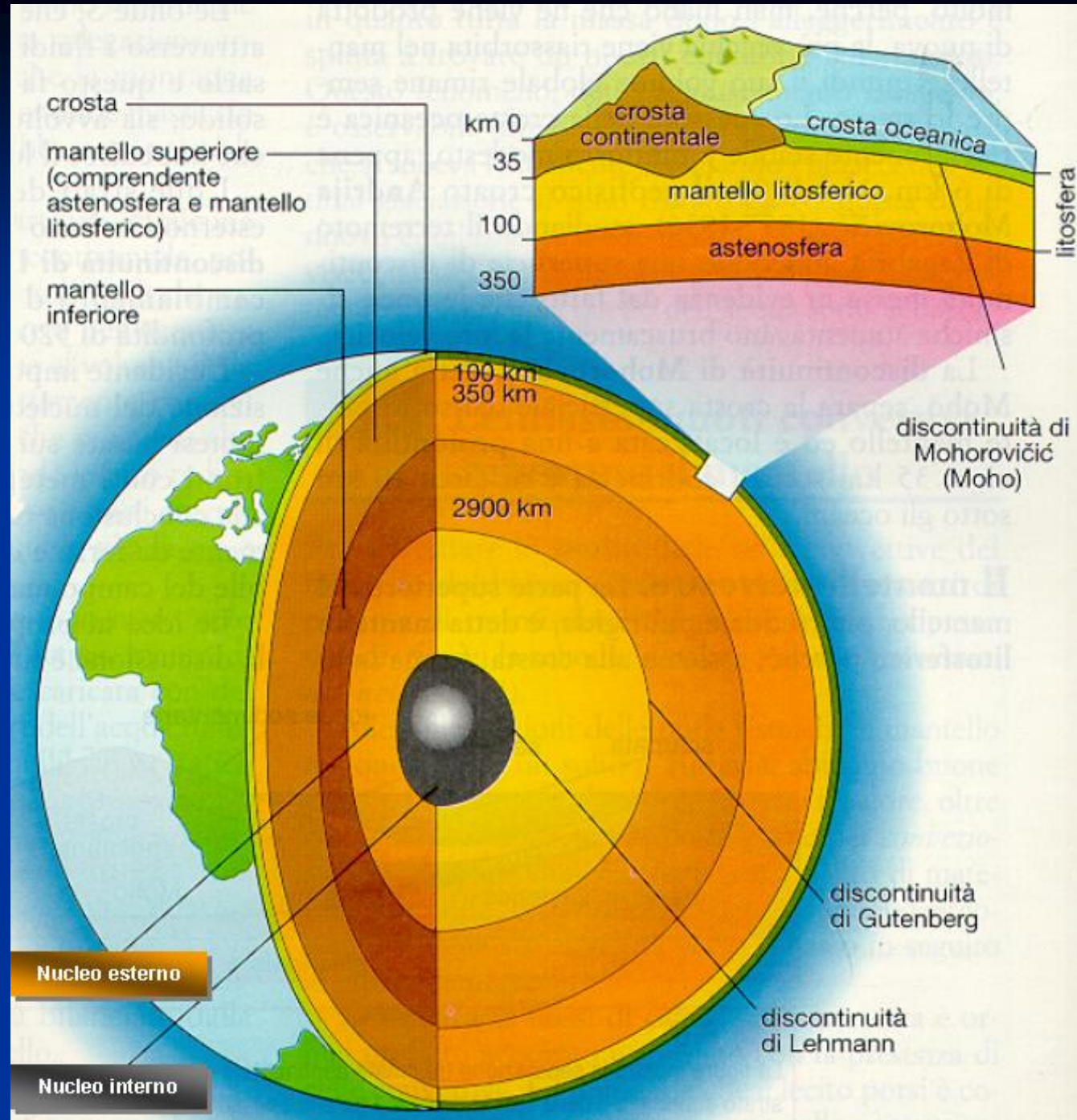
Divisa in crosta continentale e crosta
oceanica

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+2.7 gcm ⁻³
10+40	CROSTA	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' ~2.8 gcm ⁻³ Velocità delle onde P (Vp) nella crosta = 7.7 kms ⁻¹
400	rocce ultrafemiche densità ~3.3 gcm ⁻³	DISCONTINUITA' DI MOHOROVICIC (MOHO)
700	MANTELLLO densità ~3.7+4.5 gcm ⁻³	
2885	Vp = 8.1 kms ⁻¹ materiali ricchi in silicati di Fe e Mg densità variabile da ~3.9 a ~5.1 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
	Vp = 13.7 kms ⁻¹	DISCONTINUITA' DI GUTENBERG
	Vp = 8.1 kms ⁻¹	
5200	NUCLEO ESTERNO densità variabile da ~11 a ~14 gcm ⁻³	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 = 10.4 kms ⁻¹	DISCONTINUITA' DI LEHMANN
	Vp = 11.0 kms ⁻¹	
	NUCLEO INTERNO densità fino a ~16 gcm ⁻³	Nucleo interno a comportamento rigido probabilmente costituito da ferro ed altri elementi non ben identificati.
	Vp = 11.3 kms ⁻¹	

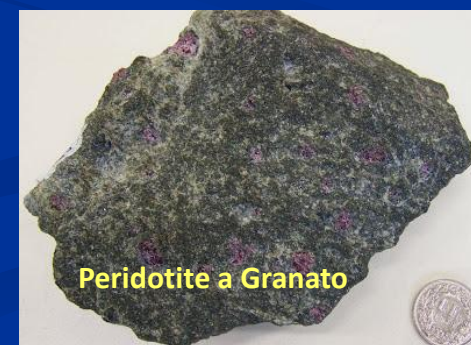
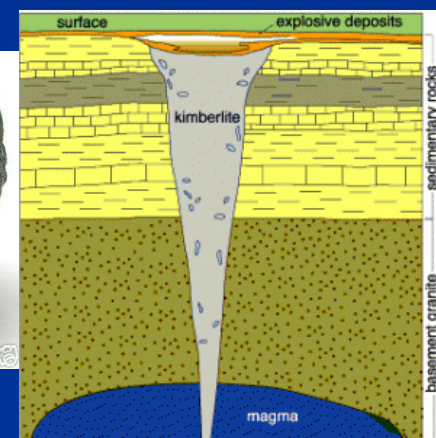
La struttura della terra



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)

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 stime.

1 media aritmetica di 5159 rocce eruttive

2 media pesata di rocce crostali sia continentali che oceaniche

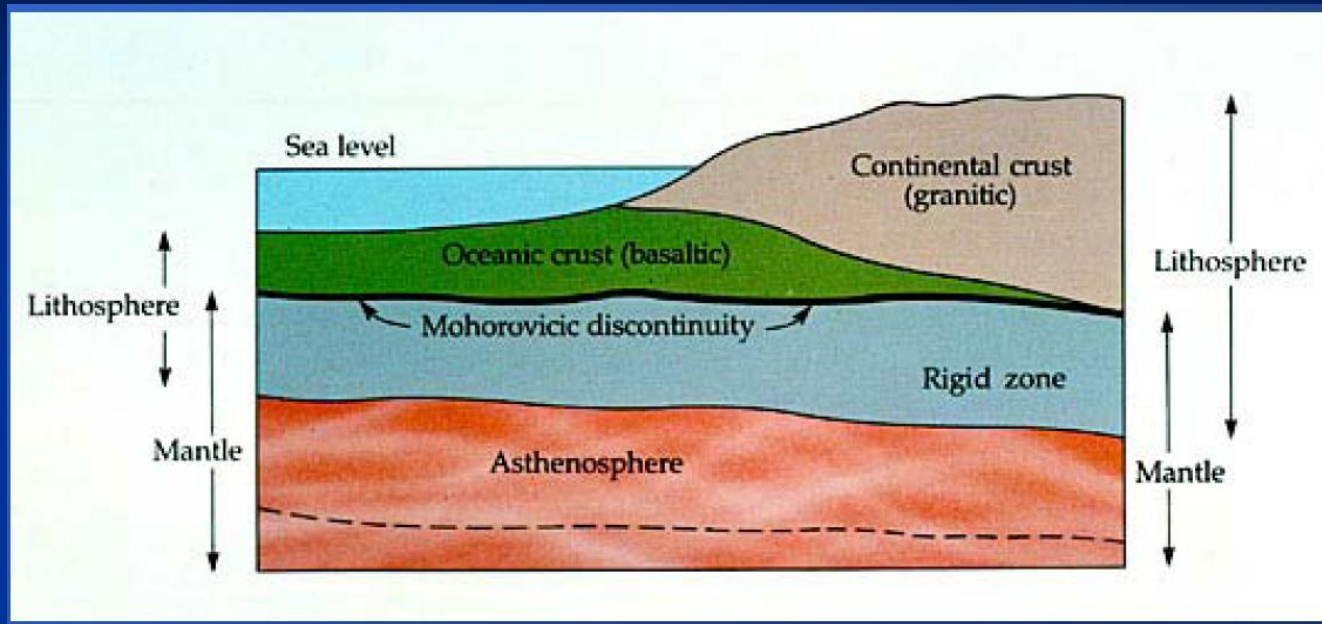
3 media pesata di rocce crostali continentali

4 media pesata di rocce eruttive della crosta superiore

5 media pesata di rocce crostali sia continentali che oceaniche

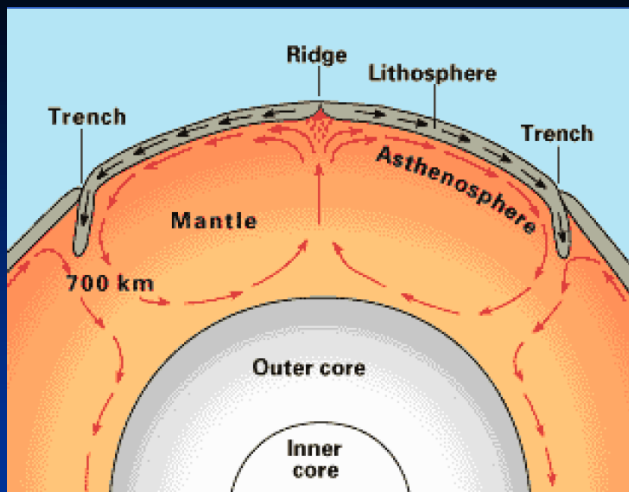
	Clarke & Washington (1924)	Poldervaart (1955)	Taylor (1964)	Wedepohl (1969)	Ronov & Yaroshevsky (1969)
	1	2	3	4	5
SiO ₂	59.1	55.2	60.4	66.4	59.3
TiO ₂	1.0	1.6	1.0	0.7	0.9
Al ₂ O ₃	15.3	15.3	15.7	14.9	15.9
Fe ₂ O ₃	3.1	2.8	7.2	1.5	2.5
FeO	3.8	5.8		3.0	4.5
MgO	3.5	5.2	3.9	2.2	4.0
CaO	5.1	8.8	5.8	3.8	7.2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

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.



Crosta oceanica

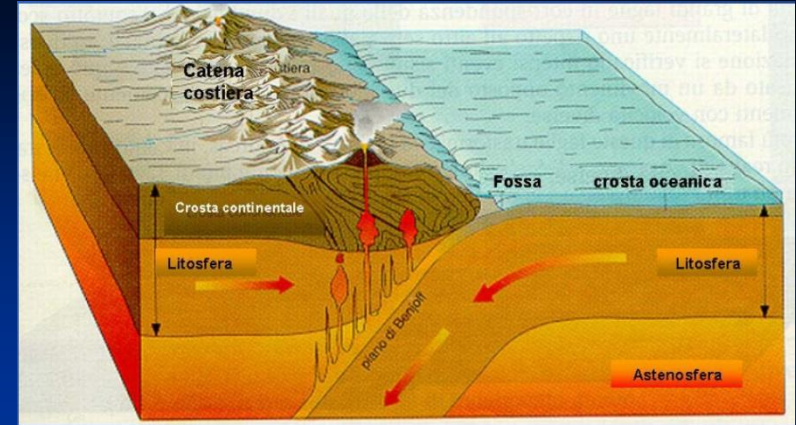
Contenuto medio dei principali elementi chimici nella crosta oceanica (analisi di 1266 campioni di Mid-Ocean Ridge Basalts - MORB).

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.

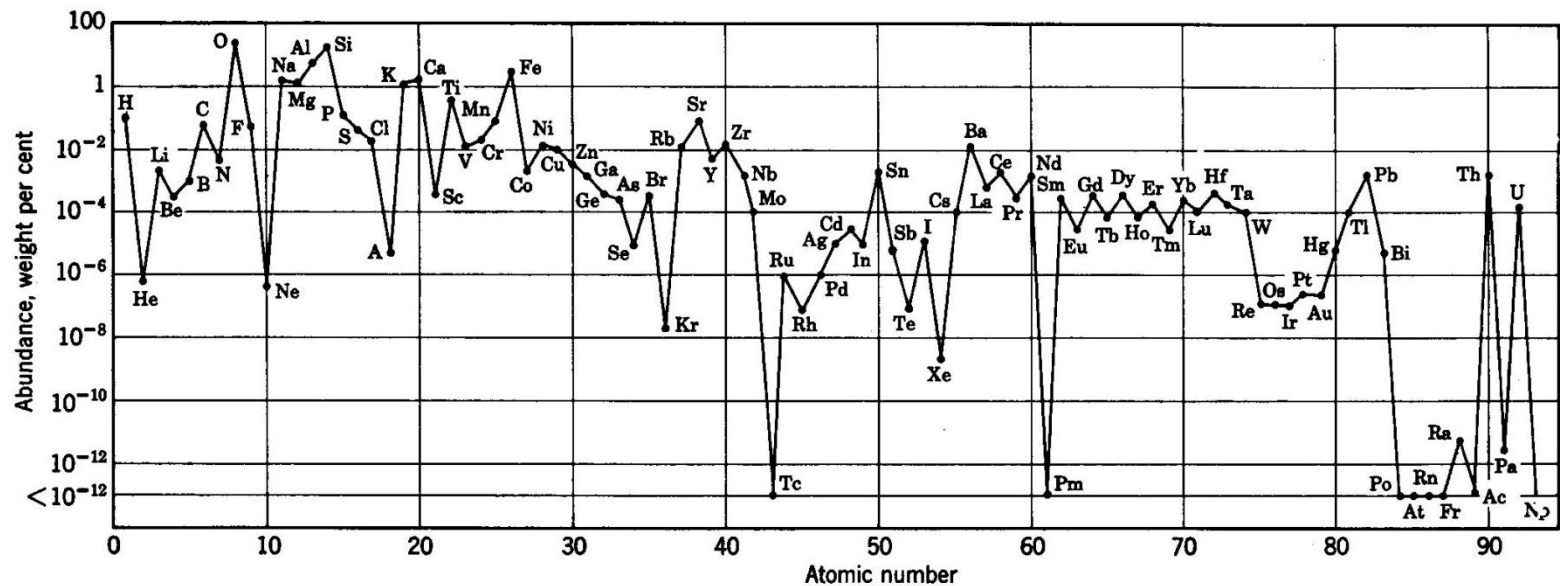
Composizione media della Crosta

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 + plagioclasti)	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. **solfori (es. pirite)**
5. **solforati (es. gesso)**
6. **fosforati (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 della crosta terrestre 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.**

concentrazione dell’elemento nel deposito minerale

Clarke di concentrazione =

abbondanza crostale dell’elemento

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
Au	0.0000004	0.0008	2000

Per poter ricavare degli elementi utili per l'uomo, in modo economicamente conveniente, è **necessario individuare** i siti dove risultino **anomalie di concentrazione positive** 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 geochimiche 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.

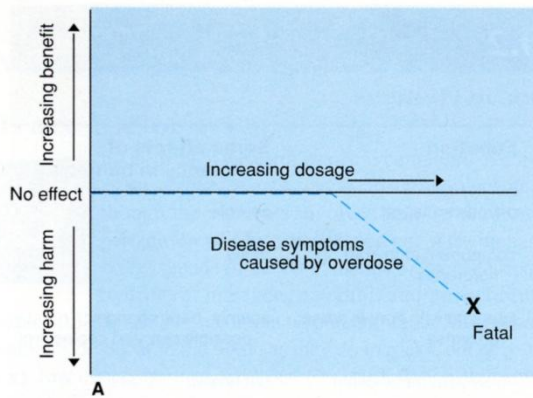
Oggi la geochimica, non è più finalizzata unicamente allo sfruttamento delle risorse minerarie, ma sta diventando uno strumento utile alla localizzazione di quegli elementi in traccia significativi per la vita.

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

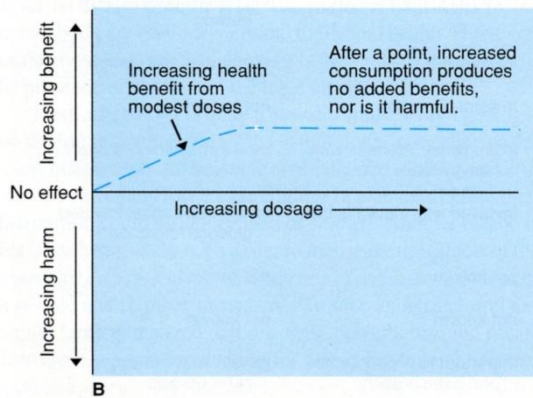
Gli elementi in traccia sono più importanti delle vitamine in quanto non possono essere sintetizzati, ma devono essere presenti nell'ambiente entro un intervallo di concentrazioni relativamente ristretto, al di fuori del quale si possono verificare danni dovuti sia alla carenza che alla tossicità per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

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

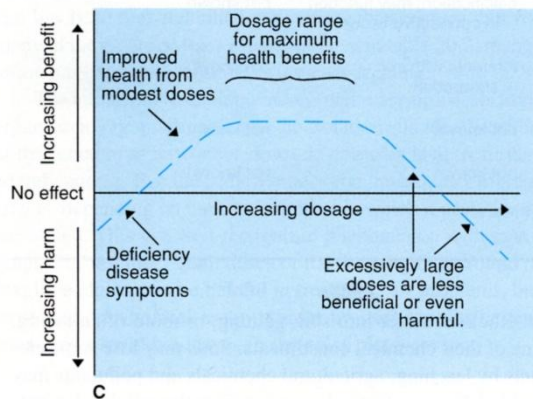
Effetti benefici o tossici in risposta alle dosi assunte



← 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)

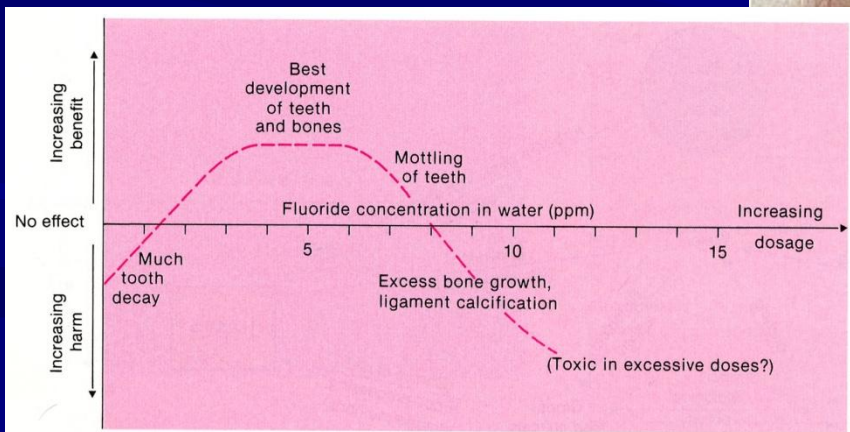
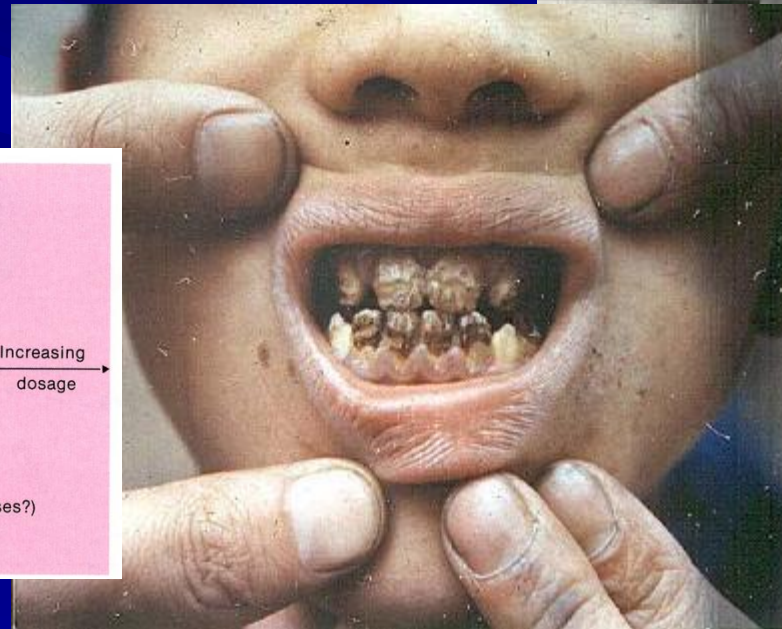
- nella crosta terrestre in alcune centinaia di ppm, nelle acque naturali in pochi ppm
- necessario per ridurre l'incidenza della carie (concentrazione ideale 1 ppm → 1 mg/l)
- 0.3-5 mg/giorno = dosi assumibili variabili in base alla dieta → suoli
- importante nella riduzione dell'osteoporosi

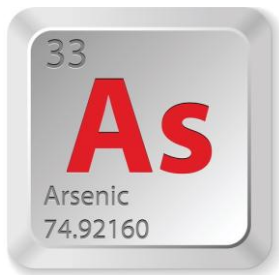
dosi anomali: 2-8 x dosi normali

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): from 50 µg/l (1942) to 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: <math><0.50-3200\ \mu\text{g}/\text{l}</math>
- 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



Hyperkeratosis

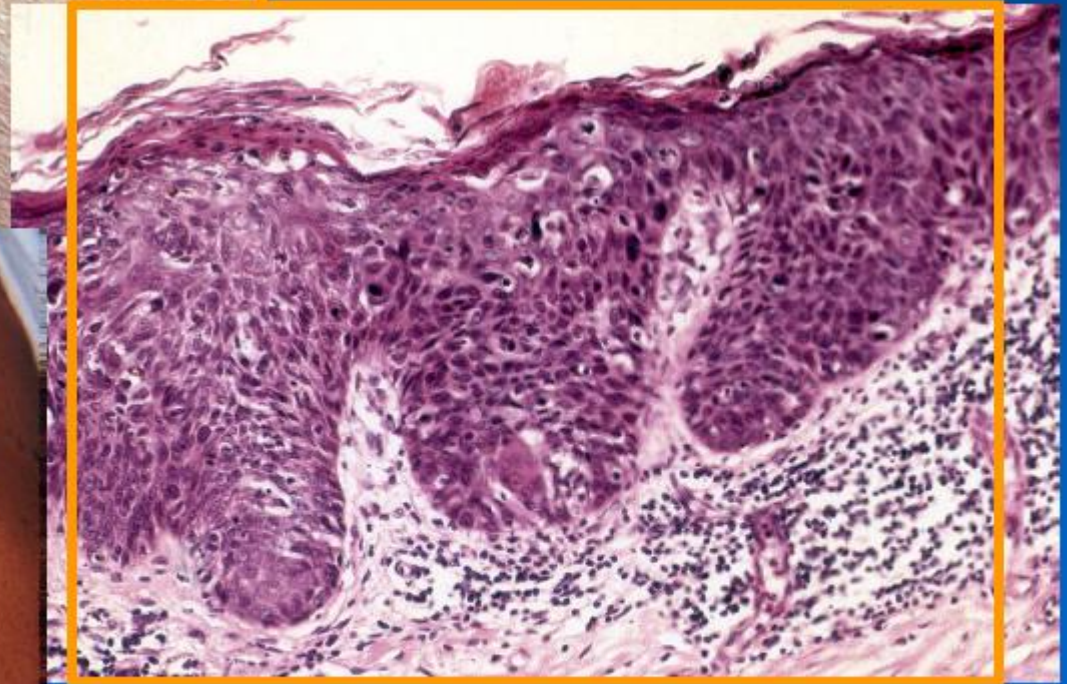
Hyperpigmentation

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

(da J.A. Centeno, Armed Forces Institute of Pathology)

Arsenic-Induced Bowen's Disease

Carcinoma intraepidermico



What is the mechanism for As release in groundwaters?

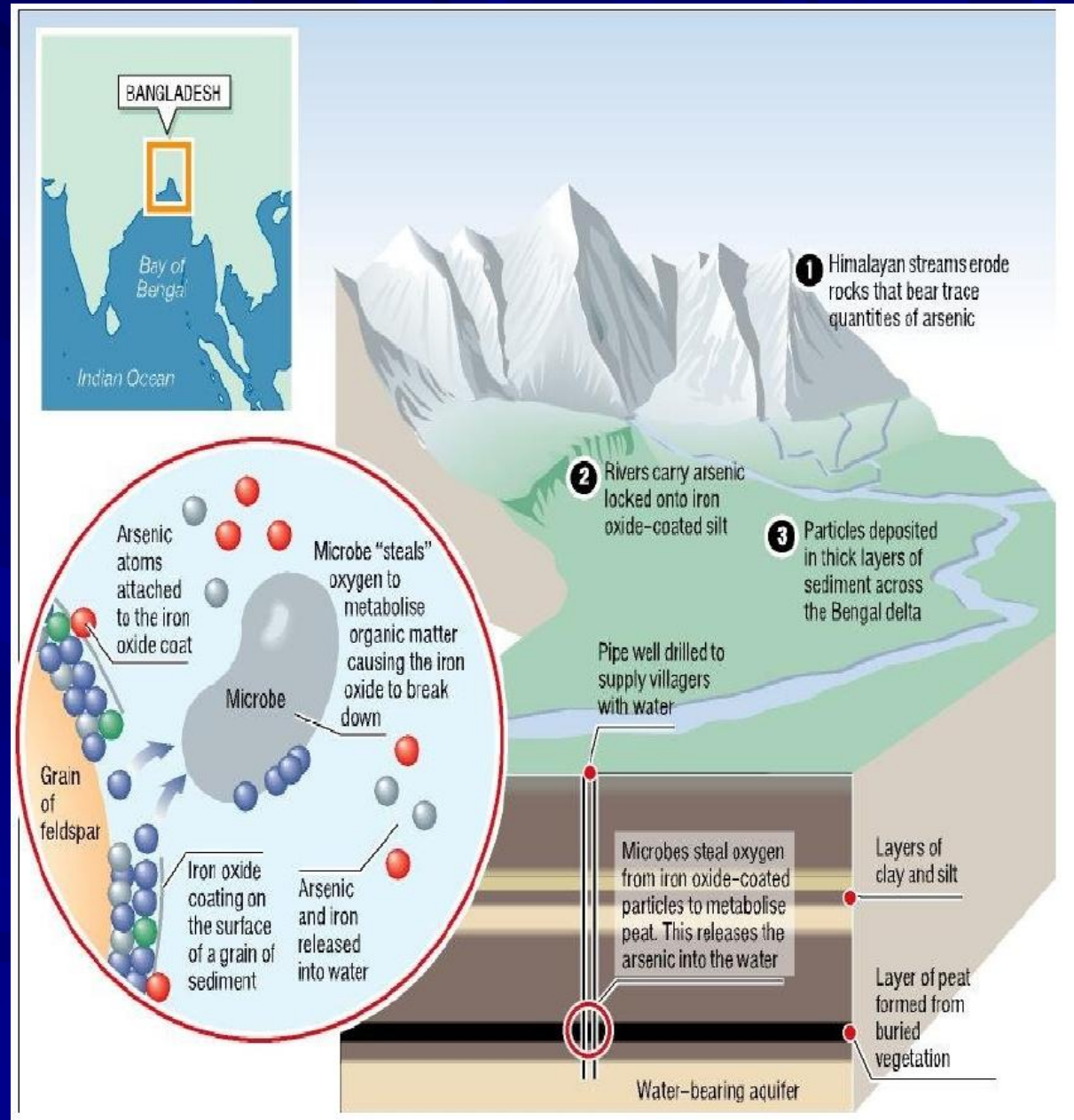
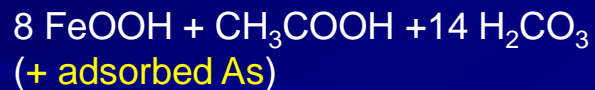


- 1) Oxidation of arsenopyrite (FeAsS) in groundwaters and release of As
$$4FeAsS + 13O_2 + 6H_2O \rightarrow 4Fe^{2+} + AsO_4^{3-} + 4SO_4^{2-} + 12H^+$$
- 2) “Competitiveness” among anions: adsorbed As is released in solution in favour of phosphates (organic matter, fertilizers ?)

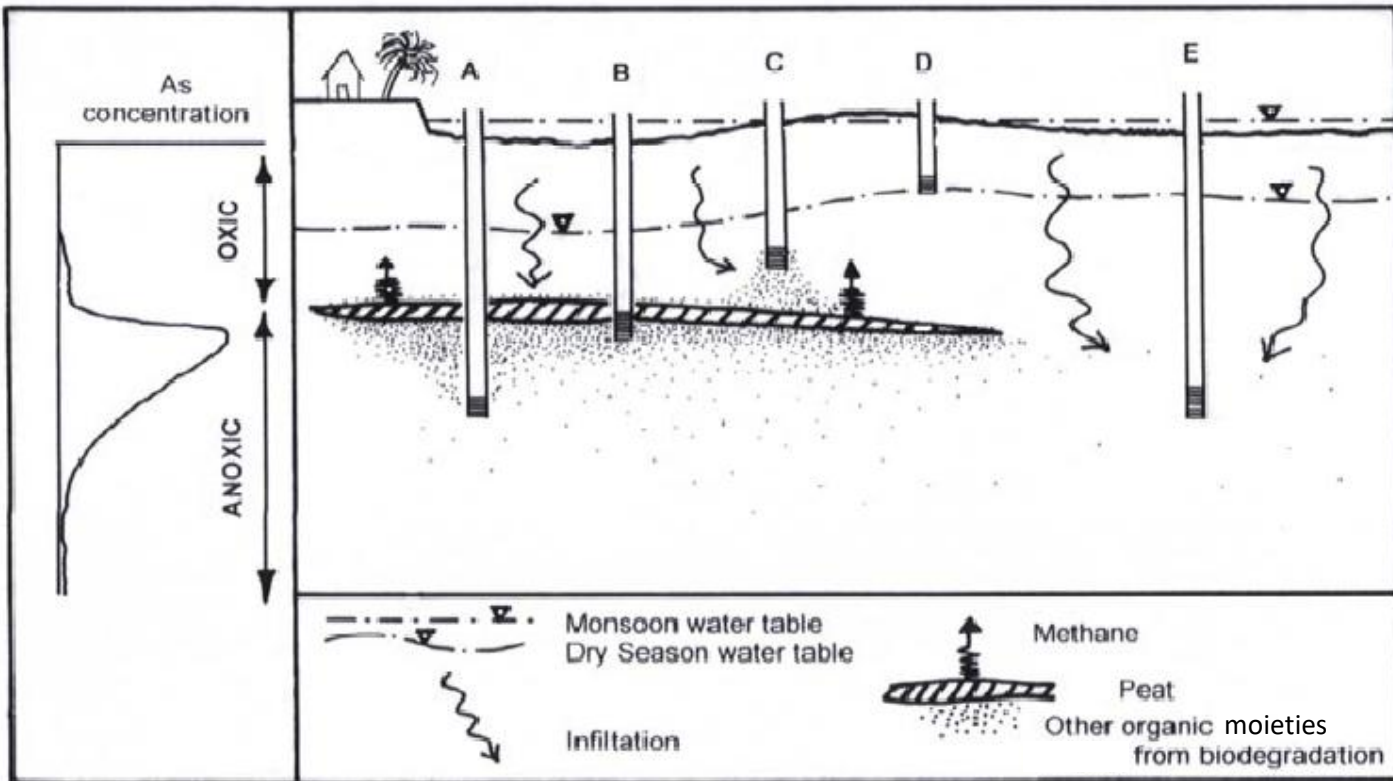
3) the most reliable hypothesis

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?

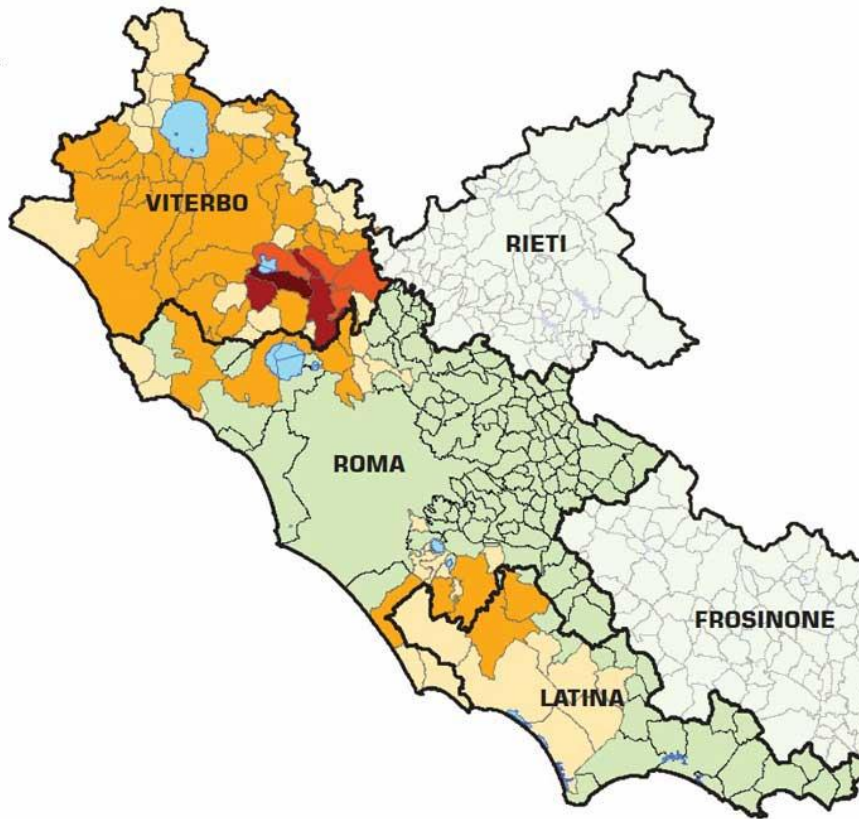


From Ravenscroft et al. (2001). In: *Arsenic Exposure and Health Effects IV*. W.R. Chappell, C.O. et al. (Eds), 53-77, Elsevier Science Ltd., Oxford.

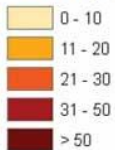
- A) low organic matter, peat level distant, less FeOOH reduction, low As content released in water
- B) high organic matter, peat level close, high FeOOH reduction and As release in water
- C) FeOOH reduction, migration of As and organic matter due to pumping
- D) lower depth well, oxidized zone, no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

Arsenico nelle acque sotterranee in Italia

Kilometers
0 4 8 16 24 32



As (mean µg/L)



L'arsenico nell'acqua

Limite imposto
dalla **direttiva Ue del 1998**
sulla sicurezza delle acque
destinate al consumo

10

Limite massimo
derogabile
(solo per brevi periodi)
secondo l'Oms

20

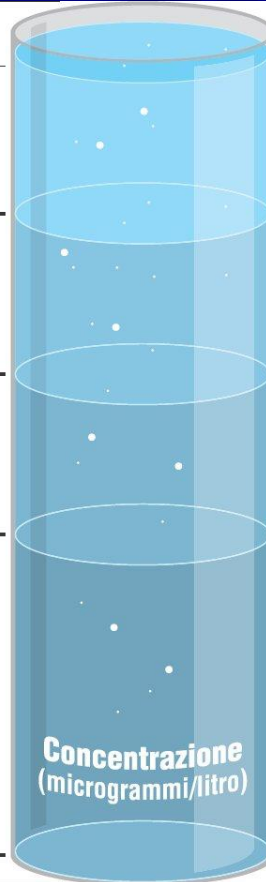
Oltre questo valore
insorgono rischi di **malattie**
quali forme particolari
di cancro

30

Limite autorizzato
in Italia da una **deroga**
(scaduta il primo di gennaio)
e raggiunto in **43 comuni**
in provincia di Viterbo

50

ANSA-CENTIMETRI

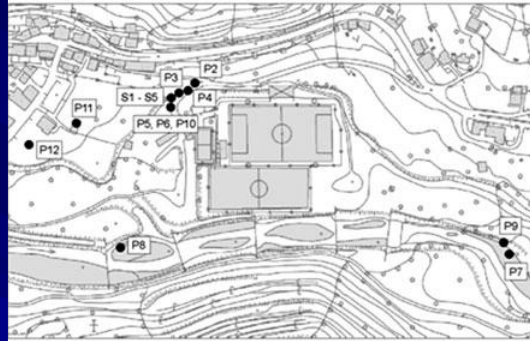


Arsenico nelle acque potabili: a Roma e nella vicina Regione - 7 acquedotti e 500 utenti nella Capitale. In tutto, 90 comuni nella Regione e 300.000 persone coinvolte; in Italia, quasi 1 milione

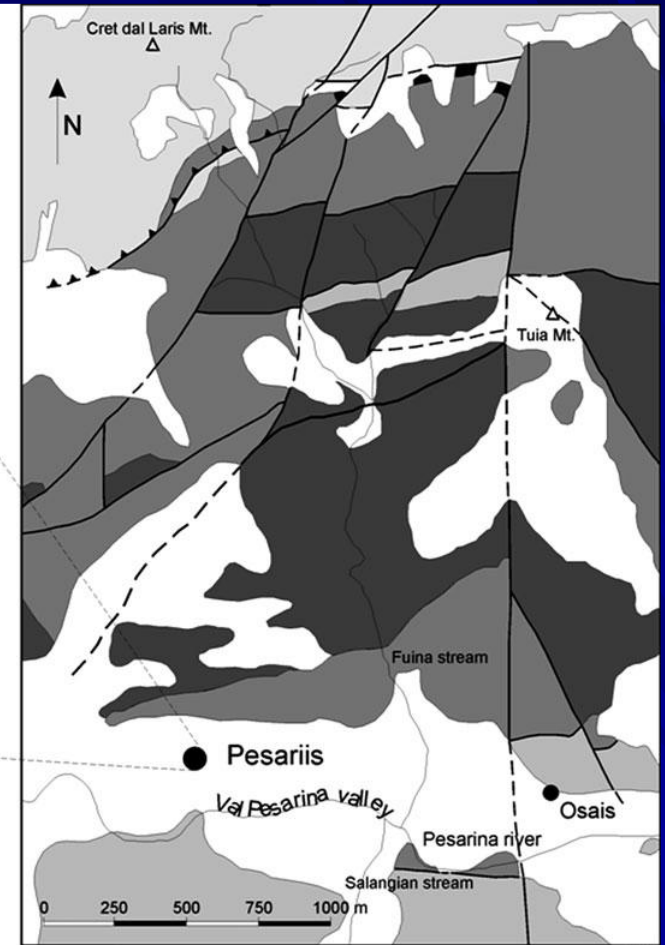
Cause: geologia del territorio.

Soluzione: trattamento con ossido di Fe granulare

Contaminazione naturale di Arsenico nelle acque di sorgente a Pesariis, Alpi Carniche



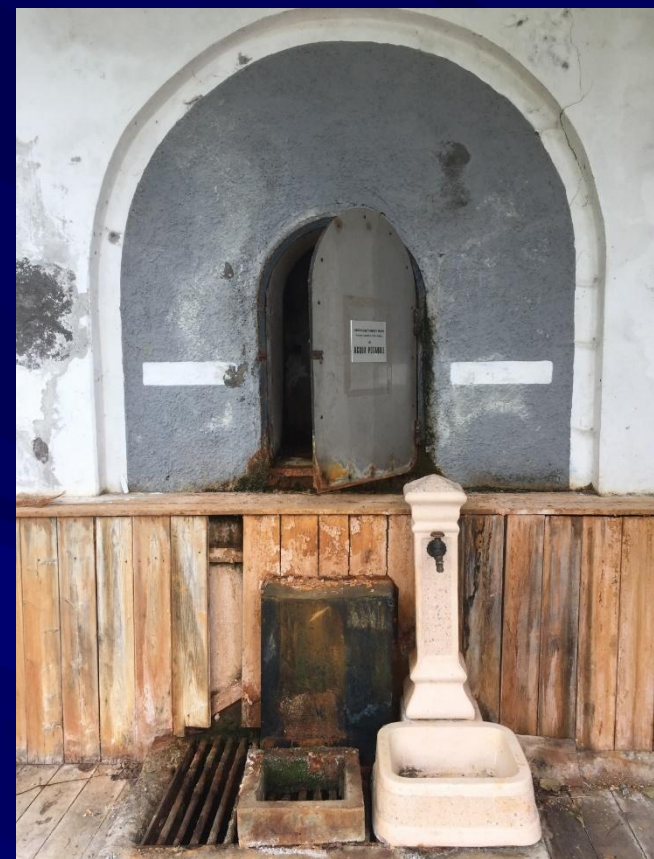
(B)



(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 solforata
Ca-Mg-SO₄

As = 728 µg/l



Scolo sorgente solforata
As = 778 µg/l



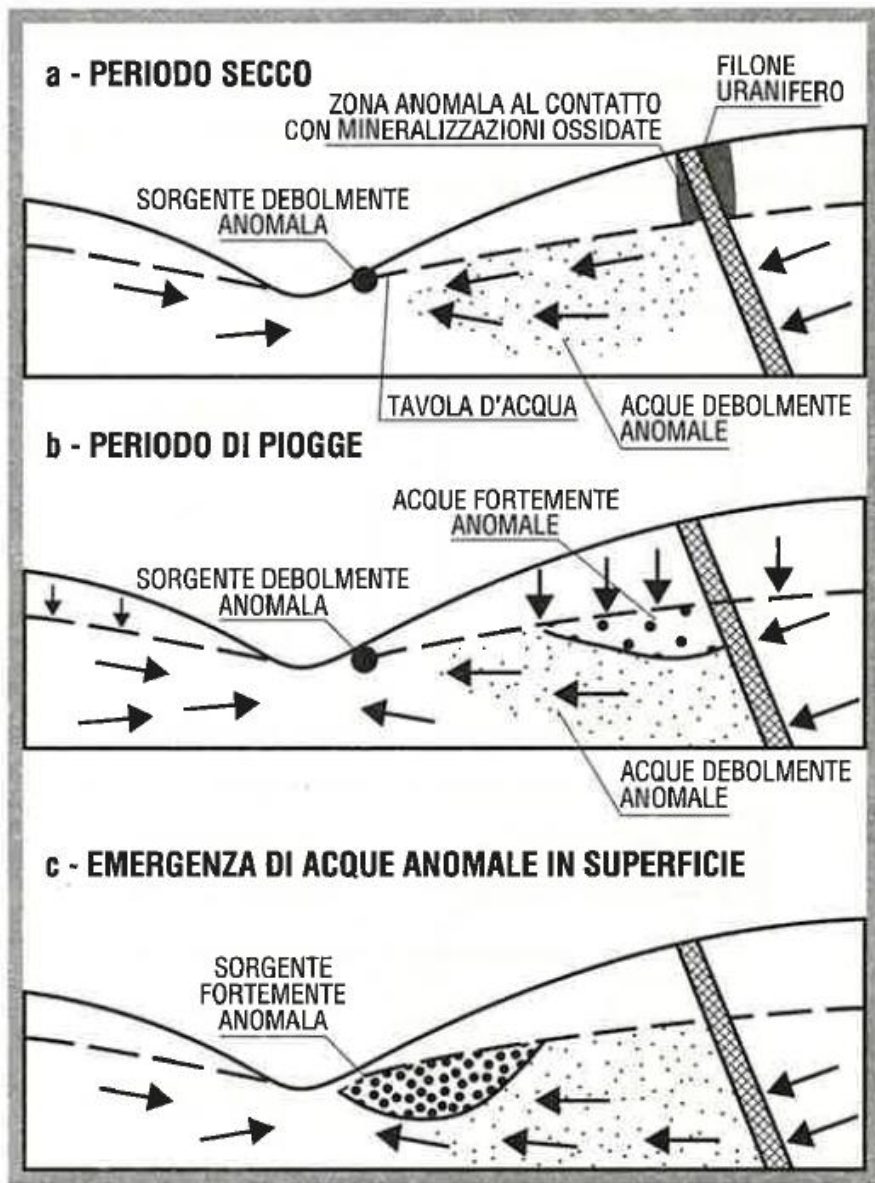


Figura 22 — Esempio di dispersione geochimica prodotta da acque sotterranee (da Germanov et al., 1958, mod.).

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



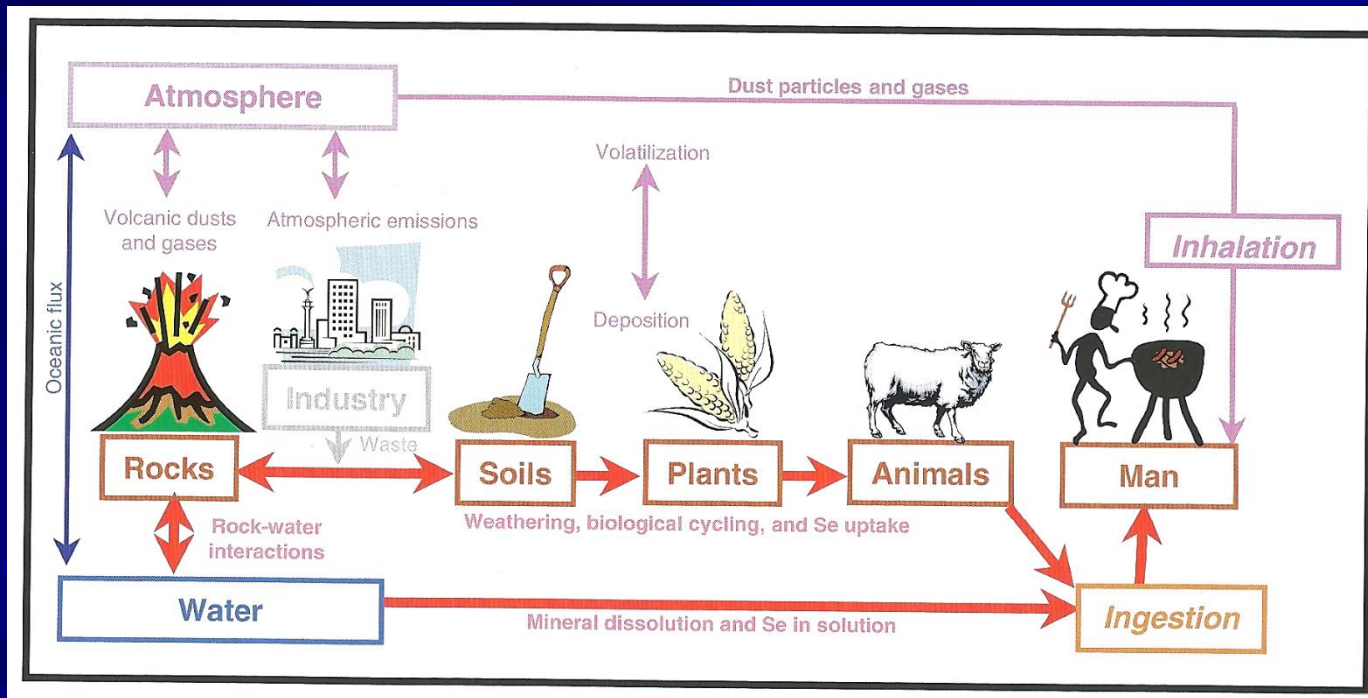
Incremento di concentrazione di Fe e As nelle acque di falda

Selenio (curva tipo C)

Essenziale a basse concentrazioni (antiossidante), tossico se in eccesso !

Carenza alimentare: $<40 \mu\text{g}/\text{giorno}$; livelli tossici: $>400 \mu\text{g}/\text{giorno}$

La geologia influenza la concentrazione di Se nei suoli e nella catena alimentare



(Fordyce, 2005)

Gli effetti sulla salute non dipendono solo dal contenuto totale di Se nelle rocce!

Selenio (curva tipo C)

1817: identificato dal chimico svedese *Jöns Jacob Berzelius*

- XIII sec.: Marco Polo notò una malattia agli zoccoli dei cavalli nel suo viaggio verso la Cina.

- **1931: la Selenosi viene identificata come patologia per essere umani e animali**

- Carenze di Se nel bestiame e nelle colture sono state segnalate in tutto il mondo.



Un certo numero di colture potenzialmente accumulano l'elemento in quantità che possono essere tossiche per gli animali e gli esseri umani.

Ravanello, crescione, cavolo, rapa, colza, senape accumulano Se.

Trifoglio, bietola svizzera, margherita, grano, avena sono poveri accumulatori.

Selenio (curve tipo C)

Abbondanza crostale: 0.05 – 0.09 mg/kg

Cenere e gas dei vulcani possono contenere quantità significative di Se (6-15 mg/kg), ma le rocce vulcaniche (basalti e rioliti) sono solitamente povere di Se. Le rocce sedimentarie contengono concentrazioni di Se (0.1 mg/kg) maggiori rispetto alle rocce ignee.



Rocce fosfatice



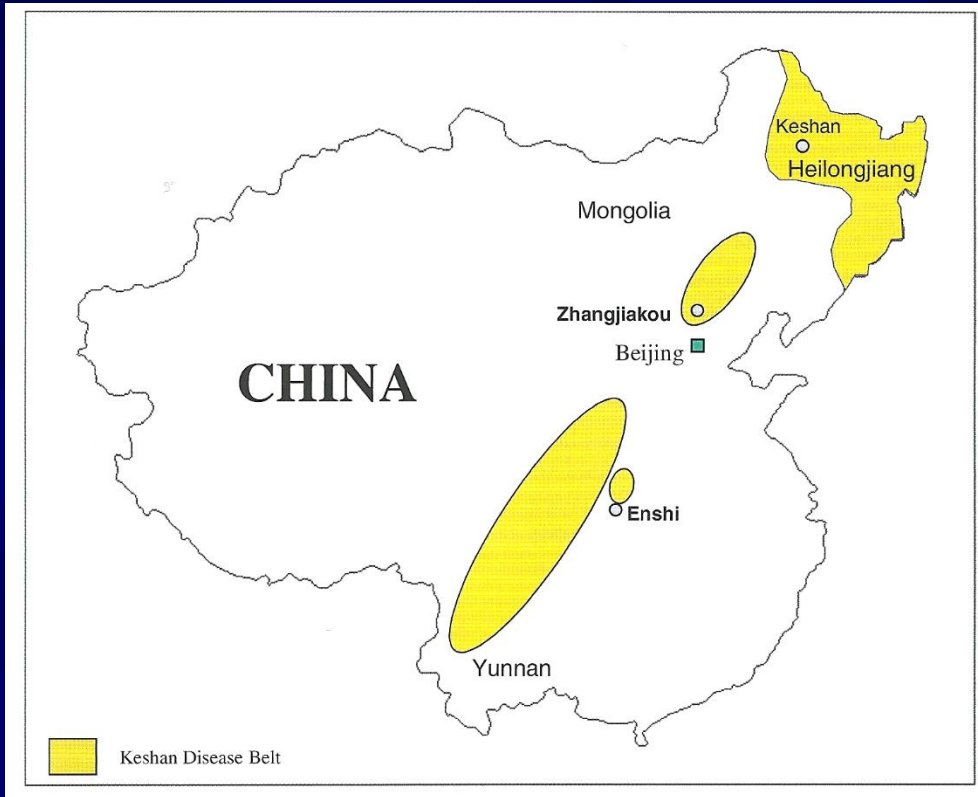
Black shales



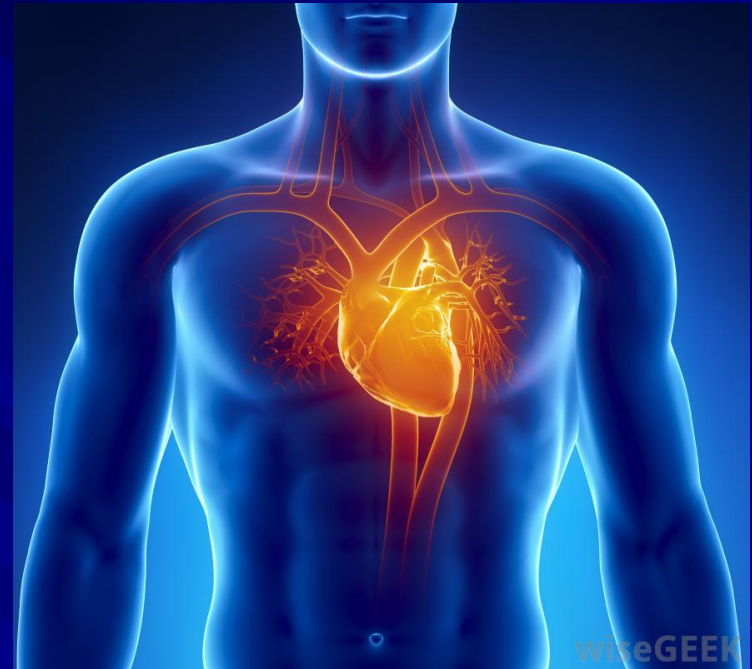
carbone

Concentrazioni molto elevate (≤ 300 mg/kg) nelle rocce fosfatice a causa della somiglianza tra gli anioni fosfato e selenito; concentrazioni elevate (1-20 mg/kg) anche nel carbone e nei depositi ricchi di sostanze organiche.

Selenium deficiency (curve type C)



(Tan, 1989 from Fordyce, 2005)



Keshan disease juvenile cardiomyopathy affecting women and children: acute insufficiency of the heart function or as a chronic moderate-to-severe enlargement of the heart.

Remote areas in China where Se in soils and crops was very low (<0.04 mg/kg)

Selenium deficiency (curve type C)



In Siberia, China, South Korea
and Africa

Kashin-Beck* disease endemic osteoarthropathy
causing deformity of the affected joints



Impairment of movement in the extremities is
commonly followed by bone development
disturbances such as shortened fingers and toe
and, in more extremes cases, dwarfism

Se deficiency also adversely affects thyroid
hormone metabolism

* *The Russian scientists who first described it (1861-1899)*

Selenium toxicity (curve type C)

Hydrogen Selenide (HSe^-) is the most toxic compound by inhalation.
Sodium selenite (Na_2SeO_3) is the most toxic via ingestion.
Elemental Se in the diet has low toxicity as it is insoluble.



Figure 2: Clubbing, onychomadesis, onycholysis, nail bed erythema, and granulation



Hair and nail loss were the prime symptoms of the disease in China in the 1960s, but disorders of the nervous system, skin, poor dental health, garlic breath and paralysis were also reported.

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 vulcaniche alcaline e graniti
- scisti neri (black shale)

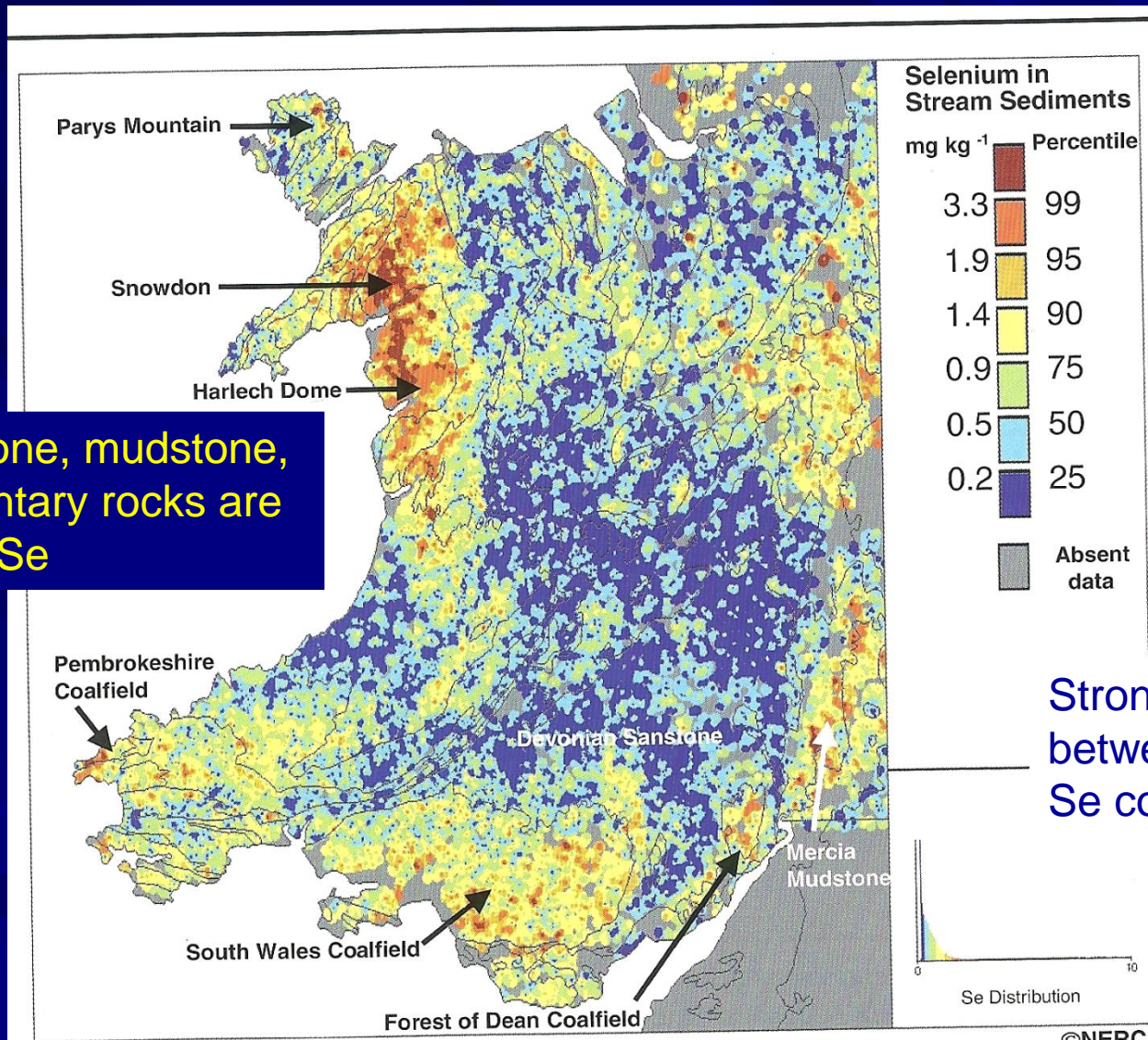
Cr, Ni, Co e Mg

As, Cd, Cu, Pb, U, Zn

F, U, Th, Li, Be, Rn

Cd, Mo, V, As

Selenium (curve type C) in stream sediments of Wales (UK)

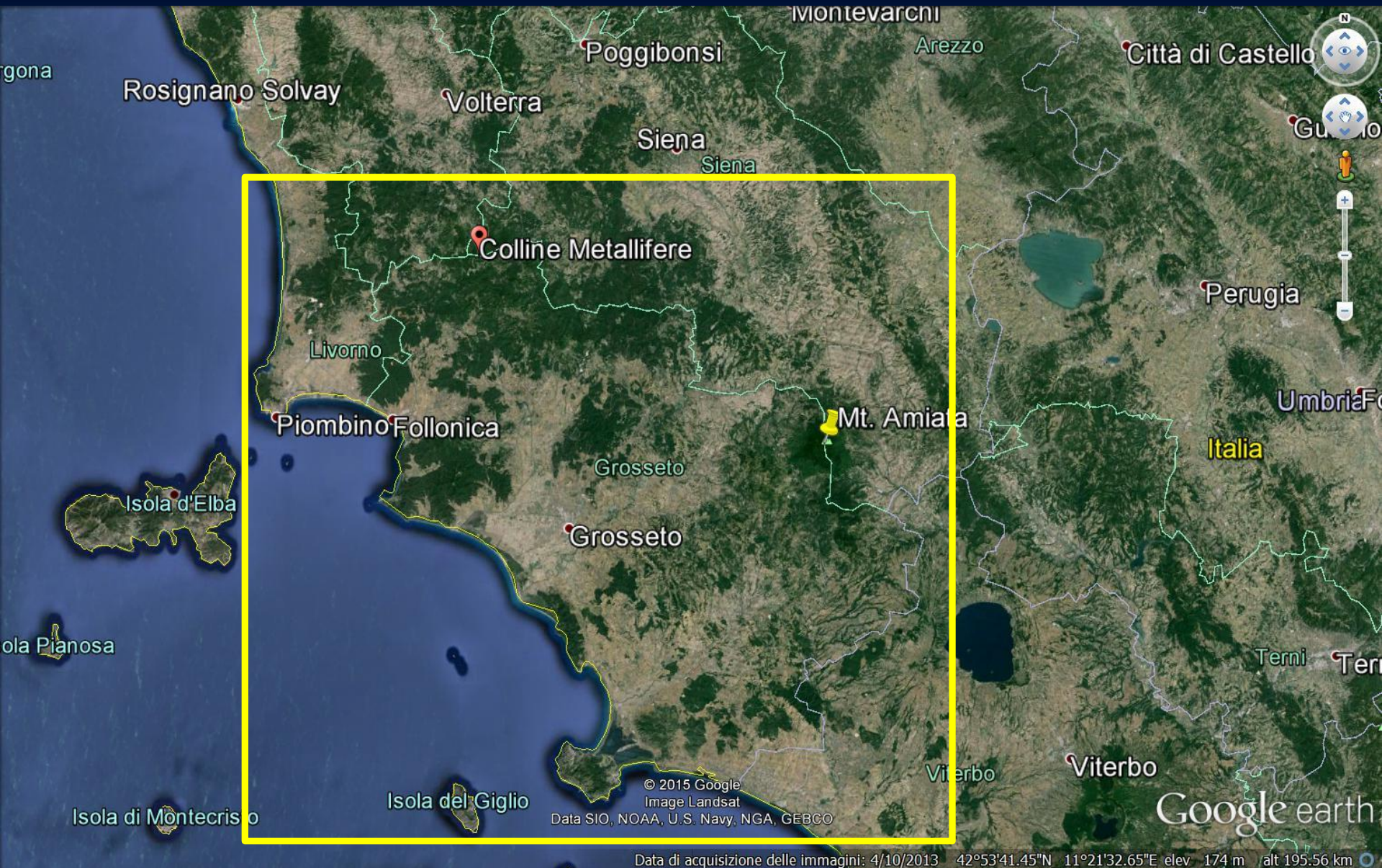


Sandstone, mudstone, sedimentary rocks are poor in Se

Strong relationship between geology and Se concentrations



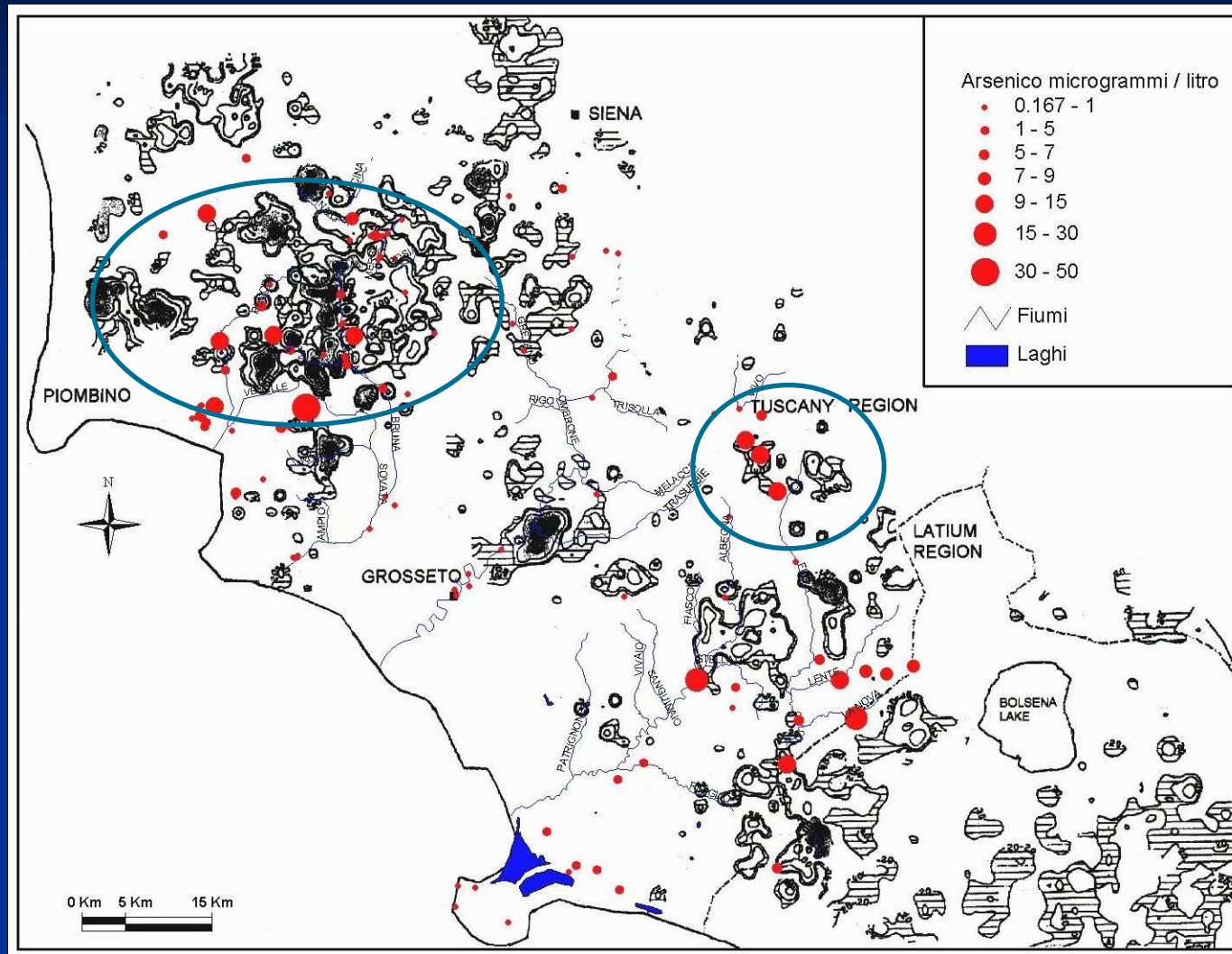
(BGS, 2000 from Fordyce, 2005)



Data di acquisizione delle immagini: 4/10/2013 42°53'41.45"N 11°21'32.65"E elev. 174 m alt 195.56 km

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

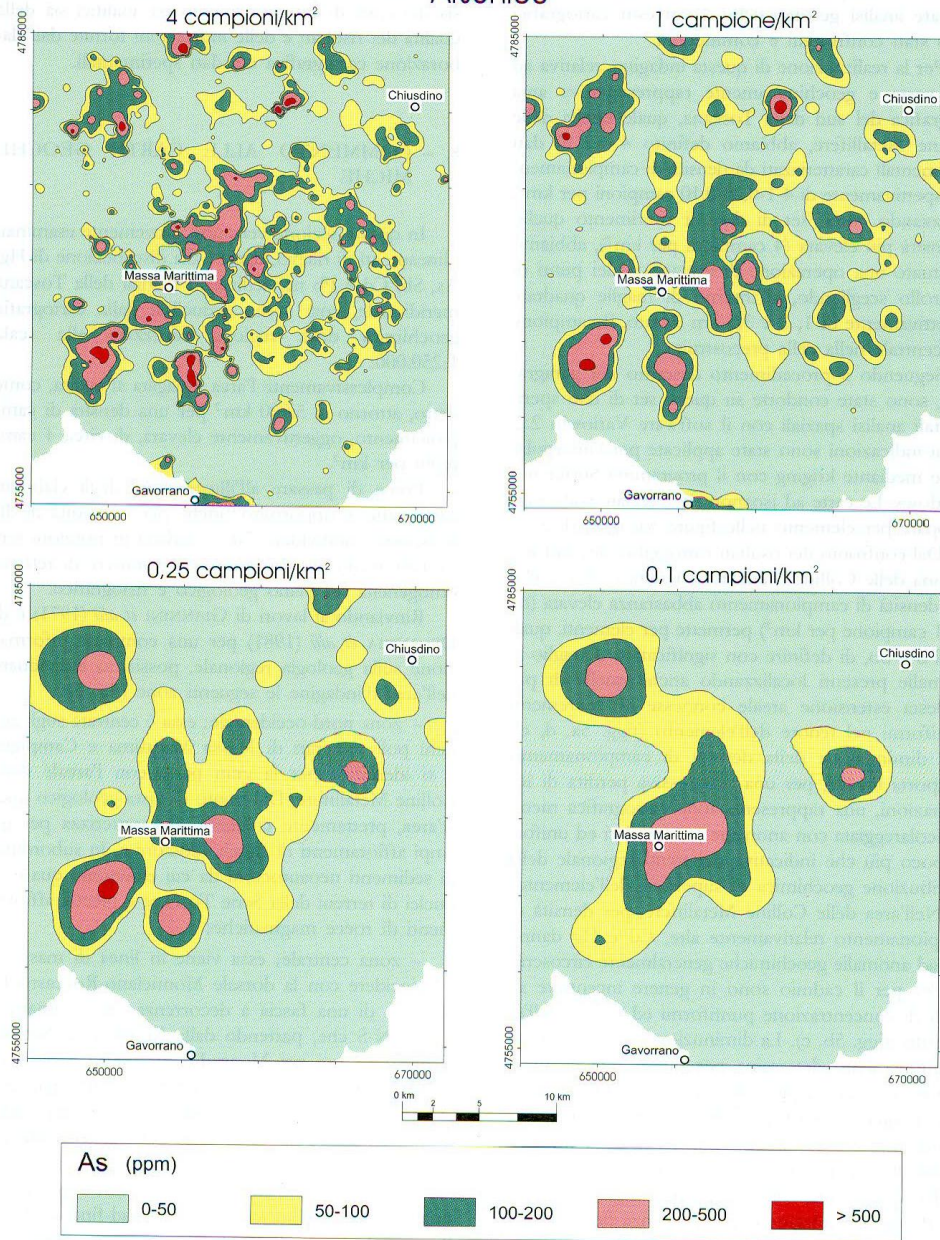


Fig. 5a - Andamento delle isonome per As nell'area delle Colline Metallifere sulla base di differenti densità di campionamento. Notare come al di sotto della densità di campionamento di 1/Km² (vedi anche figg. 5b, c, d, e) si perdano sensibilmente le informazioni circa l'articolazione delle anomalie.

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

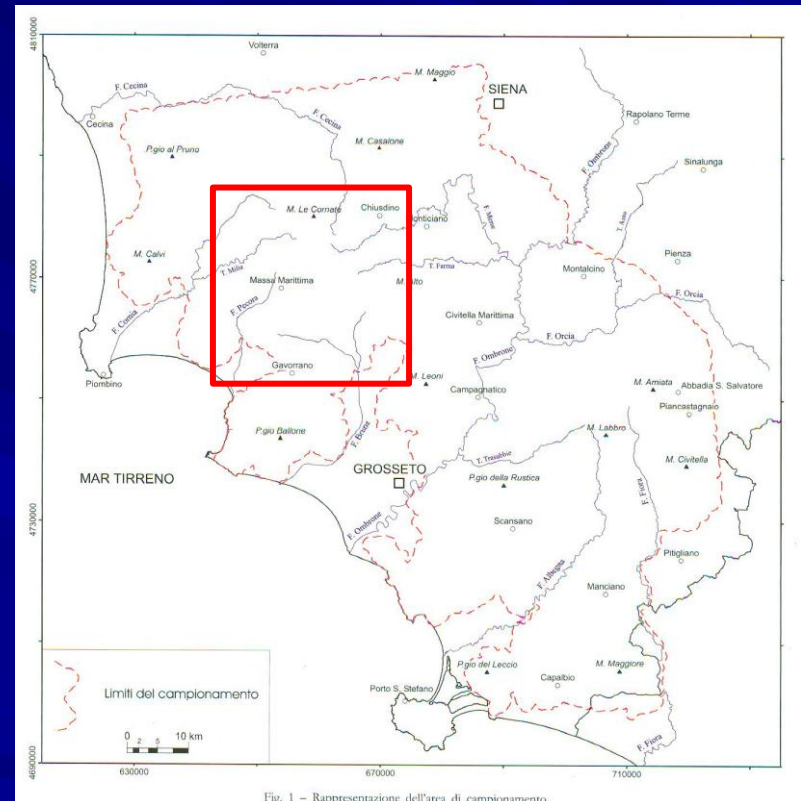


Fig. 1 - Rappresentazione dell'area di campionamento.

Mercurio negli *stream sediments* nell'area del Monte Amiata: campionamenti ed analisi ripetuti a distanza di tempo.... → persistenza della contaminazione



anomalie «croniche»

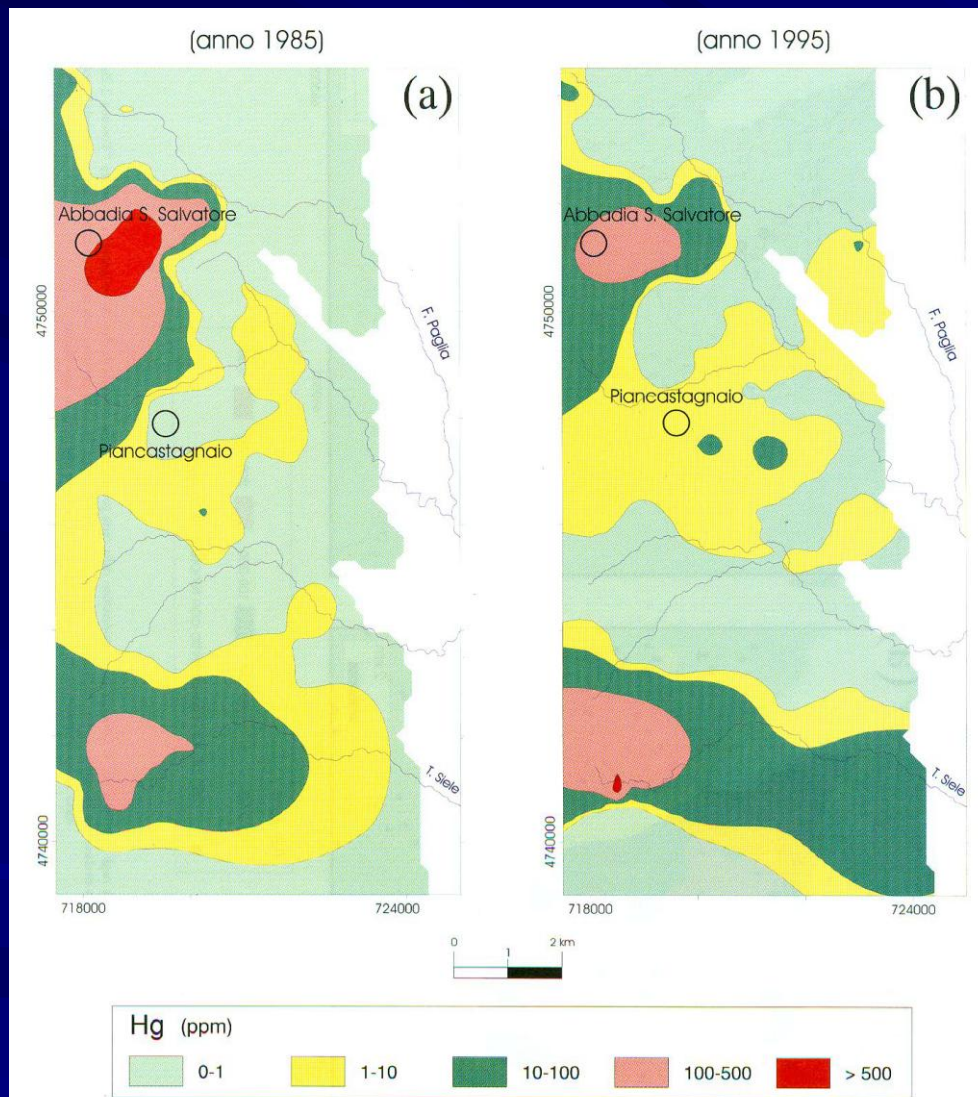
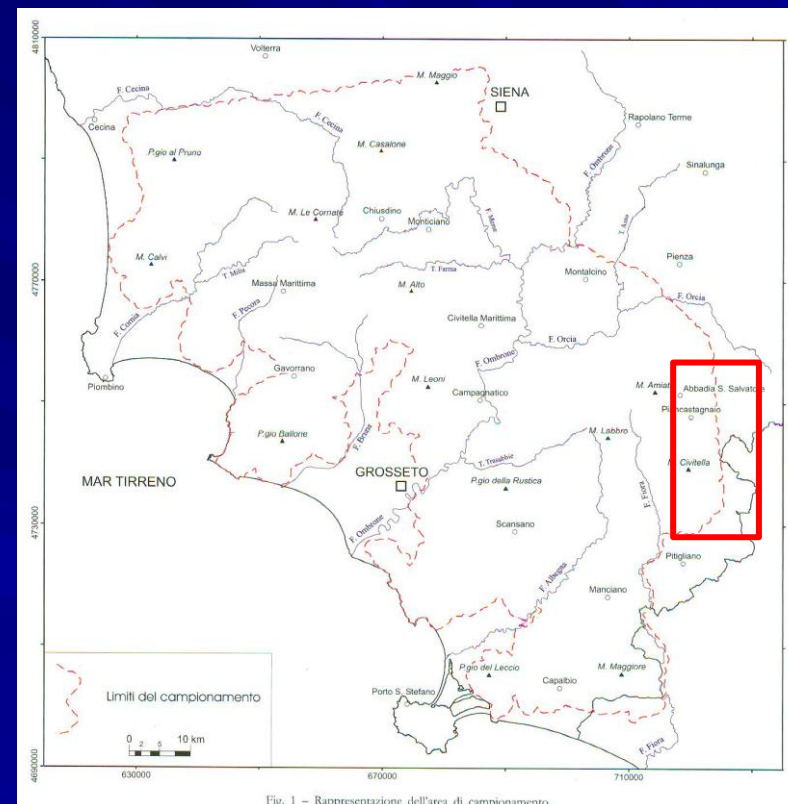
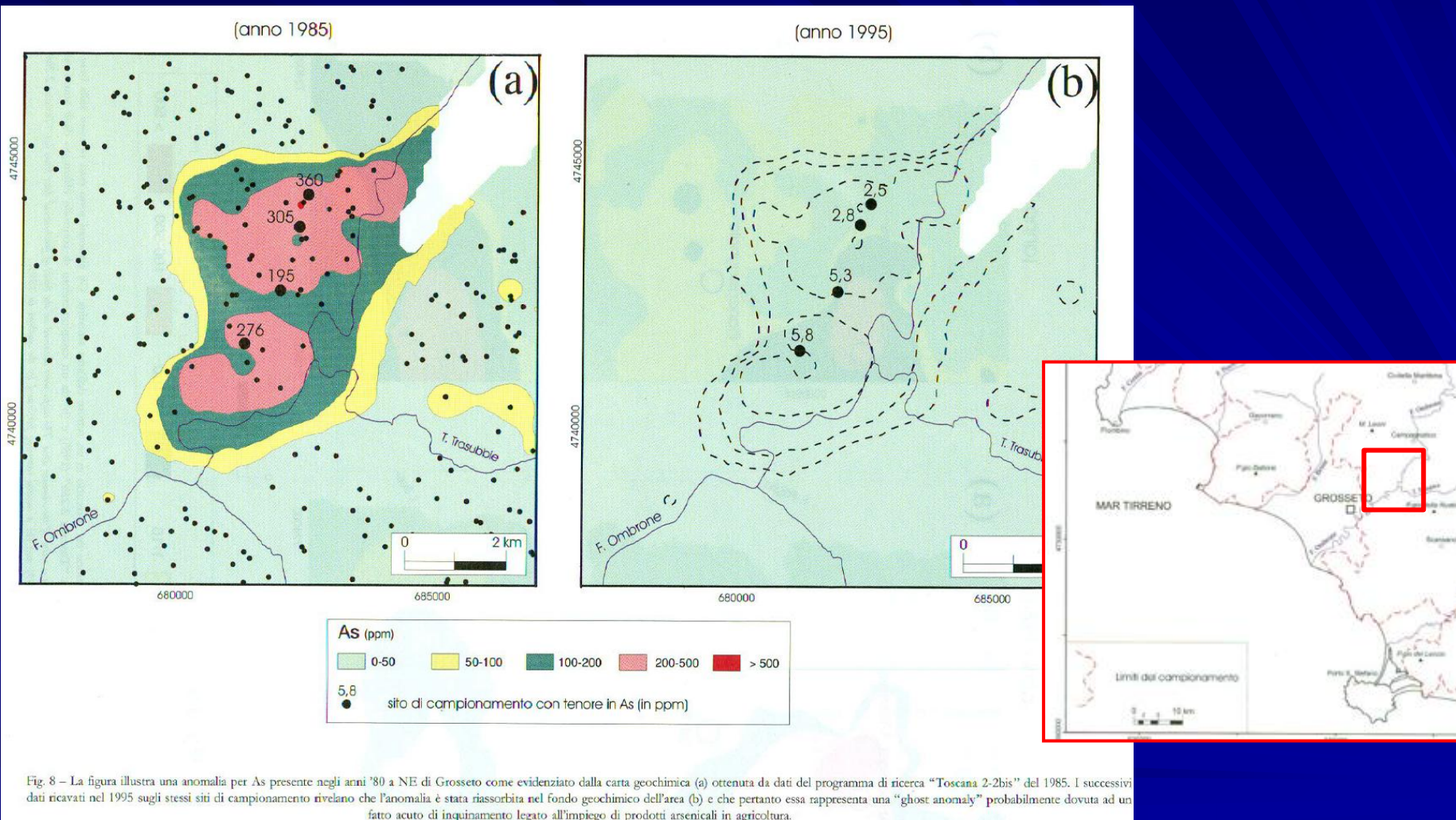


Fig. 7 - Carte geochimiche relative alla distribuzione del mercurio in un settore dell'area amiatina. Gli elaborati sono stati ottenuti sulla base di dati geochimici ricavati (a) dal programma di ricerca "Toscana 2-2bis" (1985) e (b) da un campionamento di controllo effettuato dagli autori nel 1995.

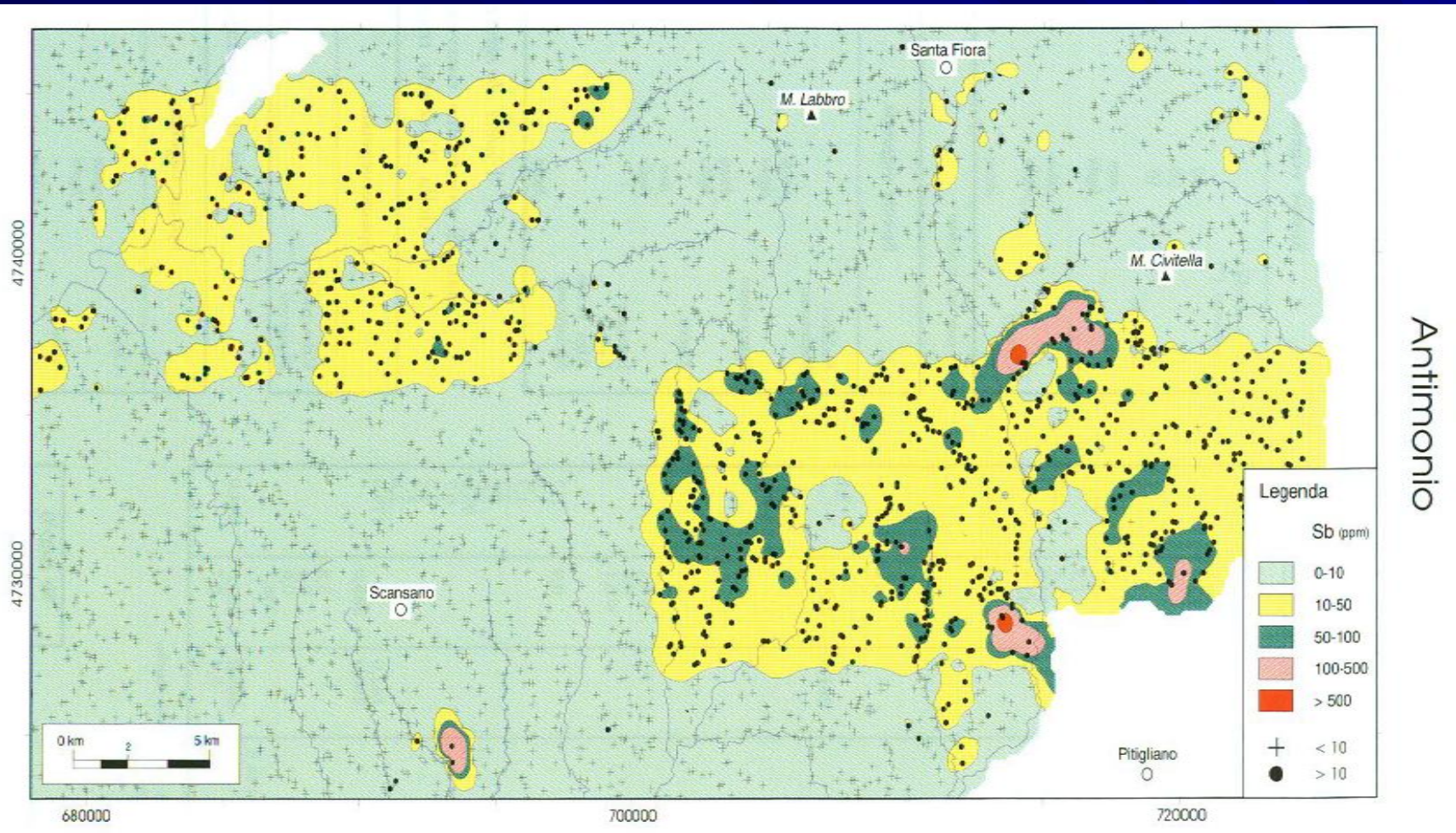


Anomalie di **Arsenico** nell'area nord-est di Grosseto non confermate a distanza di un decennio....
 probabile fonte antropica (agricoltura → disinfestanti e/o fertilizzanti)



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

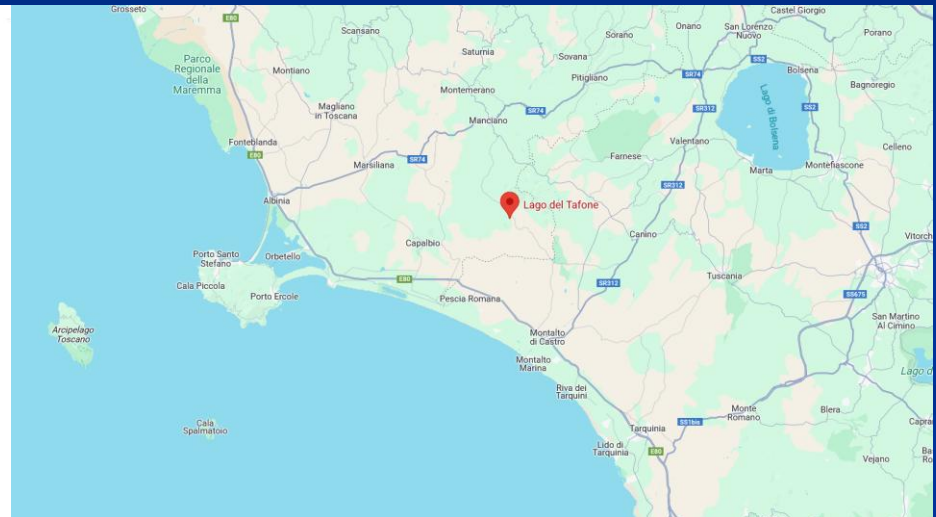
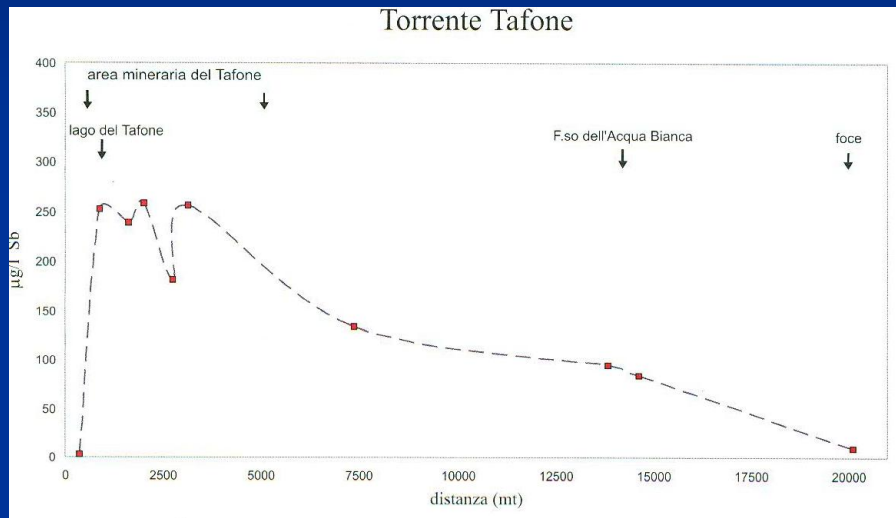
Termalismo associato alla tettonica (lineamenti di fratture subsuperficiali E-W)



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

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»

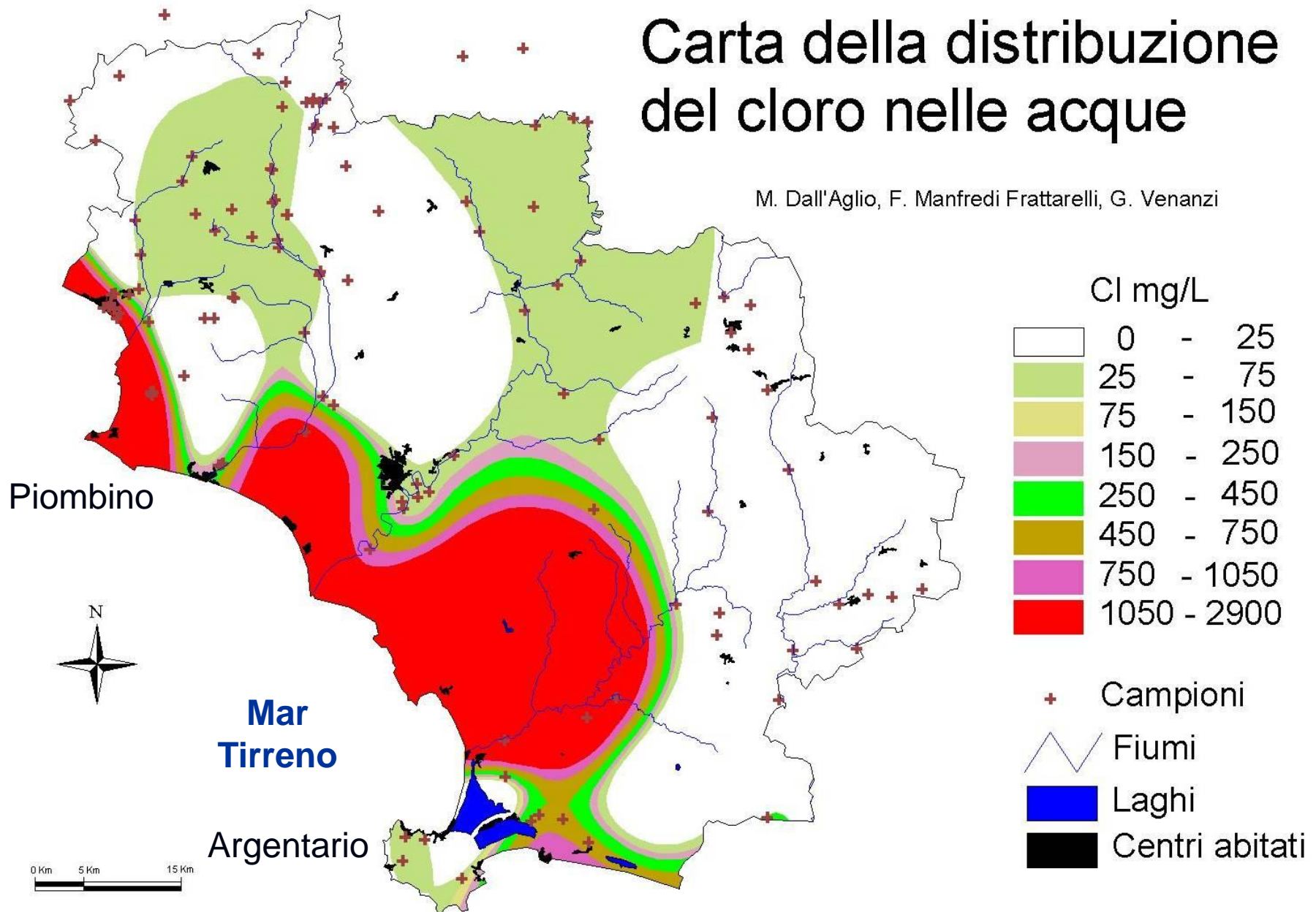


Protano et al., 1998 Mem. Soc. Geol. It.

La **cartografia geochimica** 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



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

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"

2022-26: "Valutazione della potenziale mobilità del Tallio dai bacini minerali di Cave del Predil"

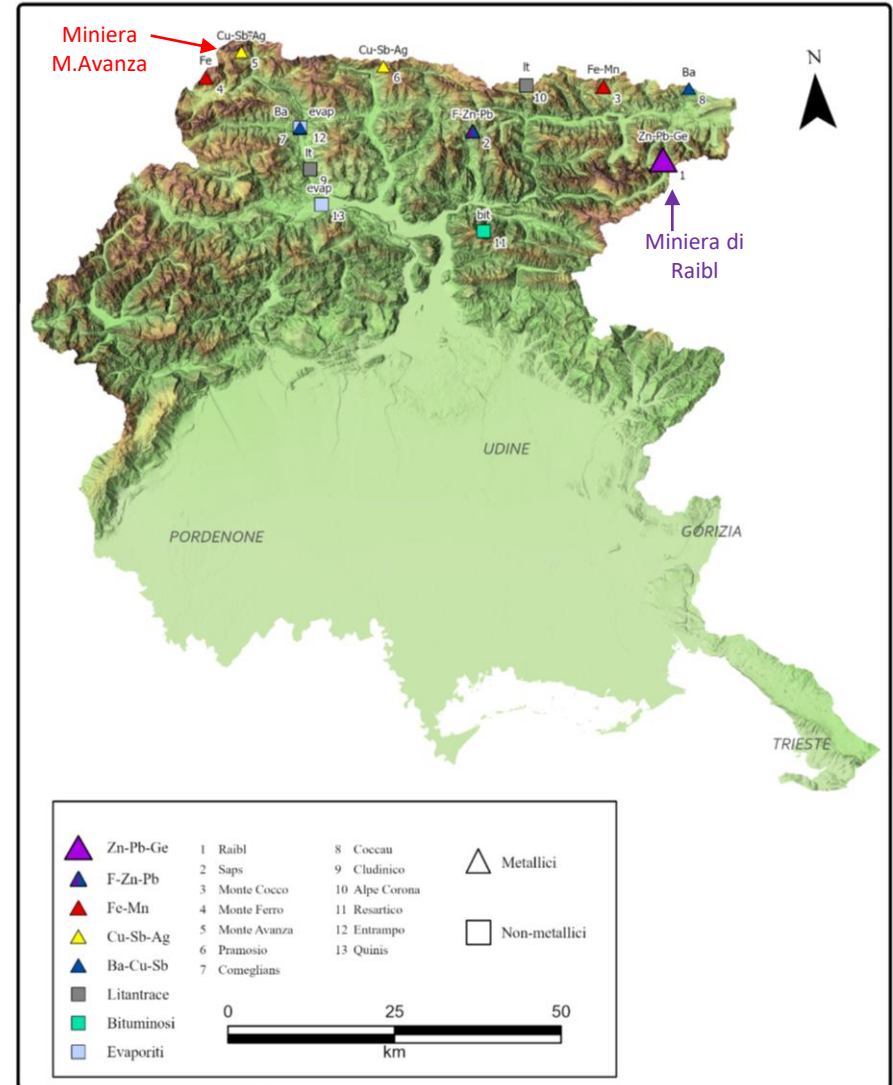
Work in progress

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"

2023-26: "Strutture di deposito nelle aree minerarie del Friuli Venezia Giulia e loro preliminare caratterizzazione"

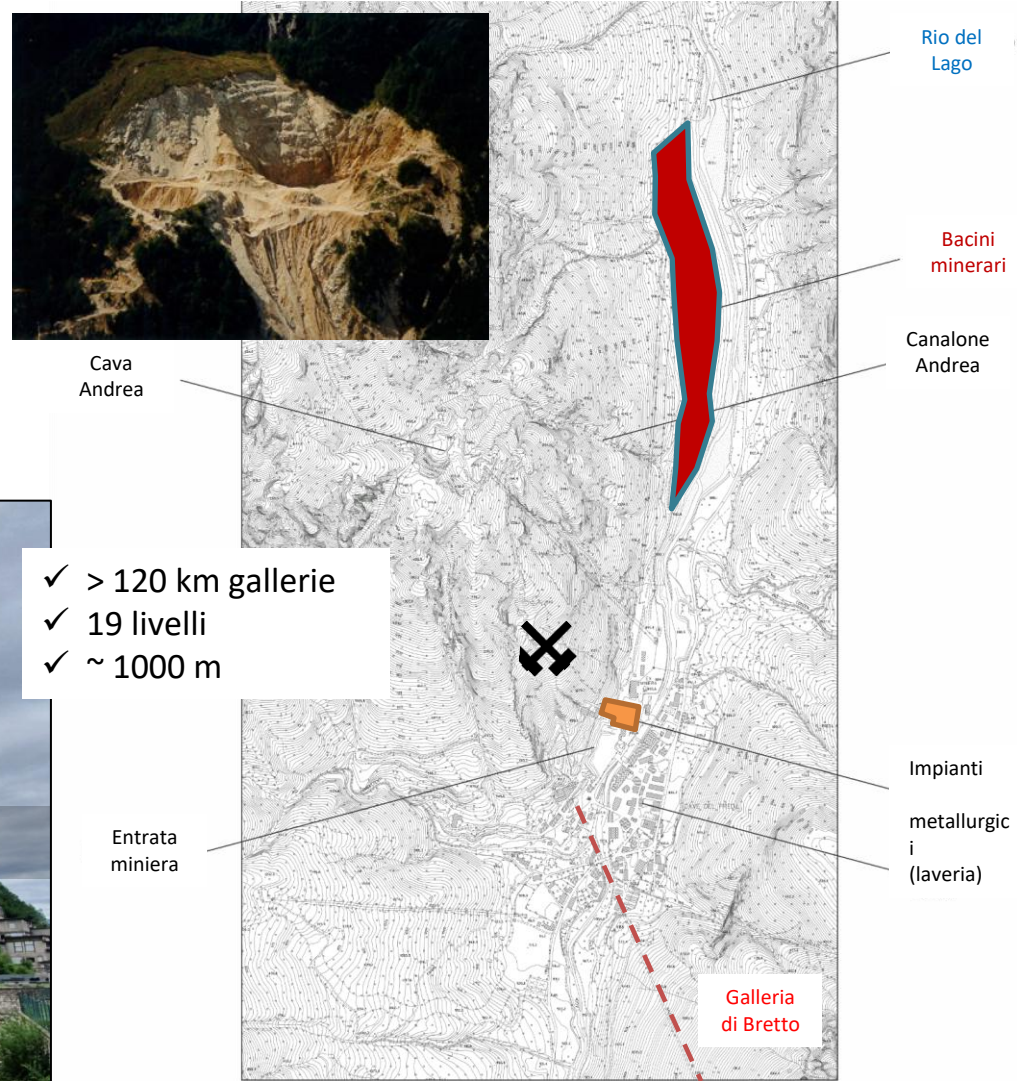
Work in progress



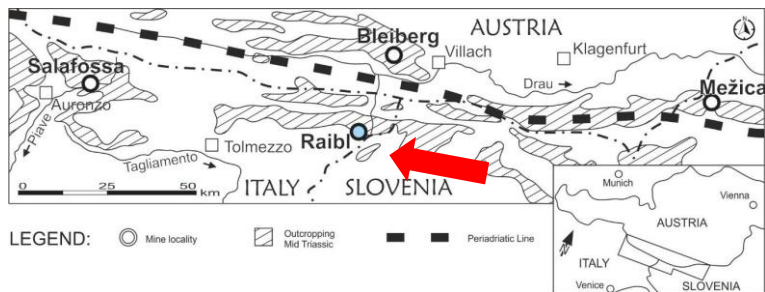
La miniera di Raibl

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: il contesto geologico



> 75% della produzione di Pb+Zn negli anni '60-'70 nelle Alpi

Tipologia: Zn-Pb in rocce carbonatiche (Mississippi Valley-Type (MVT) o Alpine-Type)

Età: Triassico Inf.

MINERALI PRIMARI:



sferite (ZnS)



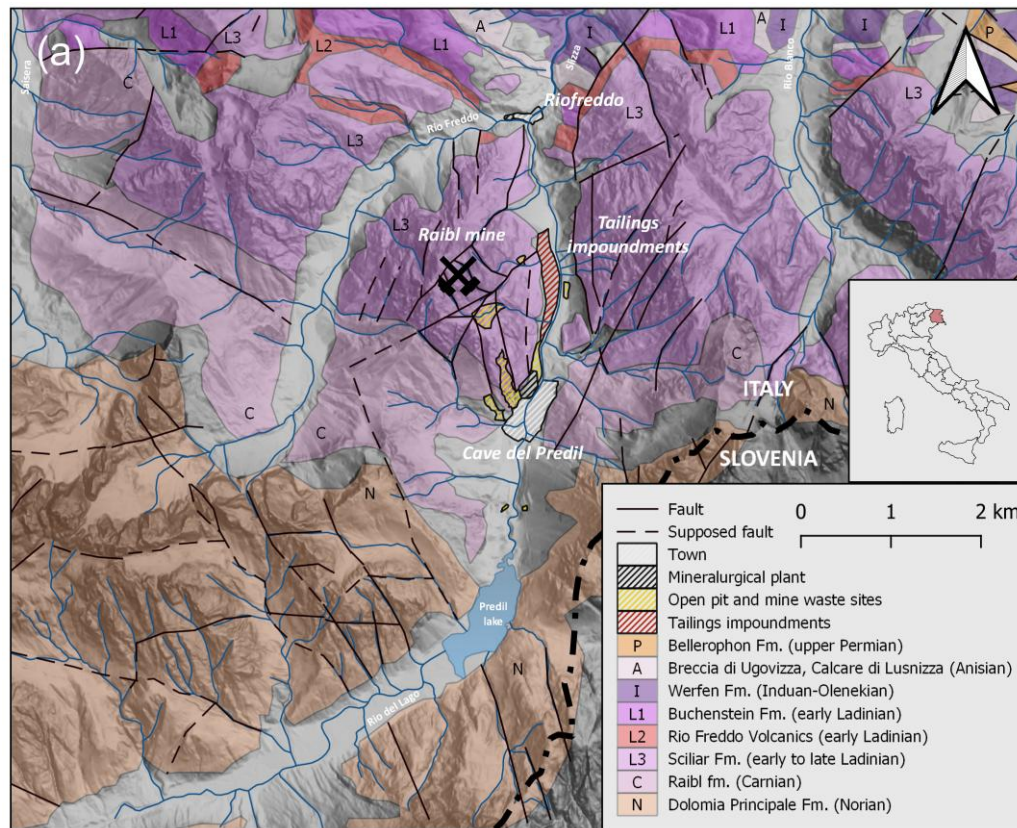
galena (PbS)



pirite (FeS₂)

Elementi: Zn, Pb, As, **Tl**, Cd, Ge, Sb

Roccia incassante: dolomia (Fm. Sciliar)



Barago et al. (2025)

Minerali secondari a Raibl

I minerali secondari si formano per alterazione meteorica dei minerali primari.

La zona superiore ossidata (nota anche come "gossan ore") e la parte inferiore del corpo minerario sono costituite principalmente da:

Fe ossi-idrossidi:

- Ferridrite $Fe_2^{3+}O_3 \cdot \frac{1}{2}(H_2O)$
- Goethite $Fe^{3+}O(OH)$
- Ematite Fe_2O_3



I minerali secondari derivanti dai solfuri possono formarsi in condizioni ambientali anche da Zn o Pb, o altri metalli e metalloidi.

Tra i minerali di ganga, prevalgono Dolomite e Barite.

Pb carbonato:

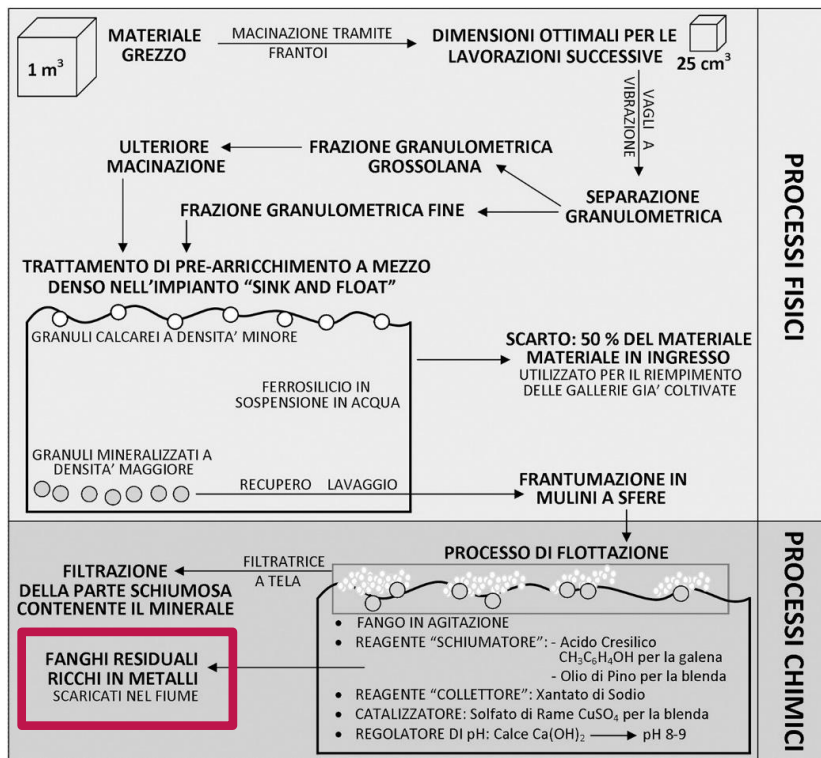
- Cerussite: $PbCO_3$



Zn carbonati:

- Smithsonite: $ZnCO_3$
- Idrozincolite: $Zn_5(CO_3)_2(OH)_6$

Dal minerale agli "sterili": il processo estrattivo "sink and float"



Negli anni '60: max
produzione di minerale
grezzo: (550.000 ton/anno)
Zn: 40.000-50.000 ton/anno
Pb: 4.000-5.000 ton/anno



Gli "sterili" presentano ancora elevate concentrazioni di elementi anche potenzialmente tossici !

«La laveria o...ciò che rimane»



Goslarite $\text{ZnSO}_4 \cdot 7(\text{H}_2\text{O})$

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).



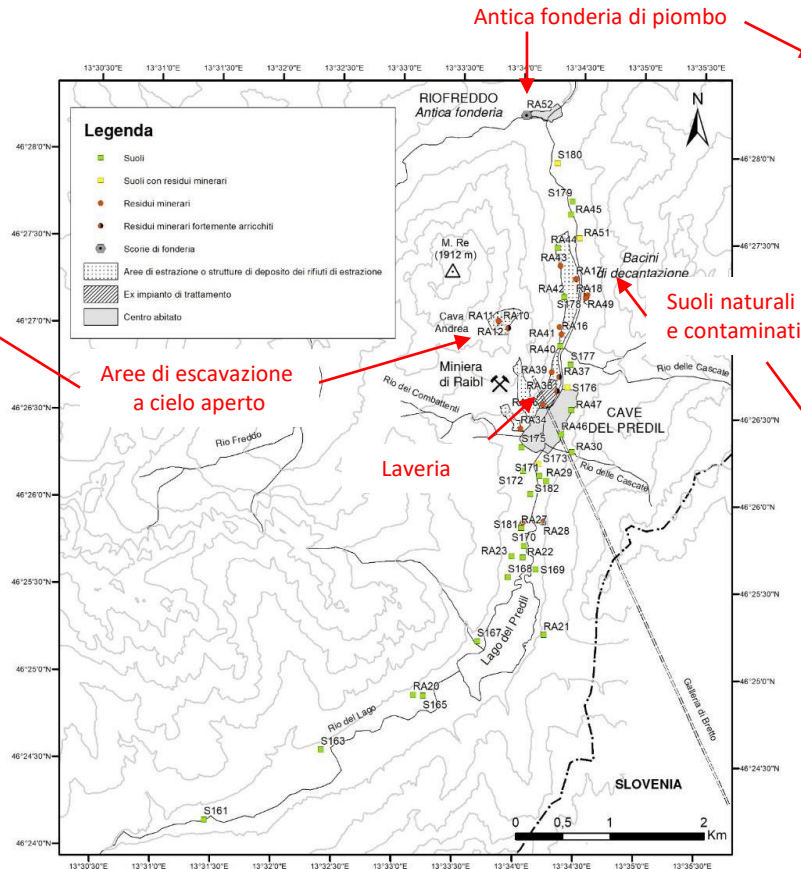


ANALISI DELLA MATRICE SOLIDA: METALLI E METALLOIDI

Residui minerali

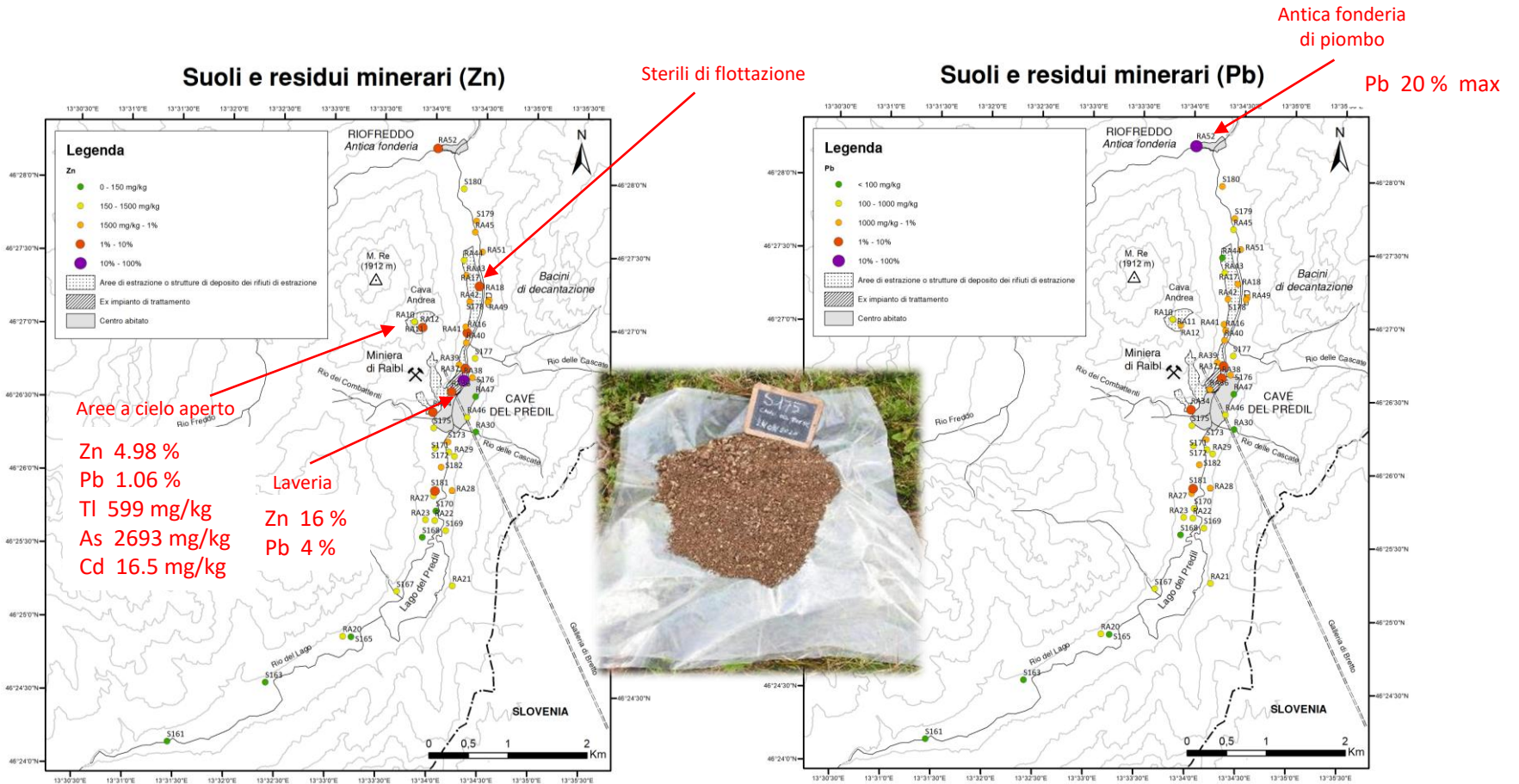


Sedimenti fluviali



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

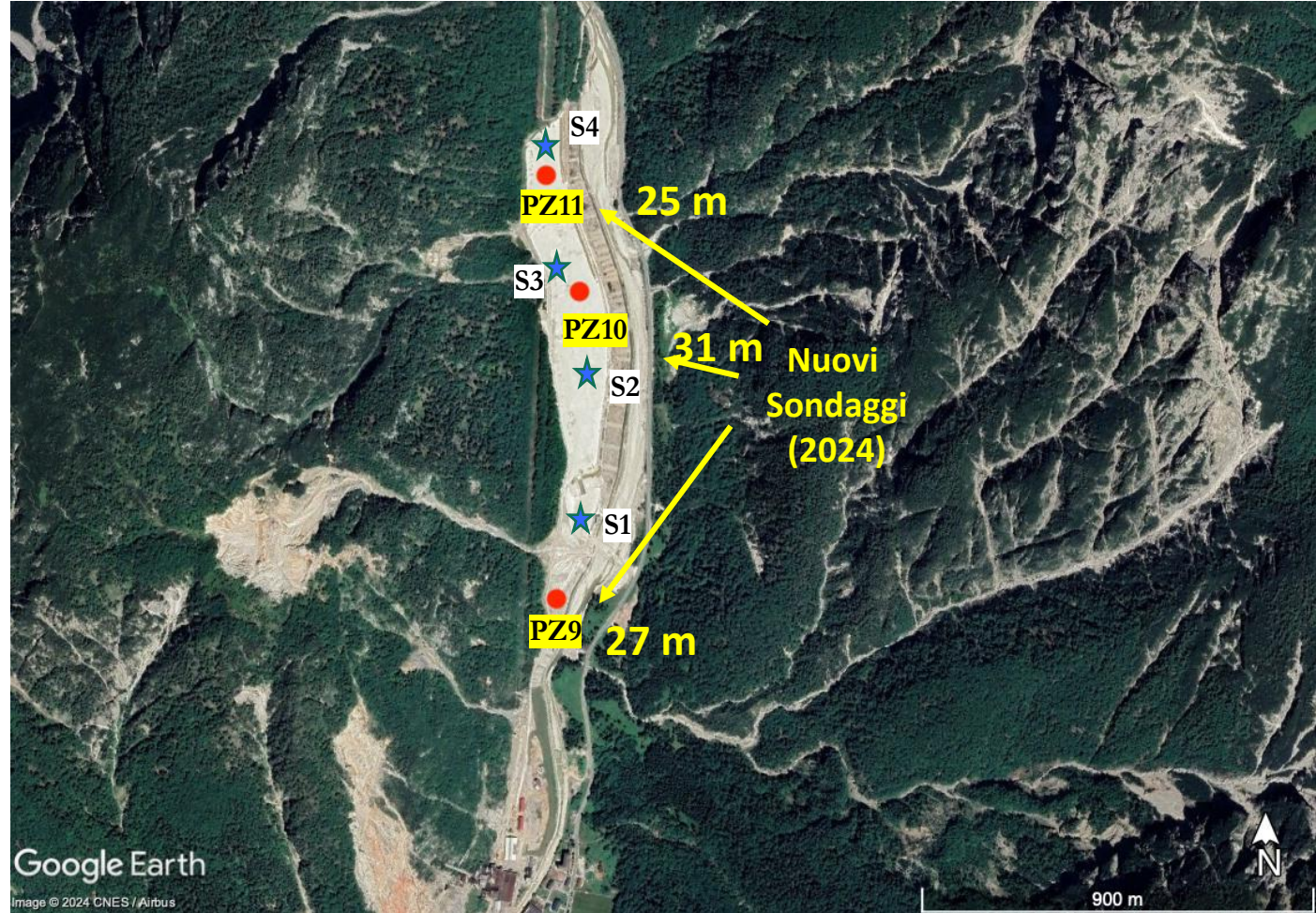
MATRICE SUOLO e RESIDUI MINERARI: ZINCO E PIOMBO



«Sterili» di miniera:
un problema
ambientale oppure...
una fonte di materie
prime critiche ?

1. Che potenziale di
contaminazione
rimane a questi
«sterili» ?

2. Oltre a Zn e Pb, cosa
contengono gli
«sterili» di
«economicamente
interessante» ?



**4 Milioni di tonnellate di “sterili”
possono essere un’opportunità ?**

PZ10
Bacino n° 3





**Analisi speditiva
degli sterili di
miniera**

**Un laboratorio
in una «pistola» !**

**Stima preliminare delle
concentrazione di
elementi maggiori ed in
tracce:**

Pb, Zn, Fe, As, Tl, Ba

soil-Extra

Elapsed time: 31.8s

El	PPM	+/- 3σ
Fe	14.92%	0.80
Zn	4.86%	0.26
Ba	1.234%	0.065
Tl	1.07%	0.26
Pb	7860	490
V	3770	800
As	2090	290
Mn	1500	530

Raggi X attivi: Exp. 2 of 3 (1 / 3) OLYMPUS

**PZ9: 3 punti
PZ10: 40 punti
PZ11: 30 punti**

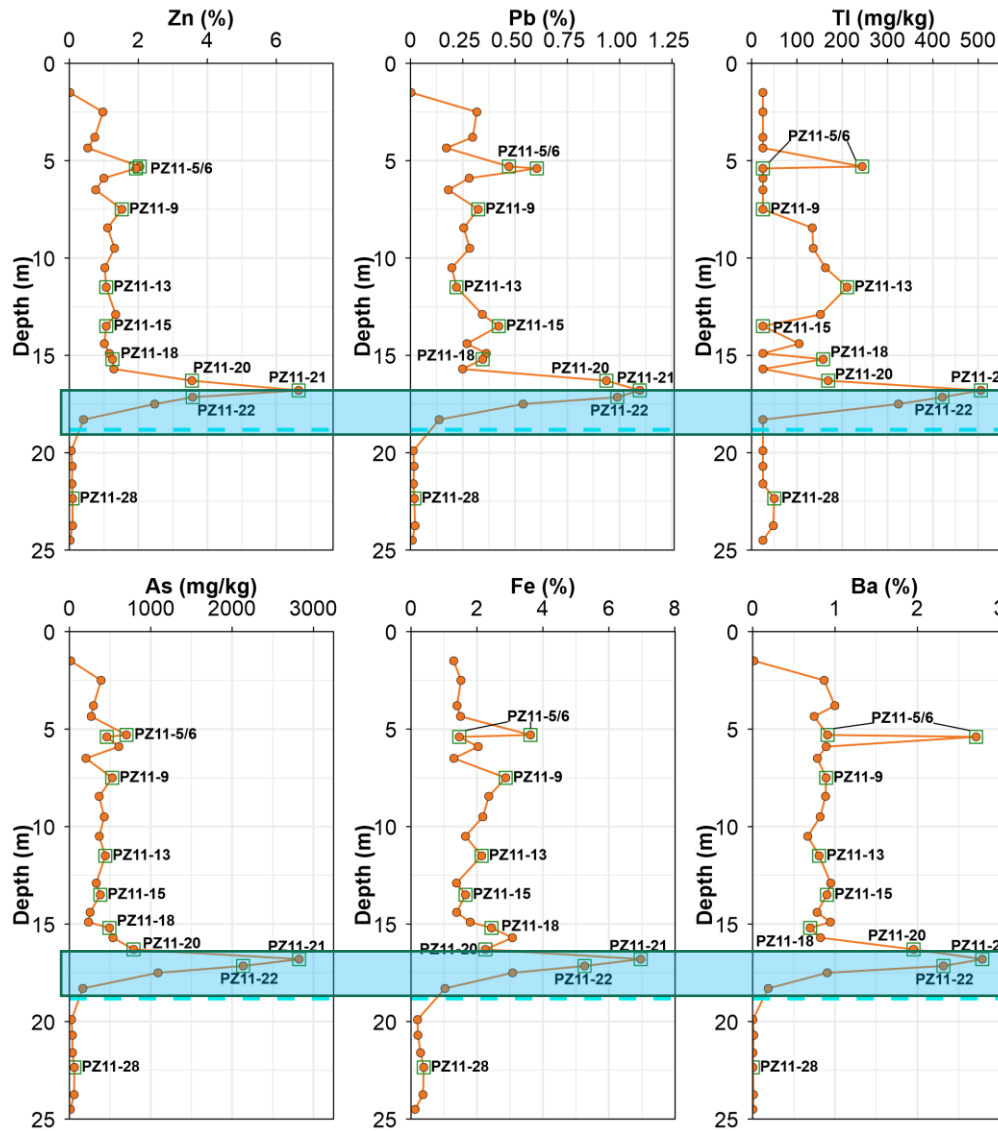
Subcampionamento dei sondaggi e preparazione dei campioni selezionati



PZ11
Bacino 4

Falda
«alluvioni»

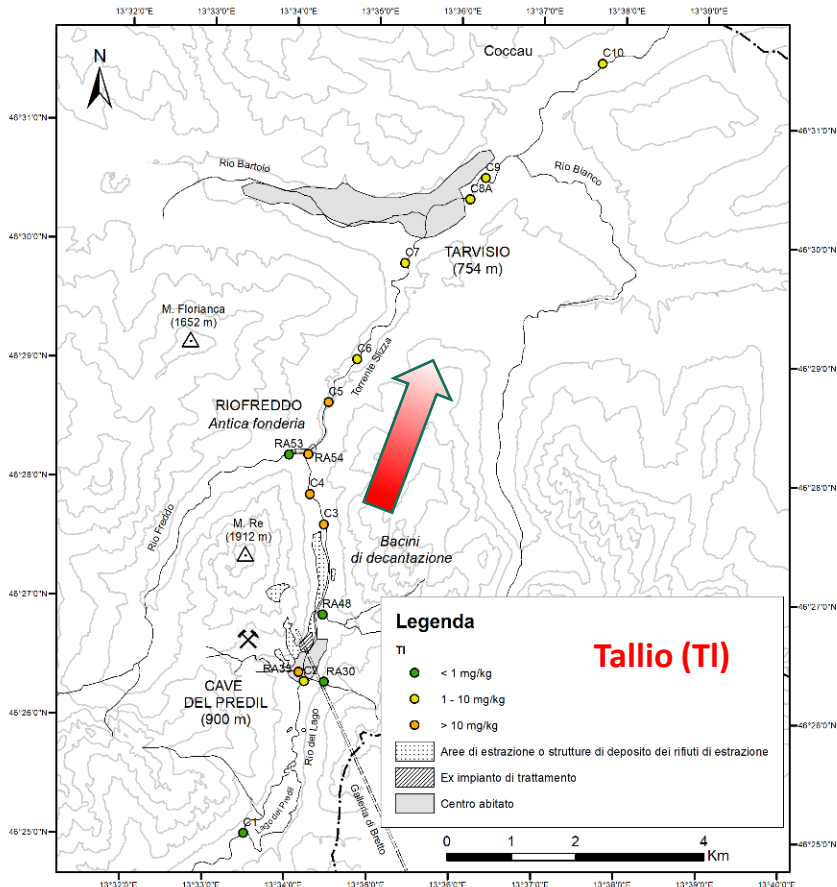
Falda
«alluvioni»



Legenda — Conc. pXRF □ Campioni - - - Livello falda

MATRICE SEDIMENTI FLUVIALI

Sedimenti fluviali (Tl)



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



Nicolò Barago PhD thesis

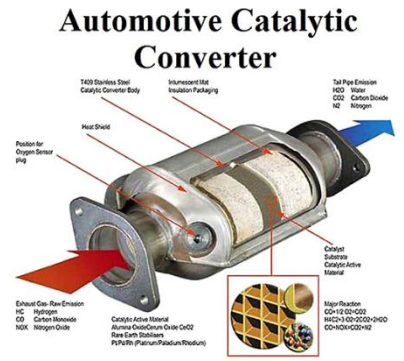
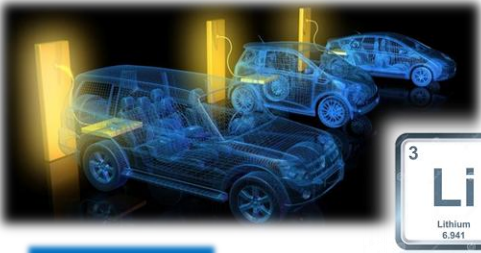
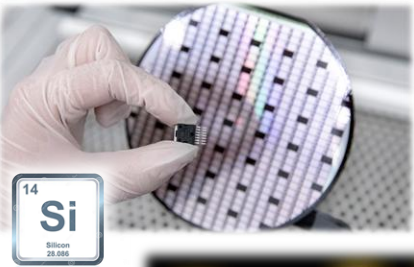


L'obiettivo dell'UE di ridurre le emissioni di gas a effetto serra di almeno il 55% entro il 2030 pone l'Europa su un percorso responsabile verso il conseguimento della neutralità climatica entro il 2050.

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.

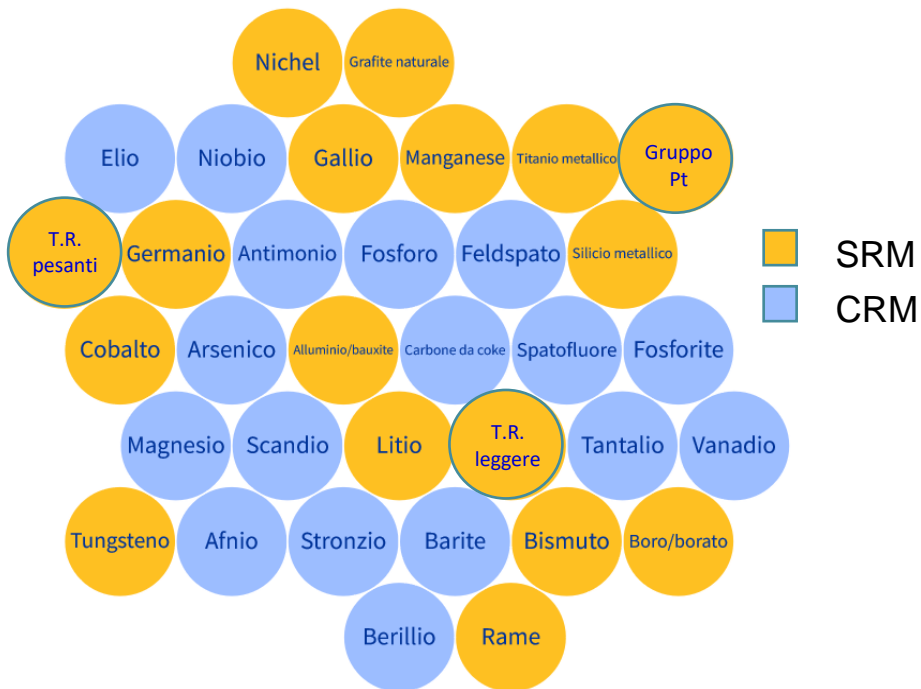
Molte di queste tecnologie dipendono da materiali classificati come critici...
...i CRITICAL RAW MATERIALS (CRMs)

CRITICAL RAW MATERIALS: qualche esempio



Platinoids: Pt, Rh, Pd

Il **Critical Raw Material Act (Reg. UE 2024/1252)** fornisce la lista aggiornata delle **34 materie prime critiche (CRMs)** di cui **17** sono considerate risorse **strategiche (SRMs)** per la transizione digitale e lo sfruttamento delle energie rinnovabili, e 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

«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

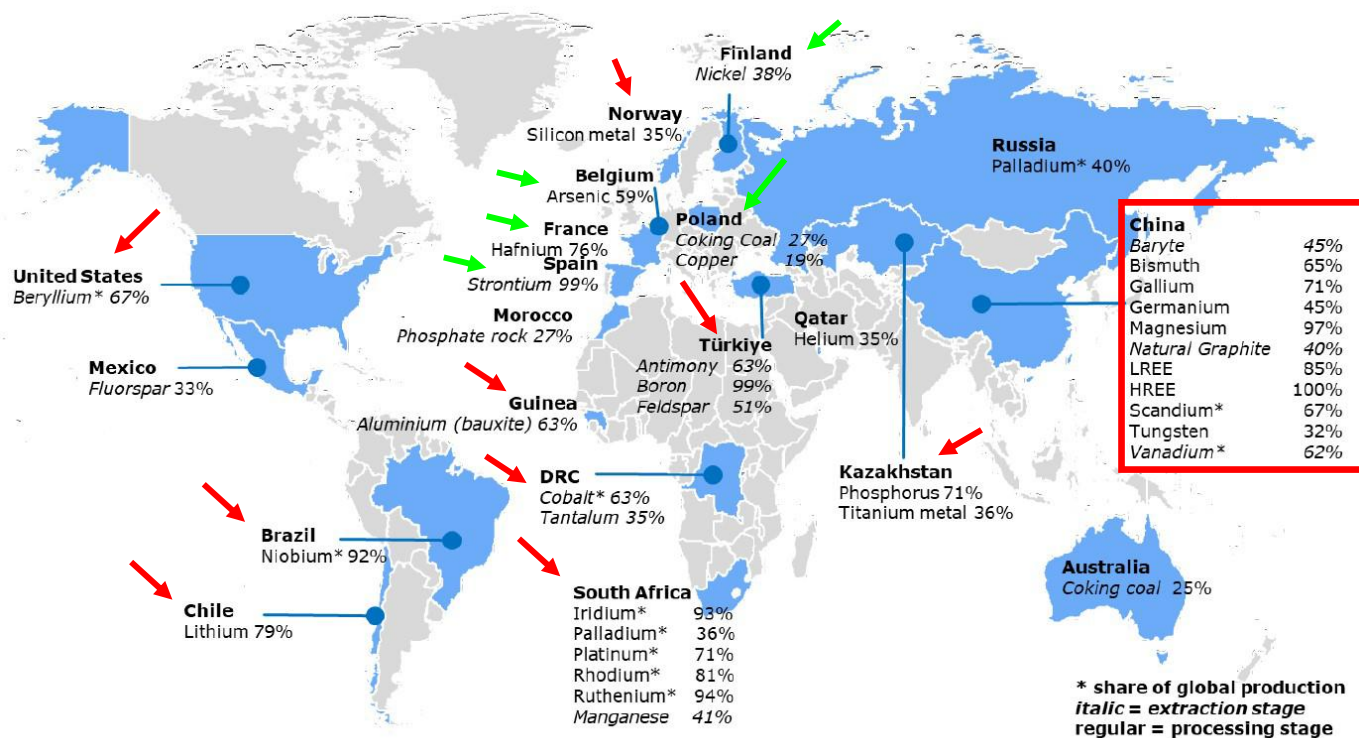


rafforzando la circolarità e la sostenibilità

Maggio 2024: il Consiglio ha approvato 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 CRM 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)

Il **Critical Raw Materials Act** rappresenta la **strategia legislativa dell'Unione Europea** per ridurre la dipendenza da paesi terzi e garantire un approvvigionamento sicuro di materiali essenziali per la transizione verde e digitale.

Il regolamento fissa 4 obiettivi strategici, entro il 2030, per la capacità interna dell'UE rispetto al consumo annuo di materie prime strategiche:



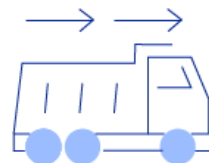
Il **10%** delle materie critiche (CRMs) e strategiche (SRMs) utilizzate dai paesi membri dell'UE **dovrà essere estratto da miniere europee;**



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

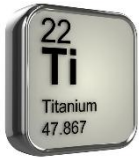


Il **25%** dovrà derivare dalle attività di recupero e riciclo;



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

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



Rocce ofiolitiche

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

Giacimento di Titanio di Piampaludo (Savona)

TiO_2 5-6 % (fino a 10-12%)
riserva accertata di circa 9 Mt
(fino a 20 Mt secondo stime).
Uno dei più grandi giacimenti
europei di questo minerale!

M.ti Antenna e Tarinè



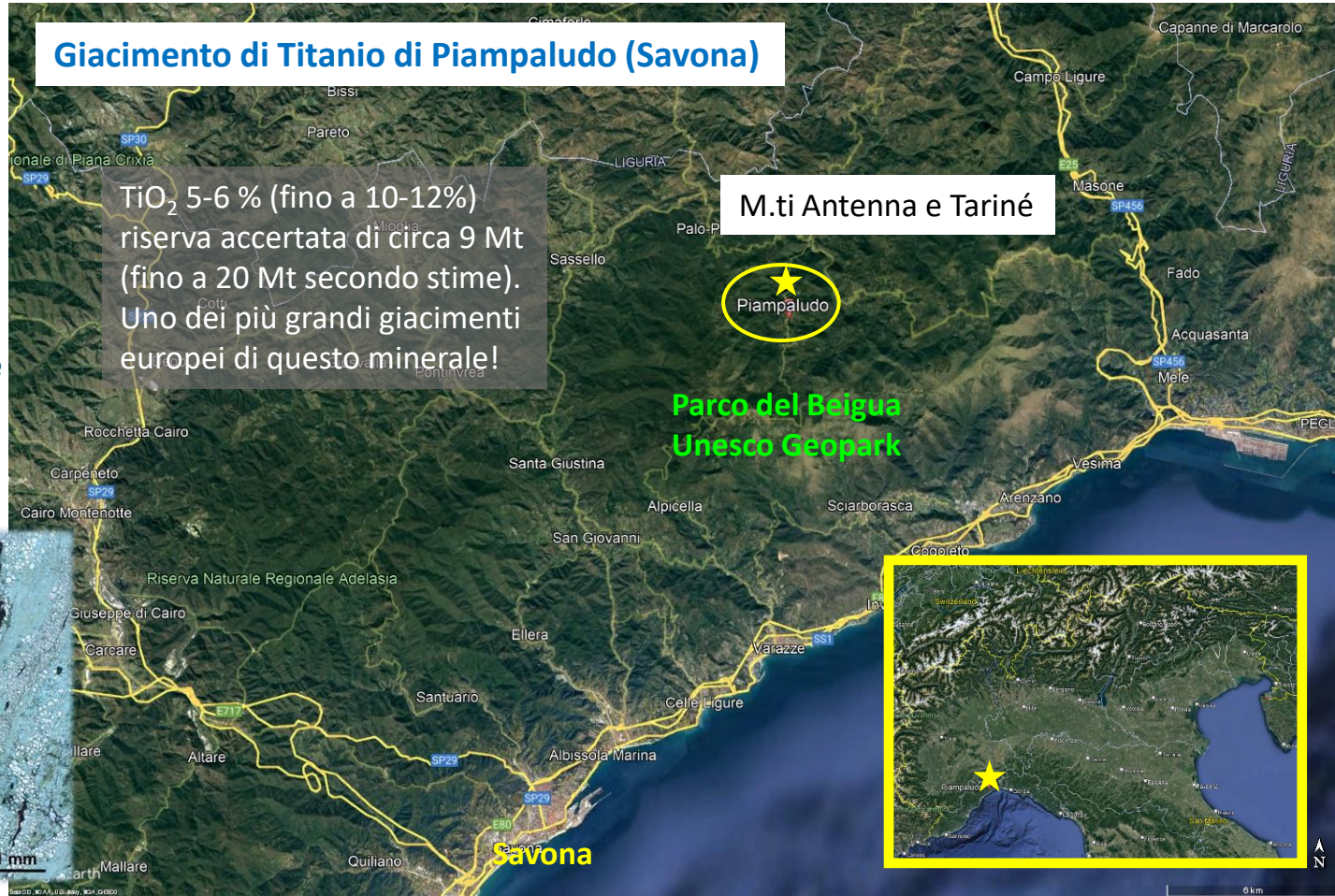
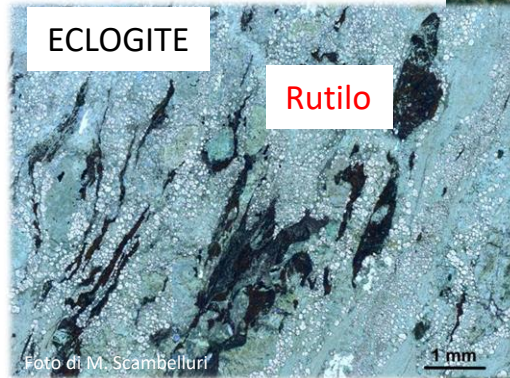
Parco del Beigua
Unesco Geopark

ECLOGITE

Rutilo

Foto di M. Scambelluri

1 mm



Litio: tutti lo vogliono, tutti lo cercano !

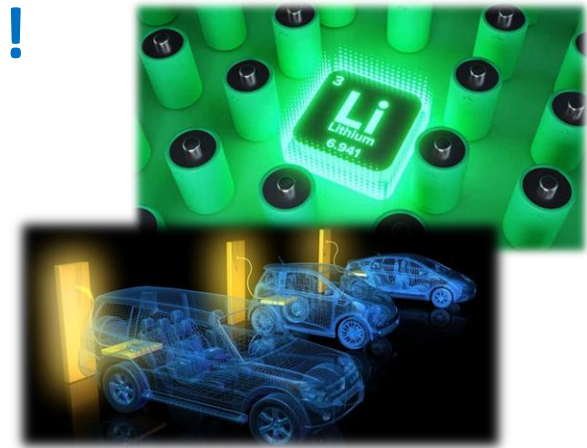
Salar de Uyuni (Bolivia)*

L'oro bianco

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

Salar del Hombre Muerto (Argentina)

Salar de Atacama (Chile)



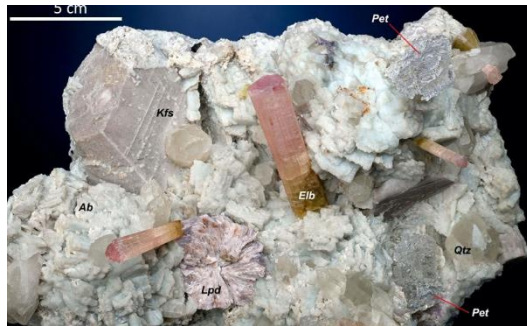
- Grandi estese sotterranee di sale
- Estrazione costosa del Li_2CO_3
- Tecniche estrattive invasive: elevato consumo d'acqua e produzione di rifiuti chimici tossici
- Danni ambientali (rifiuti chimici)

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

Litio: dove in Italia ?

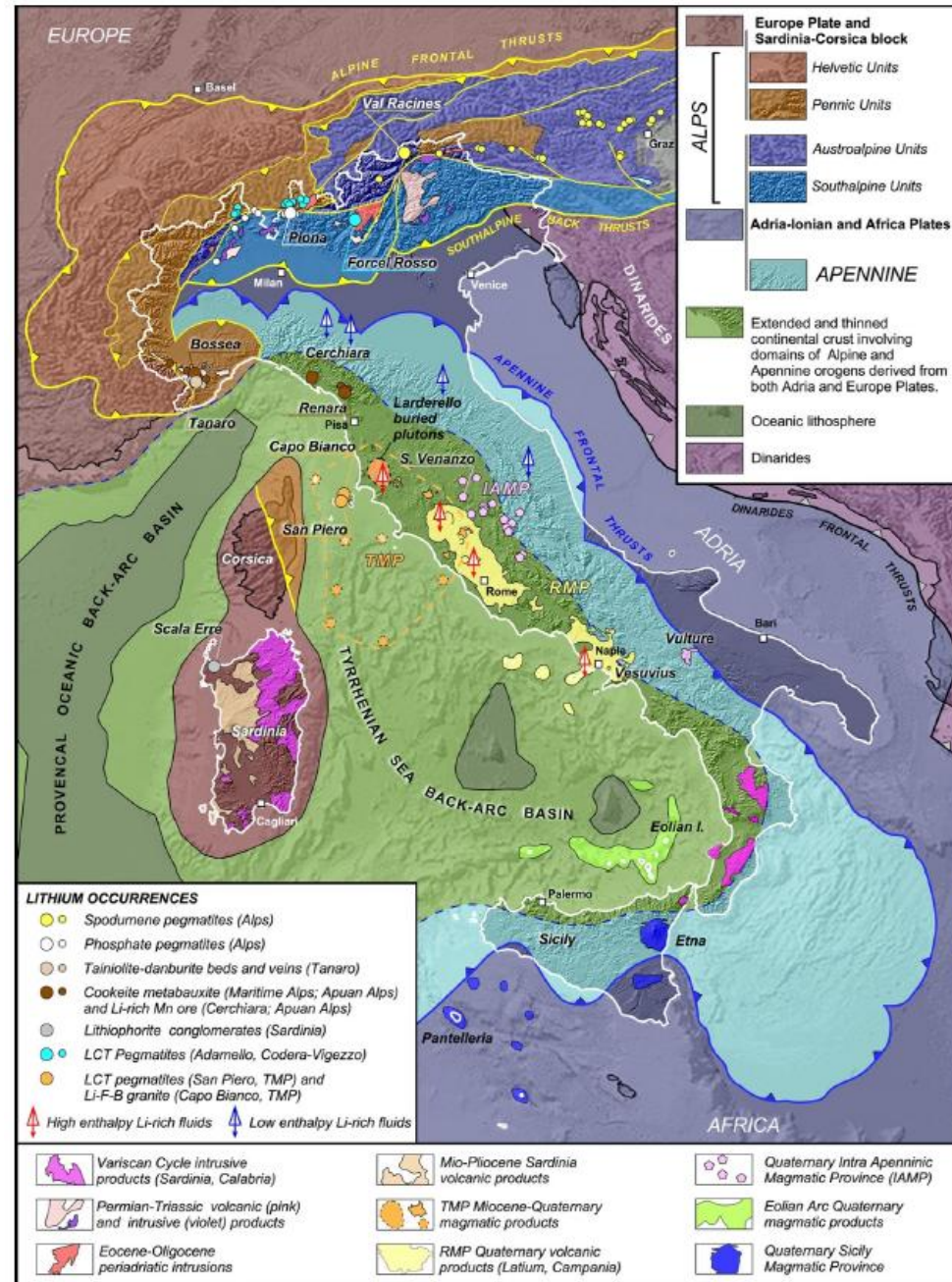
Potenziali aree estrattive:

Plutoni di pegmatiti a spodumene ($\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$) del Permo-Triassico nelle unità Australpine delle Alpi Centrali

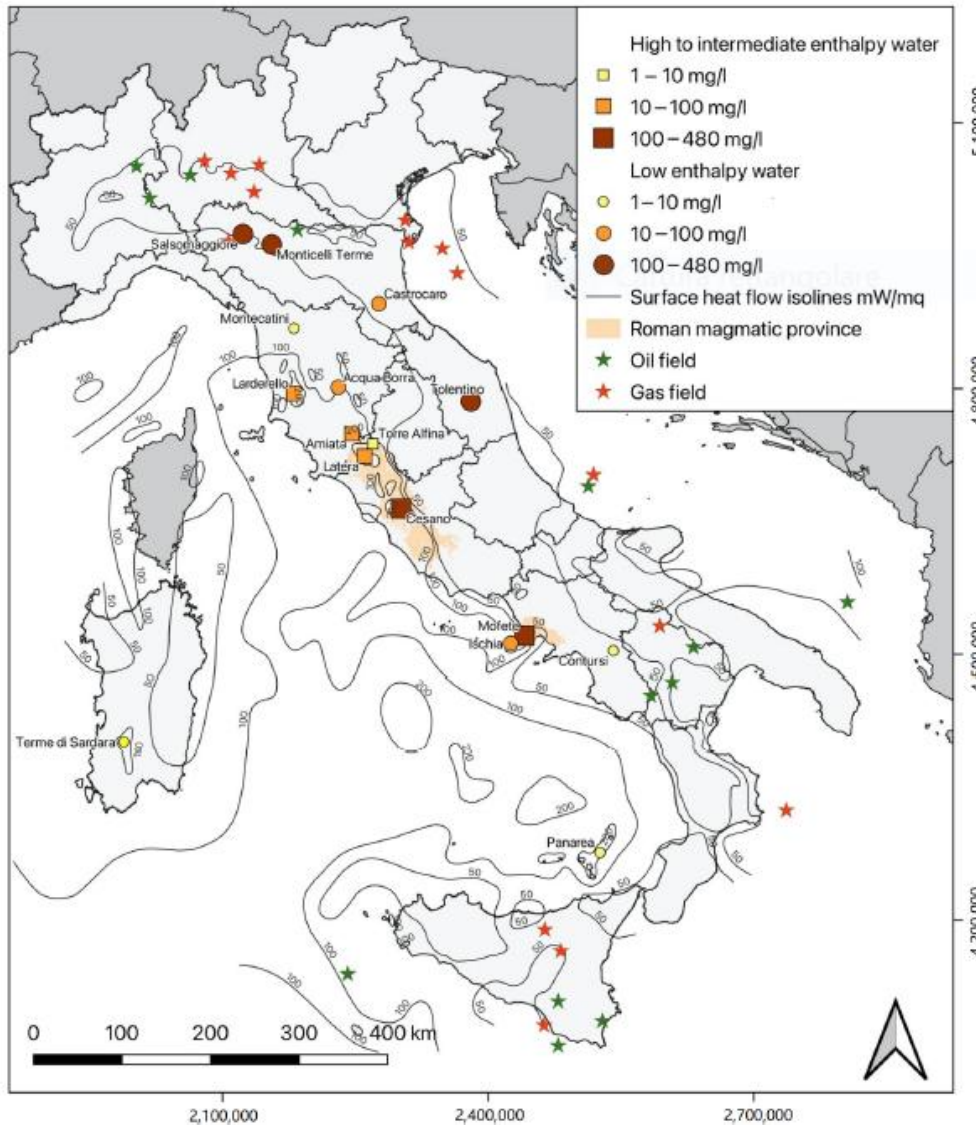


Pegmatiti del Terziario (Isola d'Elba e Alpi Centrali)

Particolarità: rocce magmatiche Terziario-Quaternarie della provincia Toscano-Laziale presentano elevate concentrazione di Li (graniti 350 $\mu\text{g/g}$ di Li, aplite di Capo Bianco (Elba) 1000 $\mu\text{g/g}$) 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(Toscana-Lazio-Campania) 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

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

GROUP IA

1	1.00797
1	H
-252.7	
-239.2	
0.071	
1s	
Hydrogen	

IIA

3	6.939	4	9.0122
3	Li	4	Be
1330		2770	
180.5		1277	
0.53		1.85	
1s ² 2s ¹		1s ² 2s ²	
Lithium		Beryllium	

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

Ac	227(2y)β ⁻ α
Ag	110(24s)β ⁻ γ
	111(7.5d)β ⁻ γ
Am	241(4.8y)α,γ,e ⁻
	242(16.0h)β ⁻ α,γ
	243(8000y)α,γ
A	76(26.7h)β ⁻ γ
	77(39h)β ⁻ γ
At	210(8.3h)K _α ,γ
	211(7.2h)K _α ,γ
Au	198(2.69d)β ⁻ γ
Ba	131(12d)K _α ,γ
	133(7.2y)K _α ,γ,e ⁻
Bi	210(5d)β ⁻ γ
Bk	245(14.9d)K _α ,γ
	249(31.4d)β ⁻ α,γ,SF
Br	82(36h)β ⁻ γ
C	14(5700y)β ⁻
Ca	41(8×10 ⁴ y)K
	45(165d)β ⁻ γ
	47(14.5d)β ⁻ γ

Cd	115(43d)β ⁻ γ
Ce	141(32d)β ⁻ γ
	143(33h)β ⁻ γ
	144(285d)β ⁻ γ
Cf	242(35h)α,γ,SF
	249(30y)α,γ,SF
	251(1800y)γ
Cl	36(3×10 ⁴ y)β ⁻
Cm	243(35y)α,γ
	245(9300y)α,γ
	247(10 ⁷ y)γ
Co	58(71d)K _α ,γ
	60(5.27y)β ⁻ γ
Cr	51(27d)K _α ,γ
Cs	134(20y)β ⁻ γ
	135(30y)β ⁻ γ
	137(30y)β ⁻ γ
Cu	64(12.8h)K _α ,γ,β ⁻ γ
Eu	253(20d)α,γ,SF
	254(1y)α,γ,SF
	154(11.6y)β ⁻ γ
	155(11.9d)β ⁻ γ

Fe	55(2.6y)K
	59(45d)β ⁻ γ
Fm	255(20h)α
Fr	223(22m)β ⁻ γ
Ga	72(14.1h)β ⁻ γ
Ge	71(11d)K
H	3(12.3y)β ⁻
Hf	181(45d)β ⁻ γ,e ⁻
Hg	197(65h)K _α ,γ,e ⁻
	203(47d)β ⁻ γ,e ⁻
Ho	166(27.3h)β ⁻ γ
I	129(10 ⁷ y)β ⁻ γ,e ⁻
	131(8.05d)β ⁻ γ
In	114(50d)γ
Ir	192(74.4d)β ⁻ γ
K	40(10 ⁴ y)β ⁻ γ
	42(12.4h)β ⁻ γ

La	140(40.2h)β ⁻ γ
Lu	176(10 ⁴ y)β ⁻ γ
	177(6.8d)β ⁻ γ
Md	256(90m)K,SF
Mo	99(67h)β ⁻ γ
Na	22(2.6y)β ⁻ γ
	24(1.5h)β ⁻ γ
Nd	147(11.1d)β ⁻ γ
Ni	63(125y)β ⁻
	59(8×10 ⁴ y)K
Np	237(2.2×10 ⁶ y)α,γ
	239(2.33d)β ⁻ γ
Os	191(15d)β ⁻ γ,e ⁻
P	32(14.2d)β ⁻
Pa	231(34000y)α,γ
Pb	210(19.4y)β ⁻ γ,e ⁻
	202(10 ⁵ y)β ⁻
Pd	103(17d)K _α ,γ
Pm	147(12.6y)β ⁻ γ

Po	210(138.4d)α,γ
	209(103y)α,γ
Pr	143(13.8d)β ⁻ γ
Pt	197(18h)β ⁻ γ
Pu	242(3.8×10 ⁴ y)α,SF
	241(13y)α,γ
	239(24300y)α,γ,SF
Ra	226(1620y)α,γ
Re	86(18.6d)β ⁻ γ
Rb	188(16.7h)β ⁻ γ
	186(3.7d)β ⁻ γ
Rn	222(3.82d)α
Ru	103(40d)β ⁻ γ
	97(2.9d)K _α ,γ,e ⁻
S	35(88d)β ⁻
Sb	122(2.8d)β ⁻ γ
	124(60d)β ⁻ γ
Se	46(84d)β ⁻ γ
Sm	75(120d)K _α ,γ
	153(47h)β ⁻ γ
	145(340d)K _α ,γ
Sr	90(28y)β ⁻
	89(51d)β ⁻ γ
	85(64d)K _α ,γ
Ta	182(11.5d)β ⁻ γ
Tb	160(73d)β ⁻ γ
Tc	99(2×10 ⁵ y)β ⁻
Tl	97(10 ⁴ y)β ⁻
Tm	170(134d)β ⁻ γ,e ⁻
U	238(4.5×10 ⁹ y)α,γ,SF
	234(2.5×10 ⁴ y)α,γ,SF
	235(7.1×10 ⁸ y)α,γ,SF
	233(1.6×10 ⁴ y)α,γ
Y	185(75d)β ⁻
Yb	90(64h)β ⁻ γ
Yr	175(4.2d)α,γ
	169(31d)K _α ,γ,e ⁻
Zn	65(245d)K _α ,γ
Zr	95(65d)β ⁻ γ,e ⁻
	93(9×10 ⁴ y)β ⁻ γ

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
1	K	2	Ca	3	Sc	4,3	Ti	5,4,3,2	6,3,2	7,6,4,2,3	2,3	Cr	2,3	Fe	2,3	Co	2,3	Ni	2,3	1,2	Cu	2	Zn	3	Ga	4	Ge	3,3	As	2,4,6	35	Br	3,5	Kr	
760		1440		2730		3260		3450		2665		2150		3000		2900		2730		2595		906		2237		2830		613		685		58		152	
63.7		838		1539		1651		1900		1875		1245		1536		1495		1453		1083		419.5		29.8		937.4		872		217		-7.2		-157.3	
0.86		1.55		3.0		4.68		6.1		7.19		7.43		7.86		8.9		8.9		8.96		7.14		5.91		5.32		5.17		4.79		3.12		2.6	
[Ar]4s ¹		[Ar]4s ²		[Ar]3d ¹ 4s ²		[Ar]3d ² 4s ²		[Ar]3d ³ 4s ²		[Ar]3d ⁴ 4s ²		[Ar]3d ⁵ 4s ²		[Ar]3d ⁶ 4s ²		[Ar]3d ⁷ 4s ²		[Ar]3d ⁸ 4s ²		[Ar]3d ⁹ 4s ²		[Ar]3d ¹⁰ 4s ²		[Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ¹		[Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ²		[Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ³		[Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁴		[Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁵		[Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁶	
Potassium		Calcium		Scandium		Titanium		Vanadium		Chromium		Manganese		Iron		Cobalt		Nickel		Copper		Zinc		Gallium		Germanium		Arsenic		Selenium		Bromine		Krypton	

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
1	Rb	2	Sr	3	Y	4	Zr	5,3	Nb	6,5,4,3,2	7	Tc	2,3,4,6,8	Ru	2,3,4	Rh	2,4	Pd	2,4	1	Ag	2	Cd	3	In	4,2	Sn	2,4,6	Sb	3,5	Te	1,3	Xe		
688		1380		2927		3580		3300		5560		2140		4900		4300		3980		2210		765		2000		2270		1380		989.8		183		-108.0	
38.9		768		1509		1852		2468		2610		2610		2500		1966		1552		960.8		320.9		156.2		231.9		630.5		449.5		113.7		-11.9	
1.53		2.6		4.47		6.49		8.4		10.2		11.5		12.2		12.4		12.0		10.5		8.65		7.31		7.30		6.62		6.24		4.94		3.06	
[Kr]5s ¹		[Kr]5s ²		[Kr]5s ² 4d ¹		[Kr]5s ² 4d ²		[Kr]5s ² 4d ³		[Kr]5s ² 4d ⁴		[Kr]5s ² 4d ⁵		[Kr]5s ² 4d ⁶		[Kr]5s ² 4d ⁷		[Kr]5s ² 4d ⁸		[Kr]5s ² 4d ⁹		[Kr]5s ² 4d ¹⁰		[Kr]5s ² 4d ¹⁰ 5p ¹		[Kr]5s ² 4d ¹⁰ 5p ²		[Kr]5s ² 4d ¹⁰ 5p ³		[Kr]5s ² 4d ¹⁰ 5p ⁴		[Kr]5s ² 4d ¹⁰ 5p ⁵		[Kr]5s ² 4d ¹⁰ 5p ⁶	
Rubidium		Strontium		Yttrium		Zirconium		Niobium		Molybdenum		Technetium		Ruthenium		Rhodium		Palladium		Silver		Cadmium		Indium		Tin		Antimony		Tellurium		Iodine		Xenon	

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	208.98	84	(210)	85	(210)	86	(222)
1	Cs	2	Ba	3	La	4	Hf	5	Ta	6,5,4,3,2	7	W	6,4,2,-1	8	Os	2,3,4,6	9	Ir	2,4	10	Au	11	Hg	12	Tl	13	Pb	14	Bi	15	Po	16	At	17	Rn
690		1640		3470		5400		5425		5900		5900		5300		4530		4780		2970		357		1457		1725		1560		254		210.5		(-61.8)	
28.7		714		920		2222		2996		3410		3180		2454		1749		1063		193		-38.4		303		327.4		271.3		(9.2)		(-17.1)		1632	
1.90		3.5		6.17		13.1		16.6		19.3		21.0		22.6		21.4		19.3		19.3		13.6		11.85		11.4		9.8		9.33		9.84		9.84	
[Xe]6s ¹		[Xe]6s ²		[Xe]5d ¹ 6s ²		[Xe]5d ² 6s ²		[Xe]5d ³ 6s ²		[Xe]5d ⁴ 6s ²		[Xe]5d ⁵ 6s ²		[Xe]5d ⁶ 6s ²		[Xe]5d ⁷ 6s ²		[Xe]5d ⁸ 6s ²		[Xe]5d ⁹ 6s ²		[Xe]5d ¹⁰ 6s ²		[Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ²		[Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ¹		[Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ²		[Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ³		[Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ⁴		[Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ⁶	
Cesium		Barium		Lanthanum		Hafnium		Tantalum		Tungsten		Rhenium		Osmium		Iridium		Platinum		Gold		Mercury		Thallium		Lead		Bismuth		Polonium		Astatine		Radon	

KEY

ATOMIC NUMBER: 30

ATOMIC WEIGHT (2): 65.37

OXIDATION STATES (Bold most stable): 2

BOILING POINT, °C: 906

MELTING POINT, °C: 419.5

DENSITY (g/ml) (3): 7.14

SYMBOL (1): Zn

ELECTRON STRUCTURE: [Ar]3d¹⁰4s²

NAME: Zinc

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

SARGENT-WELCH

SARGENT-WELCH SCIENTIFIC COMPANY

7300 LINDER AVENUE, SKOKIE, ILLINOIS 60076