

# 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.

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 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, ad esempio:

**Geochimica Inorganica**

**Geochimica Organica**

**Geochimica Isotopica**

**Biogeochimica**

**Geochimica Ambientale**

## Welcome to Goldschmidt2023!

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.

-  Home
-  Sign In
-  Program by Theme
-  Program Highlights
-  Submit an Abstract

## Latest News

### Abstract Submission: Deadline is 1 March

**Abstract submission** for Goldschmidt2023 is currently open. Abstracts for both in-person and remote presentations are welcomed. Browse the themes and sessions in the [Science Program](#) and submit your abstract by **1 March**.

<https://conf.goldschmidt.info/goldschmidt/2023/meetingapp.cgi>

## 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
- CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, etc...
- 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)*.

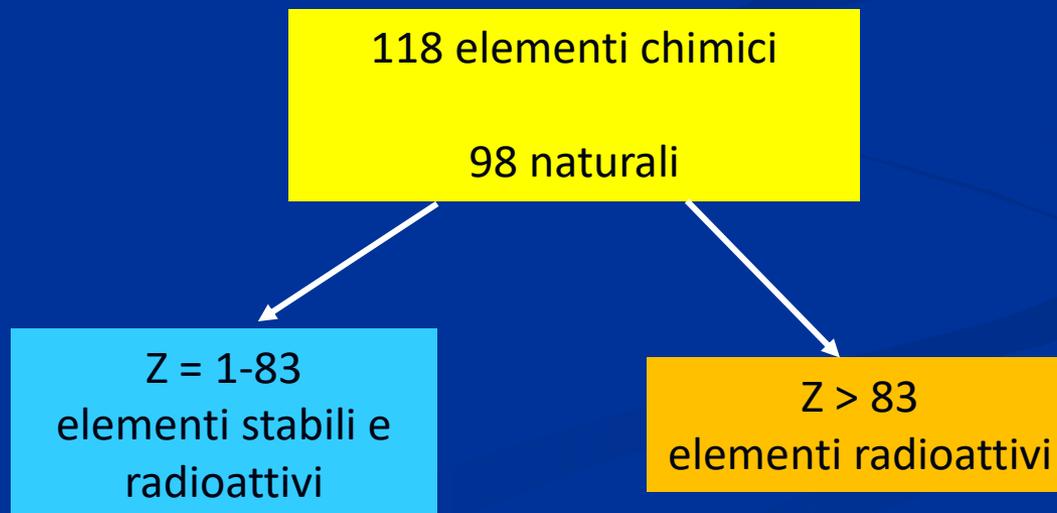
Risultati più interessanti si ottennero invece raggruppando gli elementi in base a *proprietà chimiche simili*.

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*, 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	18 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	

↓ periodi

- 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

Periodo	1	IA																										18	VIIIA																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
	1	1																	2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
	2	3	IIA																										10	VIIIA																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
	3	11																	18																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
	4	19																	36																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
	5	37																	54																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
	6	55																	86																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
7	87																	112																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522	523	524	525	526	527	528	529	530	531	532	533	534	535	536	537	538	539	540	541	542	543	544	545	546	547	548	549	550	551	552	553	554	555	556	557	558	559	560	561	562	563	564	565	566	567	568	569	570	571	572	573	574	575	576	577	578	579	580	581	582	583	584	585	586	587	588	589	590	591	592	593	594	595	596	597	598	599	600	601	602	603	604	605	606	607	608	609	610	611	612	613	614	615	616	617	618	619	620	621	622	623	624	625	626	627	628	629	630	631	632	633	634	635	636	637	638	639	640	641	642	643	644	645	646	647	648	649	650	651	652	653	654	655	656	657	658	659	660	661	662	663	664	665	666	667	668	669	670	671	672	673	674	675	676	677	678	679	680	681	682	683	684	685	686	687	688	689	690	691	692	693	694	695	696	697	698	699	700	701	702	703	704	705	706	707	708	709	710	711	712	713	714	715	716	717	718	719	720	721	722	723	724	725	726	727	728	729	730	731	732	733	734	735	736	737	738	739	740	741	742	743	744	745	746	747	748	749	750	751	752	753	754	755	756	757	758	759	760	761	762	763	764	765	766	767	768	769	770	771	772	773	774	775	776	777	778	779	780	781	782	783	784	785	786	787	788	789	790	791	792	793	794	795	796	797	798	799	800	801	802	803	804	805	806	807	808	809	810	811	812	813	814	815	816	817	818	819	820	821	822	823	824	825	826	827	828	829	830	831	832	833	834	835	836	837	838	839	840	841	842	843	844	845	846	847	848	849	850	851	852	853	854	855	856	857	858	859	860	861	862	863	864	865	866	867	868	869	870	871	872	873	874	875	876	877	878	879	880	881	882	883	884	885	886	887	888	889	890	891	892	893	894	895	896	897	898	899	900	901	902	903	904	905	906	907	908	909	910	911	912	913	914	915	916	917	918	919	920	921	922	923	924	925	926	927	928	929	930	931	932	933	934	935	936	937	938	939	940	941	942	943	944	945	946	947	948	949	950	951	952	953	954	955	956	957	958	959	960	961	962	963	964	965	966	967	968	969	970	971	972	973	974	975	976	977	978	979	980	981	982	983	984	985	986	987	988	989	990	991	992	993	994	995	996	997	998	999	1000

- Metalli Alcalini
- Metalli Alcalino-Terrosi
- Lantanidi
- Attinidi

- Elementi di Transizione
- Metalloidi / Non Metalli
- Alogeni
- Gas Nobili

Numero Atomico: 1  
 Valenza: -1  
 Densità (g/cm³): 0,000899  
 Temp. Fusione (°C): -259,2  
 Temp. Ebollizione (°C): -253  
 Numero di Ossidazione: -1  
 Simbolo: H  
 Nome: Idrogeno

STATI di AGGREGAZIONE a 20 °C

- SOLIDI
- LIQUIDI
- GASSOSI
- ARTIFICIALI

6	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	Serie dei Lantanidi				
	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu					
7	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	Serie degli Attinidi				
	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr					
	Torio	Protoattinio	Uranio	Nettunio	Plutonio	Americio	Curio	Berchelio	Californio	Einsteinio	Fermio	Mendelevio	Nobelio	Laurenzio					

# 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

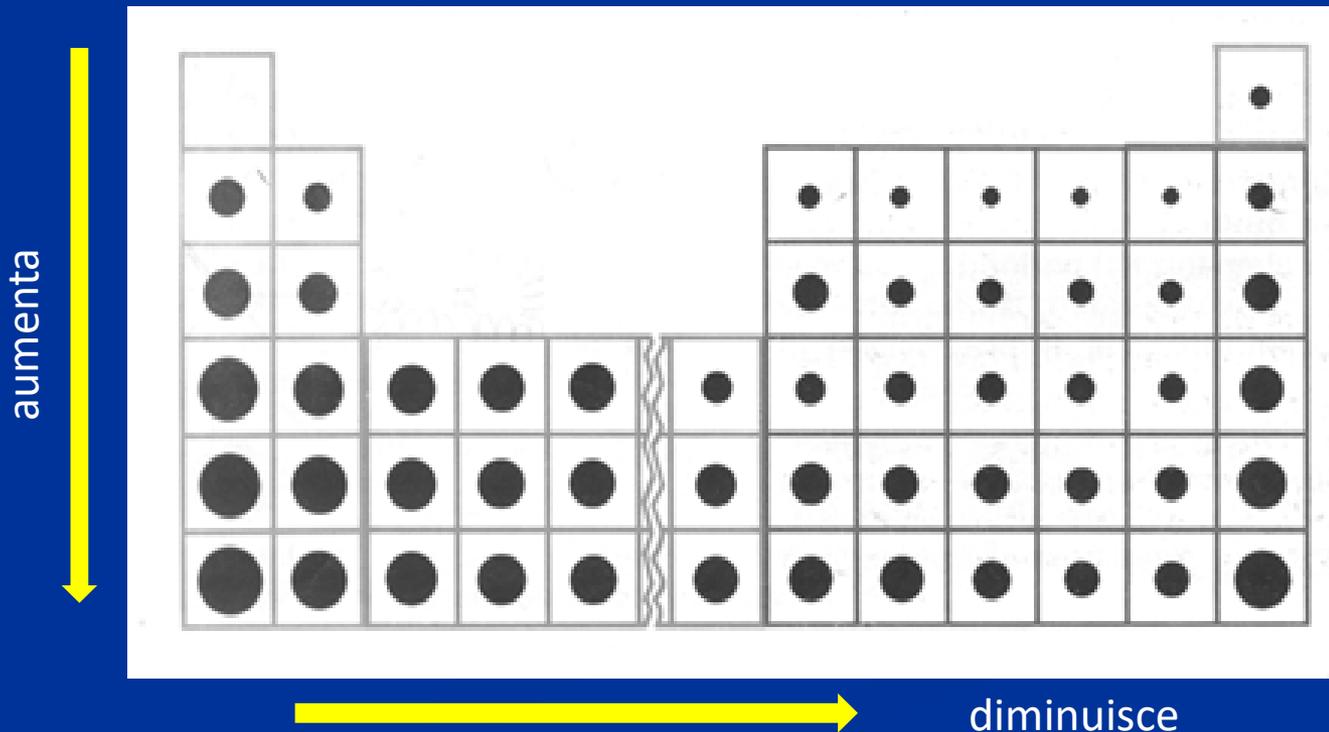
Gruppo VII			
Fluoro	$2S^2$	$2P^5$	HF
Cloro	$3S^2$	$3P^5$	HCl
Bromo	$4S^2$	$4P^5$	HBr
Iodio	$5S^2$	$5P^5$	HI

# 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



# 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,  $nS^2, nP^6$  → 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 <sup>+</sup> ; K <sup>+</sup> ecc.)	V°	raramente cationi trivalenti (Bi <sup>3+</sup> ) o anioni trivalenti (N <sup>3-</sup> )
II°	cationi bivalenti (Mg <sup>2+</sup> ; Ca <sup>2+</sup> ecc.)		
III°	cationi trivalenti (Al <sup>3+</sup> )	VI°	anioni bivalenti (O <sup>2-</sup> ; S <sup>2-</sup> )
IV°	cationi tetravalenti (Sn <sup>4+</sup> ; Pb <sup>4+</sup> )	VII°	anioni monovalenti (Cl <sup>-</sup> ; F <sup>-</sup> ; ecc.)

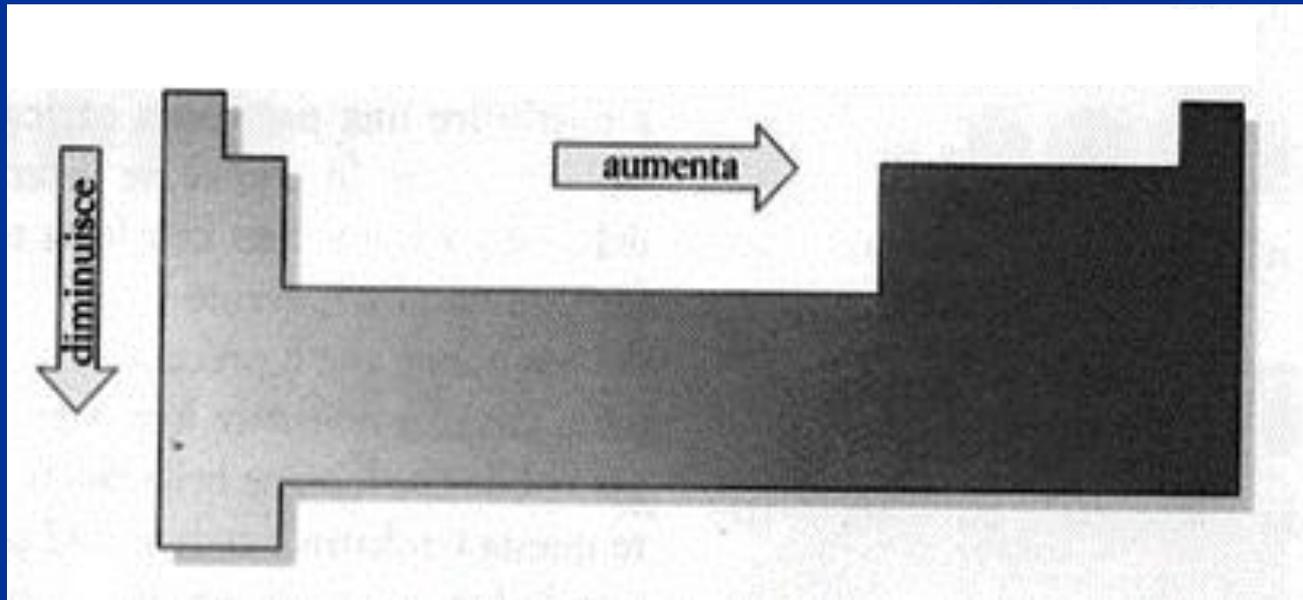
# La Tabella Periodica degli elementi chimici - 3

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)





# 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 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.

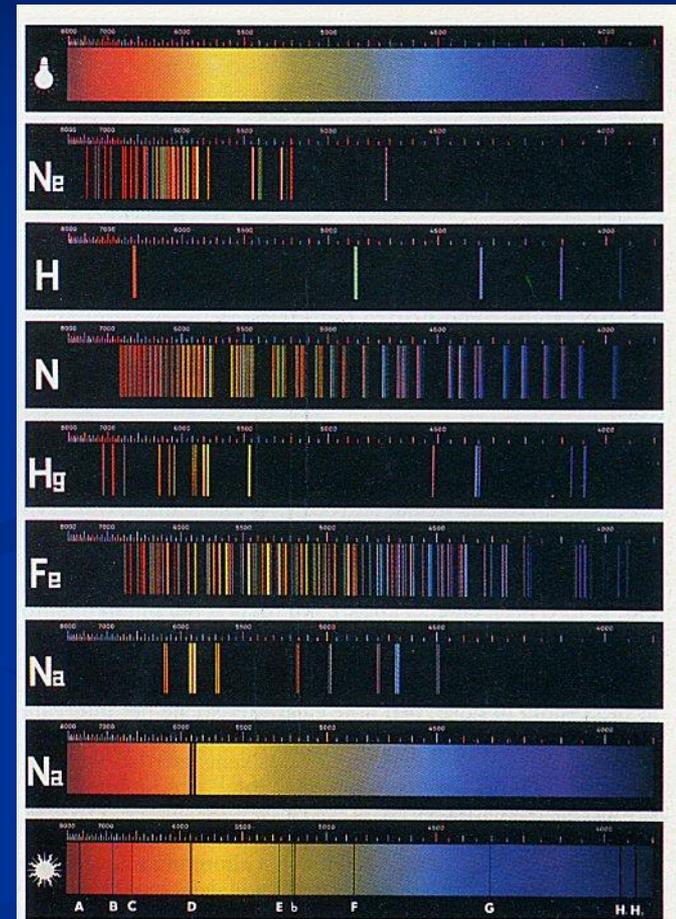


Fig. 1.8. Esempi di spettri. Dall'alto: spettro continuo (lampada a incandescenza); spettri di emissione (neon, idrogeno, azoto, mercurio, ferro, sodio); spettri di assorbimento (vapori di sodio, Sole). (Officine Galileo, Firenze)

# 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

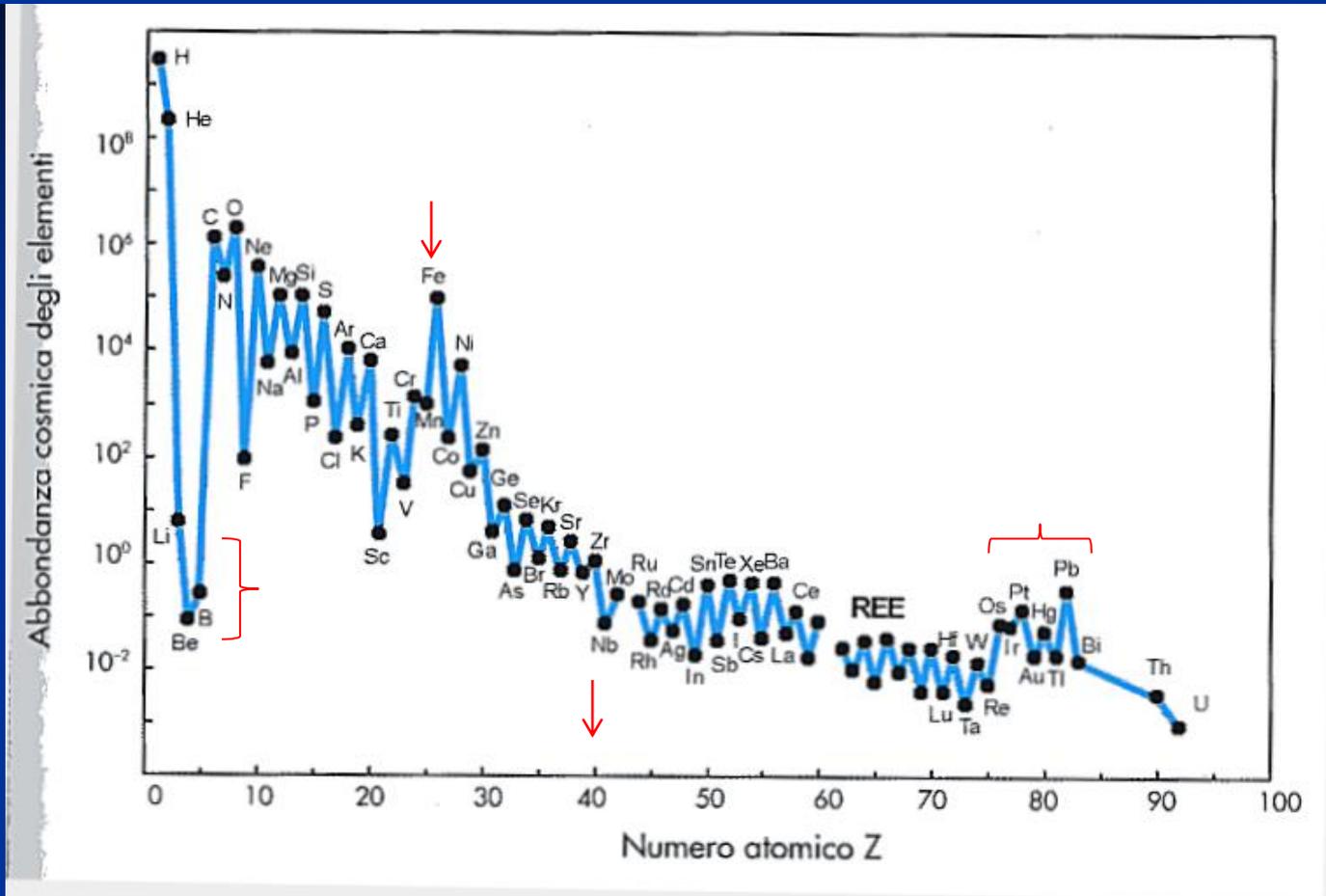
**Le meteoriti**, in particolare le **condriti carbonacee**, rare e primitive, possono essere considerate (se si escludono elementi atmofili come H, He, N, O, C e gli altri gas nobili), **rappresentative di materia primordiale non differenziata** ed hanno una composizione simile alle rocce terrestri ultramafiche (Ni e Fe) con tracce di H<sub>2</sub>O e composti organici (amminoacidi).

Allende-MES: la più vecchia (4,56 Miliardi d'anni !!!)  
Murchison-AUS: di origine cometaria (12% d'acqua) e 92 amminoacidi

**Condrite di Murchison (AUS)**



# L'abbondanza cosmica degli elementi chimici - 3



Esaminando il complesso dei dati si può osservare che:

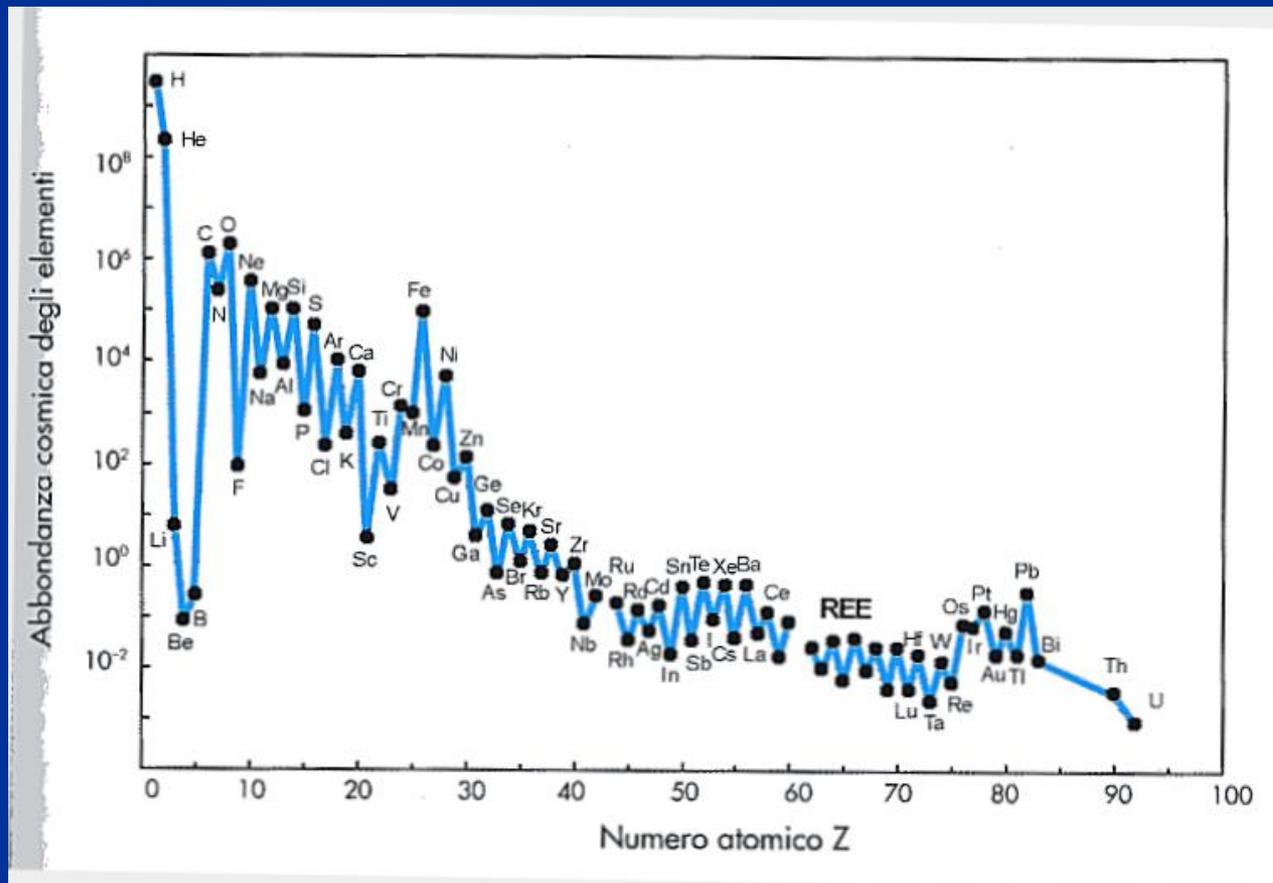
- l'H è l'elemento più abbondante, seguito da He, O, C, Ne, N, Si, Mg, Fe ecc. atomico (la somma H+He costituisce il 95-98% degli elementi)

- 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 gruppo del **Fe**, 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.

# 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), 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 della 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<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, Ar**

Gas minori: **CO<sub>2</sub>, Ne, He, CH<sub>4</sub>, Kr, N<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, Xe**

L'anidride carbonica (**CO<sub>2</sub>**) è particolarmente importante insieme all'ozono (**O<sub>3</sub>**) 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 oltrechè di fini particelle solide (polveri).

# L'idrosfera

La sua composizione media è praticamente quella degli oceani!

Ioni maggiori disciolti:  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$

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 ( $10^6 \text{ km}^3$ )	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 ( $\rho$ )** rispetto all'acqua, alta per i cosiddetti pianeti interni, bassa per quelli esterni :

Mercurio 5,42 g/cm<sup>3</sup>

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<sup>-3</sup>**.

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

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

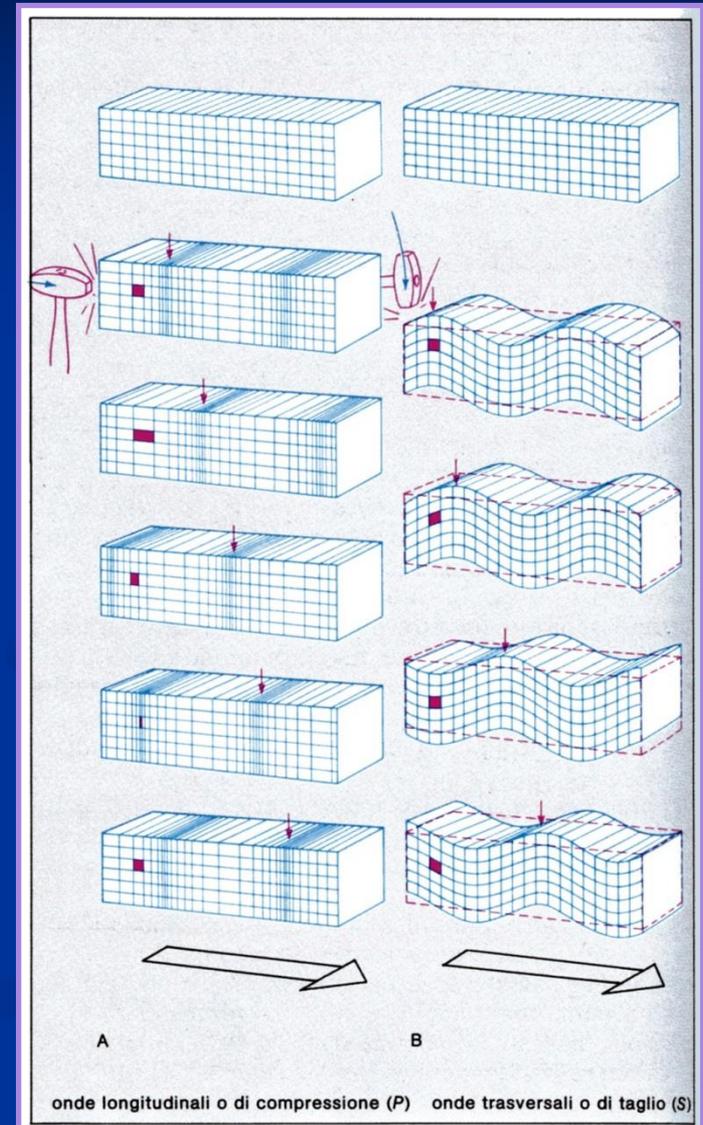
L'aumento di densità verso il centro del pianeta è, molto probabilmente, dovuto a due fattori:

a) aumento della compressione

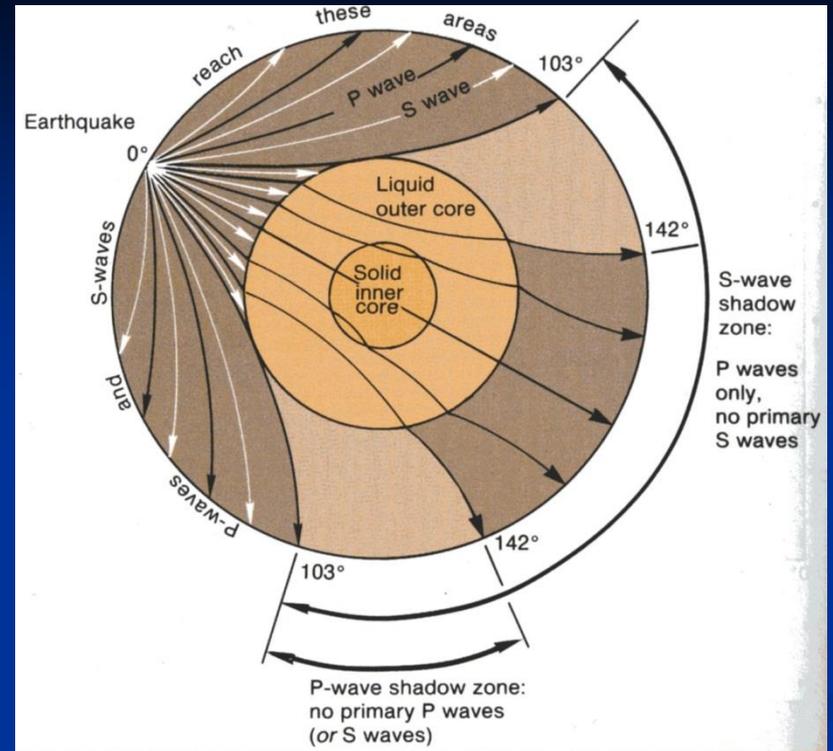
b) concentrazione di elementi più densi ad una distanza minore dall'asse di rotazione.

# Le onde sismiche

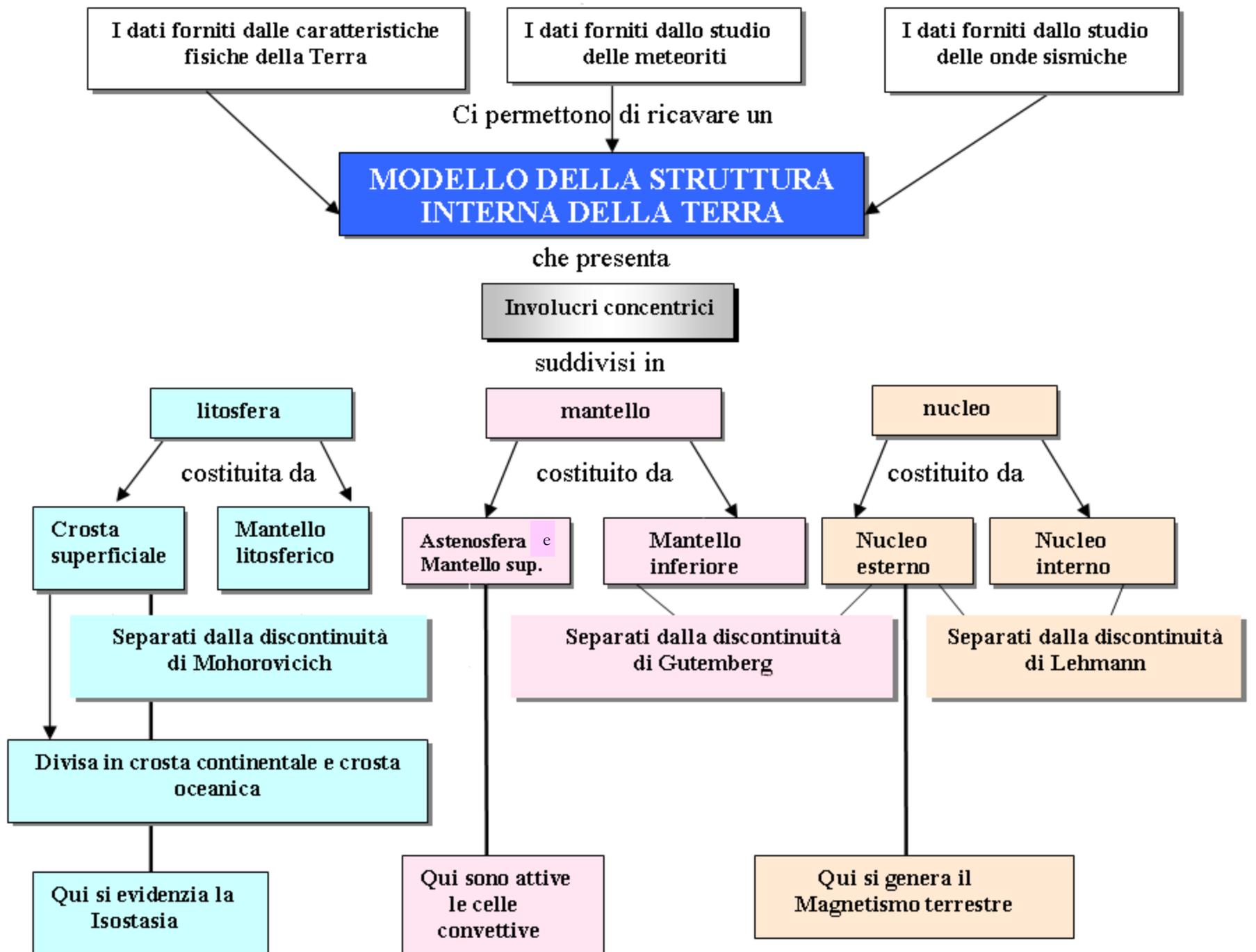
- Onde interne (di volume)
  1. *compressive o primarie (P):*  
*5.95-6.75 km/s*
  2. *di taglio o secondarie (S):*  
*2.9-4.0 km/s maggior ampiezza e*  
*distruttività*



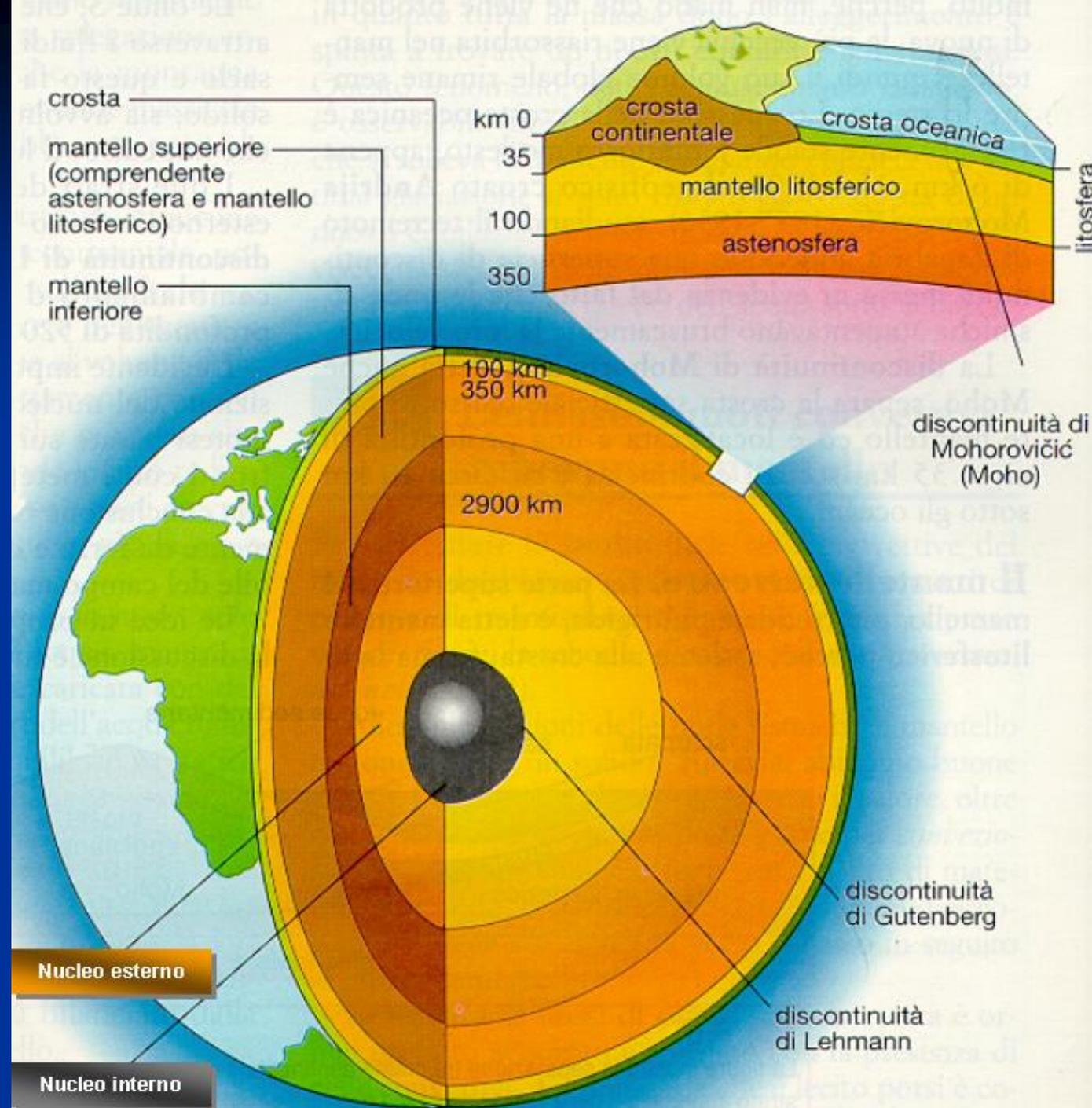
# Propagazione delle onde sismiche



- 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

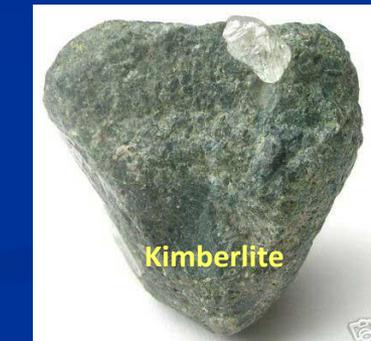


# La struttura della terra



km DI PROFONDITÀ		
		<b>Crosta superiore</b> mediamente a composizione granitica DENSITA' $2,5 \pm 2,7 \text{ gcm}^{-3}$
10+40	<b>CROSTA</b>	<b>Crosta inferiore:</b> 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 = $7,7 \text{ kms}^{-1}$
400	rocce ultrafemiche densità $\sim 3,3 \text{ gcm}^{-3}$	<b>DISCONTINUITA' DI MOHOROVICIC (MOHO)</b>
700	<b>MANTELLLO</b> densità $\sim 3,7 \pm 4,5 \text{ gcm}^{-3}$	
	Vp = $8,1 \text{ kms}^{-1}$ materiali ricchi in silicati di Fe e Mg densità variabile da $\sim 3,9$ a $\sim 5,1 \text{ gcm}^{-3}$	<b>Litosfera:</b> comprende Crosta e Mantello litosferico <b>Mantello litosferico:</b> comprende il settore sottostante la crosta con peridotiti a spinello e kimberliti. <b>Astenosfera:</b> da circa 100 a circa 300 km con peridotiti a granato e comportamento plastico. <b>Mesosfera</b> o zona di transizione al mantello inferiore da circa 600 a circa 1000km. <b>Mantello inferiore</b> a comportamento rigido da circa 1000 a circa 2885 km Vp = $13,7 \text{ kms}^{-1}$
2885	Vp = $13,7 \text{ kms}^{-1}$	<b>DISCONTINUITA' DI GUTENBERG</b>
	Vp = $8,1 \text{ kms}^{-1}$	
	<b>NUCLEO ESTERNO</b>	<b>Nucleo esterno</b> 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.
5200	densità variabile da $\sim 11$ a $\sim 14 \text{ gcm}^{-3}$ Vp = $10,4 \text{ kms}^{-1}$	<b>DISCONTINUITA' DI LEHMANN</b>
	Vp = $11,0 \text{ kms}^{-1}$	
	<b>NUCLEO INTERNO</b>	<b>Nucleo interno</b> a comportamento rigido probabilmente costituito da ferro ed altri elementi non ben identificati.
	densità fino a $\sim 16 \text{ gcm}^{-3}$ Vp = $11,3 \text{ kms}^{-1}$	

# La struttura della terra



# 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

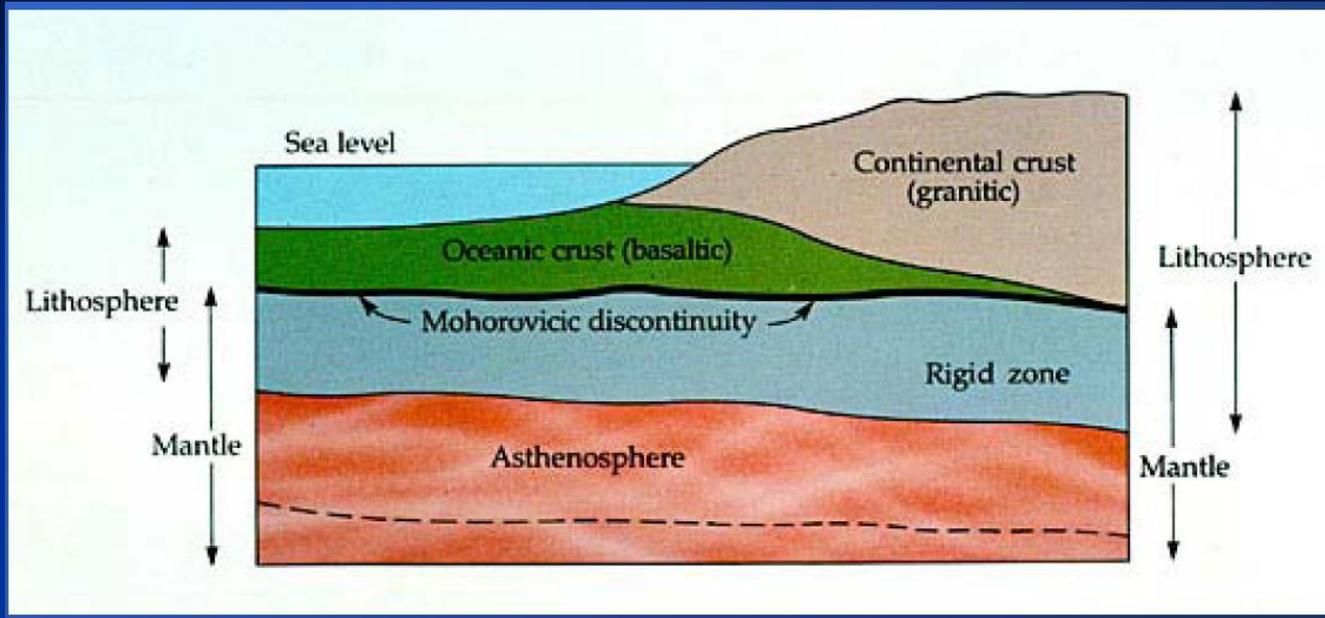
O = 44,79	Fe = 5,82	Mn = 0,116
Si = 21,52	Ca = 2,31	Ti = 0,112
Al = 2,16	K = 0,03	Ni = 0,200
Mg = 22,78	Na = 0,26	Cr = 0,270



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

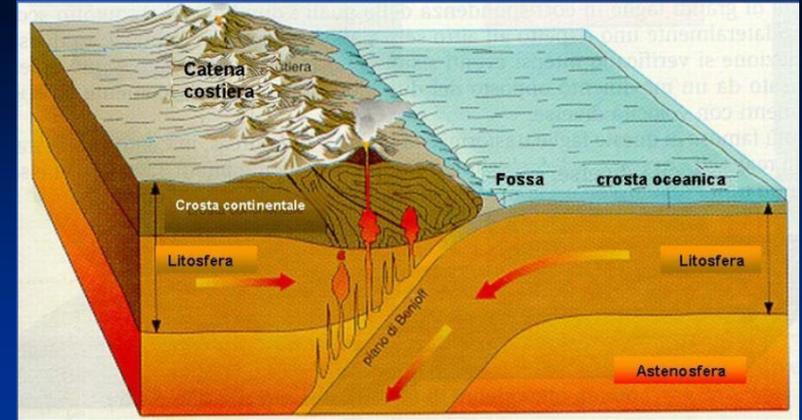
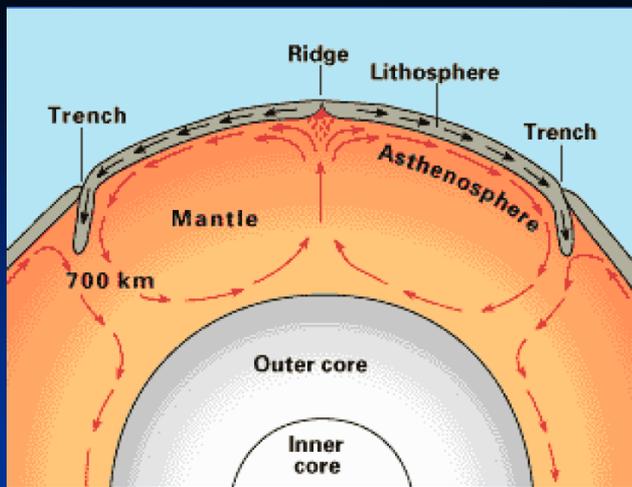
2 media pesata di rocce crostali sia continentali che oceaniche

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 <sub>2</sub>	59.1	55.2	60.4	66.4	59.3
TiO <sub>2</sub>	1.0	1.6	1.0	0.7	0.9
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.3	15.3	15.7	14.9	15.9
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	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 <sub>2</sub> O	3.8	2.9	3.2	3.6	3.0
K <sub>2</sub> O	3.1	1.9	2.5	3.3	2.4
H <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub>	50.39
TiO <sub>2</sub>	1.72
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.93
FeO(tot)	10.20
MnO	0.18
MgO	7.34
CaO	11.29
Na <sub>2</sub> O	2.86
K <sub>2</sub> O	0.25
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.35
<b>99.52</b>	

## Crosta continentale

Chimismo medio della crosta continentale di tipo andesitico.

SiO <sub>2</sub>	59-63
TiO <sub>2</sub>	0.6-0.7
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15-16
FeO	4.9-6.6
MnO	0.1
MgO	2.8-4.4
CaO	4.7-6.4
Na <sub>2</sub> O	3.2-4.2
K <sub>2</sub> O	1.9-2.4
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	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 %	Fe = 6 %
Si = 28 %	Ca = 2,4 %
Al = 8 %	K = 2,3 %
Mg = 4 %	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.
- 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.

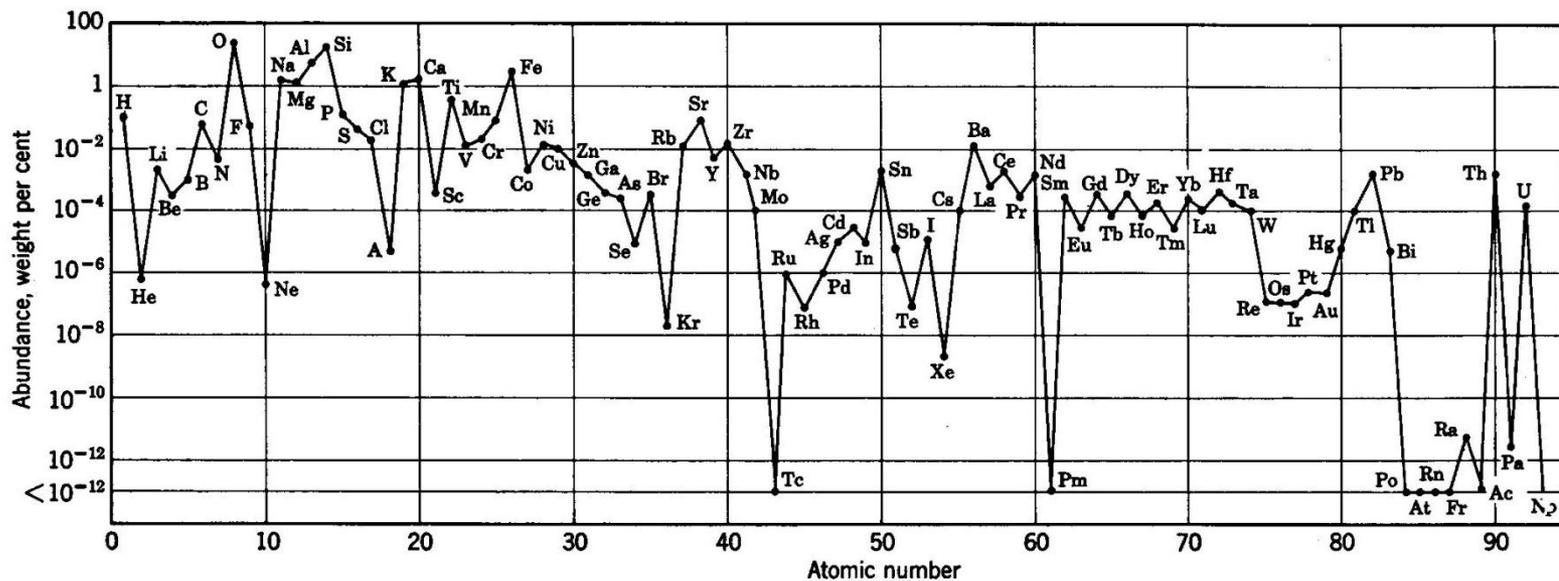
# Composizione della Crosta

Elemento	ppm (g/ton)						
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. zircone-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 è attualmente considerevole per la lavorazione di notevoli quantitativi di zircone.

# I minerali\* della crosta terrestre

## Silicati

<b>Feldspati</b> (feldspato potassico + plagioclas) <b>60%</b>
<b>Quarzo</b> <b>12%</b>
<b>Silicati femici</b> (olivine, pirosseni, anfiboli, biotite) <b>17%</b>
<b>tot. 89%</b>

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 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 dall'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.**

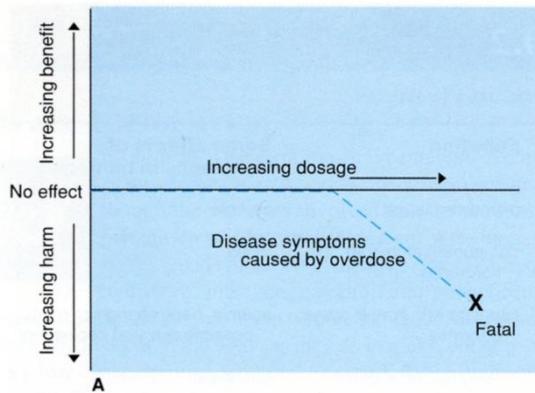
Oggi la geochimica, non è più finalizzata unicamente allo sfruttamento delle risorse minerarie, ma sta diventando uno strumento utile alla localizzazione di quegli elementi in traccia significativi per la vita.

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

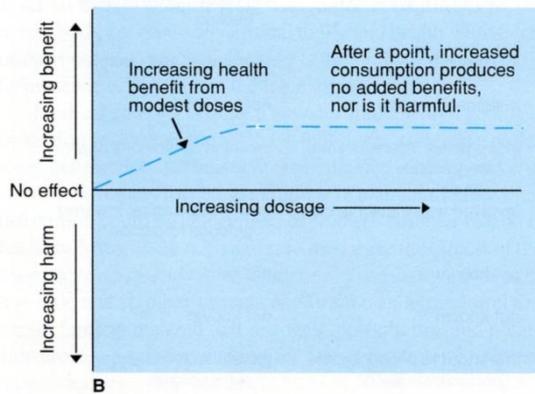
Gli elementi in traccia sono più importanti delle vitamine in quanto non possono essere sintetizzati, ma devono essere presenti nell'ambiente entro un intervallo di concentrazioni relativamente ristretto, al di fuori del quale si possono verificare danni dovuti sia alla carenza che alla tossicità per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

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

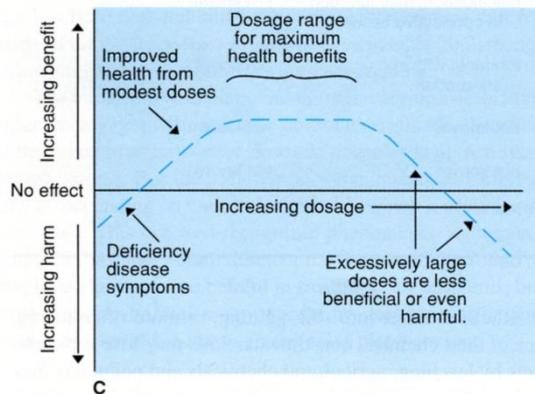
## Effetti benefici o tossici in risposta alle dosi assunte



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



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



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

## FLUORO (curva tipo C)

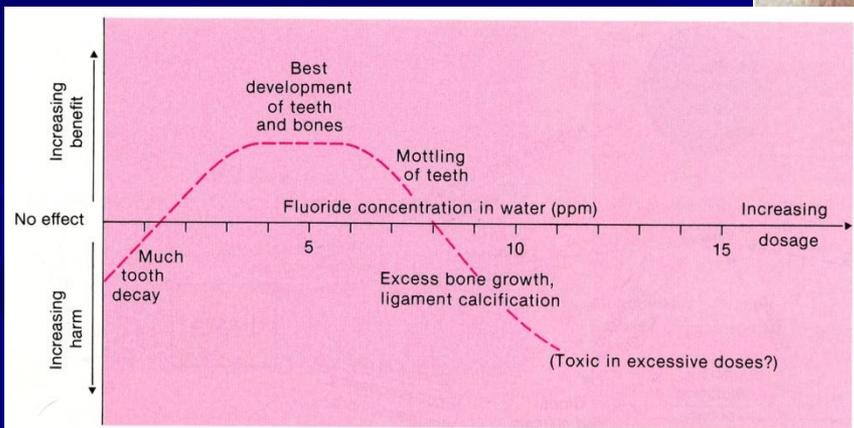
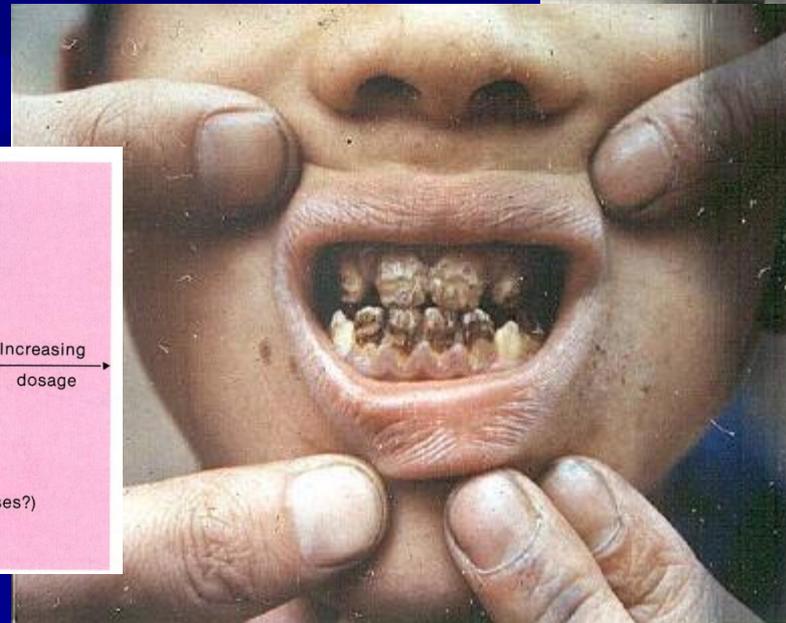
- nella crosta terrestre in alcune centinaia di ppm, nelle acque naturali in pochi ppm
- necessario per ridurre l'incidenza della carie (concentrazione ideale 1 ppm → 1 mg/l)
- 0.3-5 mg/giorno = dosi assumibili variabili in base alla dieta → suoli
- importante nella riduzione dell'osteoporosi

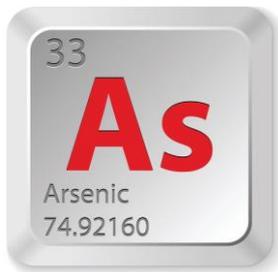
dosi anomali: 2-8 x dosi normali

causa: acque ricche in ioni F<sup>-</sup> (in rocce ignee)

effetti: alterazione del colore nella dentatura

fluorosi dentaria (20-40 x)  
e scheletrica





Metalloide  
Calcofilo

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

**Minerali:**

Arsenopirite ( $\text{FeAsS}$ ), Pirite arseniosa ( $\text{Fe}(\text{AsS})_2$ ),  
Realgar ( $\text{As}_4\text{S}_4$ ), Orpimento ( $\text{As}_2\text{S}_3$ )



*Realgar e Orpimento*

**Sorgenti antropogeniche:**

Attività mineraria

Carbone

Pesticidi

Industria del vetro

Microelettronica

(semiconduttori, laser, GaAs)

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

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

Gas tossici militari (lewisite)

# 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<sup>-1</sup>) 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

## 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.

Generalmente si ottengono dal campionamento sistematico e dall'analisi di suoli e sedimenti fluviali 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**

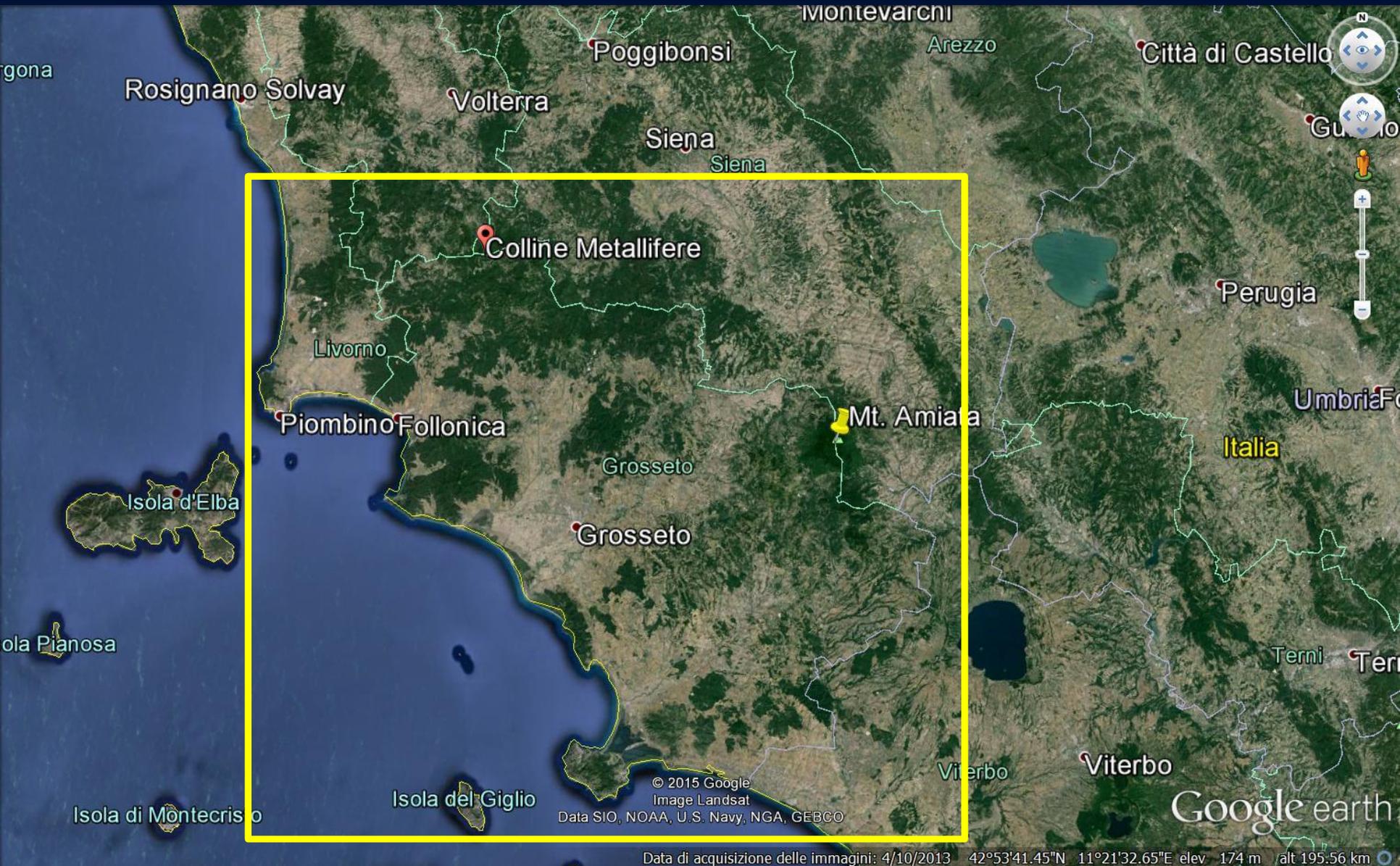
**As, Cd, Cu, Cr, F, Mo, Ni, Pb, U, Zn**

**Se, Tl, Mo**

**Cu, Mn, Co, Cr, Zn, V**

**Matrici utilizzabili:**

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



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



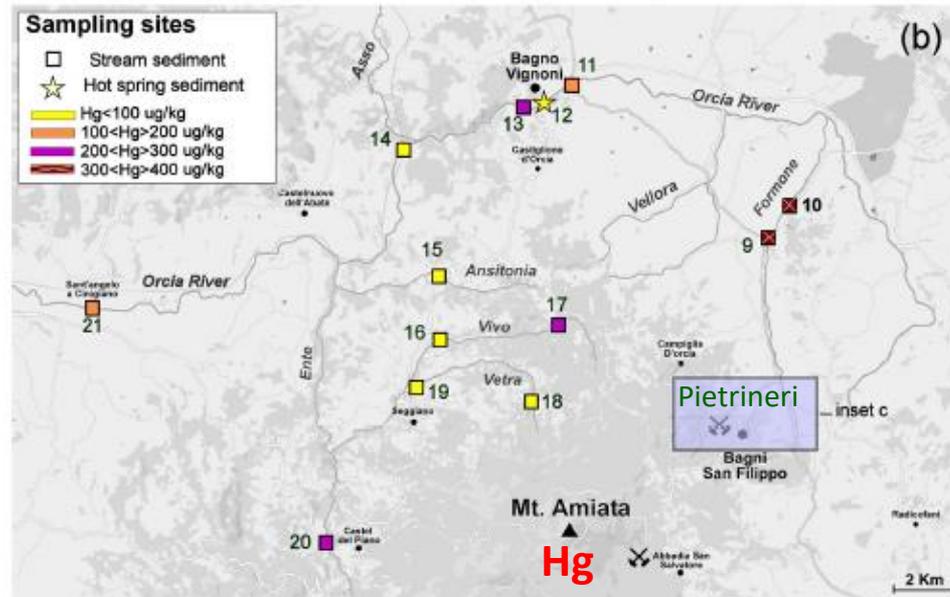
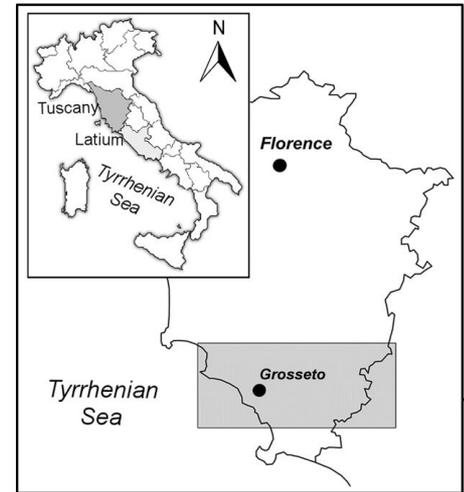
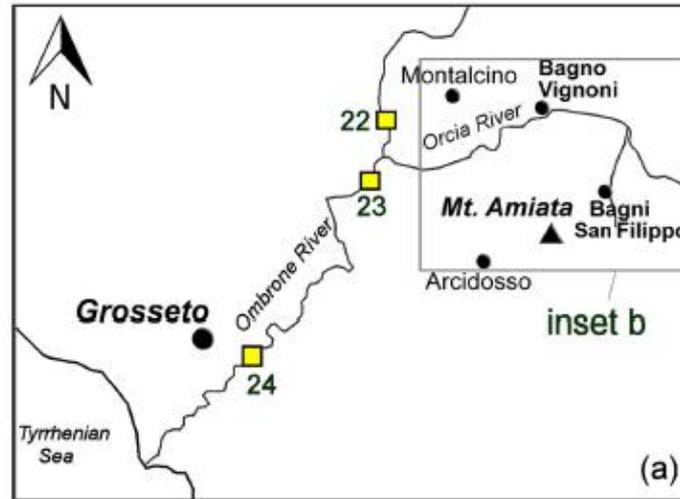
# Carta della distribuzione areale delle concentrazioni di Mercurio nei sedimenti fluviali (*stream sediments*) bacino fiume Orcia (Toscana).

Valori mediana:  
 Hg = 0.118 mg/kg  
 As = 5.25 mg/kg

Valori massimi:  
 Hg = 195 mg/kg  
 As = 35 mg/kg



Miniera di Pietrinieri



Travertino:  
 Hg = 23 mg/kg  
 As = 358 mg/kg



Bagni S. Filippo

Acque superficiali  
 < Limiti di legge:  
 Hg < 1 µg/L \*  
 As < 10 µg/L \*

\*limiti acque potabili

Fig. 2 a, b, c Mercury concentration and distribution at the different sampling sites

# Carta della distribuzione del cloro nelle acque

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

