

Gas in ambiente vulcanico

Gas Vulcanici

Gas idrotermali

Gas magmatici

Un fluido è una qualsiasi sostanza che fluisce o si deforma quando a questa viene applicato uno stress.

I fluidi comprendono un subset dello stato della materia e include liquidi, gas e liquidi silicatici.



Vulcanismo effusivo



Vulcanismo esplosivo

L'atmosfera terrestre come quella di altri pianeti del sistema solare è il risultato del progressivo degassamento del materiale primordiale. Nella composizione dei gas vulcanici troviamo gli ingredienti juvenili che hanno generato l'atmosfera

I gas vulcanici

- Cosa sono e da dove vengono
- Cenni sulla loro origine
- Quali sono i campi di applicazione per gli studi delle Scienze della Terra

Concetto base

Le specie gassose nei magmi possono essere disciolte nel fuso (accommodate nella struttura del fuso)

0

Possono essere presenti come specie essolte (bolle)

I gas vulcanici

“Termine generico per indicare un fenomeno esalativo spontaneo associato alla presenza di un edificio vulcanico”

I gas magmatici

“Termine che indica quelle specie gassose che sono presenti all'interno del magma”

Possiamo definire un composto chimico/elemento come un "gas" quando questo sia presente allo stato gassoso nelle condizioni standard, e.g. H_2 .

Possiamo definire un composto chimico/elemento come "volatile" quando tende a trasformarsi allo stato gassoso per le condizioni fisiche tipiche presenti in sistemi vulcanici, e.g. H_2O .

I gas nel magma sono detti componenti volatili, volatili magmatici, specie volatili o "elementi fuggitivi"



Quali evidenze abbiamo della loro presenza
nei magmi?



Eruzioni vulcaniche

Quali evidenze abbiamo della loro presenza nei magmi?



Magma degassing

Quali evidenze abbiamo della loro presenza nei magmi?



Fumarolic activity

Quali evidenze abbiamo della loro presenza nei magmi?

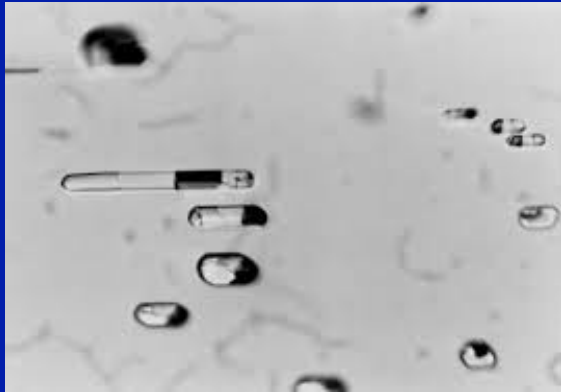


Pomici



Scorie

Quali evidenze abbiamo della loro presenza nei magmi?



Le inclusioni fluide sono la sola diretta evidenza che i fluidi hanno reagito con la roccia. Sono delle cavità in un minerale e possono avere una o più fasi (vapore+gas, liquido, solido)

INCLUSIONI PRIMARIE

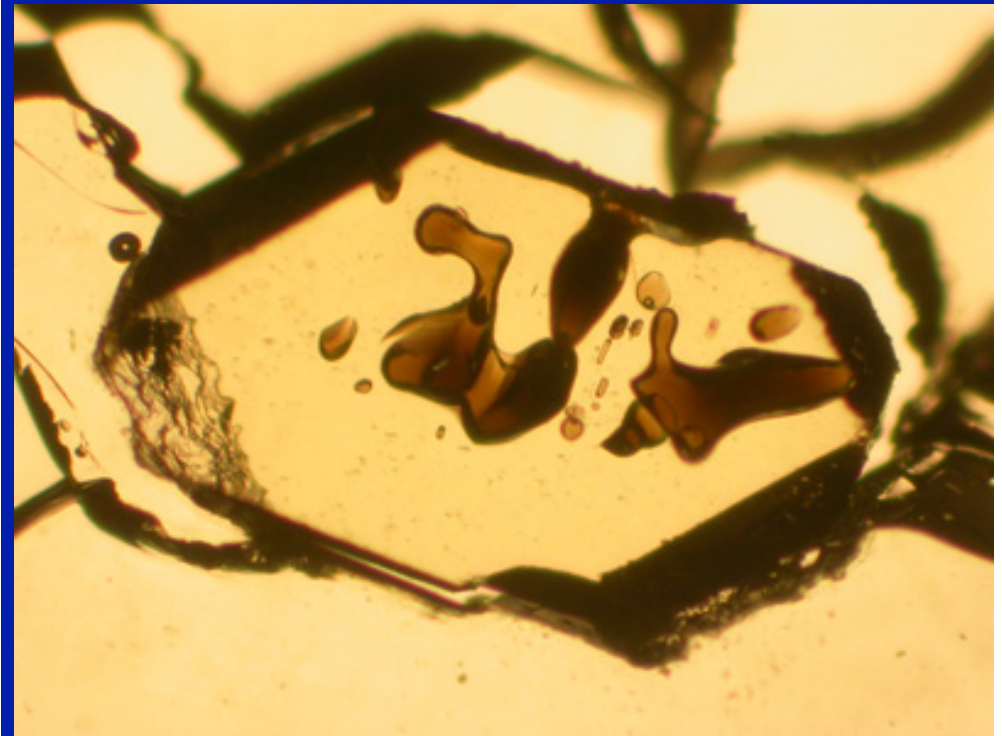
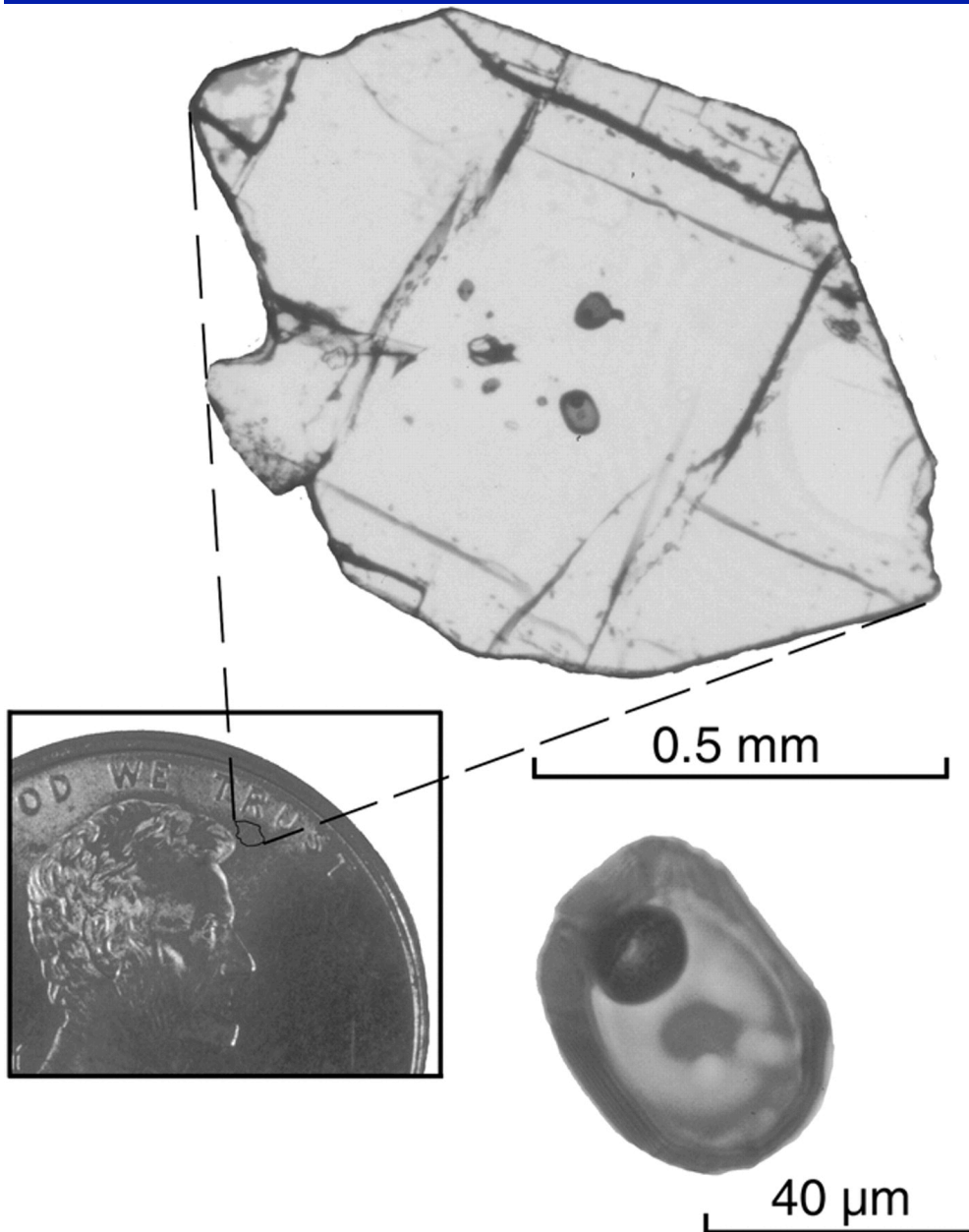
Si formano durante la crescita del minerale ospite e quindi, registrano le condizioni alle quali il cristallo si sviluppava.

INCLUSIONI SECONDARIE

Si formano dopo la crescita del minerale ospite per cicatrizzazione di microfratture e quindi, registrano le condizioni che esistevano nelle fasi successive alla formazione del minerale.



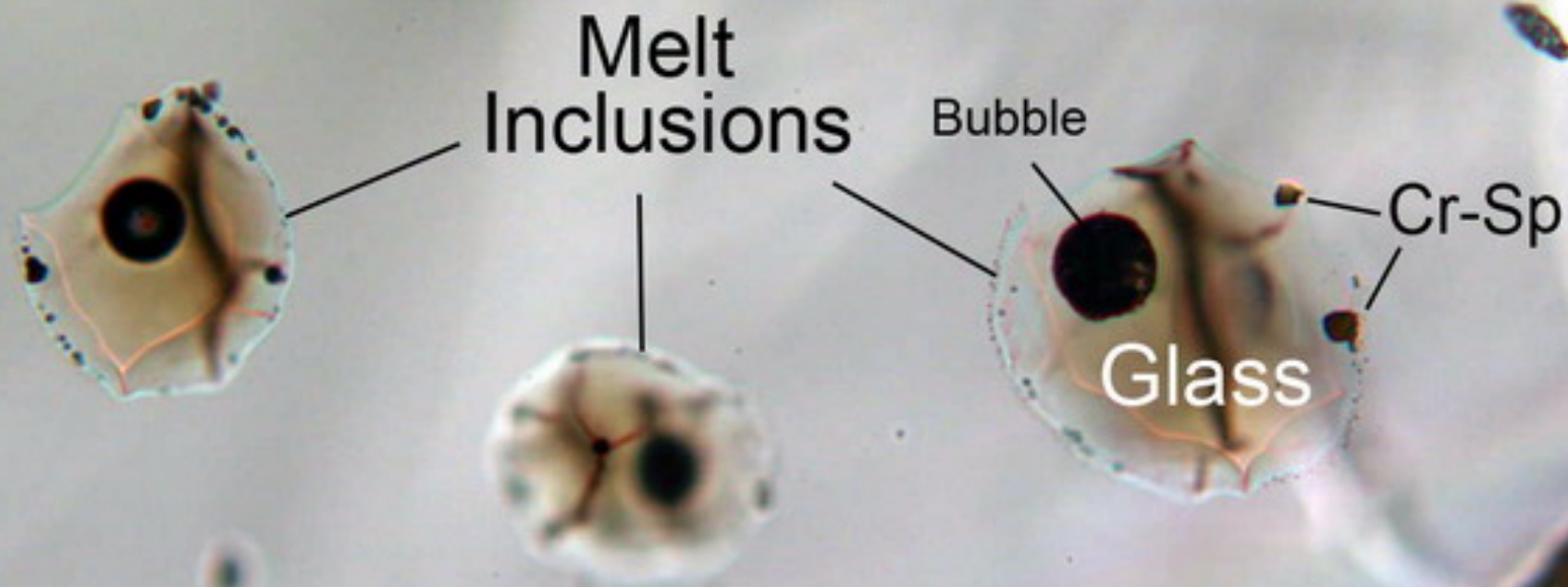
Quali evidenze abbiamo della loro presenza nei magmi?



Melt inclusion: inclusioni di materiale fuso rimasto intrappolato all'interno della camera magmatica durante la formazione di un cristallo

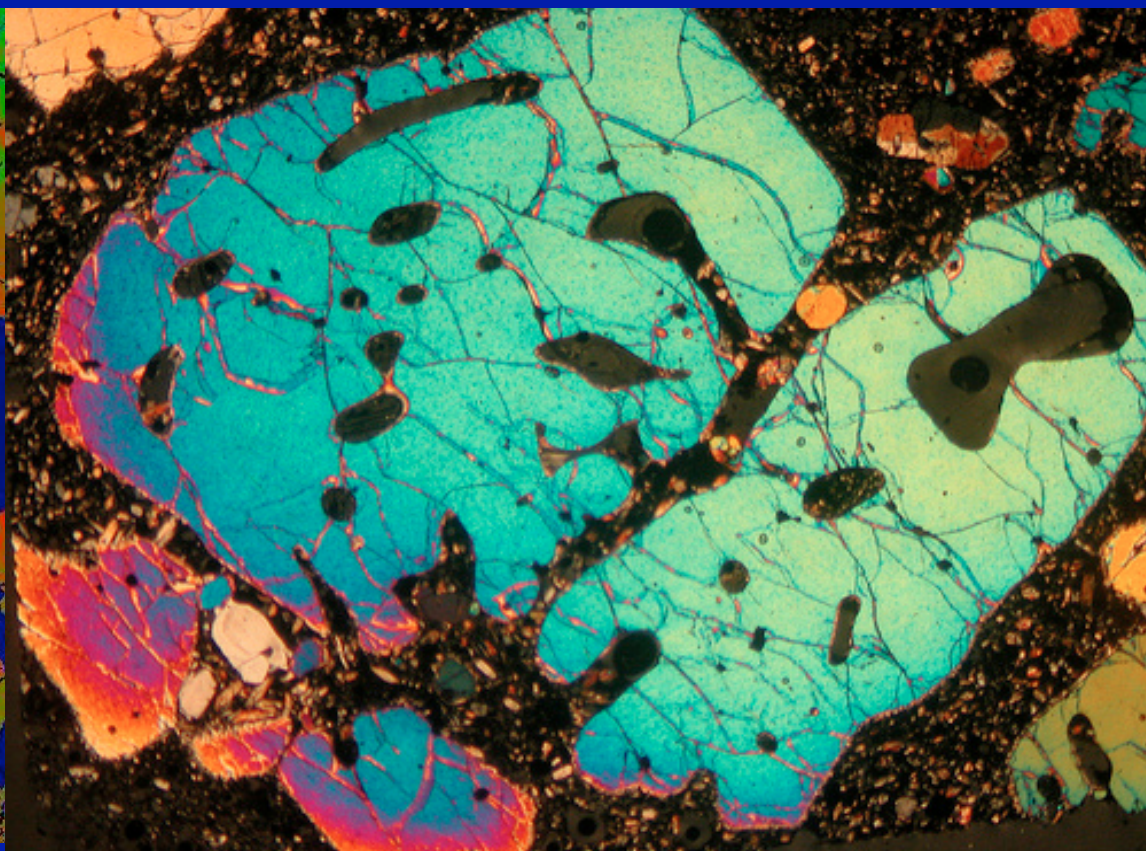
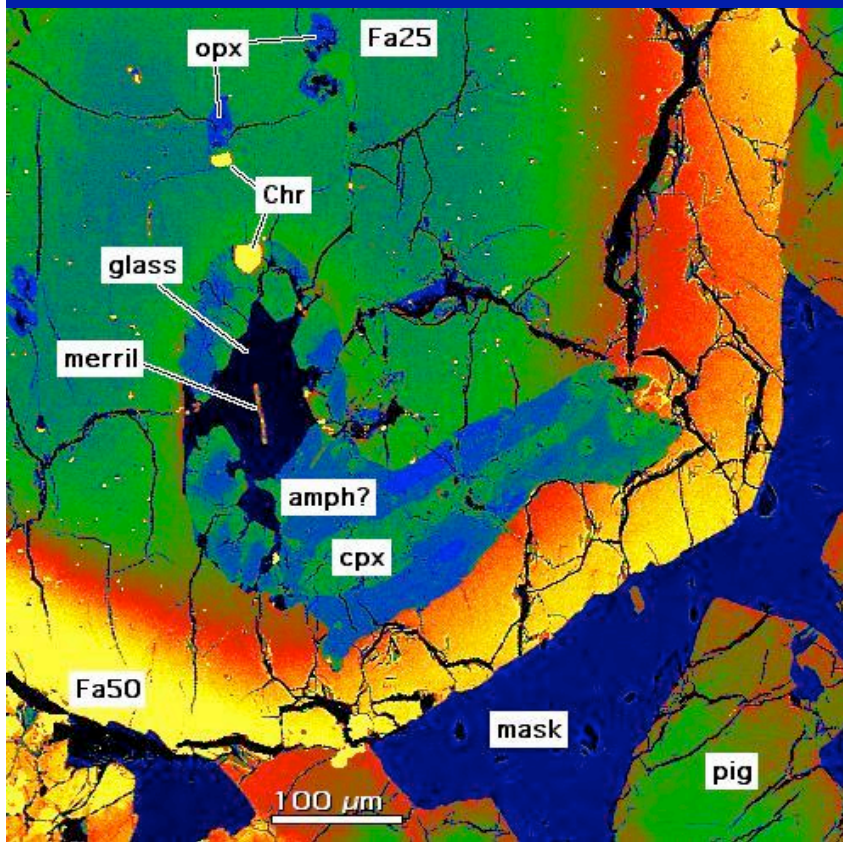
Cosa sono le melt inclusion (MI) e come si formano?

- Le (MI) primarie si formano nei xx quando un qualunque processo interferisce con la sua crescita. Così un piccolo volume di fuso rimane intrappolato;
- Meccanismi di formazione:
 1. Crescita scheletrica o altre forme irregolari per brusco raffreddamento;
 2. Formazione di "rientri" (per ri-sorbimento) seguita da cristallizzazione successiva
 3. Presenza in un xx di una fase immiscibile (e.g. solfuri o bolle di vapore) o saldatura ad un altro xx (e.g. spinello su olivina). Risultato: crescita irregolare e intrappolamento dell'inclusione.
- Le MI possono essere interessate da processi post-trapping.



OL, Fo89

100 μm



Le melt inclusion sono fondamentali per comprendere i meccanismi di distribuzione degli elementi

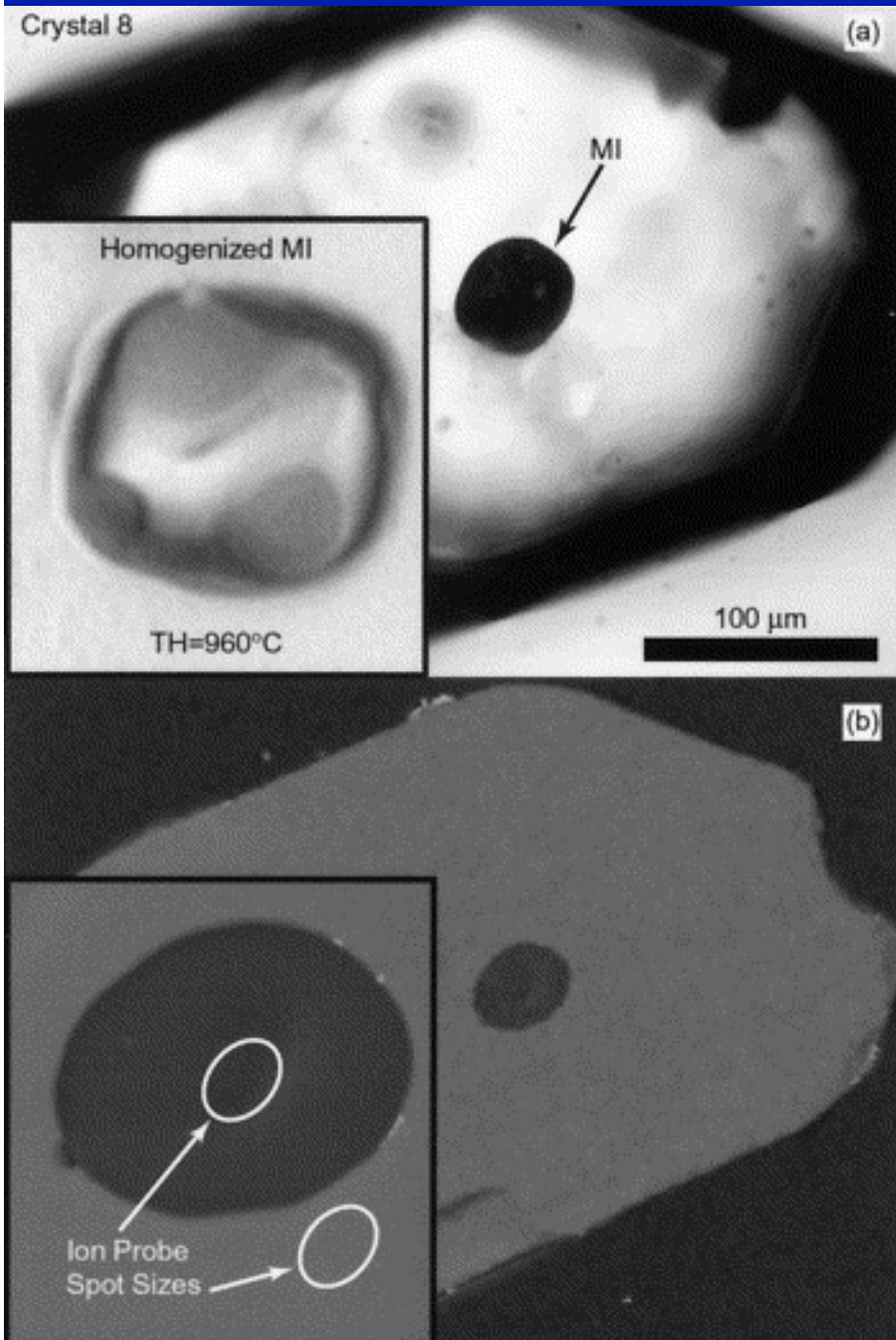
Si utilizzano per lo studio dei coefficienti di ripartizione

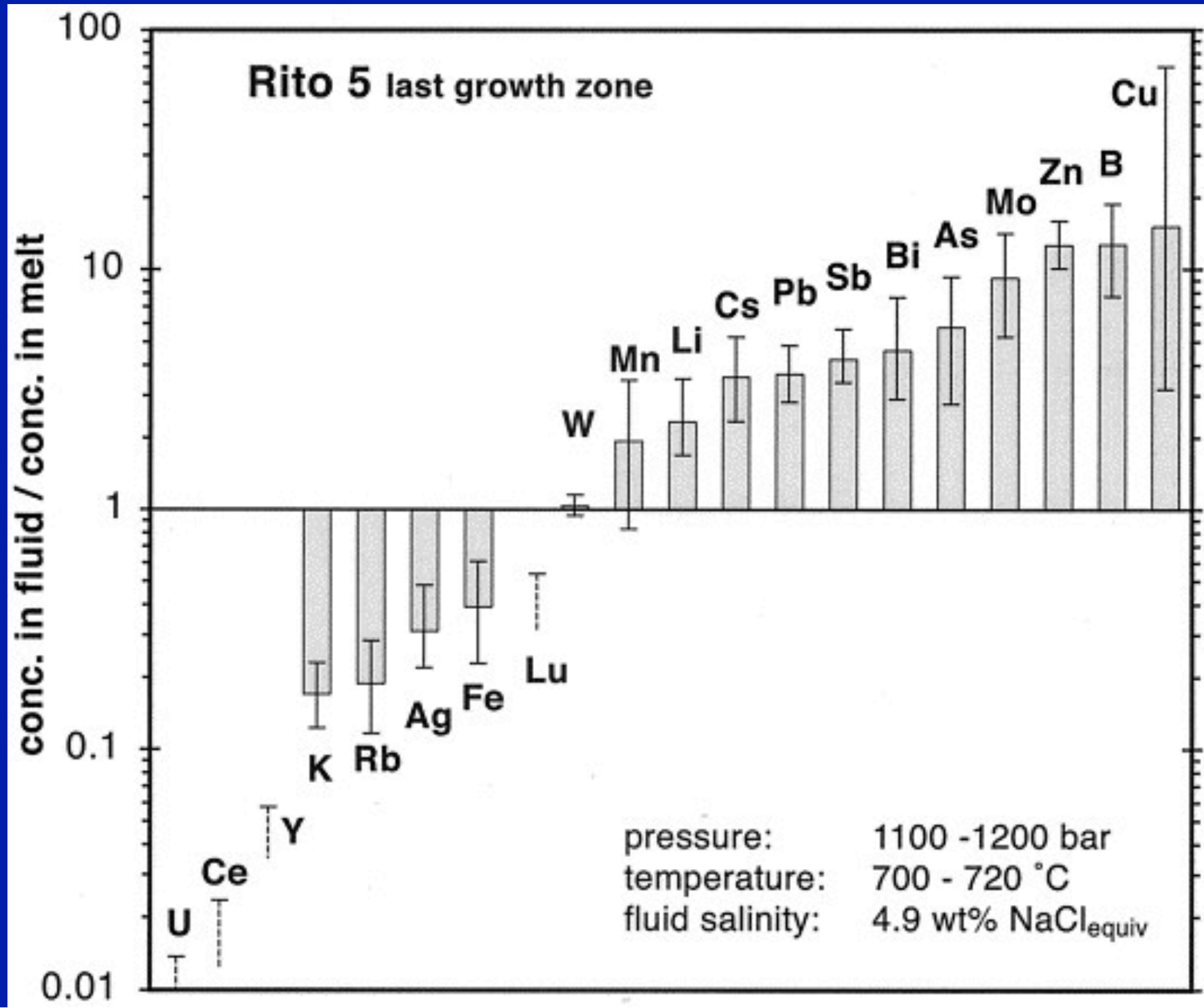
$$k_d = C_m / C_f$$

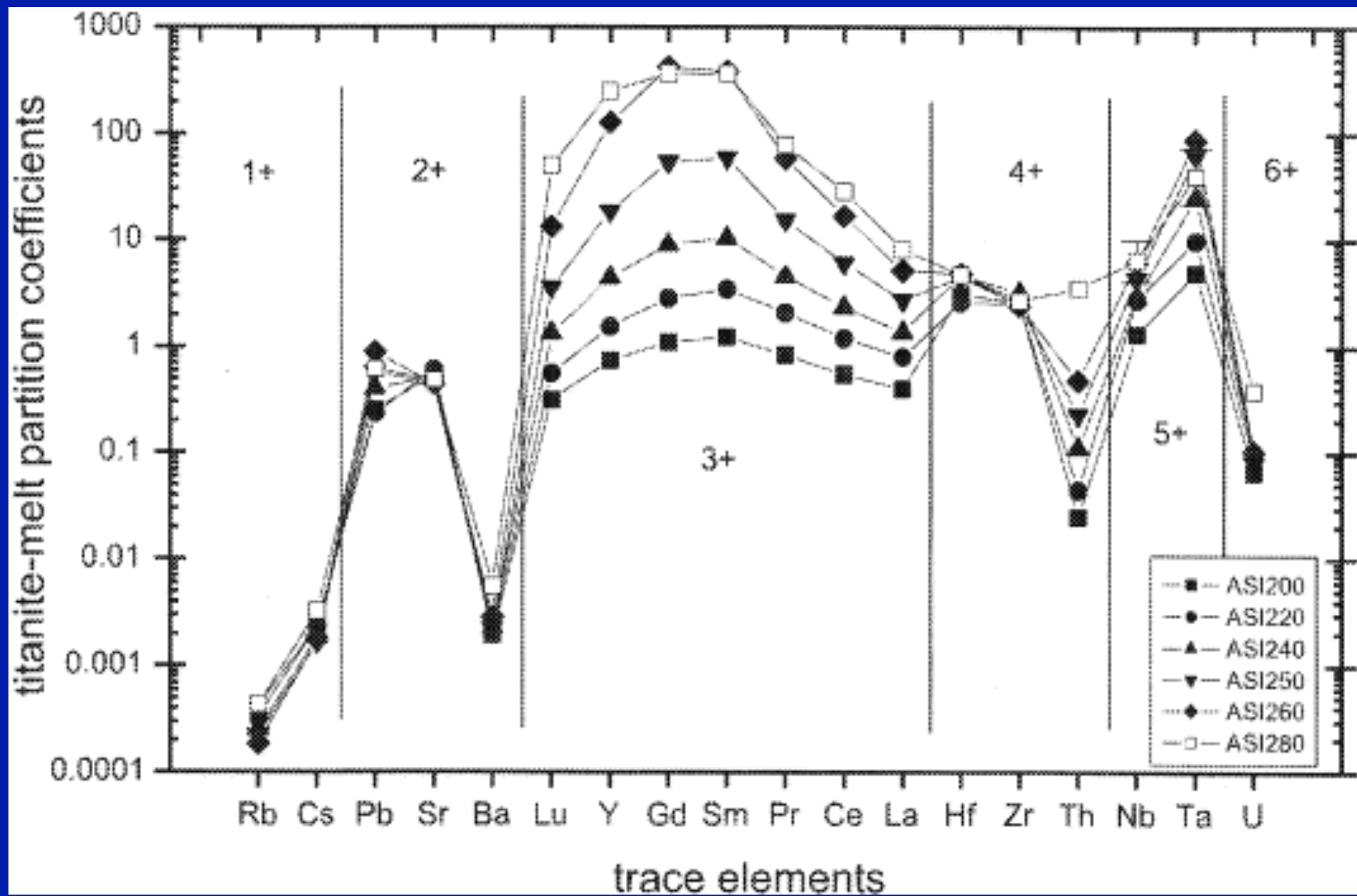
EMPA: Electron Micro-Probe Analysis

SIMS: Secondary Ion Mass Spectrometry

LA-ICP-MS: Laser Ablation-Inductively Coupled Plasma-Mass spectrometry







Perchè è importante studiare i gas vulcanici?

- Giocano un ruolo fondamentale nel: i) forzare il magma a risalire e ii) convertire l'energia termica in energia meccanica durante i processi esplosivi

- Le variazioni in superficie della loro composizione chimica con il tempo possono riferirsi a variazioni delle condizioni profonde

Evidenze di base

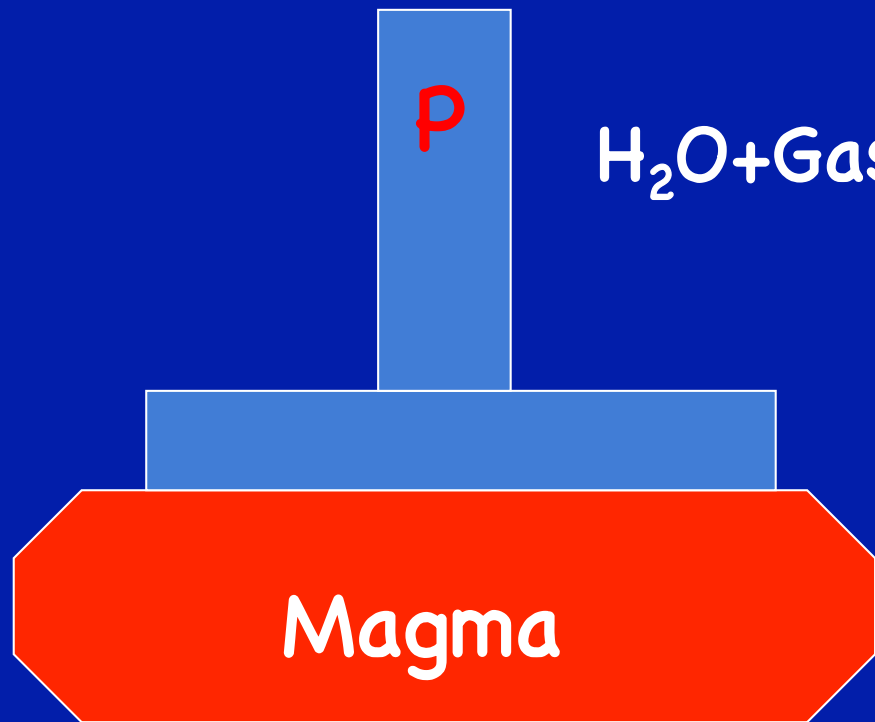
□ I fluidi convertono parte dell'energia termica dei magmi in energia meccanica

Energia	Eruzioni effusive	Eruzioni esplosive
Termica	99 %	90 %
Meccanica	1 %	10 %
Onde shock	0 %	1 %

Sorgenti fondamentali di informazioni su «*heat & mass transfer*» dal profondo verso la superficie
Importanti sono le loro implicazioni in geochimica e vulcanologia

Il vulcano come MACCHINA TERMICA

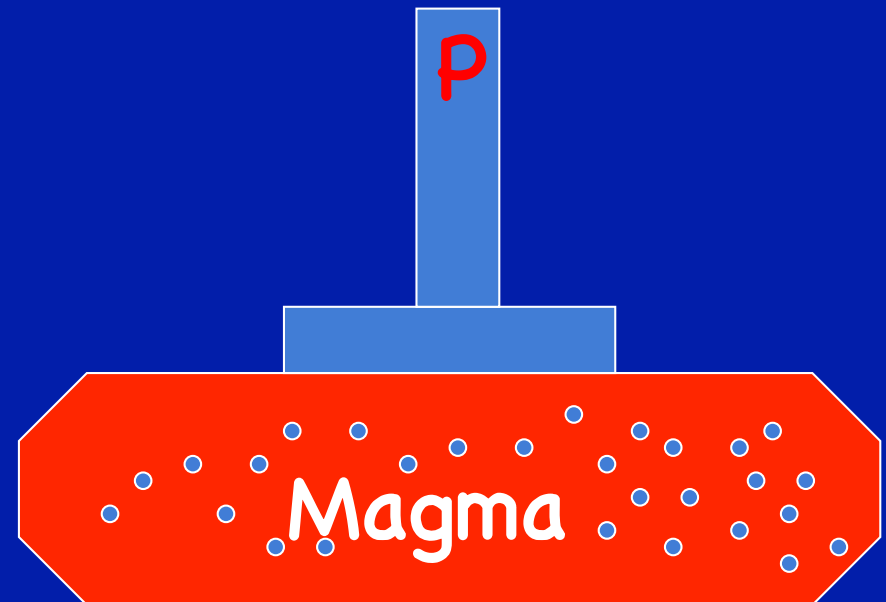




$H_2O + Gas =$ disciolto nel magma

Alla diminuzione di pressione la solubilità $H_2O + Gas$ diminuisce.

Al valore critico (pressione di saturazione) ogni diminuzione favorisce la formazione di BOLLE!



Aumento in volume al diminuire della Pressione

Il solo contenuto di 1% in volume di gas a 1000 bar significa il 91% di gas occupato alla pressione di 1 bar

10 m di H₂O → 1 bar
4 m di terreno → 1 bar

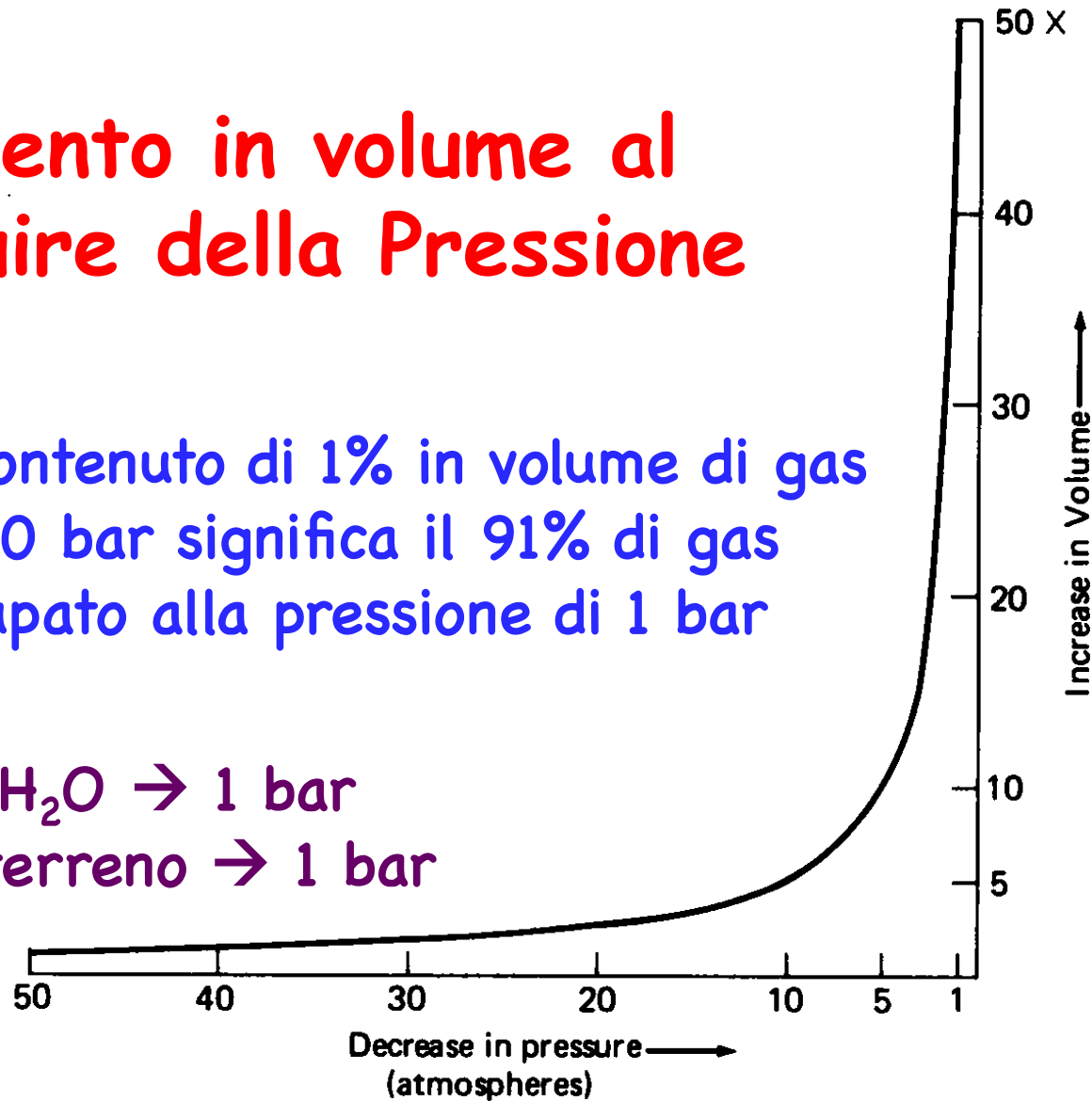
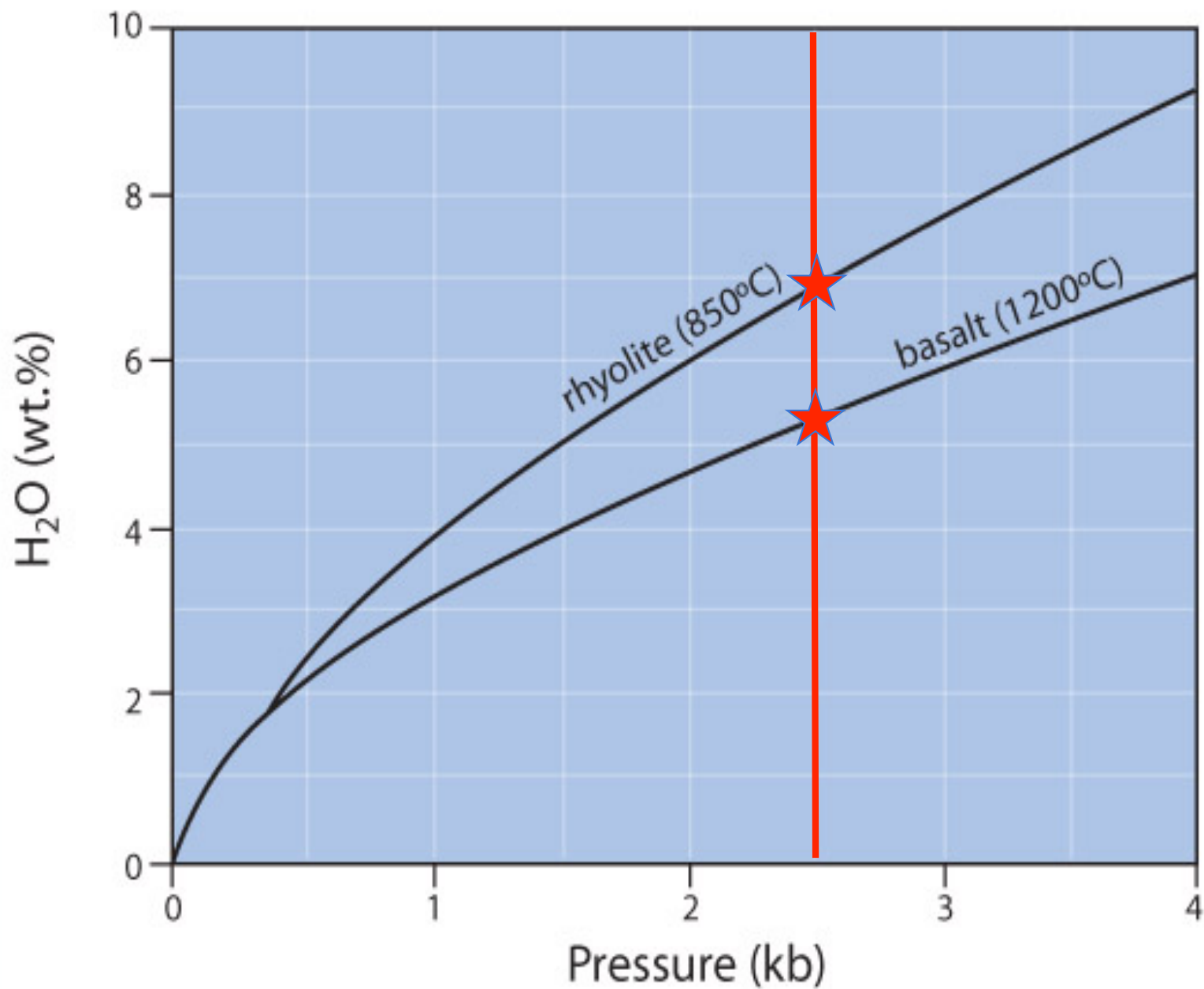
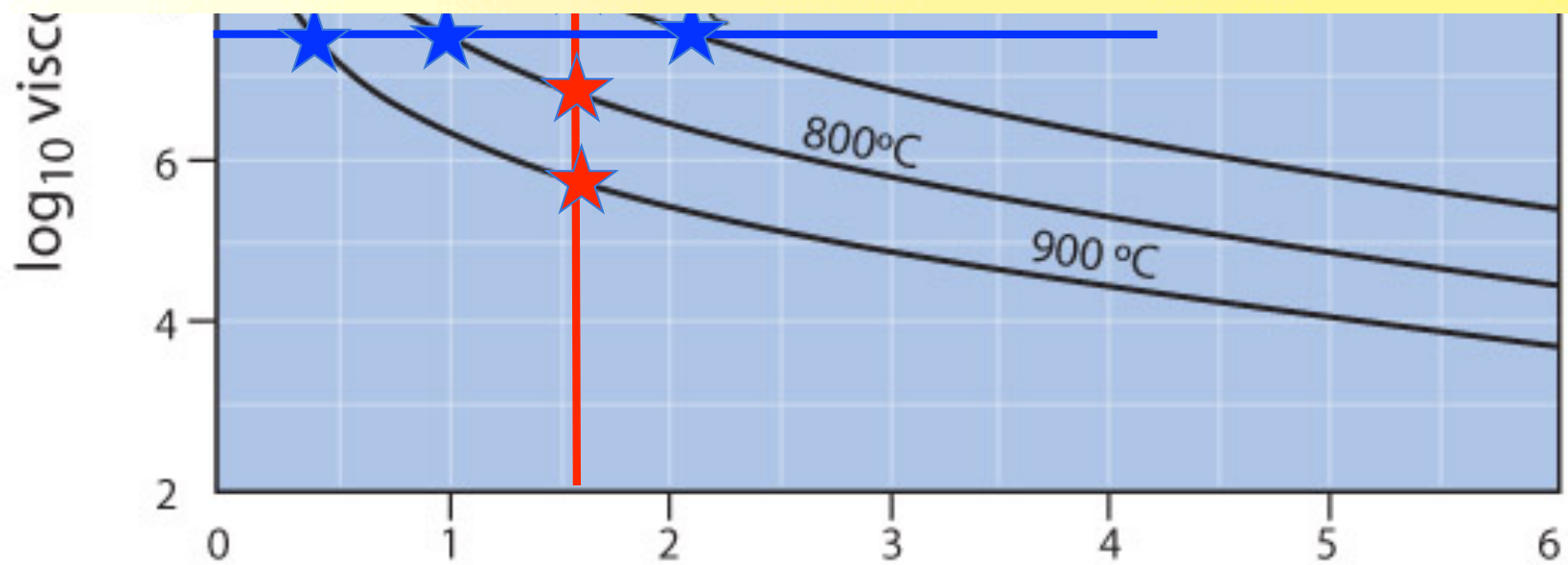
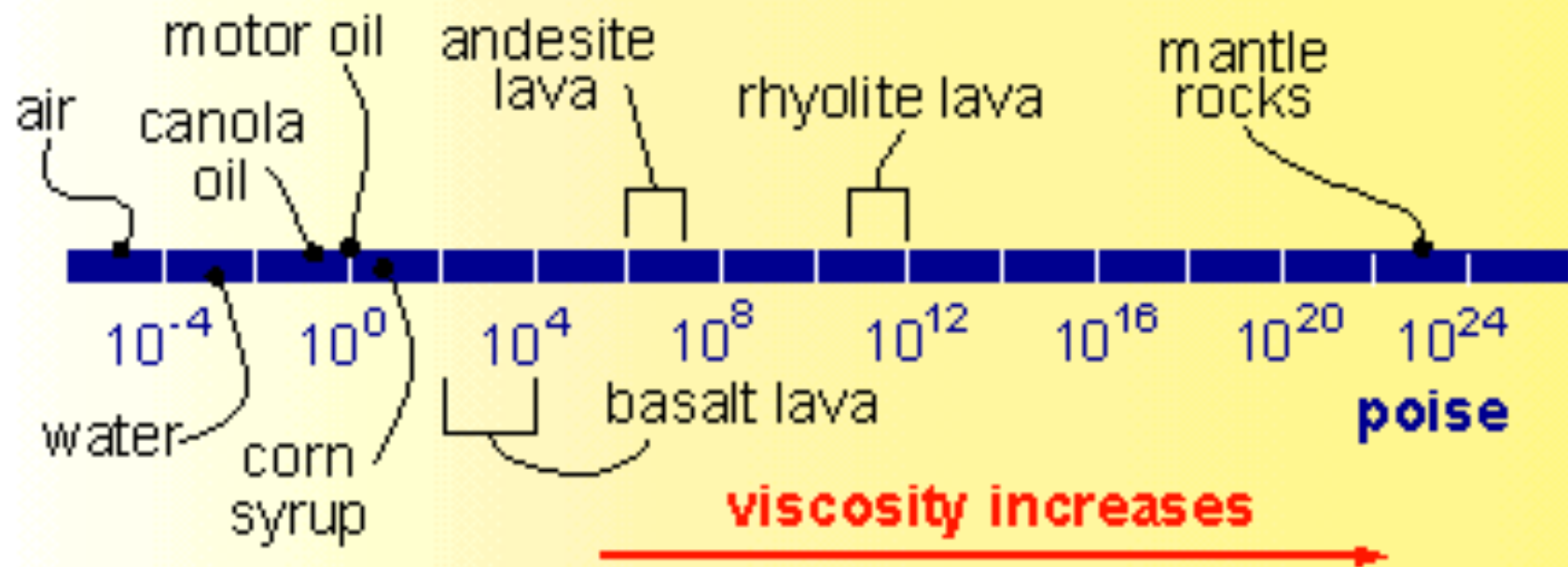


Figure 3.4. Graph showing the approximate volume of volcanic gases at a constant high temperature and varying pressure. For each 10 meters of depth below sea level, or about 4 meters of depth below ground level, pressure increases by 1 atmosphere. For example, volcanic gas bubbles in magma at a depth of 36 meters below ground surface (10 atmospheres) would expand approximately 10 times in volume as they approach the surface (1 atmosphere).

Water solubility in silicate melts





$1 \text{ P} = 0.1 \text{ Pa}\cdot\text{s} = 0.1 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ H_2O (wt. %)

Evidenze di base

□ I fluidi sono sensibili alle variazioni termodinamiche (P , T , fO_2) e agli effetti dei bilanci di massa in profondità →

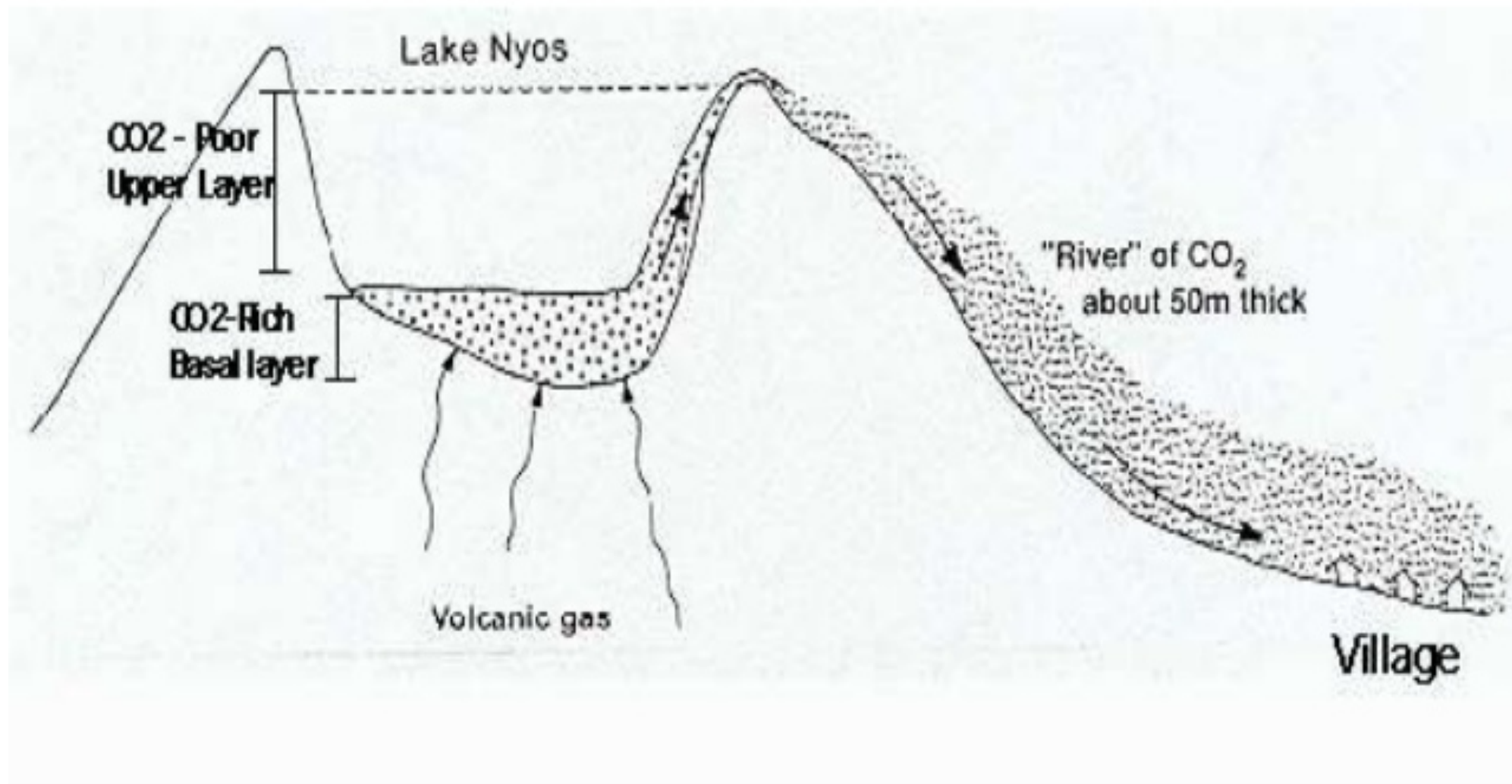
➤ le variazioni geochimiche delle emissioni gassose superficiali possono riflettere modifiche nel potenziale eruttivo profondo

➤ inconveniente: reattività chimica durante la risalita

□ I fluidi costituiscono una minaccia vulcanica reale di per sè: Nyos (Cameroon, 1986), Dieng (Indonesia, 1979), Laki (Iceland, 1783) →

➤ il loro monitoraggio è utile per la mitigazione del rischio

Fig. 6: Schematic diagram showing leakage of CO₂ from Lake Nyos, Cameroon.
Source: URL www.files.chem.vt.edu/confchem/1998/donnelly/LN



Cosa è un gas vulcanico?

Un gas vulcanico è...

“un fluido caldo a multi-componente e multi-sorgente emesso naturalmente in un'intima associazione spaziale e temporale con un sistema vulcanico”

A causa del largo spettro di esalazioni gassose e di sistemi vulcanici, questa definizione potrebbe essere ambigua...

Un primo problema:

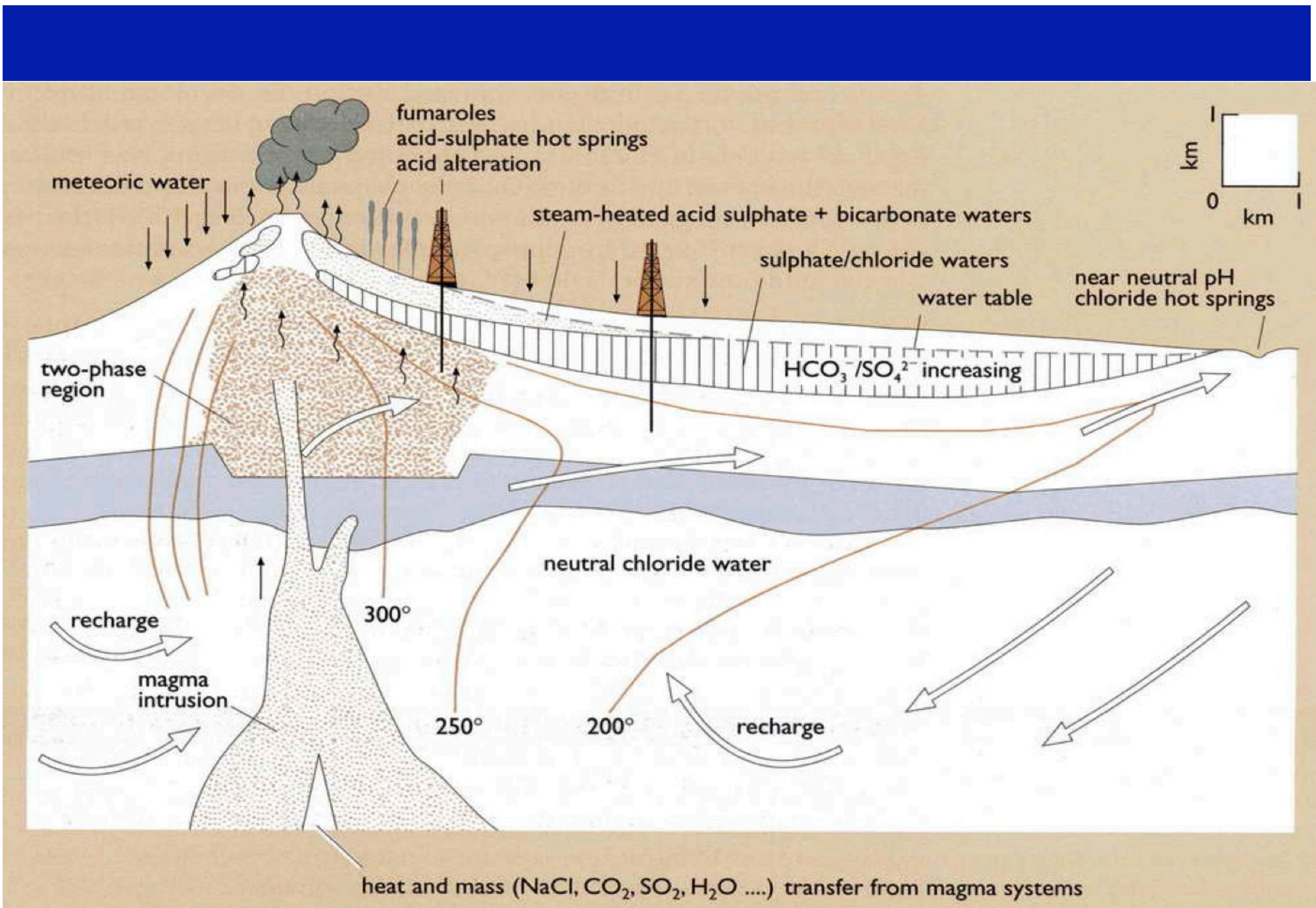
Lo stato di un "sistema vulcanico":

"In eruzione" (Stromboli volcano)

"Attivo" ma attualmente dormiente (Vesuvio;
Copahue; Campi Flegrei)

"Attivo recentemente" ma ancora degassante
(Panarea, Vulcano)

"Estinto", ma ancora occasionalmente degassante
(vulcani quaternari: moltissimi esempi)



saranno le modifiche che il gas originario subirà

Un terzo problema:

I gas vulcanici possono essere descritti da molti parametri indipendenti, per esempio:

- 1) Temperatura (bassa, media, alta)
- 2) Temperature di equilibrio chimico
- 3) Stili di emissione (diffuse, gas gorgoglianti, gas secchi, ecc.)
- 4) Composizione chimica (contenuto di vapore, acidi, specie redox)
- 5) Flusso (diffuso vs. emissioni concentrate)
- 6) Origine

Quindi, uno schema generale
omnicomprensivo per una
corretta classificazione dei gas
vulcanici è difficile da
proporre

Non esiste una classificazione formalmente definita dei gas vulcanici.

Su base genetica è utile distinguere tra gas magmatici, magmatico-idrotermali ("fumarole" o "gas di cratere") e idrotermali (derivanti da processi secondari che coinvolgono l'acqua)

Gas Magmatici, gas vulcanici e gas idrotermali

Gas magmatici sono quelli rilasciati in profondità (o in superficie) dal magma quando questo raggiunge le condizioni chimico-fisiche per cui la loro solubilità diminuisce e gli elementi/composti volatili possono essere essolti.



I gas vulcanici sono quelli emessi in superficie e possono mantenere o meno dei "segnali" profondi (magmatici).



I gas idrotermali implicano la reazione di gas magmatici con acqua secondaria (sistema idrotermale). La composizione originaria ne verrà modificata e i gas risultanti verranno indicati come gas idrotermali.

Componenti principali dei gas vulcanici

H₂O

SO₂

H₂S

HF

HCl

CO₂

CO

CH₄ + altri idrocarburi

Gas nobili (He, Ar, Ne, Kr, Xe, Rn)

H₂

NH₃

N₂

CFC, COS, S₂, metalli pesanti

Tipico gas magmatico

Gas acidi

Isotopi

- Essenziali: $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^2\text{H}$ in H₂O, $^3\text{He}/^4\text{He}$, $\delta^{13}\text{C}$ in CO₂;
- Molto utili: ^3H in H₂O, $\delta^{34}\text{S}$ nelle specie dello zolfo,
- Utili: $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^2\text{H}$ in CH₄, $\delta^2\text{H}$ in H₂, $\delta^{15}\text{N}$ in N₂, $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$, etc.

Irrutupuncu, N. Chile

Principali volatili nei magmi

1. Gas principali



2. Gas minori



3. Gas rari (normalmente <1 ppmv)

Rn, He, Ne, Xe ...

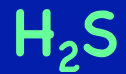
4. Composti in traccia: PGE, elementi di transizione, metals, non-metalli

➤ Ag, Au, Pt, Ir

➤ V, Cu, Zn, Mo, W, Cd, Hg

➤ Sb, Sn, Pb, Bi, Tl

➤ As, Se, Br, Te, I



Ar, He, gas nobili

Idroc. + VOC

Vapors

Steam

Sublimates

Acid, water soluble

Condensables/water soluble

Very acid, water solubles

Uncondensables or residuals

Schema di "classificazione operativa" delle specie gassose

"Classificazione sulla base
del comportamento delle
specie gassose"

H₂O

H₂S

SO₂

HCl

HF

H₂

CO

O₂

CH₄

Idroc.

Chemically reactive (P,T ge indicators)

N₂

Ar

He

Ne

Stable isotopes

Inerts (tracers)

Classificazione genetica delle specie gassose

Uno schema classificativo "genetico" è probabilmente il criterio più corretto per lo studio dei vulcani attivi e di più utilità per la sorveglianza vulcanica.

Una delle difficoltà più importanti per una classificazione su base genetica deriva dalla natura complessa multi-componente dei gas.

L'idea che decine di componenti chimici siano derivati dalla stessa sorgente è improbabile.

Possibili sorgenti di gas e vapori:

- Generazione magmi e degassamento;
- Ebollizione di acqua in profondità;
- Metamorfismo (decomposizione termica dei minerali e ri-equilibrio);
- Decadimento di isotopi radioattivi;
- Degradazione termica o biologica di sostanza organica.




Composti volatili derivanti dal degassamento diretto dei magmi. Definiti "juvenili" in quanto liberati per la prima volta nella superficie terrestre



Composti volatili derivanti
dall'ebollizione di acqua in
profondità



Mobilizzazione di composti volatili (p. es. CO_2 da rocce carbonatiche) per termometamorfismo

A photograph of a forest floor covered in a thick layer of decomposing organic matter. The ground is covered with a mix of brown, tan, and dark brown leaves, twigs, and small green plants. The scene illustrates the process of decomposition of organic matter in a natural environment.

Mobilizzazione di composti volatili
(CO₂, idrocarburi e composti azotati)
per decomposizione termica e/o
batterica di materia organica

Riciclo di gas
atmosferici in fase
gassosa o attraverso
degassamento di
acque sature di aria



Per investigare i "gas magmatici", e minimizzare le modifiche secondarie durante la risalita, devono essere investigate le fumarole con gas acidi ad alta temperatura (>400 °C) e traccianti "chimici o isotopici".

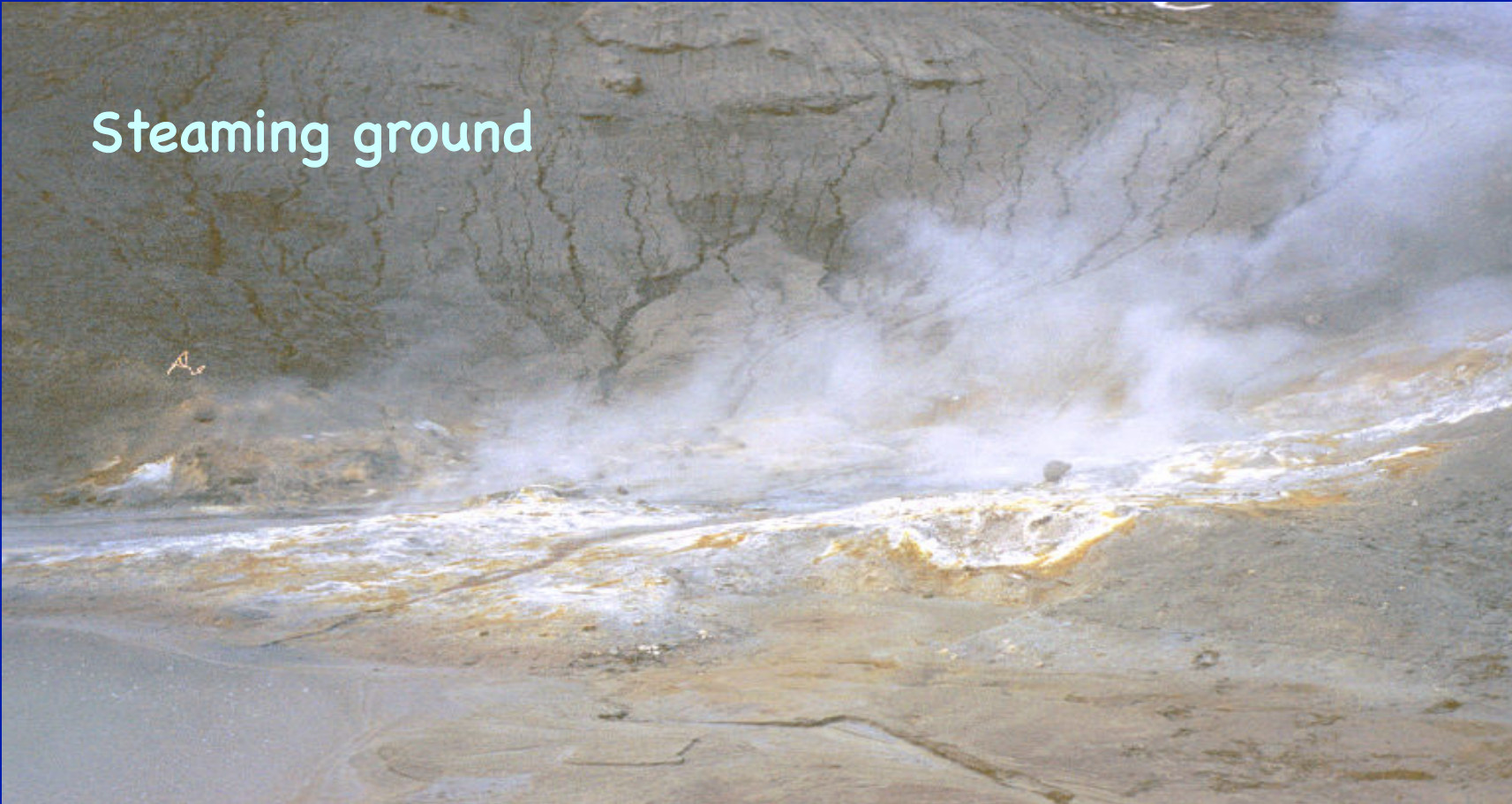
Plume (pennacchi) vulcanici o degassamento magmatico





“Fumarola”: termine che indica un’emissione con fumi. Viene utilizzato per indicare un’emissione gassosa di colore biancastro. È normalmente calda con flussi da medi ad alti.

Steaming ground



“Steaming ground” indica un’emissione gassosa (biancastra) con temperature prossime o uguali al punto di ebollizione. Flussi, da bassi a molto bassi.



“Geyser”: termine islandese che si riferisce ad un’emissione transiente violenta di acqua calda e vapore. Temperatura al punto di ebollizione dell’acqua.



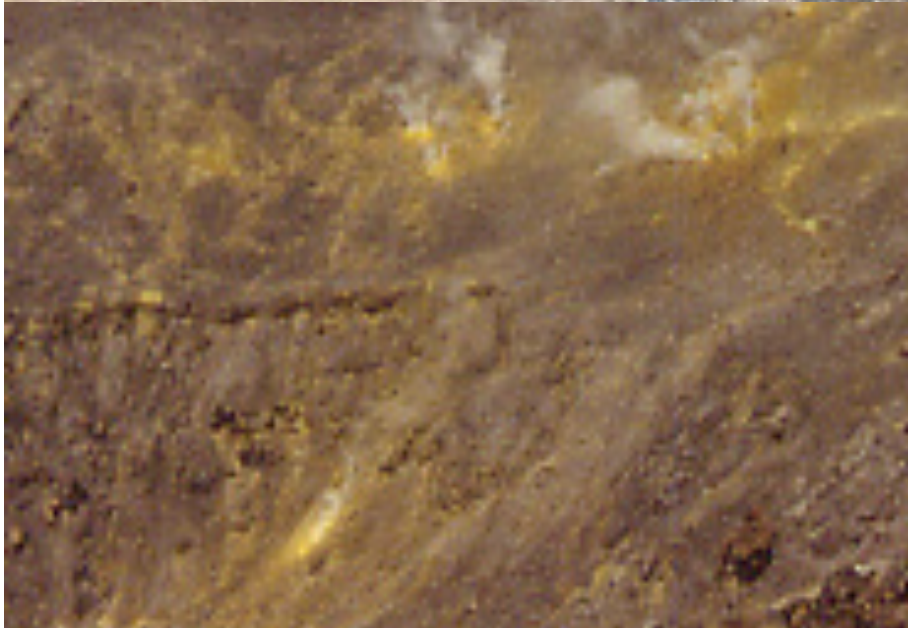
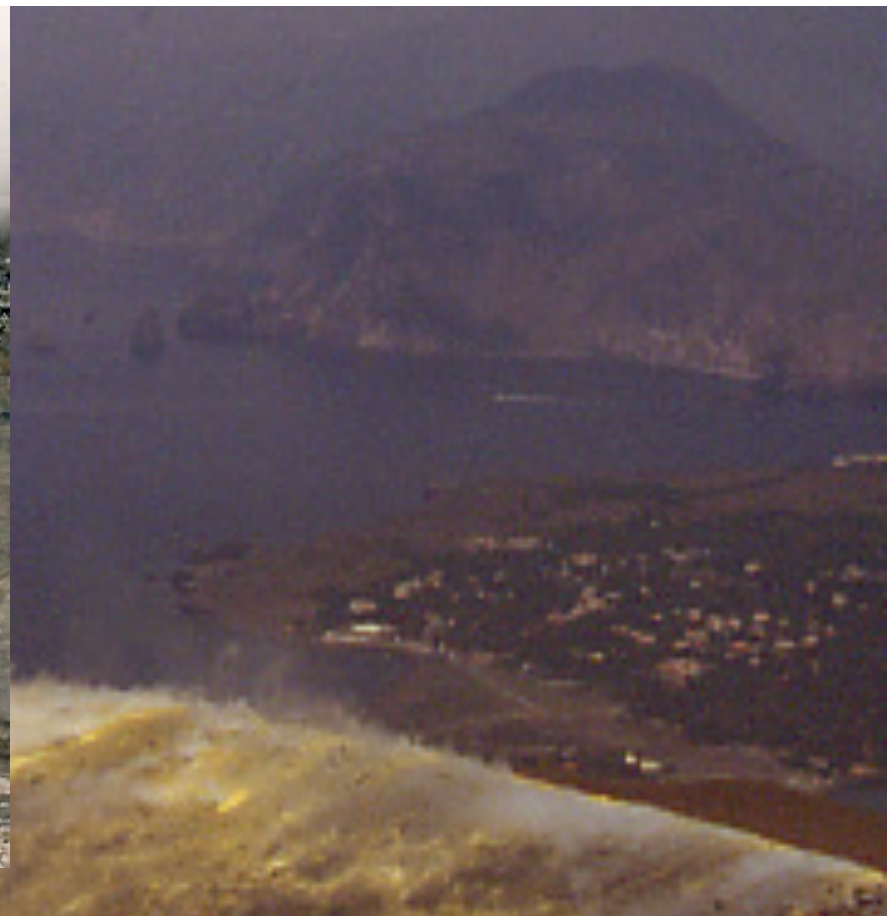
“Boiling pool e bubbling pool”: gas che gorgogliano attraverso una polla in superficie. Temperature al punto di ebollizione o più basse. Flussi da bassi a molto alti. Condensazione del vapore e arricchimento in gas secchi (residuali/insolubili).



Polle gorgoglianti (calde o fredde)



Laghi craterici



Acque termali e gas associati

“Mud volcano”:
emissioni
superficiali di un
miscuglio gassoso
complesso,
generalmente
dominato da CH_4 ,
e da liquido e
materiale solido.
Normalmente, ma
non solo, associati
ad ambienti
sedimentari.





“Dry vents”: emissioni fredde, generalmente dominate da CO_2 .

Gas da pozzi
geotermici



Steam pipelines, Wairakei Power Station

Gas del suolo



Fumarola: un orifizio o un'apertura nel terreno da cui fuoriescono vapore acqueo caldo (*steam*) e/o gas vulcanici.

Classi di fumarole:

- **Fumarole secche:** emettono direttamente da lava incandescente e i vapori si mescolano con aria atmosferica;
- **Fumarole acide:** emettono attraverso fratture; vapor d'acqua con SO_2 , HF e HCl;
- **Fumarole a vapor d'acqua CO_2 e H_2S o zolfo libero;** con temperature raramente prossime a quelle di ebollizione;
- **Mofete:** CO_2 e H_2S poco H_2O ; appaiono quando l'intensità vulcanica è debole o in fasi distali dal sistema o in aree vulcaniche estinte...residuo finale del degassamento.
- **Fumarole praticamente a solo vapor acqueo.**

Merapi, Indonesia



In ton/giorno

- 3000 CO_2
- 400 SO_2
- 250 HCl
- 50 HF

26 Vulcani

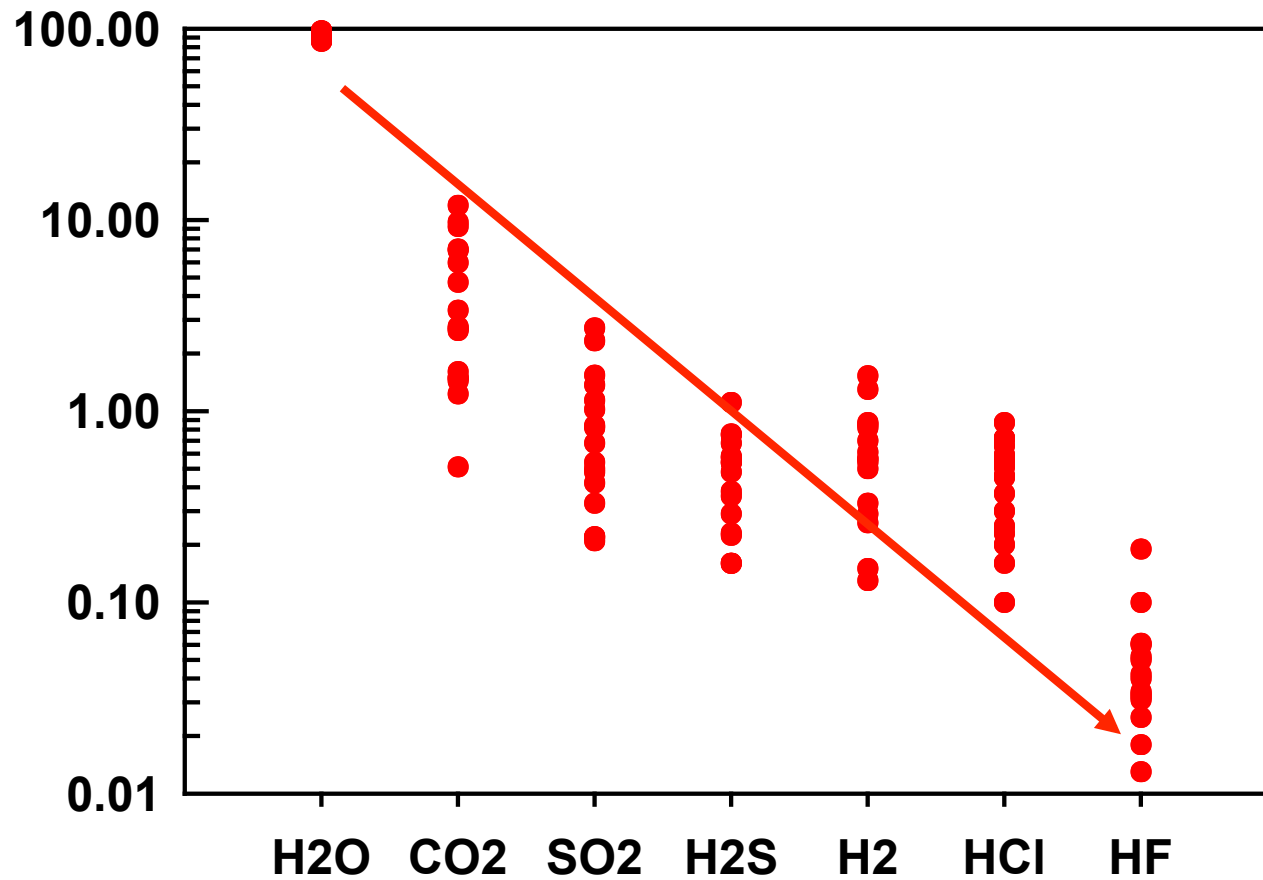


Composizione di gas vulcanici di aree in subduzione

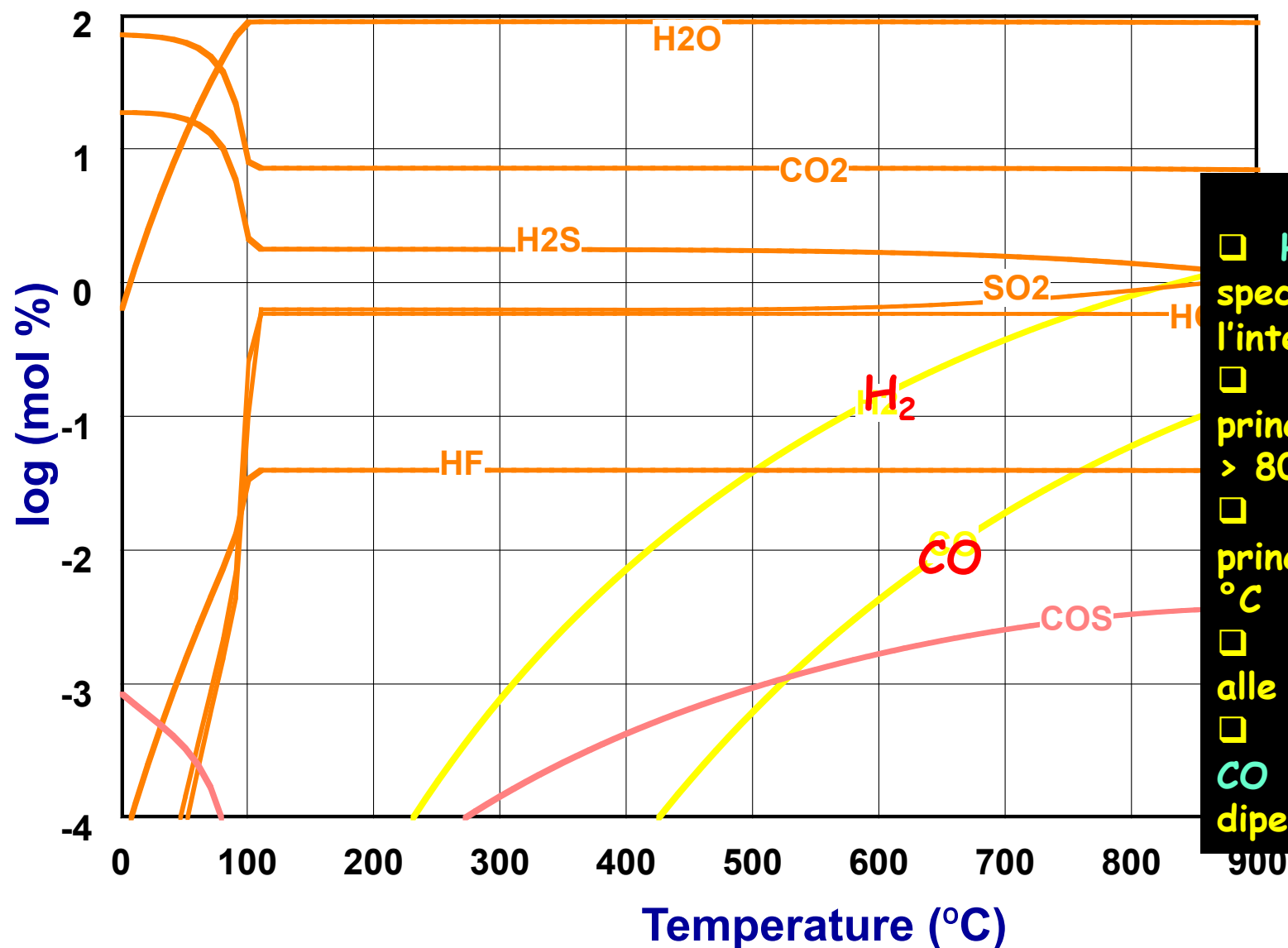
Volcanic Arc	Magma	T °C	H ₂ O	CO ₂	SO ₂	H ₂ S	H ₂	HCl	HF	Trace
			----- Mol % -----							
Central American	Basalt	863	91.7	4.72	1.54	0.76	0.82	0.37	0.01	0.08
Kurile	Basalt	870	92.1	2.70	2.33	0.58	1.30	0.66	0.06	0.27
Sunda	Andesite	915	88.3	7.03	1.14	1.11	1.53	0.59	0.04	0.26
Northern Andean	Andesite	642	91.5	5.98	0.84	0.57	0.29	0.72	0.06	0.04
New Zealand	Andesite	620	85.9	9.73	2.72	0.75	0.13	0.72	0.05	0.01
New Zealand	Andesite	640	96.0	1.61	1.02	0.68	0.26	0.25	0.02	0.16
Aleutian	Andesite	775	96.7	1.50	0.33	0.29	0.56	0.55	0.03	0.04
Mexican Volc Arc	Andesite	802	89.2	9.23	0.54	0.54	0.50	0.46	0.04	0.05
Cascade	Dacite	802	91.4	6.94	0.21	0.36	0.85	0.10	0.05	0.09
NE Japan	Dacite	676	96.1	2.64	0.22	0.54	0.33	0.16	0.03	0.01
Ryukyu	Dacite	809	95.3	2.76	0.48	0.16	0.87	0.30	0.03	0.10
Ryukyu	Rhyolite	877	97.3	0.51	0.82	0.16	0.61	0.53	0.03	0.04
Aeolian	Alk-Rhyolite	620	86.1	11.9	0.68	0.48	0.15	0.45	0.10	0.14

Trace = S₂, N₂, He, Ar, CH₄, NH₃

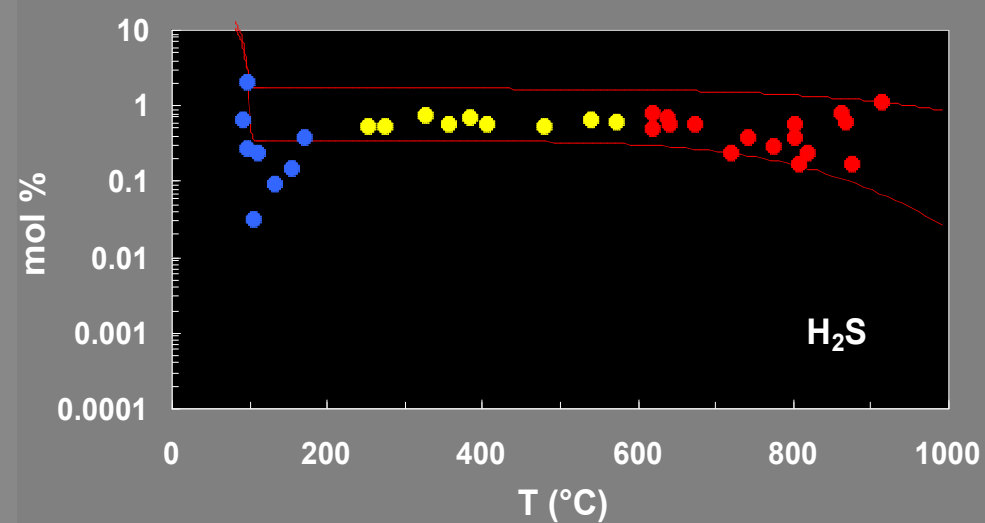
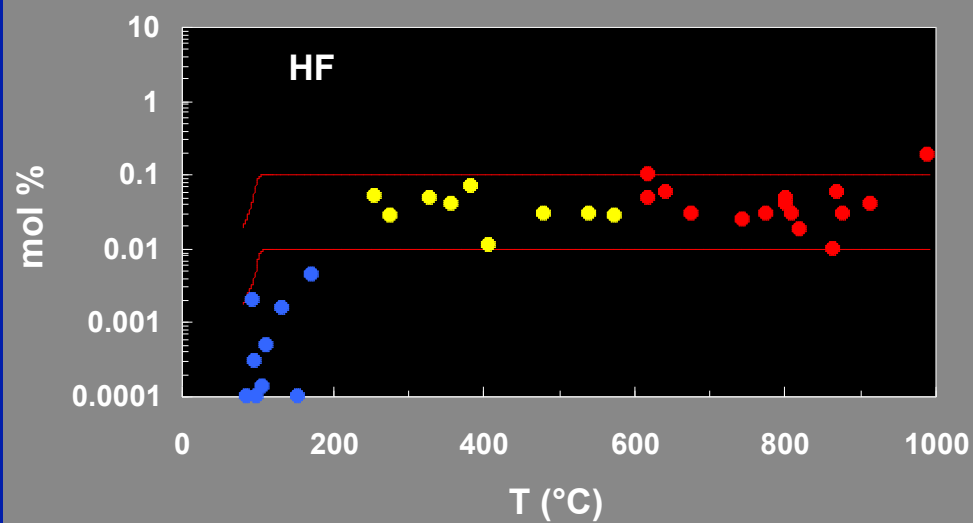
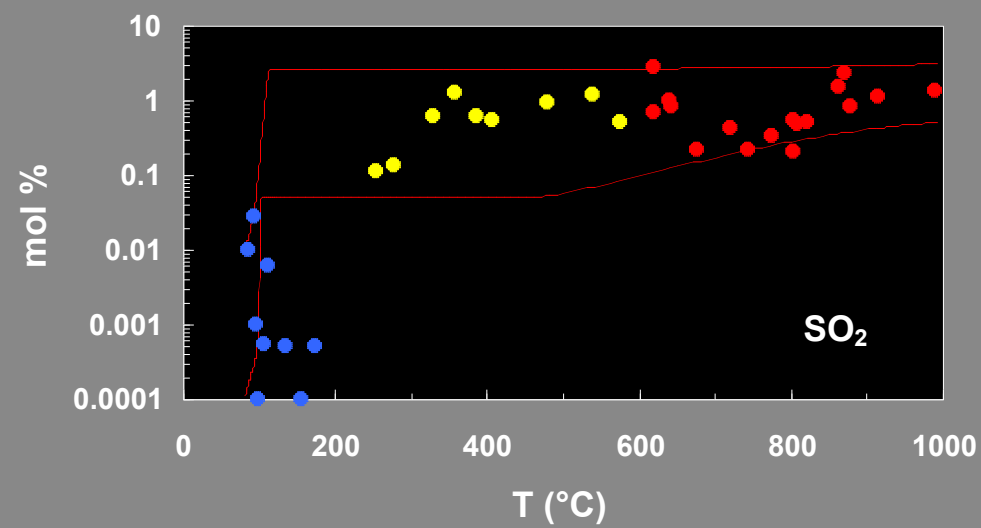
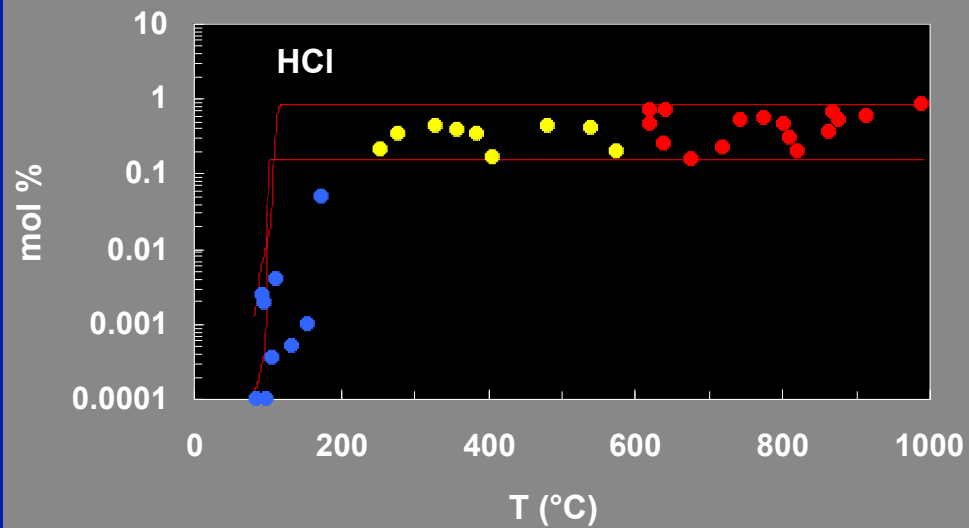
Composizione dei gas vulcanici



Sistema chiuso in raffreddamento



- H₂O e CO₂ sono le specie di H e C per l'intero range di T
- SO₂ è la specie principale dello S per T > 800 °C
- H₂S è la specie principale per T < 800 °C
- H₂ è più favorito alle alte T
- specie minori tipo CO sono estremamente dipendenti dalla T.



I coefficienti di ripartizione ($k_d = C_m / C_f$) fra fase minerale e fuso e i coefficienti di ripartizione fra fase fusa e fase gassosa ($K_d = C_f / C_g$) sono dei parametri importanti per comprendere l'arricchimento degli elementi volatili nelle fasi magmatiche

In ton/giorno

A temperatura costante

$C > S > Cl > H_2O > F$

- 3000 CO_2
- 400 SO_2
- 250 HCl
- 50 HF

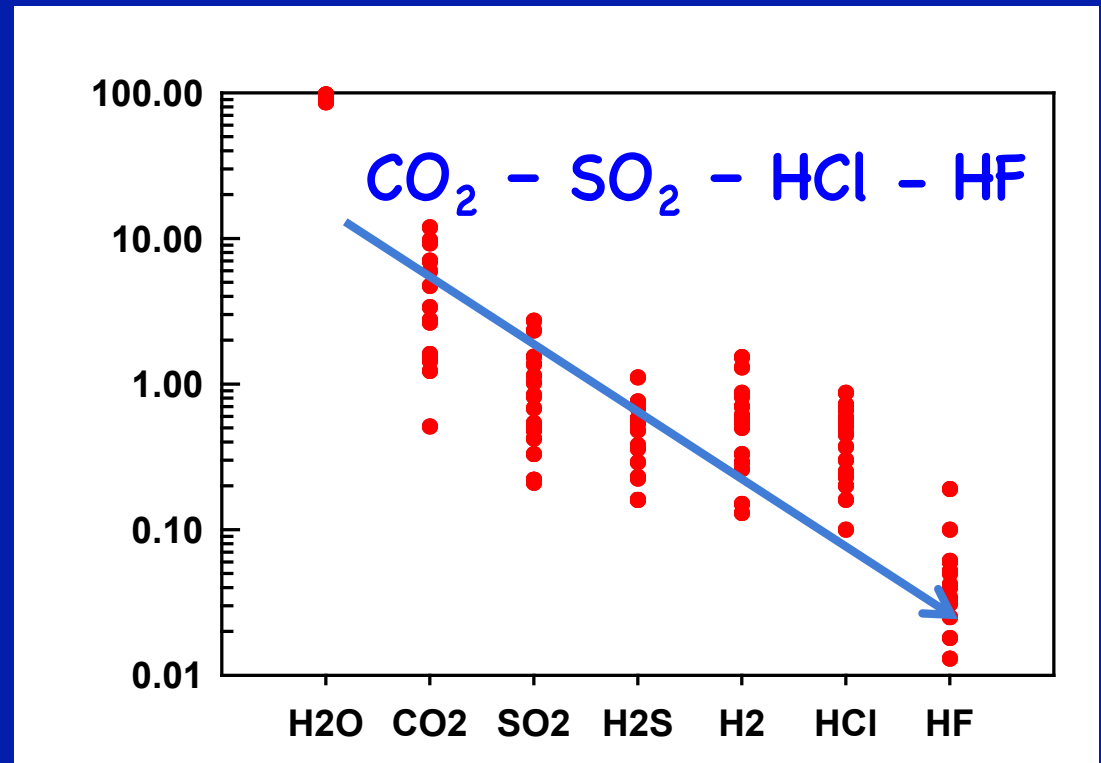
Quindi, la pressione esercitata aumenta da F verso C.

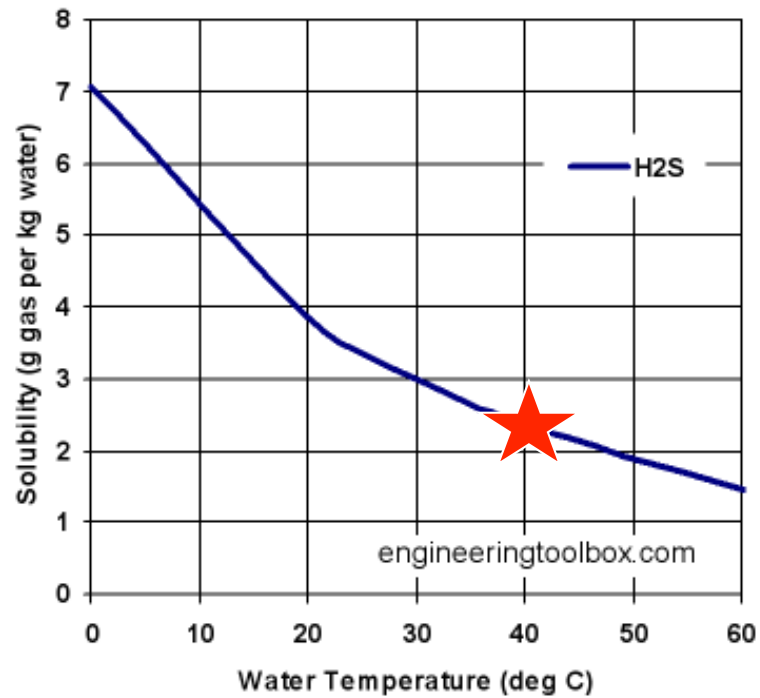
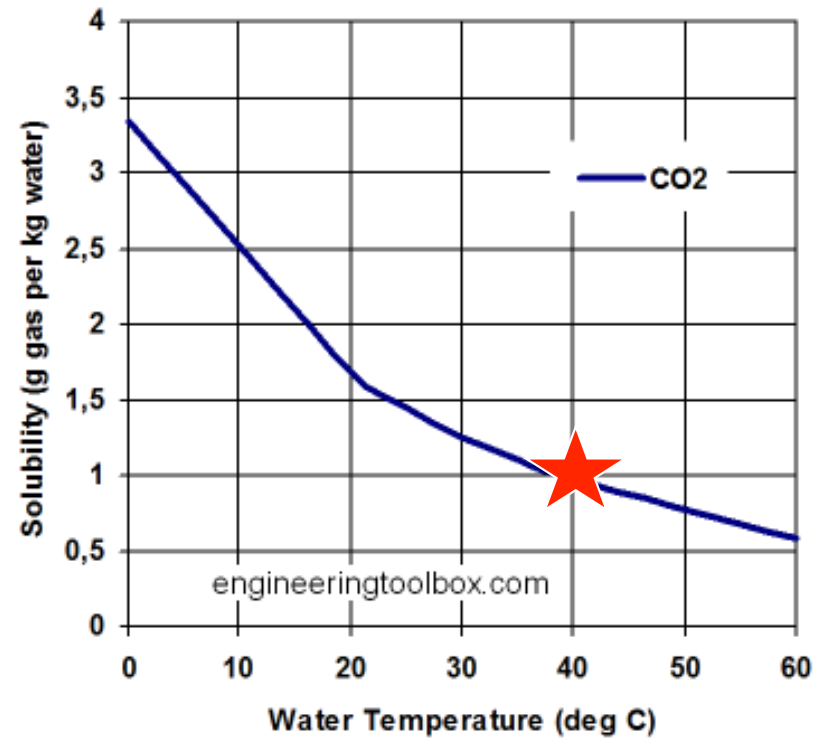
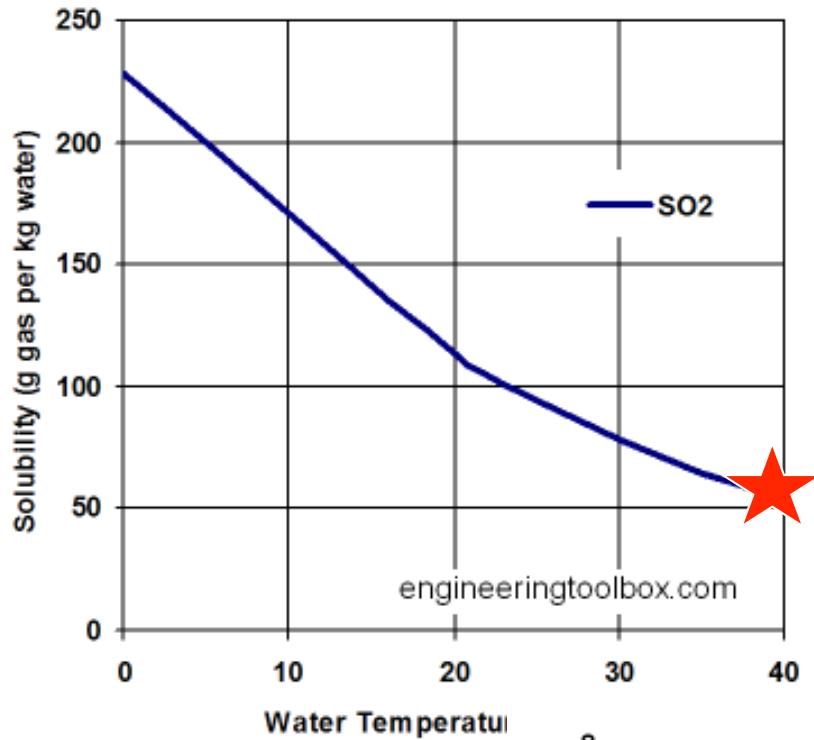
H_2O è dominata da contributi derivanti da materiale in subduzione o da interazioni con acque superficiali

Nel magma T_{cost} :

$C > S > Cl > H_2O > F$

In acqua



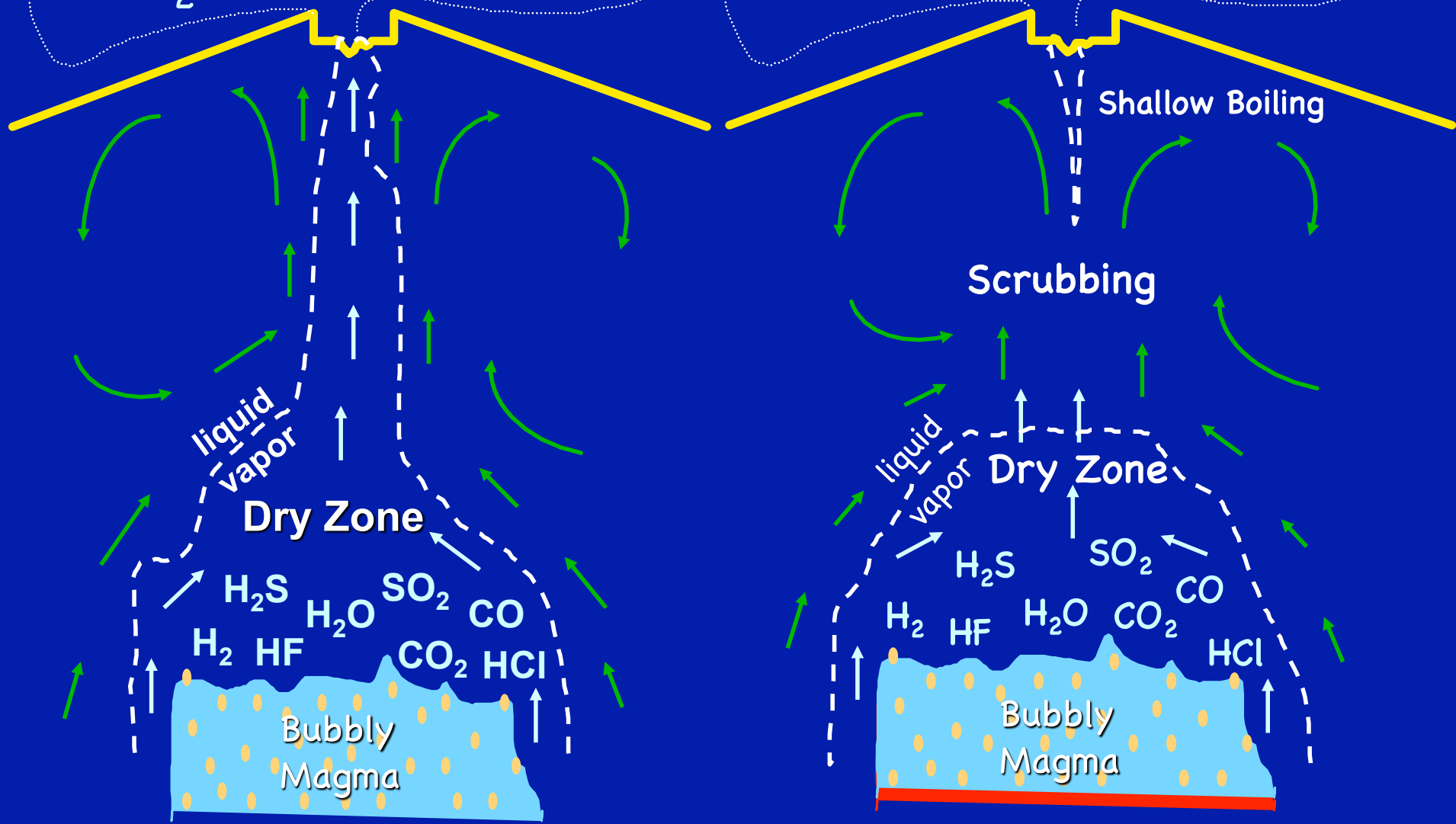


'Dry' Degassing

H₂O CO₂ SO₂ H₂S
H₂ HCl HF CO

'Wet' Degassing

H₂O CO₂ H₂S
tracce di SO₂, HCl, HF ...



Interazioni secondarie

"Magmatic gas scrubbing"

"any process able to reduce emissions during reactions between gas, water and rocks (dissolution, formation of precipitates, gas-water chemical reactions etc.)"

Contaminazione crustale

Contributi da attività biologica e decadimento radioattivo

Aggiunta di aria

ASW (Air Saturated Water) e contaminazione diretta di aria

N_2, H_2O, O_2, Ar, CO_2

CO_2

H_2O

H_2S

Gas Nobili + N_2, H_2

CO

Ebollizione

CO_2

H_2S

SO_2

Acquifero

Cl^-

H_2O

H^+

F^-

$C > S > Cl > H_2O > F$

H_2O

CO_2

SO_2

H_2S

H_2

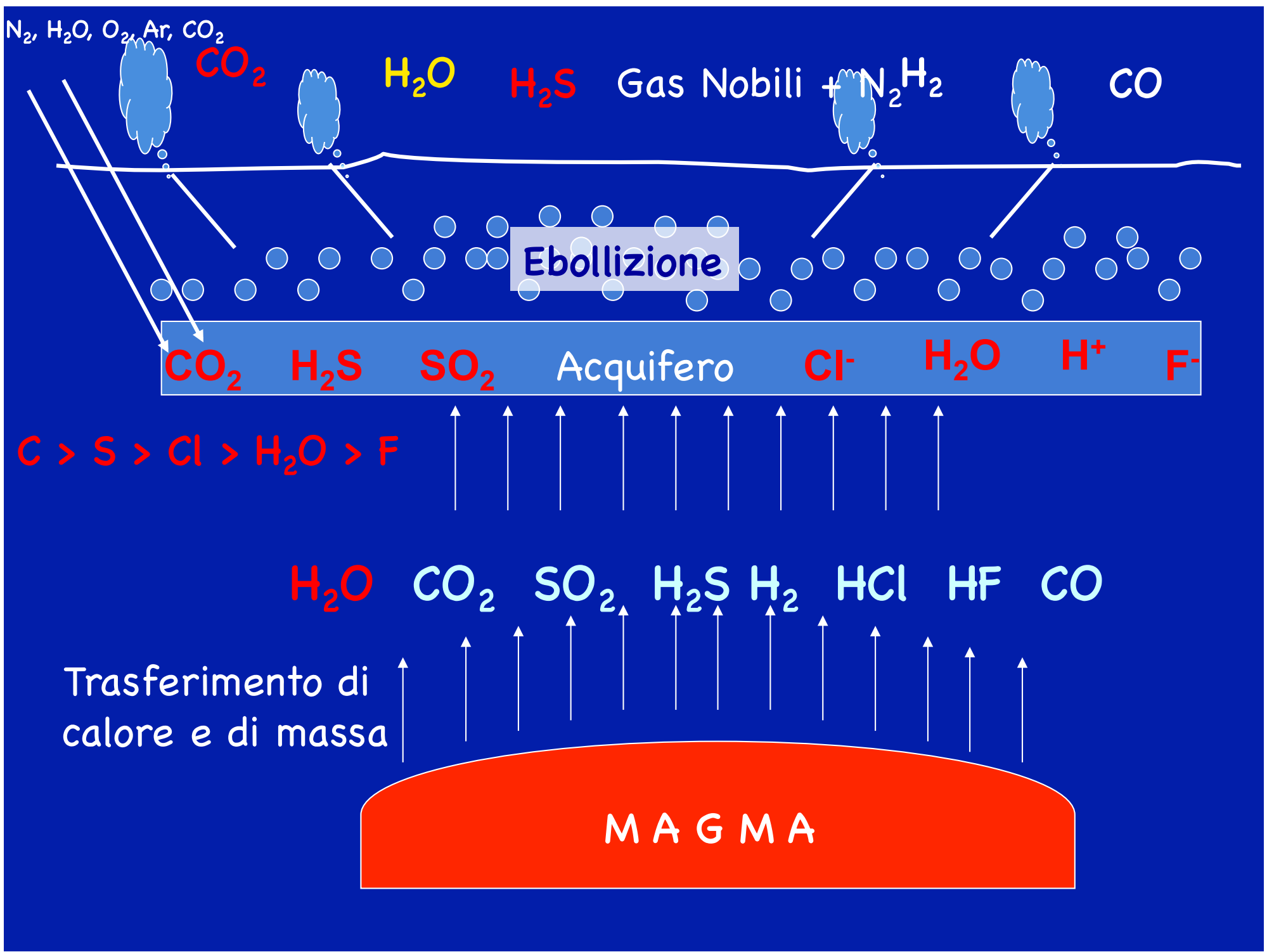
HCl

HF

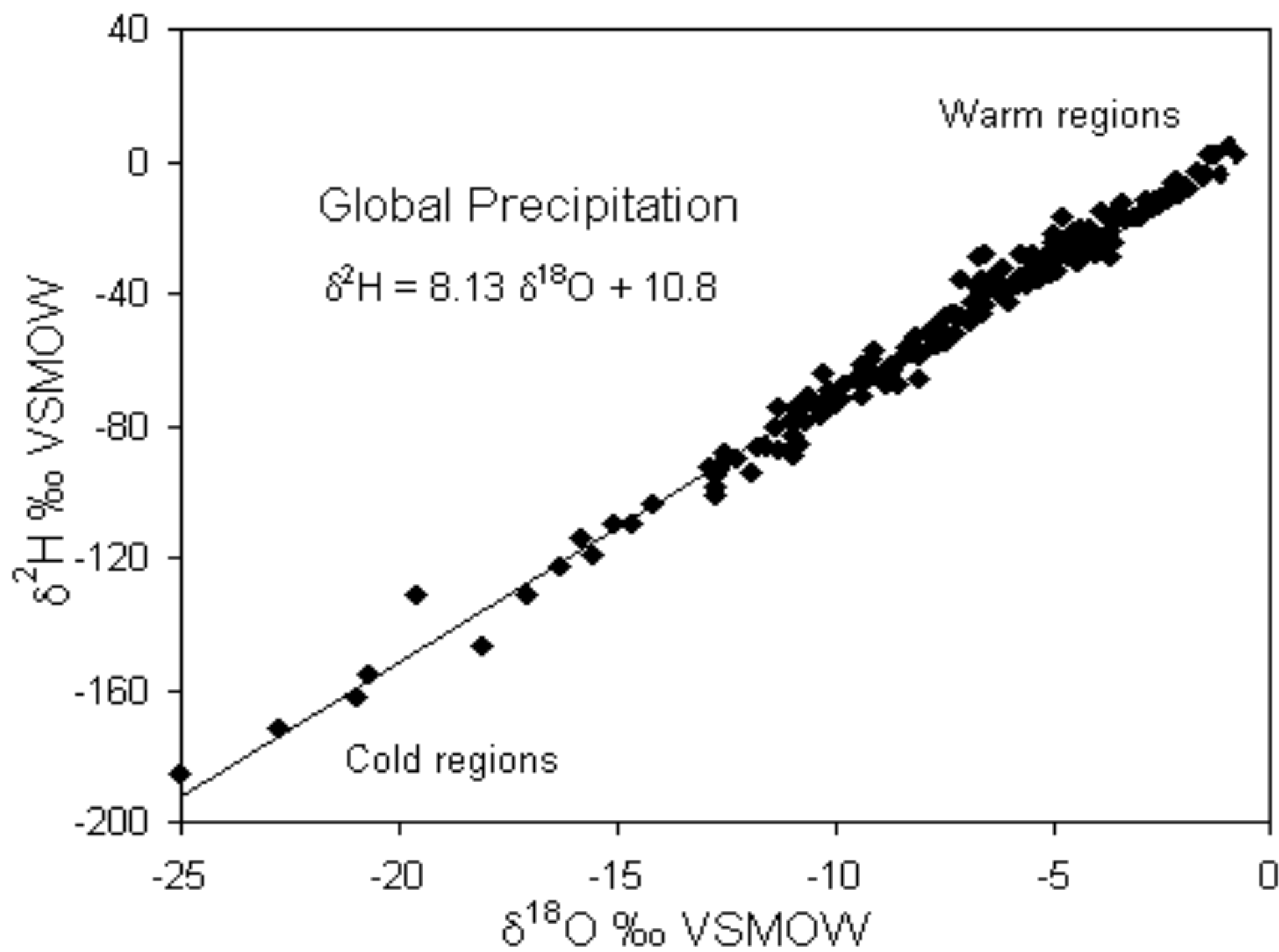
CO

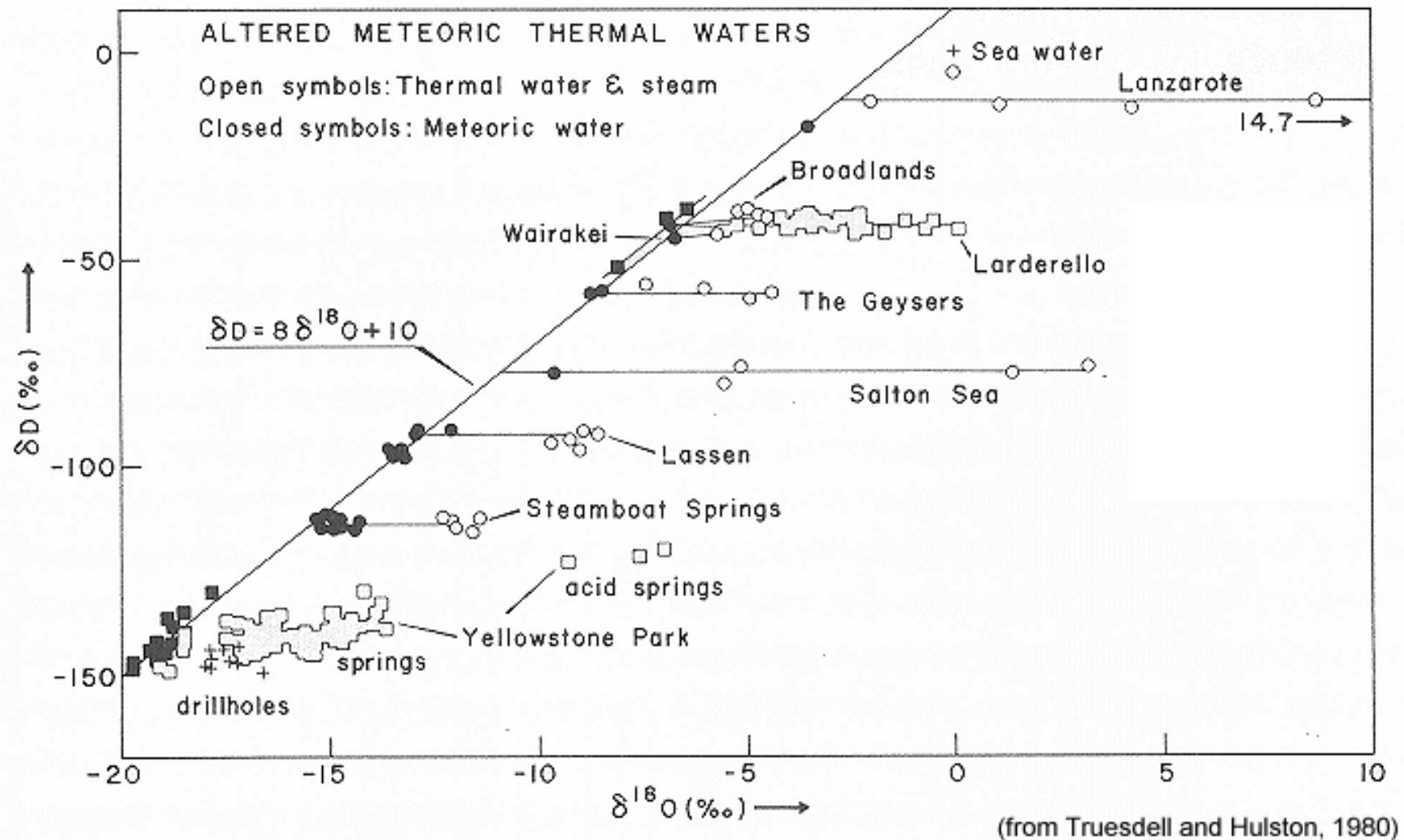
Trasferimento di calore e di massa

MAGMA



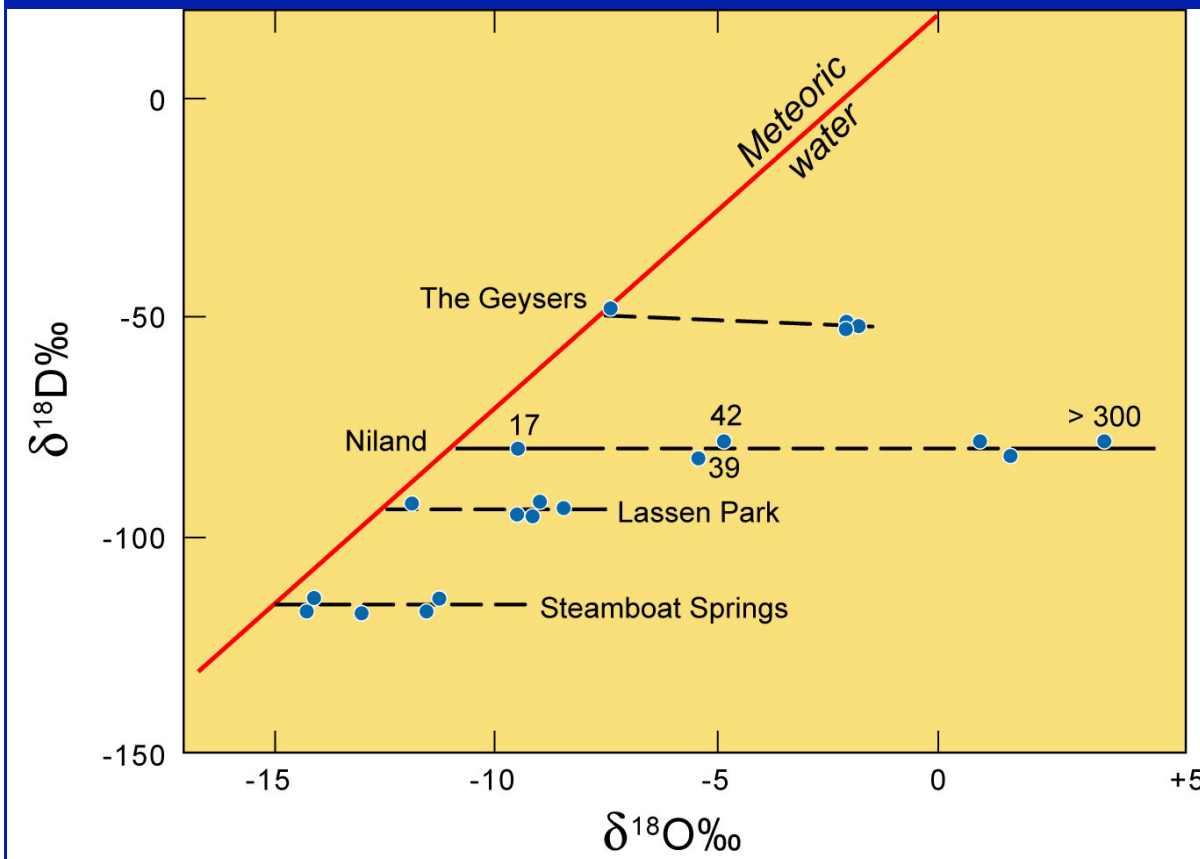
A livello generale possiamo dire che i sistemi magmatici sono più ossidanti (SO_2) mentre in quelli idrotermali prevalgono le condizioni riducenti. Conseguentemente, i primi saranno dominati da SO_2 ed altri gas di natura magmatica mentre nei fluidi idrotermali CO_2 , H_2S , H_2 , CO , CH_4 saranno favoriti anche grazie ai processi di *scrubbing*!





Craig (1963) trovò che il rapporto isotopico D/¹H delle acque geotermiche era molto simile a quello delle acque di falda locali. Pertanto egli concluse che la maggior parte dell'acqua geotermica era di origine meteorica.

Il grafico del sistema O-D: alte temperature di equilibrio con carbonati e silicati delle acque geotermiche



Acque geotermiche

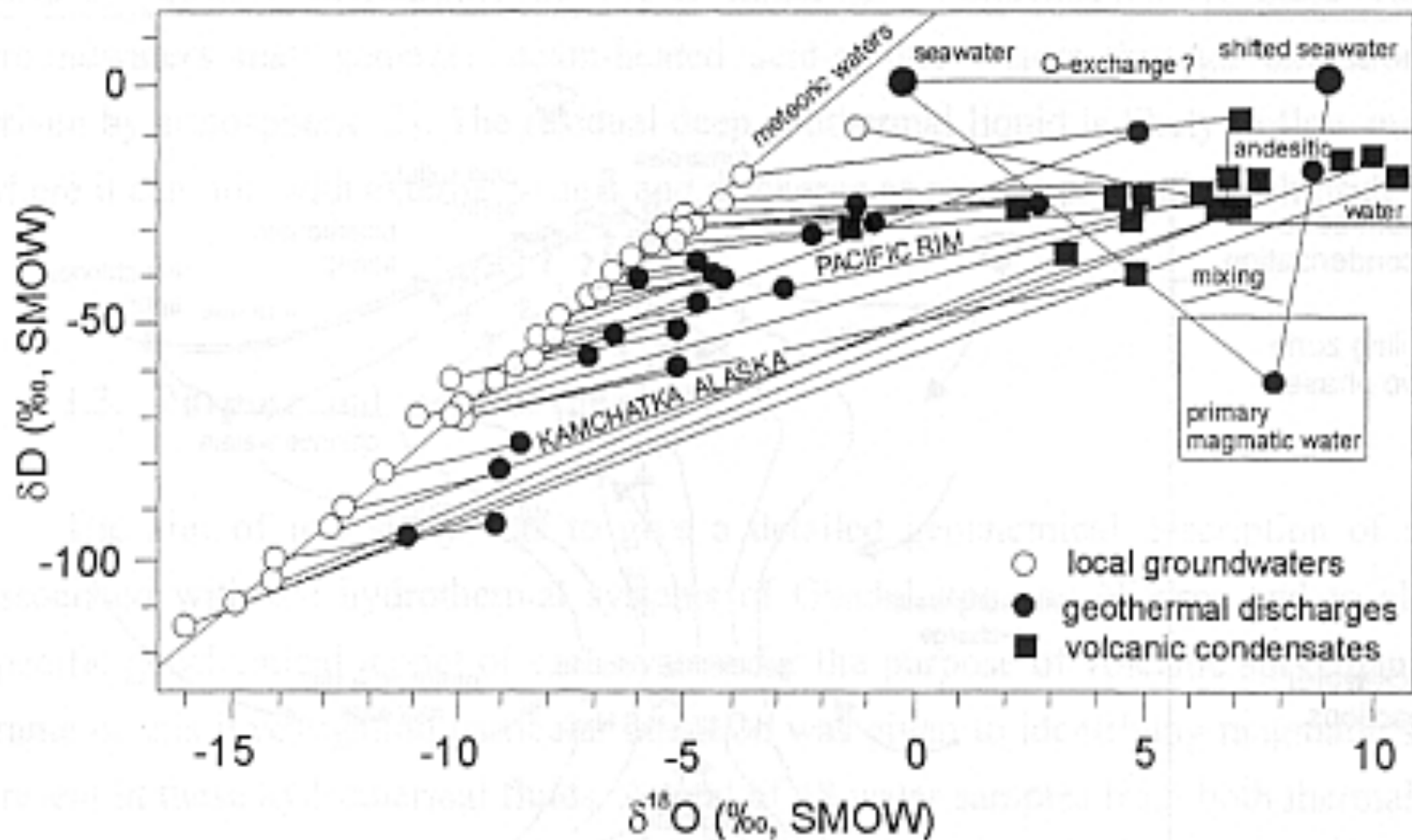
□ Composizione isotopica controllata da progressivo equilibrio fra ossigeno- H_2O e ossigeno-roccia (carbonati e silicati)

□ δD delle acque immutato (basso T nelle rocce)

□ grandezza dello shift \uparrow quando $T \uparrow$

□ Lo shift avviene per temperature sopra i $200\text{ }^\circ\text{C}$

→ Marker di WRI



I vapori condensati vulcanici permettono di identificare un *end member* magmatico (acqua magmatica andesitica con δD di -20 ± 10 ‰), mentre i fluidi geotermici sono decisamente piu' ricchi della componente meteorica locale.

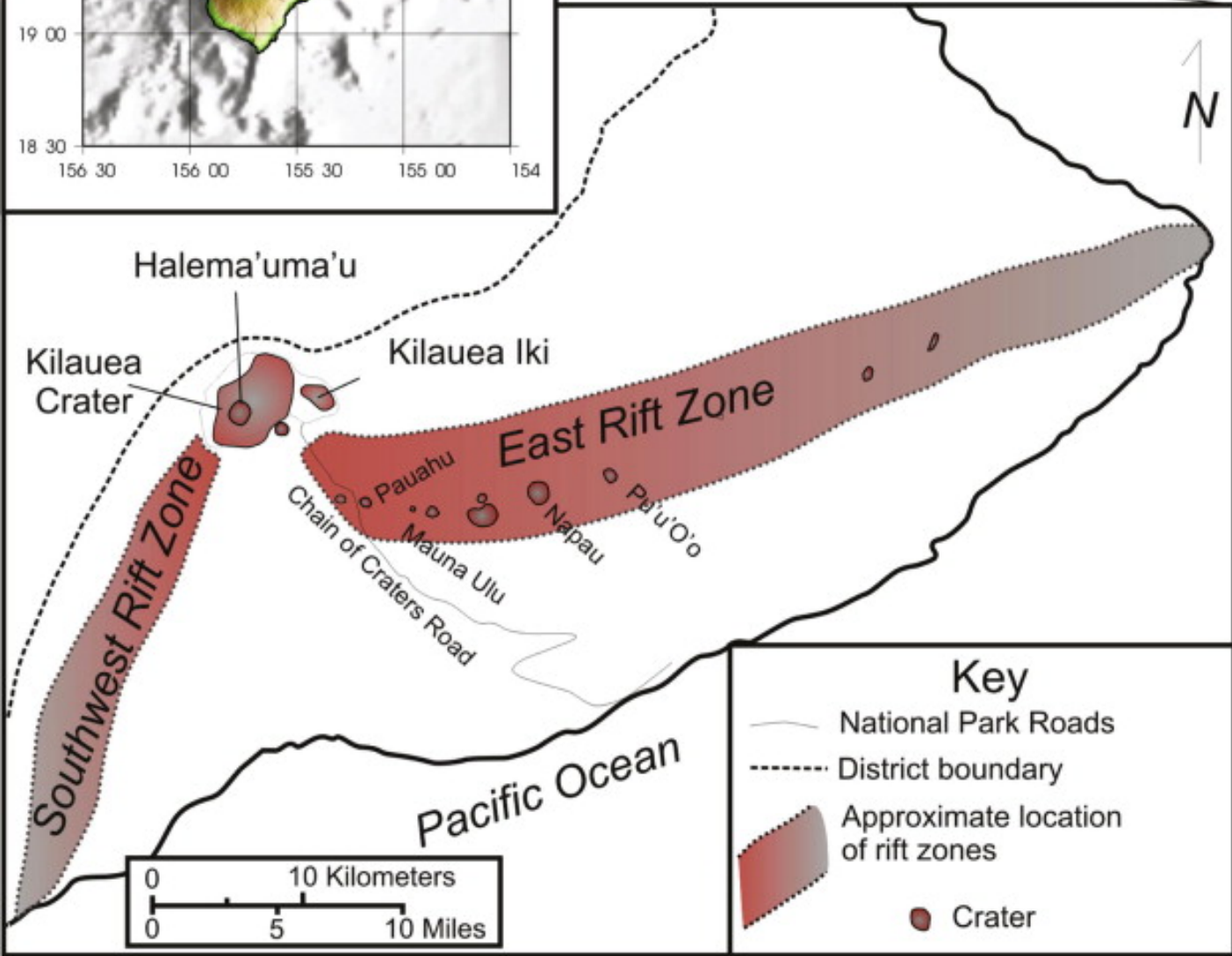
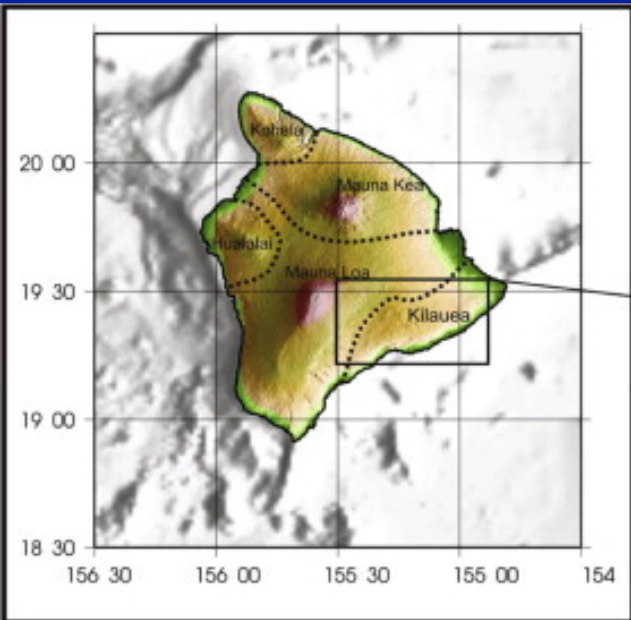
Gas vulcanici: geodinamica e composizione

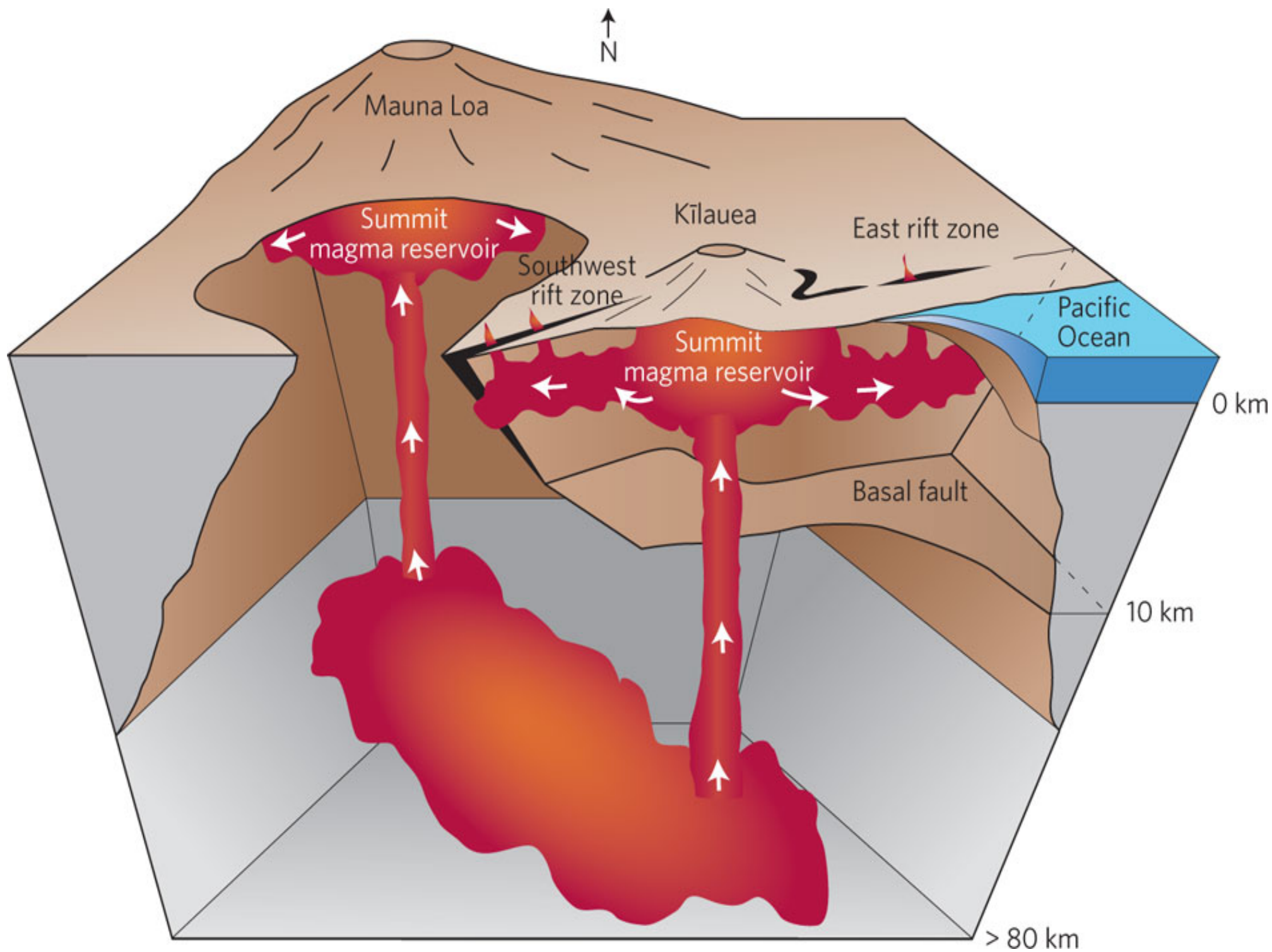
Il sistema H - C - S

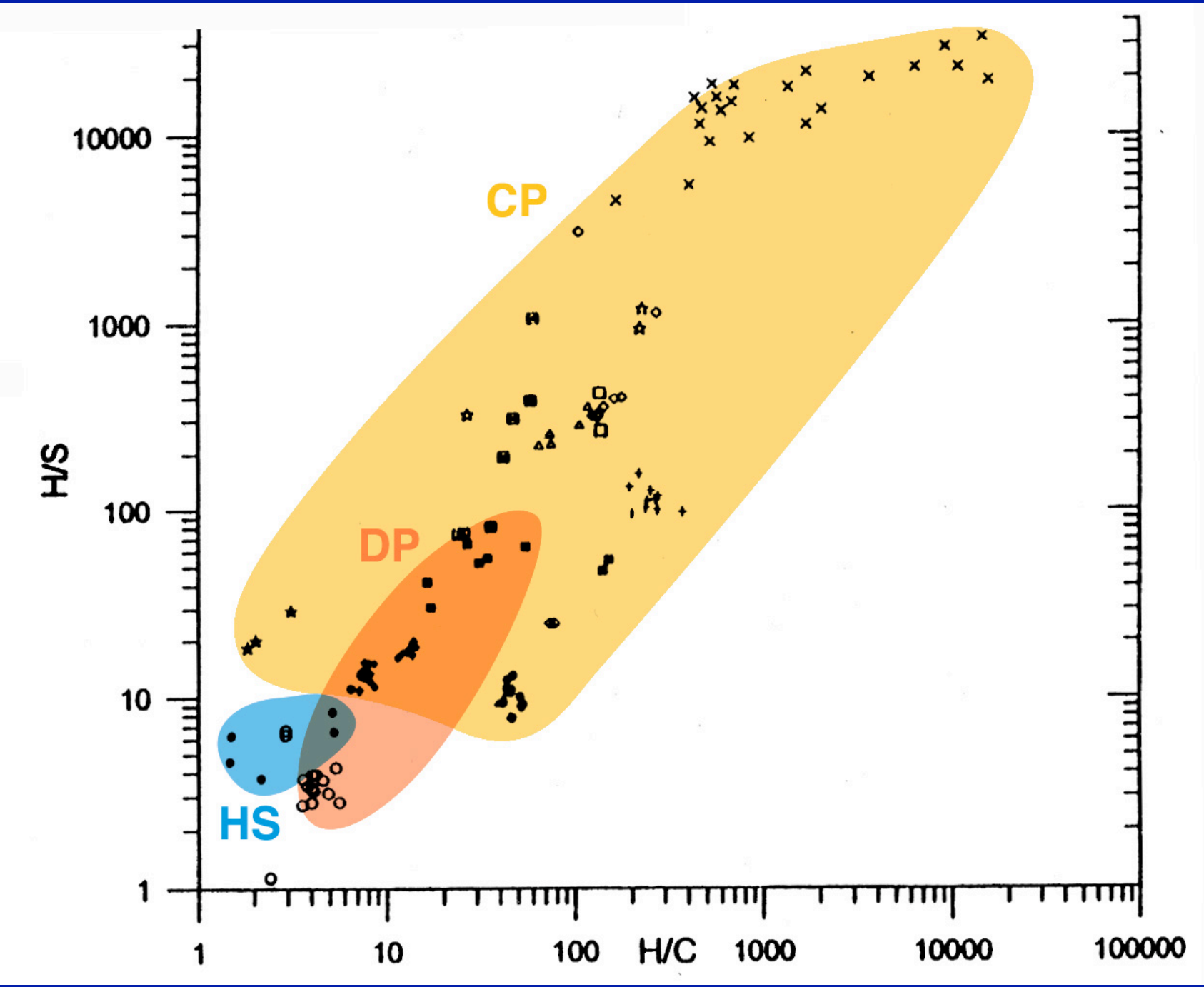
- H/S e H/C sono più elevati nelle aree convergenti (CP) che in quelle divergenti (DP) e hot-spot (HS)
 - I gas CP hanno proporzionalmente più H di DP e HS
 - interpretazione: questo riflette più alte concentrazioni di H₂O

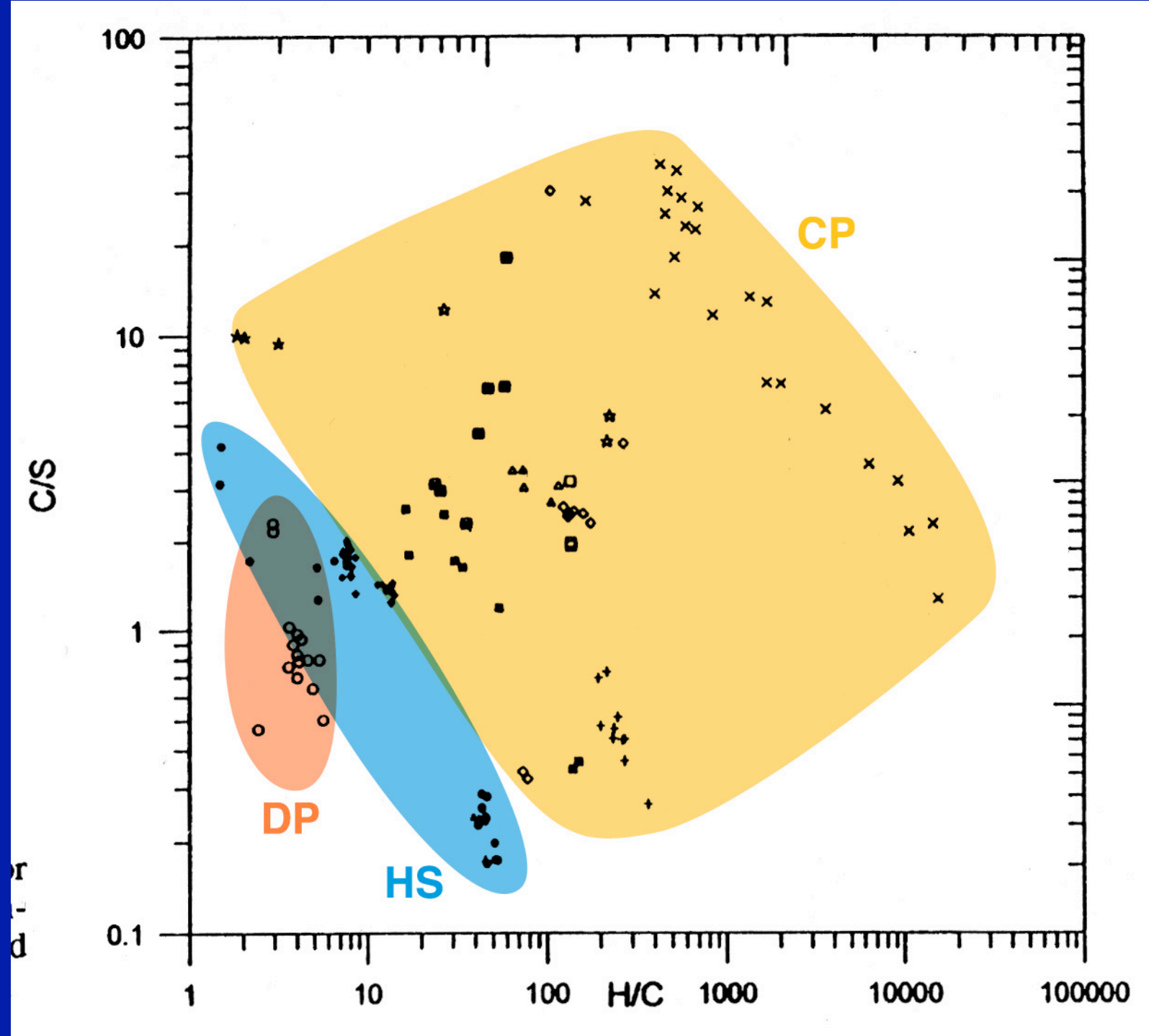
- DP e HS hanno proporzionalmente più S+C di CP

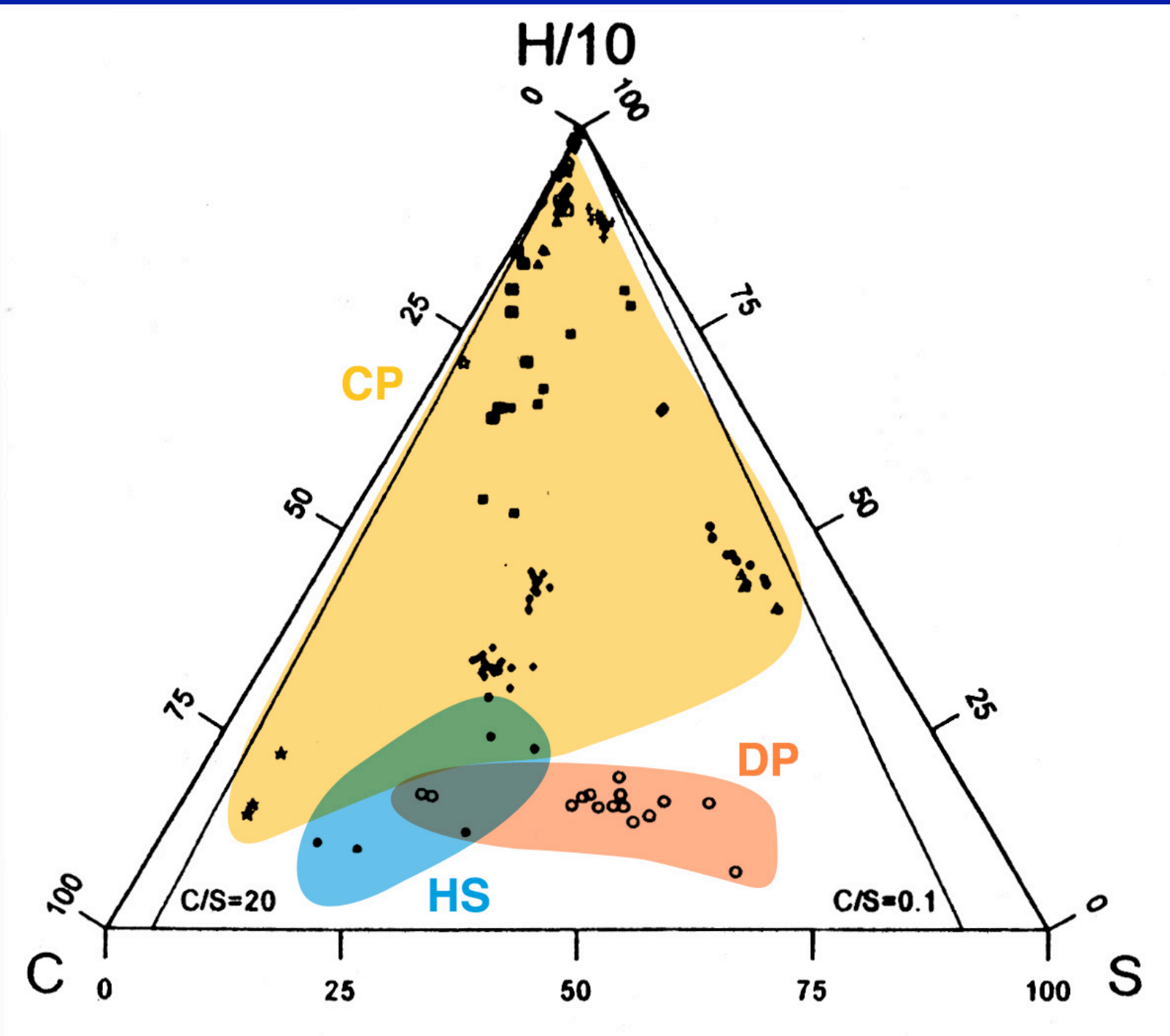
- i rapporti S/C sono simili
 - S/C dipende dallo stato di degassamento del magma e non dal contesto geodinamico
 - al Kilauea, C/S = 4 (summit, non degassato) → 0.15 (fianco lava flow, degassato)







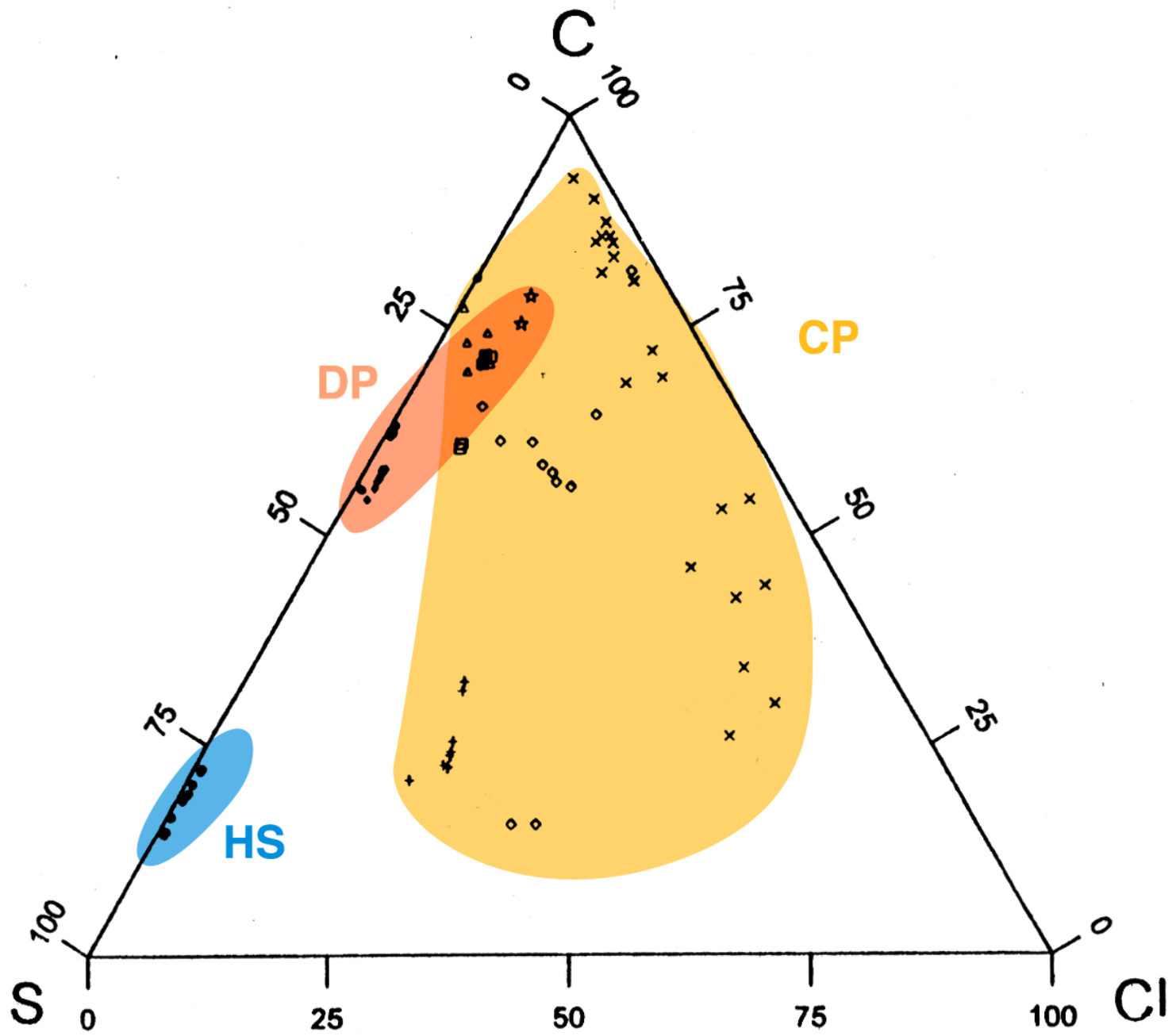


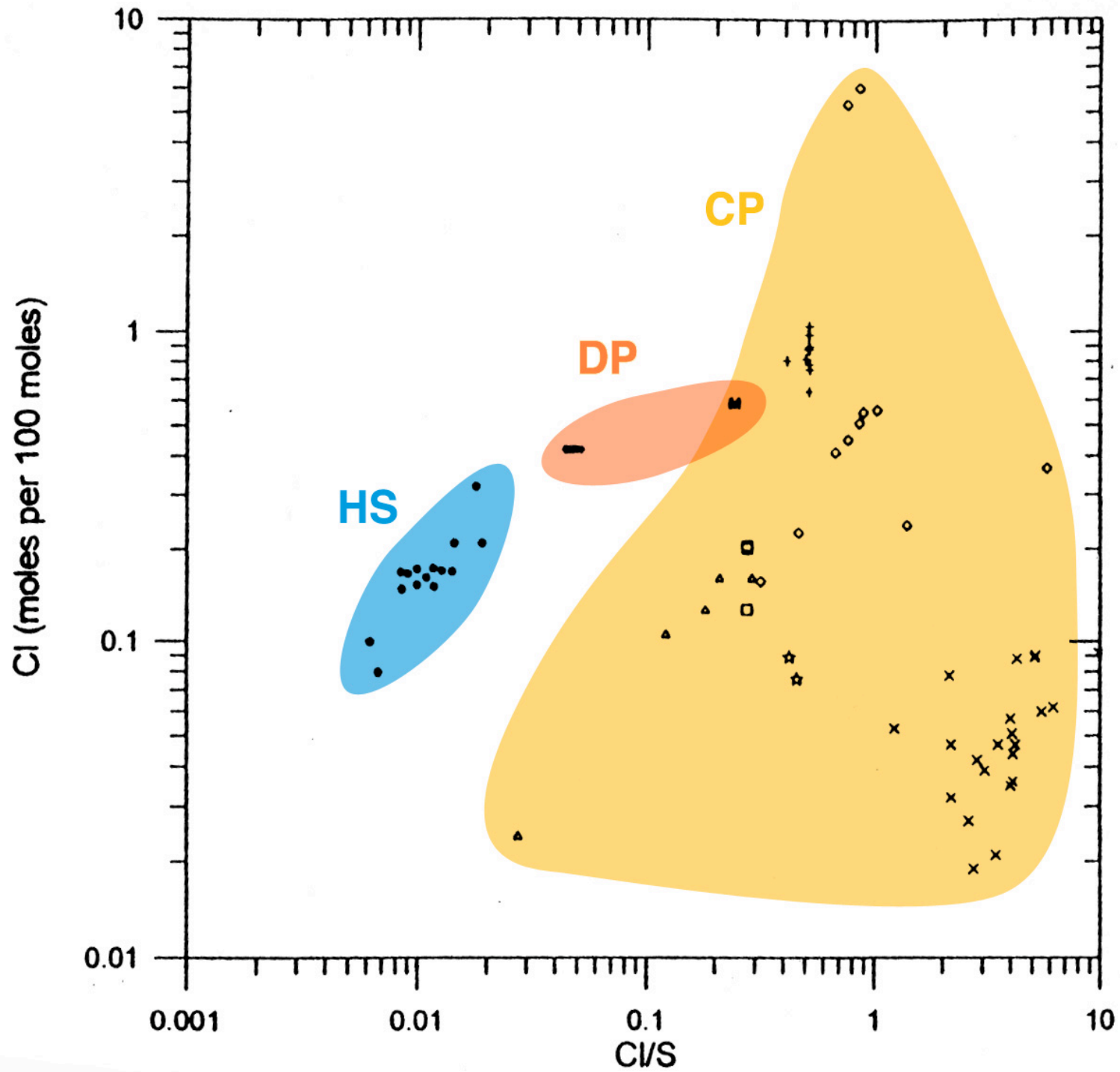


Gas vulcanici: geodinamica e composizione

Il sistema C - S - Cl

- I gas CP hanno proporzionalmente più Cl di DP e HS
- Cl/S è molto più alto (0.03-10) in CP che in DP e HS (Cl/S = 0.006 - 0.05)





Gas vulcanici: N_2 + composizione gas rari

- i principali gas rari sono: He and Ar da cui il triangolare: N_2 -Ar-He
- CP ($N_2/Ar > 1500$) nei DP ($N_2/Ar < 250$)
- arricchimento dovuto alla sostanza organica e alle rocce sedimentarie coinvolte nello slab subdotto
- ottimi marker per la contaminazione superficiale da parte di aria e ASW → ↓ di N_2/Ar e He/Ar



Il rapporto N_2/Ar



Da dove viene
l'Azoto?

Da dove viene
l'Argon?



Quale può essere l'origine principale di questi gas?

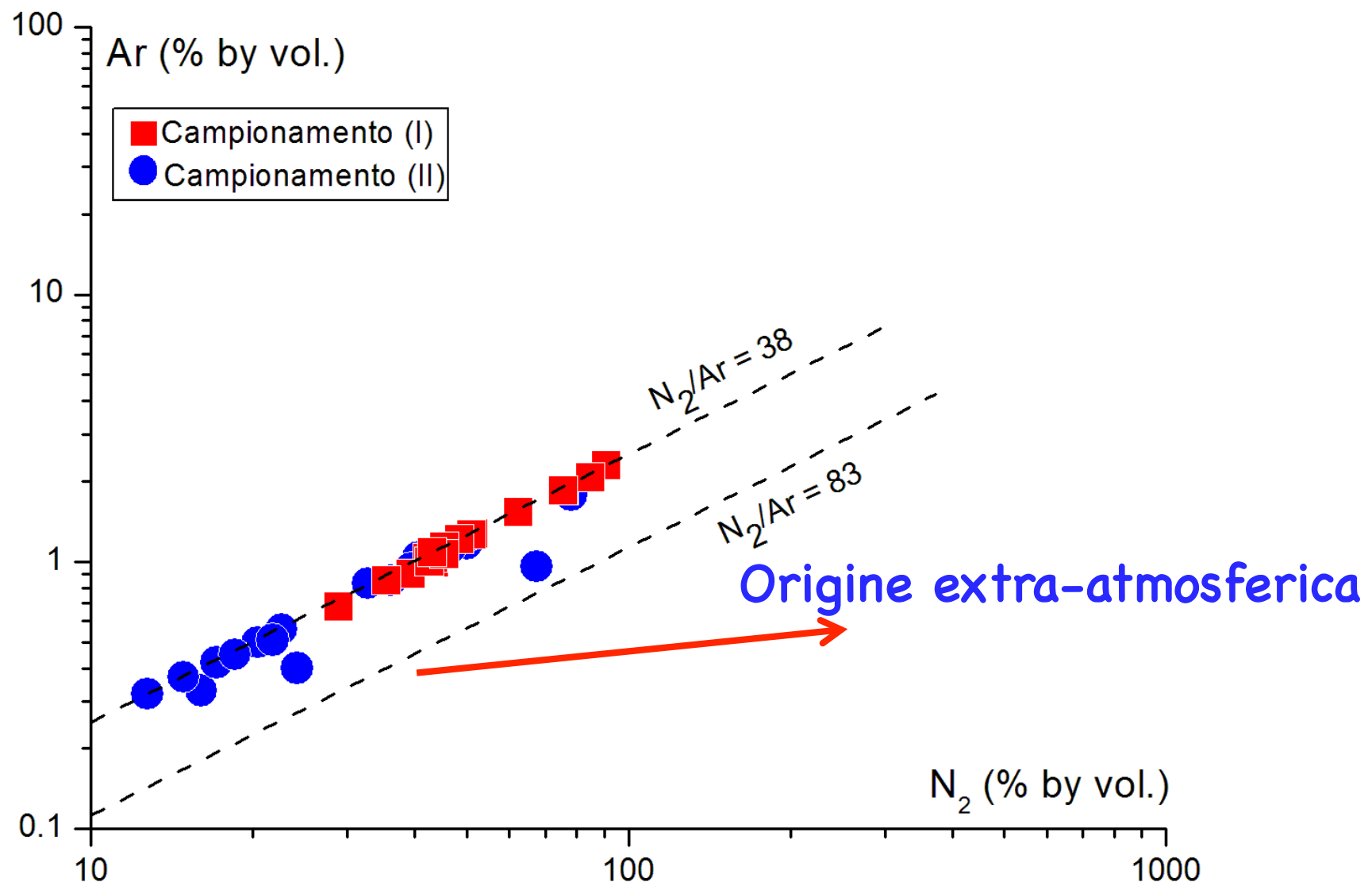
In una fumarola o in un gas gorgogliante in acqua che rapporto N_2/Ar mi dovrei aspettare?

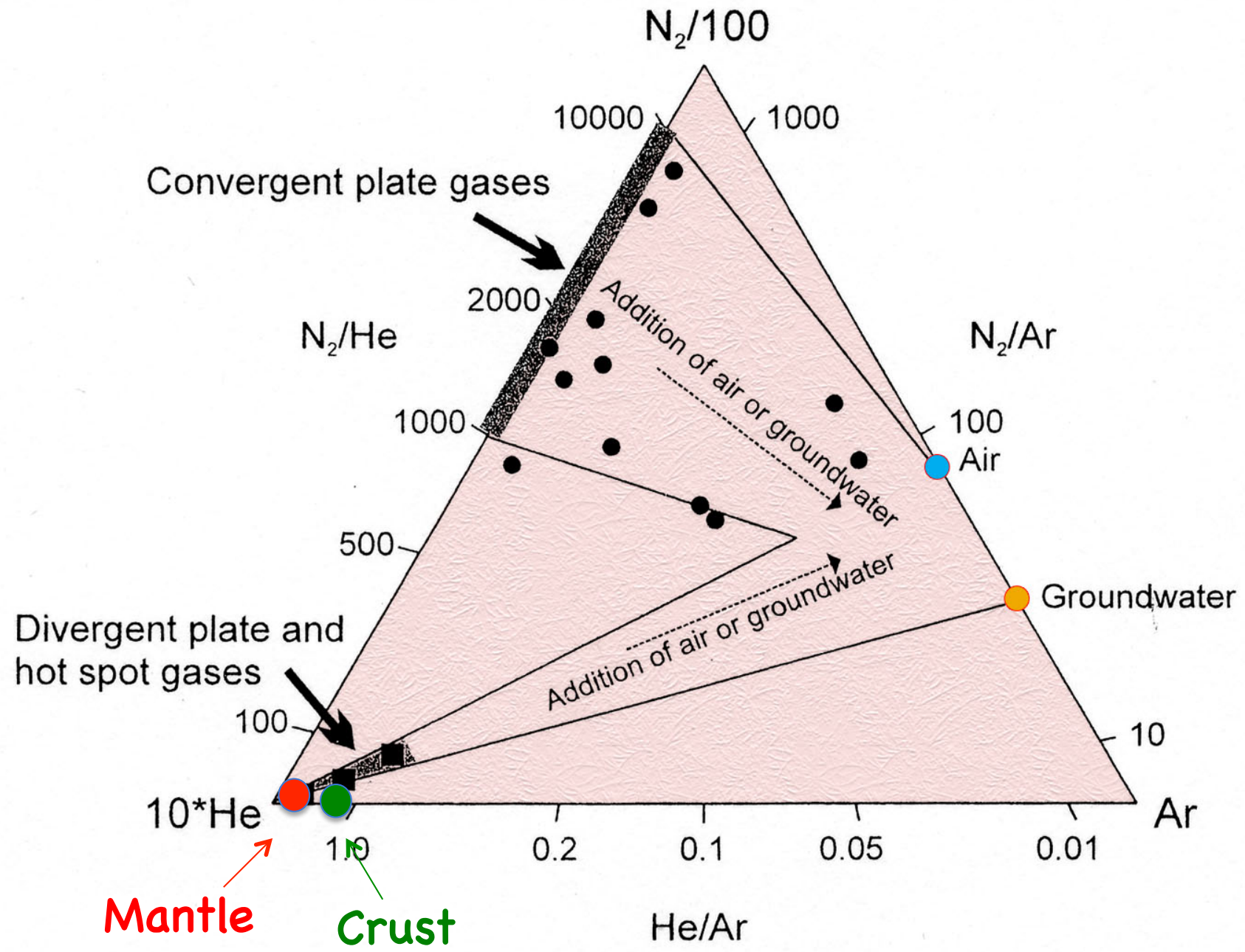
N_2 : 78.08 %
Ar: 0.93 %

→ $N_2/Ar=83$
AIR

N_2 : 12.00 mg/L
Ar: 0.315 mg/L

→ $N_2/Ar=38$
ASW





Interazioni fra fluidi magmatici



..e fluidi idrotermali



Principali caratteristiche dei fluidi magmatici (MF)

1. Un fluido di alta temperatura (~ 1000 °C) coesistente con magmi e contenente variabili quantità di H_2O , H_2 , CO_2 , S, Cl, F, B, N_2 , Gas Rari e altri gas ed elementi in traccia. Gli MF possono essere studiati nelle inclusioni fluide e silicatiche o in gas magmatici di alta temperatura;
2. La composizione degli MF dipende dalla composizione del magma, dal grado di degassamento, dal grado di interazione fra magma-mantello e magma-crosta;
3. I gas vulcanici di alta temperatura rappresentano dei fluidi magmatici liberatisi da un magma a bassa pressione. I condensati dei gas magmatici ad alta temperatura sono delle soluzioni acquose fortemente acide.

Principali caratteristiche dei fluidi idrotermali (HF)

1. I fluidi idrotermali hanno una composizione variabile con la maggior parte dei composti chimici (inclusi i gas) in equilibrio chimico con le rocce ospiti alterate;
2. L'acqua ha un'origine marina o meteorica. Il contributo magmatico può essere stimato attraverso le correlazioni Cl- δ D assumendo che tutto il Cl sia di origine magmatica;
3. CO₂ e S possono essere controllati dalla precipitazione di calcite e solfuri. Pertanto, il loro contributo magmatico non è conosciuto.

Hydrothermal gases



“Magmatic gas scrubbing (+crustal contamination, e.g. thermometamorphic processes, + air addition)”

Reducing conditions

Underground (and surficial) water

Selective dissolution; boiling and water degassing; chemical re-equilibration with the hosting rocks; contribution by hosting rocks, organic matter, etc.



Heat

Oxidizing conditions



Heat + gas compounds

Magma



Fluido idrotermale (red) di più bassa T ove avvengono processi di scrubbing, prec/sol), nuovi gas, aria, radioattività, ecc.)



Mixing



Fluido magmatici (ox) di alta temperatura, f(comp. magma, degassing state, flux, ecc.)

Effetti derivanti dagli acquiferi:

Frazionamento di CO₂/He per la differente solubilità in acqua negli acquiferi idrotermali: perdita preferenziale di He associata alla separazione della fase gassosa

Precipitazione di fasi solide nel sistema idrotermale

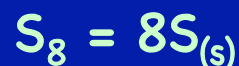
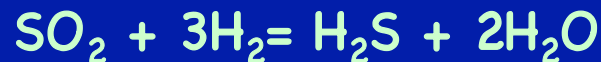
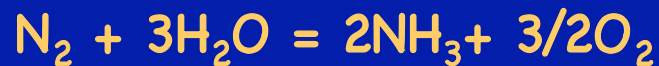
Aggiunta di vapore da parte degli acquiferi

Aggiunta di idrocarburi volatili ed composti organici più complessi per la decomposizione termica della sostanza organica presente nelle acque e nei sedimenti.

Aggiunta di componenti atmosferici

Contaminazione crostale

Principali reazioni che coinvolgono le specie gassose



La composizione molecolare dei gas vulcanici dipende da:

- composizione atomica complessiva
- condizioni P, T
- Fugacità di O_2

Spesso la teoria molte volte è lontana dalla realtà!

Generalizzare dei comportamenti chimici è possibile ma poi un determinato vulcano è un sistema a sé stante!

La storia eruttiva, la periodicità degli eventi vulcanici, le emissioni gassose, i processi deformativi, le modalità di innesco di un'eruzione, le caratteristiche geofisiche, ecc. sono "parametri" determinanti per conoscere un sistema vulcanico. In più, le variazioni osservate certe volte evolvono verso un'eruzione altre volte...NO!

VOLCAN TURRIALBA Tue May 21 09:02:02 2013



Nea Kameni (Santorini): 2011-2012



March, 2008



March, 2008

West Crater

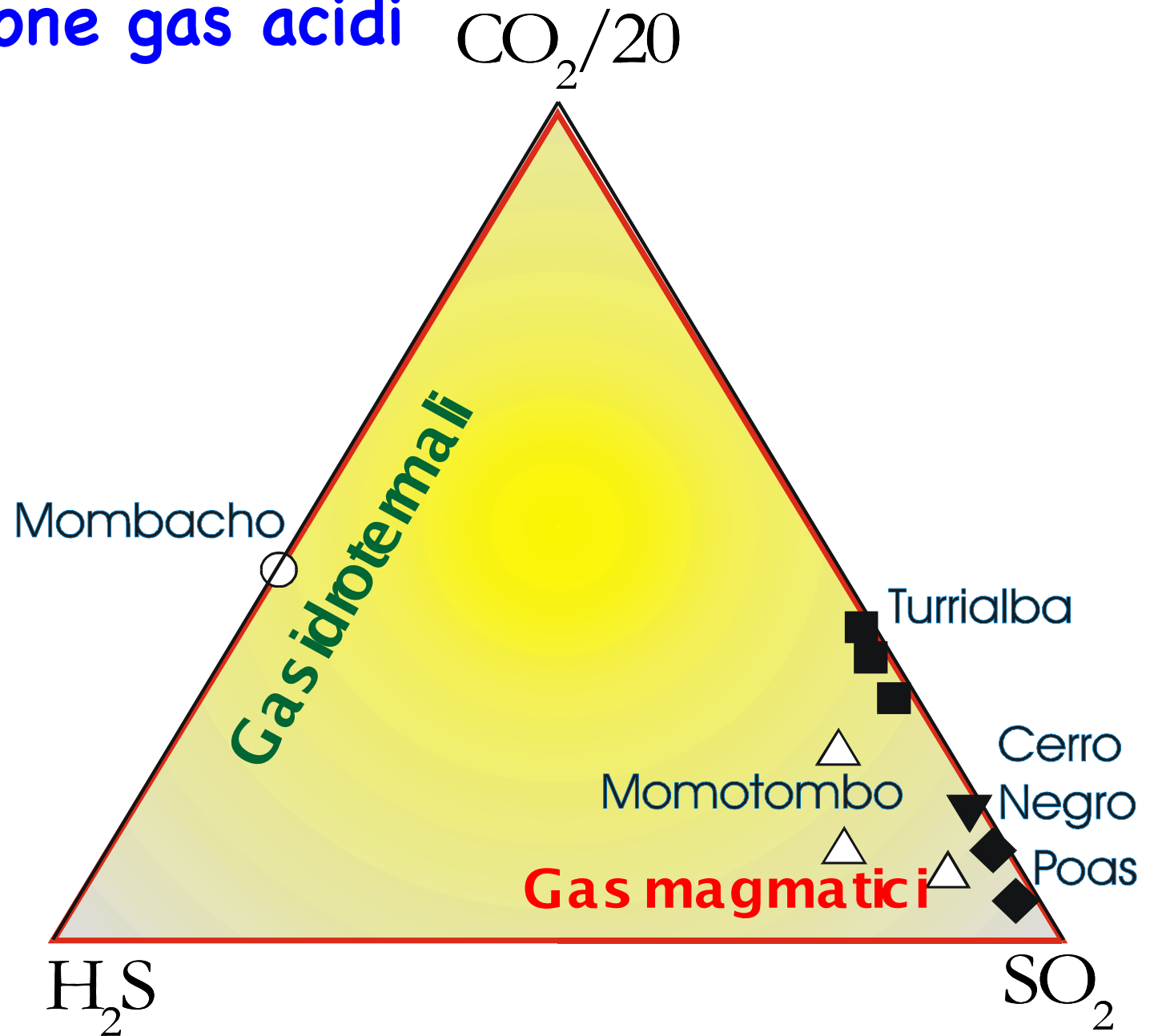
Erick

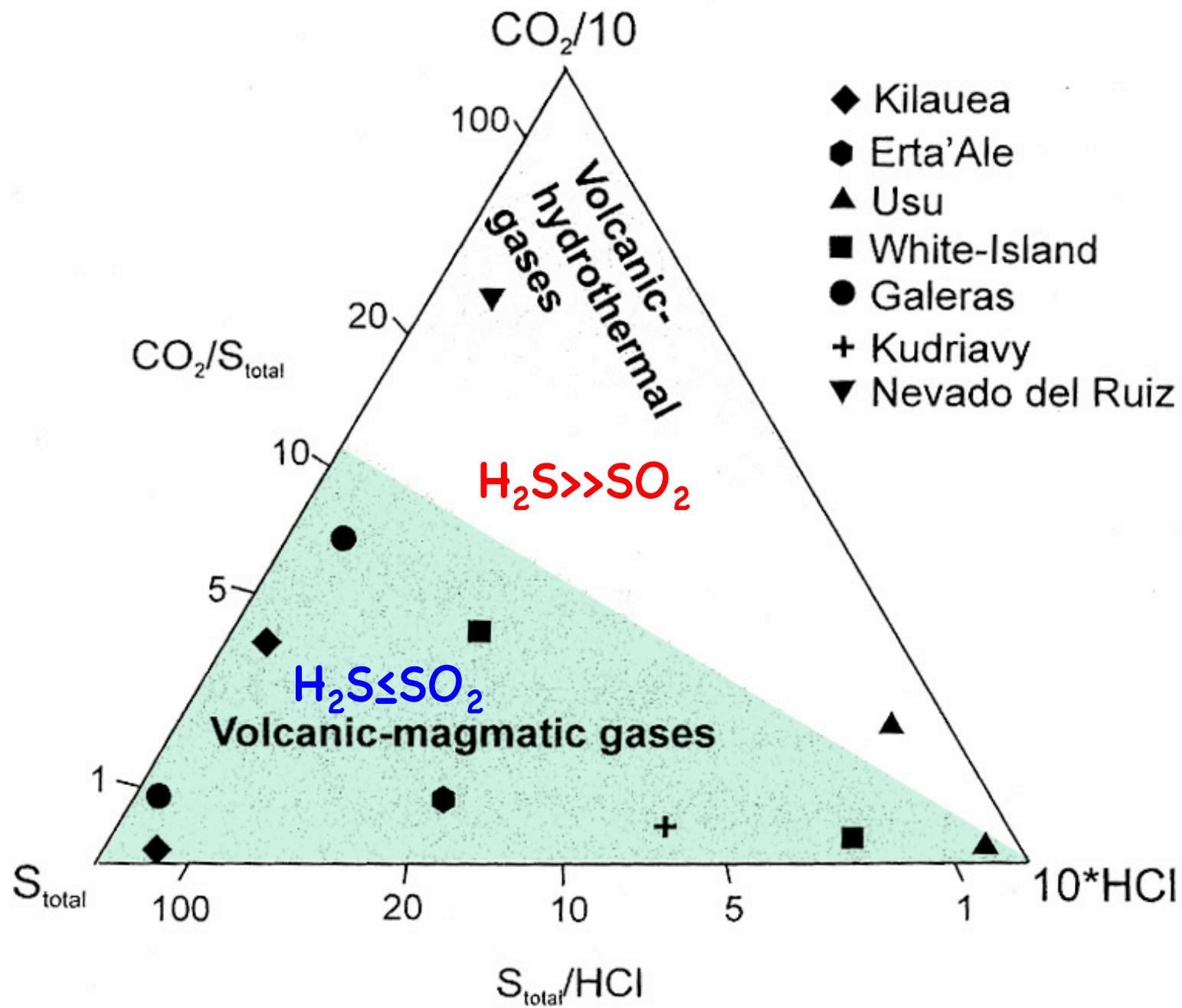
Jet fumaroles at 130 °C in June 2005. From September 2007 (178 °C) to March 2008 (278 °C) a sharp increase was observed.





Composizione gas acidi





Caratteristiche chimico-fisiche dei gas vulcanici, geotermici e naturali

	temperatura	Composizione della frazione inorganica
gas naturali raramente "vulcanici"	freddi	$\text{CO}_2, \text{CH}_4, \text{N}_2, (\text{H}_2\text{S})$ $\text{CH}_4 (\text{CO}_2)$ $\text{N}_2, \text{CH}_4 (\text{CO}_2)$
idrotermali/geotermici spesso "vulcanici"	<70 °C up to 320 °C	$\text{CO}_2, \text{H}_2\text{S}, \text{CH}_4, \text{N}_2, (\text{H}_2\text{O})$ $\text{H}_2\text{O}, \text{CO}_2, \text{H}_2\text{S}, \text{CH}_4, \text{N}_2 (\text{HCl})$
idrotermali/magmatici esclusivamente "vulcanici"	up to 800 °C	$\text{H}_2\text{O}, \text{CO}_2, \text{H}_2\text{S}, \text{HCl}, \text{SO}_2, \text{HF}$

Caratteristiche chimico-fisiche dei gas vulcanici, geotermici e naturali

	Temperatura di fuoriuscita	Composizione della componente organica
Gas Naturali	freddi	Alcani
Idrotermali/geotermici	<70 °C Fino a 320 °C	Alcani (aromatici) Alcani, aromatici (alcheni, eterociclici)
Idrotermali/magmatici	Fino a 800 °C	Alcheni (alcani, aromatici, eterociclici)

A photograph of a volcanic crater lake. The lake is a dark, still body of water in the foreground. In the background, a large, blue-tinted glacier flows down a rocky, dark volcanic slope. The sky is overcast with grey clouds. The text "Volcanic (crater) Lakes" is overlaid in white on the lower part of the image.

Volcanic (crater) Lakes

Limnologia (da Enciclopedia Treccani)

Studio delle acque continentali non correnti (stagni, pozze, paludi, laghi ecc.), che si avvale dei contributi di varie scienze (geografia fisica, geologia, biologia, idrologia, meteorologia, chimica, fisica, botanica, zoologia ecc.) per ottenere una conoscenza integrata della dinamica fisica, chimica e biologica di una massa d'acqua. La l. si occupa della distribuzione spaziale dei laghi, delle dimensioni e della forma dei bacini, della composizione chimica delle acque lacustri, dell'energia (termica dal Sole e meccanica dal vento) che la massa d'acqua riceve e dei popolamenti delle acque, questi ultimi in particolare anche alla luce delle interazioni tra acque calme e acque correnti.

e da camere magmatiche in degassamento

Laghi vulcanici

Solamente il 12% dei 714 vulcani con età <10,000 anni listati nel Catalogue of Active Volcanoes of the World hanno un lago.

La peculiarità dei laghi vulcanici è che la loro esistenza richiede uno speciale bilancio fra il flusso di calore vulcanico e il raffreddamento atmosferico e fra le precipitazioni e l'evaporazione.

La struttura vulcanica (e.g. permeabilità del substrato e forma del cratere) è importante ma sono le forze endogene e quelle esogene che condizionano la chimica di un lago che a sua volta è indicativa dell'attività vulcanica e dei processi idrogeochimici.





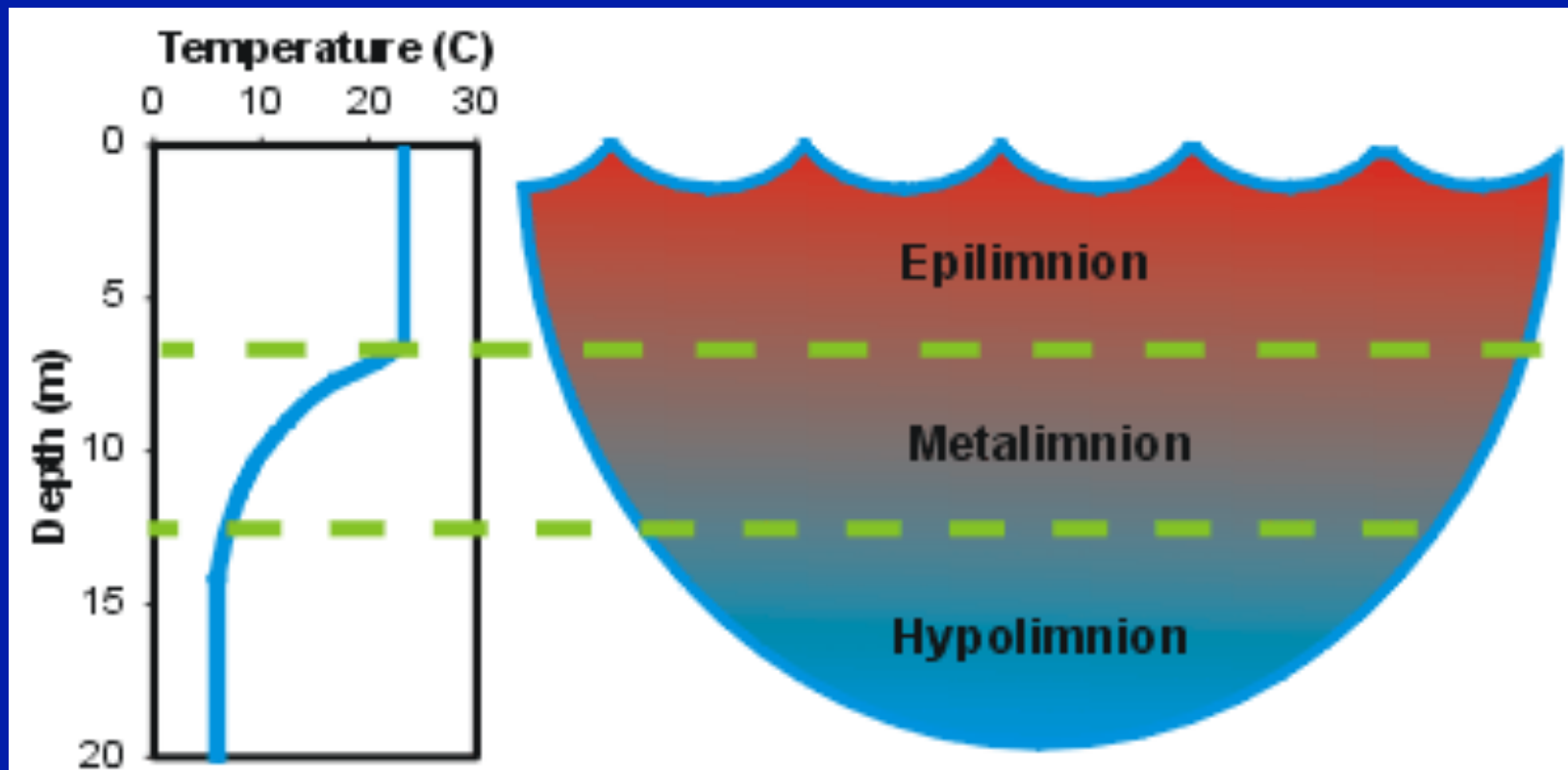
Un lago vulcanico è una specie di tappo di acqua meteorica sopra ad un cratere vulcanico.



- I vulcani che contengono un lago si ritrovano prevalentemente in aree di vulcanismo di subduzione;
- Sono tipici di aree con piovosità relativamente elevata;
- Molti sono caratterizzati da acqua calda
- Possono accumulare grandi quantità di gas
- Spesso presentano una alta acidità delle acque (con pH fino a 0)

Epilimnio: intende lo strato superficiale di un lago e risente della radiazione solare con temperature maggiori degli strati sottostanti.

Il Metalimnio è quella zona in cui si assiste alla rapida diminuzione della temperatura.



Se il lago è abbastanza profondo è presente uno strato in cui la temperatura si mantiene costante intorno ai 4 °C: ipolimnio.

Lago 20 m di prof.
Densità max H₂O:
4 °C

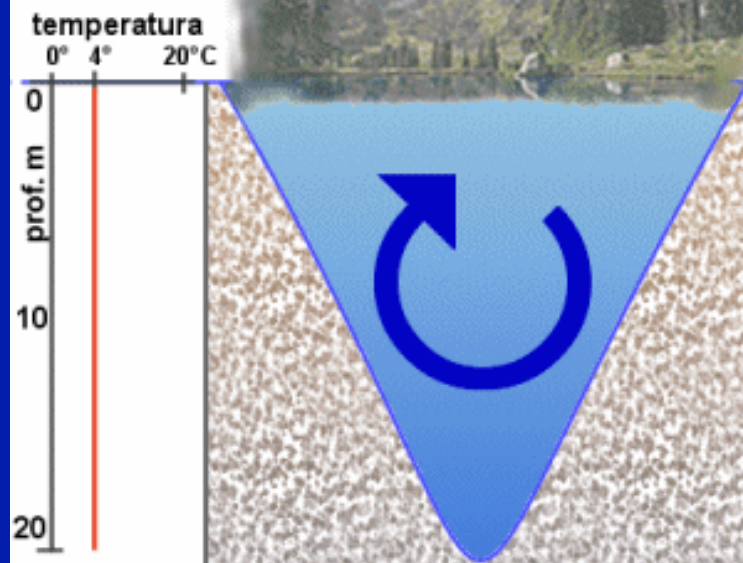
Fine inverno: T= ca. 4°C.

Aumenta la radiazione
con innalzamento della T
della acque superficiali

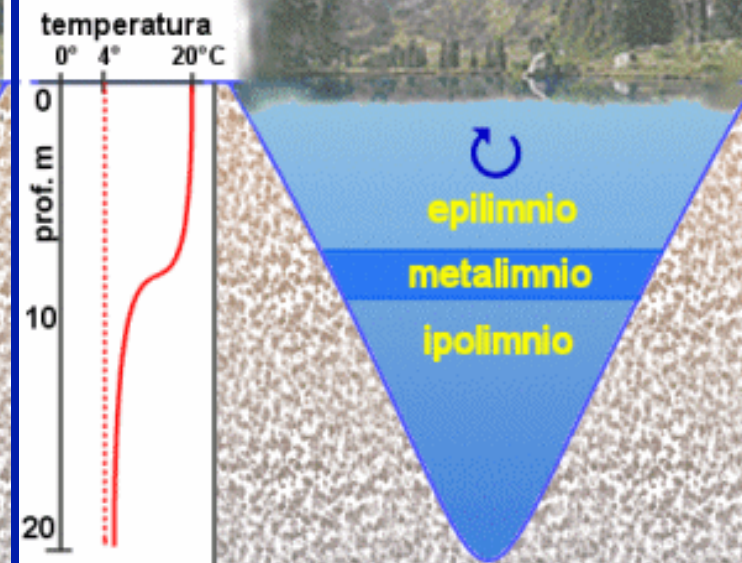
L'acqua superficiale si
raffredda, diventa più
densa e scende verso il
fondo.

La densità dell'acqua
diminuisce per un
ulteriore
raffreddamento:
stratificazione termica
inversa. Il ghiaccio può
rendere stabile la
stratificazione termica
inversa.

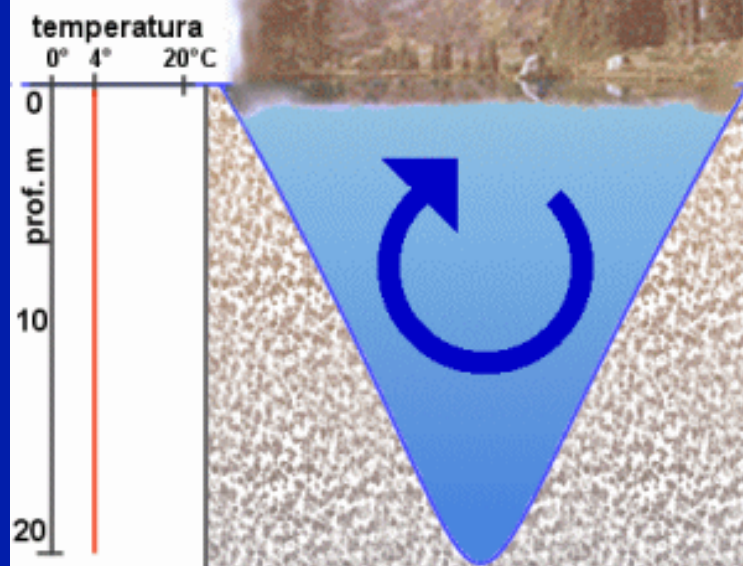
circolazione primaverile



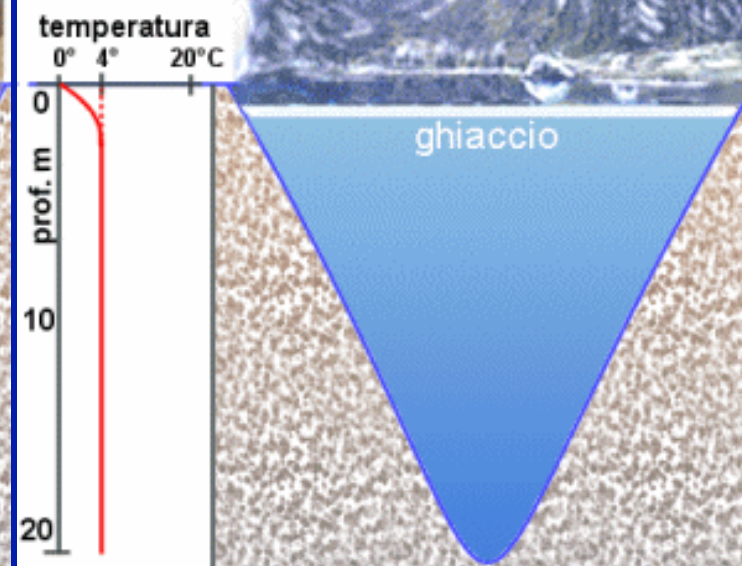
stratificazione estiva



circolazione autunnale



stratificazione invernale



Volcanic lakes

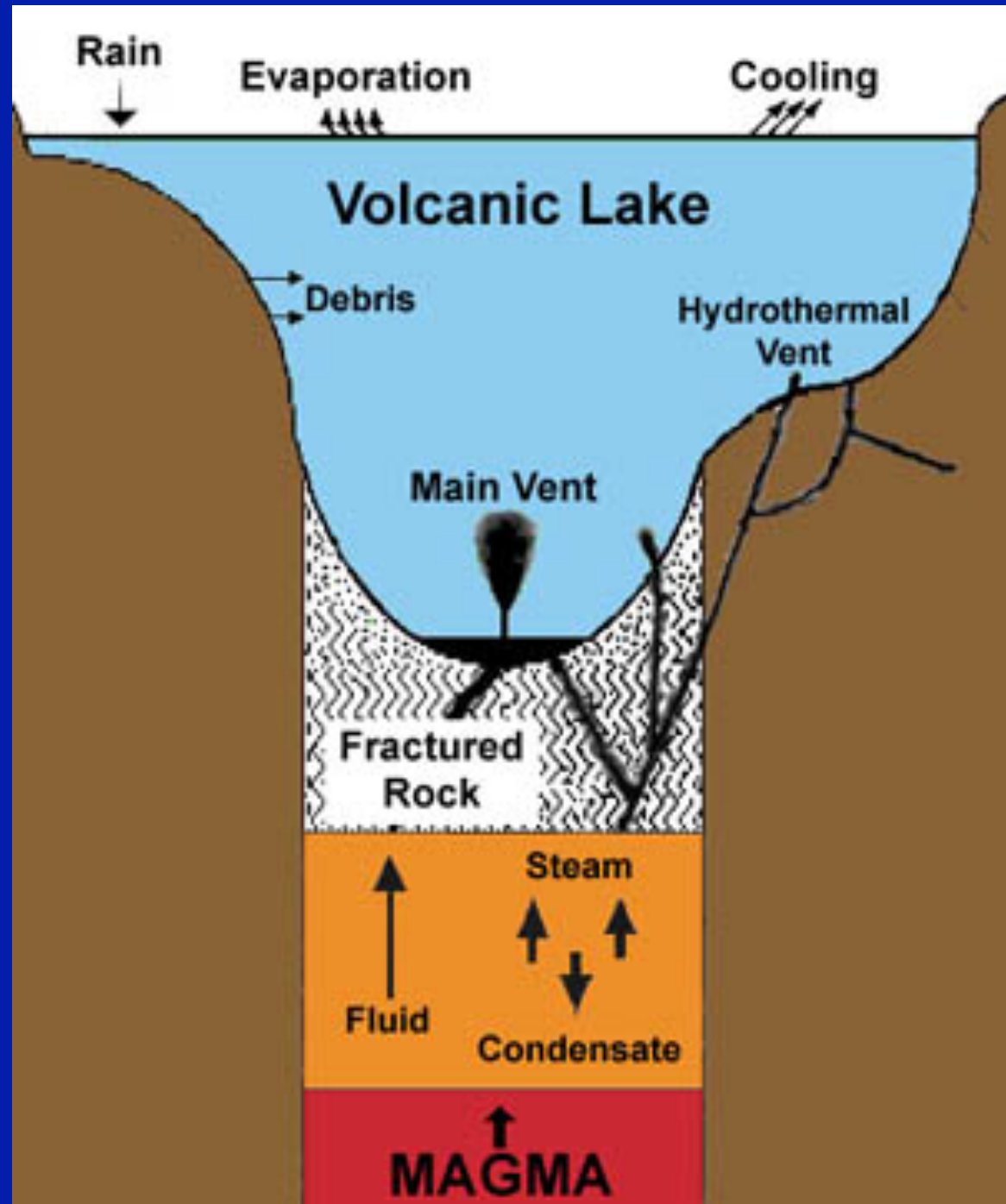
Crater lake is a volcanic lake hosted in an active volcano (e.g. Poas, Copahue, El Chichon, Kawah Ijen).

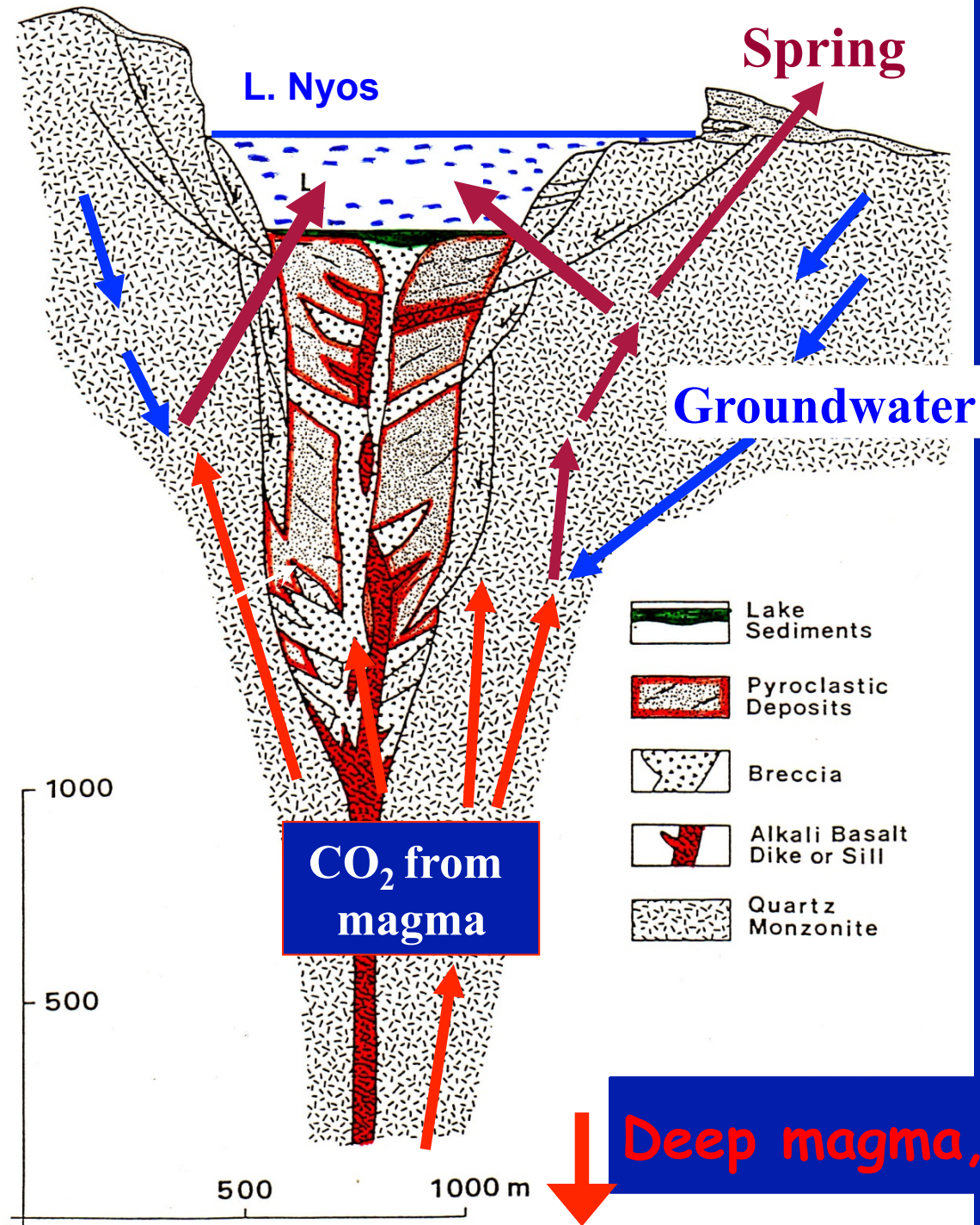
Volcanic lake is not necessarily in a crater of an active volcano.

Other lakes: maar lake, caldera lake, etc.

Bio-activity volcanic lakes: CO_2 (CH_4 , N_2)-rich gas reservoir mainly controlled by the interactions occurring between geosphere and biosphere.

Crater lakes





-  Lake Sediments
-  Pyroclastic Deposits
-  Breccia
-  Alkali Basalt Dike or Sill
-  Quartz Monzonite

Volcanic lakes (Nyos-type)

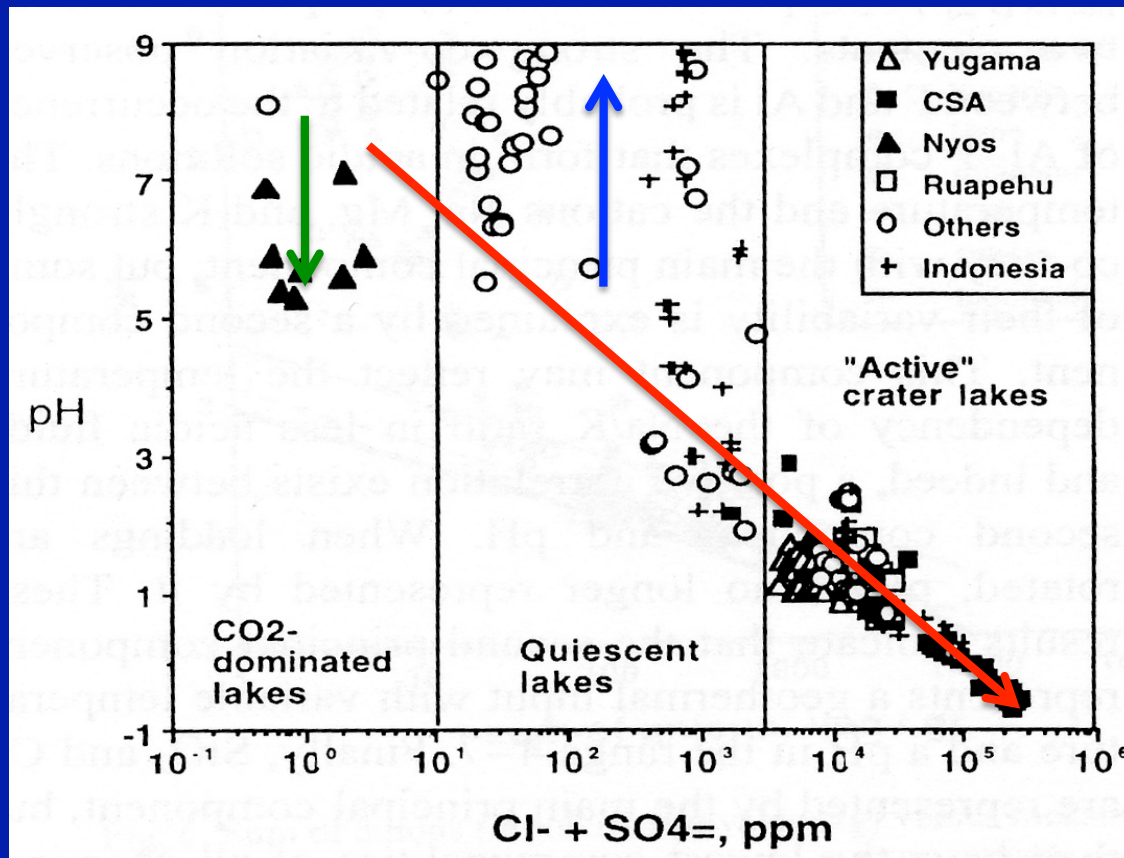
Chimica dei laghi vulcanici

pH neutro, diluito (TDS < 100 mg/L) es: Crater Lake, USA

pH intermedio (pH ~ 2-6) e relativamente mineralizzato (TDS < 2000 mg/L)

pH acido (pH < 2), fortemente mineralizzato (TDS > 100,000 mg/L), es: Kawa-Ijen

Varie facies geochimiche: alto Na-Cl (Kelut) e Cl-SO₄ (Oyunuma), alto HCO₃ (Nyos)



Classificazione pH-Cl+SO₄

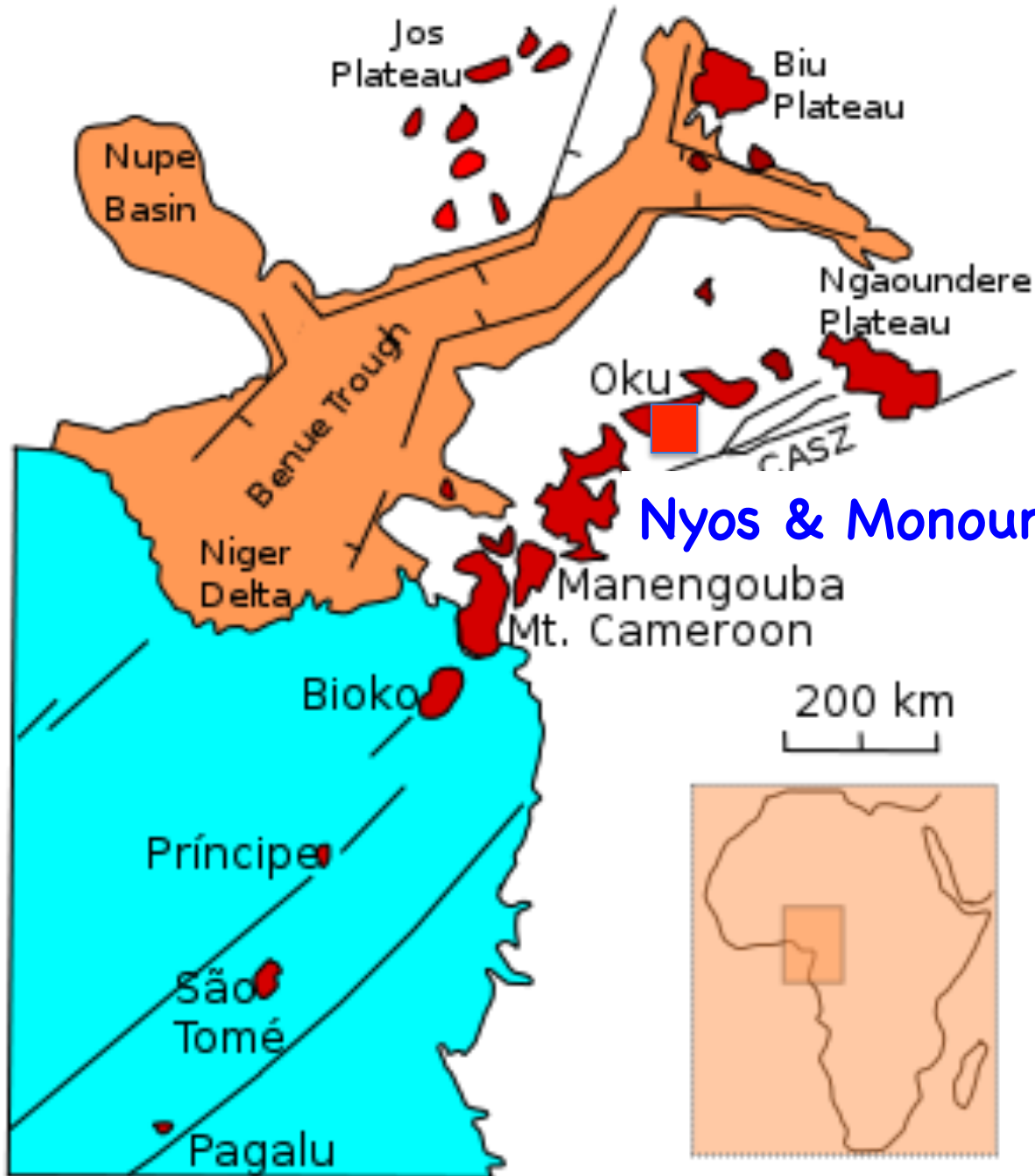
□ Principali parametri discriminanti: pH e componenti derivati dalla dissoluzione di gas acidi (Cl⁻, SO₄²⁻)

□ 3 principali gruppi di laghi:

➤ laghi a CO₂: neutri pH (~5-7) + basso Cl+SO₄ (< 5 ppm) + dominati da CO₂

➤ laghi geotermali quiescenti: pH variabile (2-9), moderato Cl+SO₄ (< 2000 ppm)

➤ laghi craterici attivi: pH acido (2 - -1), alto Cl+SO₄ (> 2000 ppm)



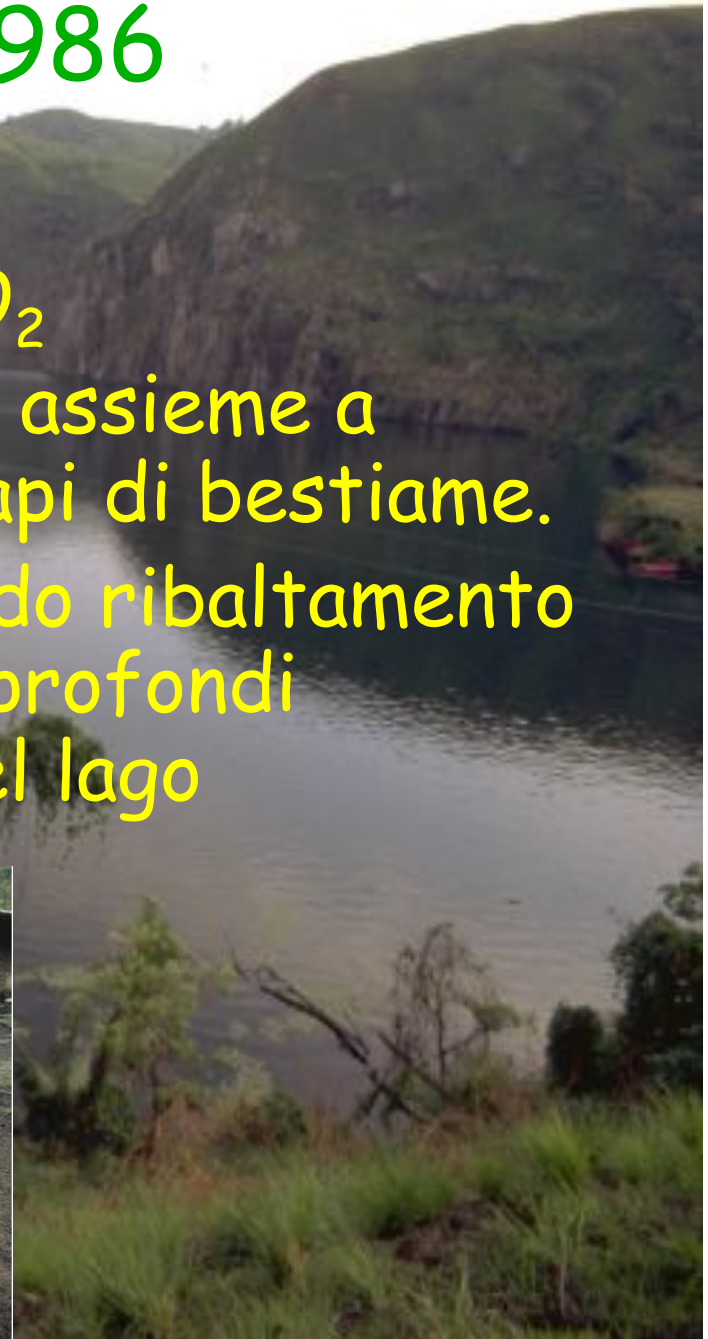
Nyo & Monoun Lakes

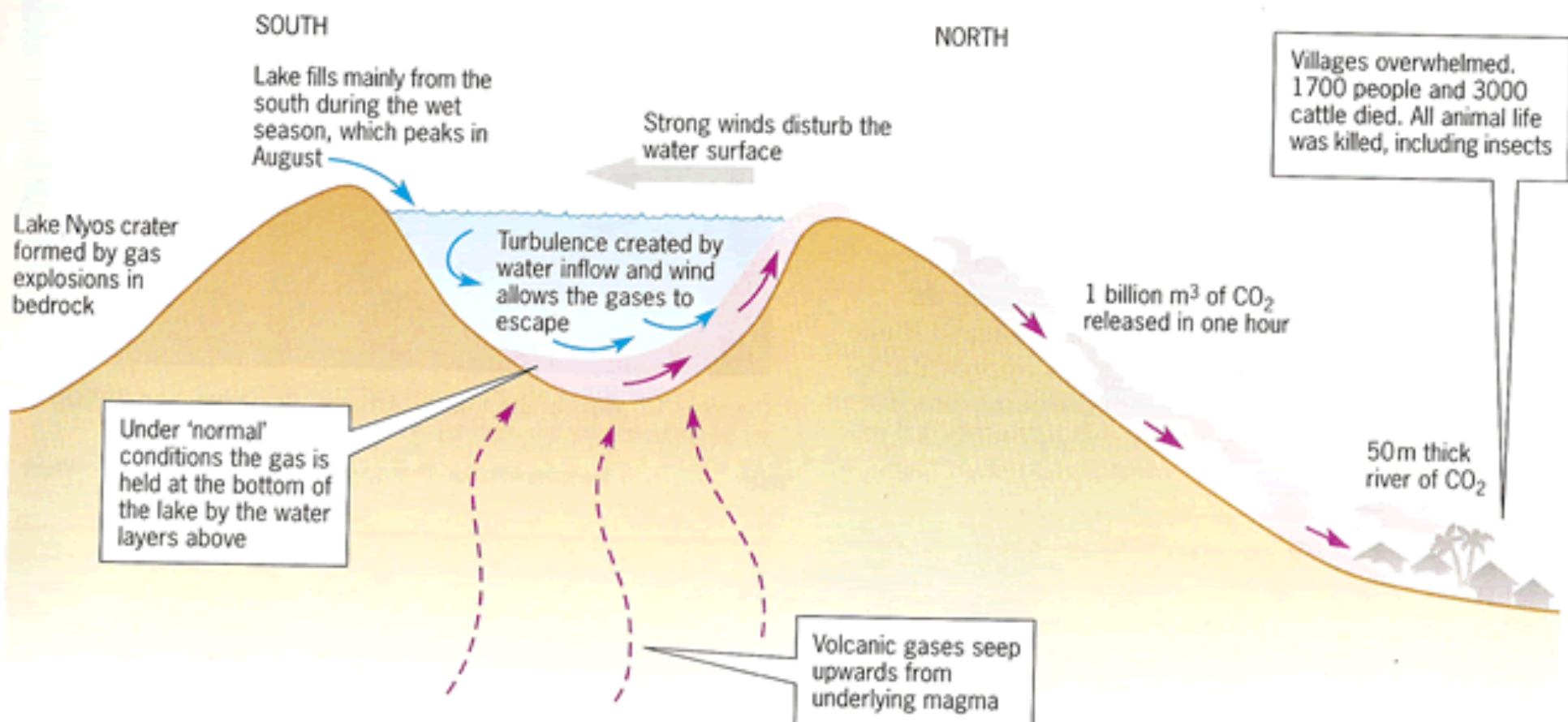
Lake Nyos (Camerun)

Il disastro del 1986



- $\sim 1 \text{ km}^3$ di CO_2
- ~ 1800 morti assieme a migliaia di capi di bestiame.
- Cause = rapido ribaltamento degli strati profondi dell'acqua del lago



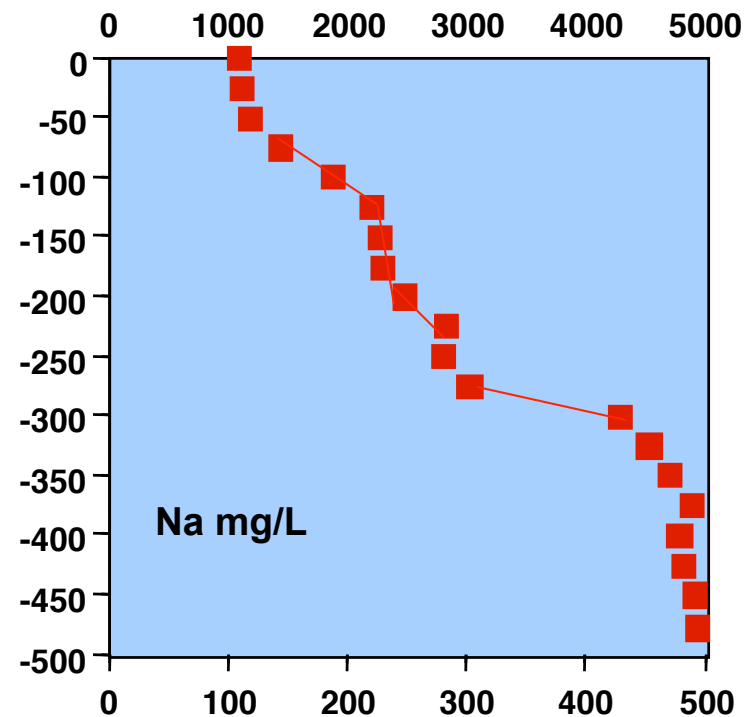
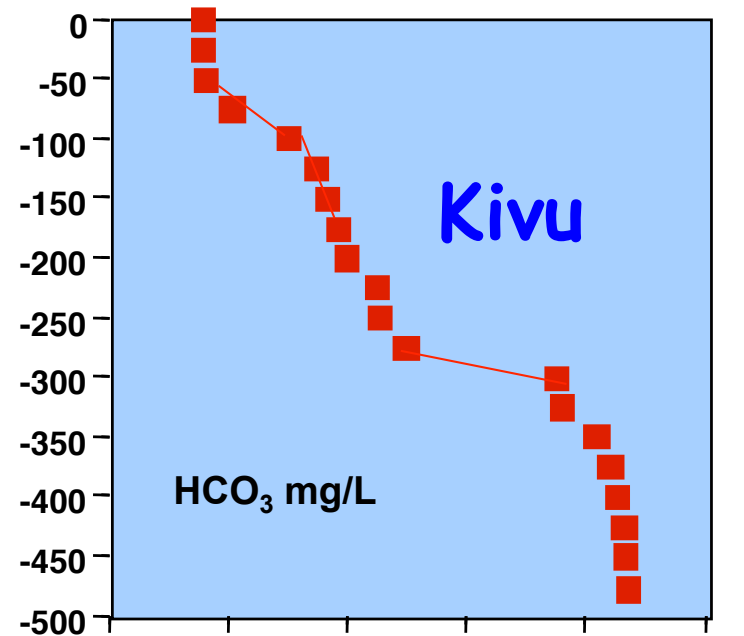
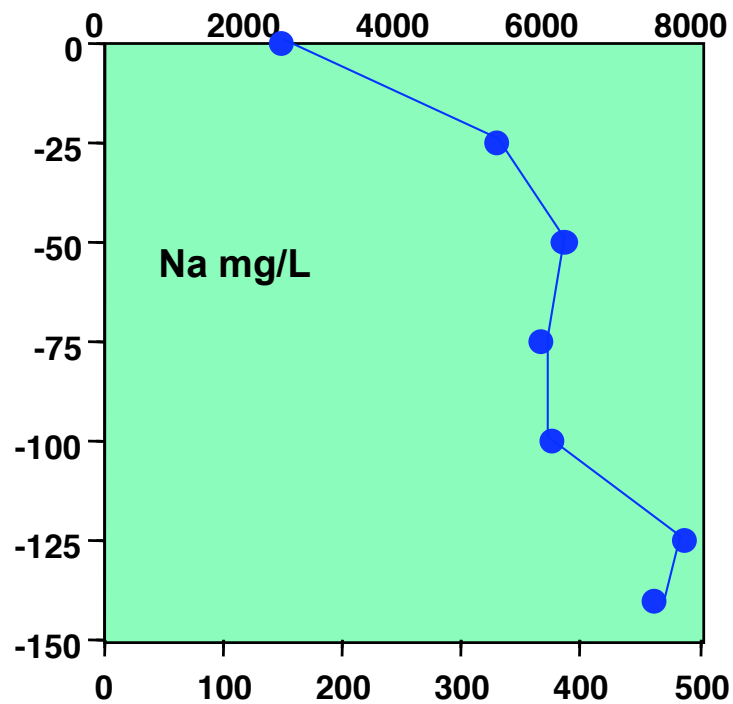
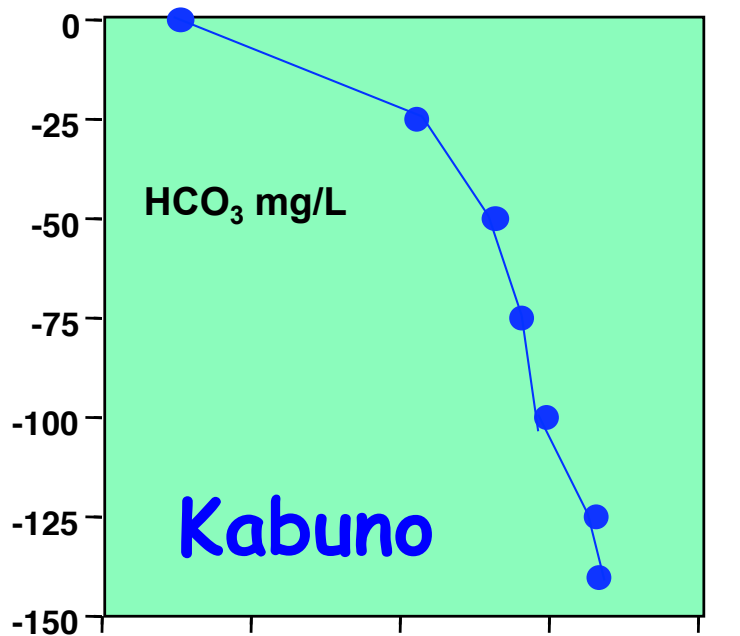


The Lake Nyos, Cameroon, disaster of 21 August 1986. The lake lies in an area of ancient volcanic activity associated with continental plate spreading in the past. This event could be repeated.



La nube di gas
investì persone ed animali sino
a 26 km dal lago

Depth (m)



Gas vs. Hydrostatic Pressure

