



DISTRETTO DELLE
ENERGIE RINNOVABILI

“ENERGY MADE IN TUSCANY”



Consorzio per lo Sviluppo delle
Aree Geotermiche

Domenico Liotta

domenico.liotta@uniba.it

IL CALORE DELLA TERRA: ATTIVITA' PER INDIVIDUARE E CARATTERIZZARE LA RISORSA GEOTERMICA

il calore della Terra

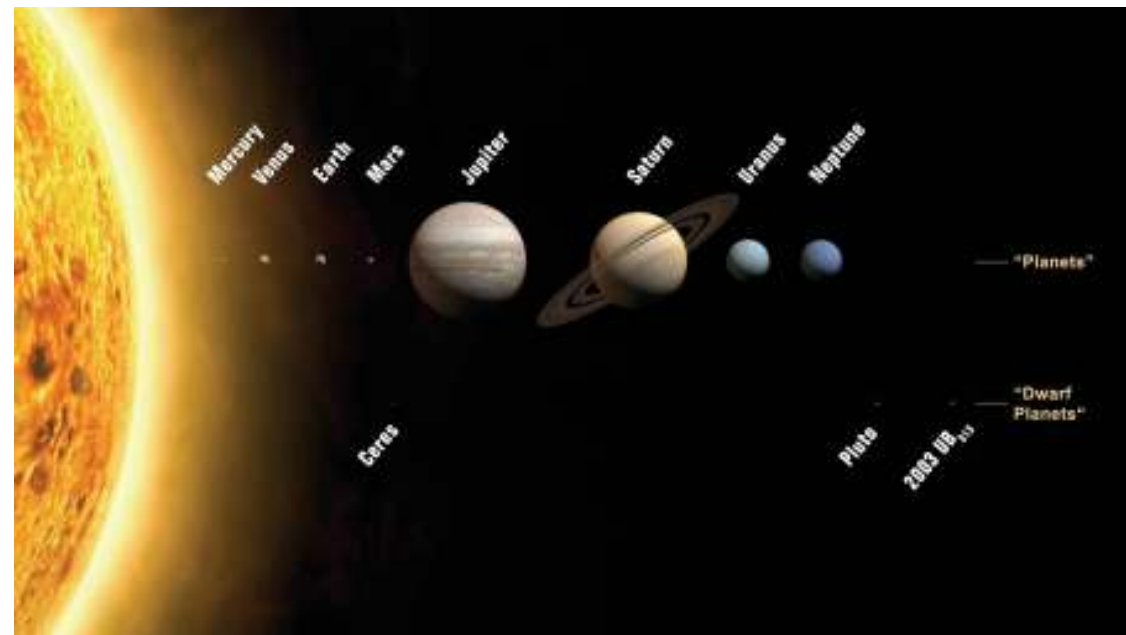
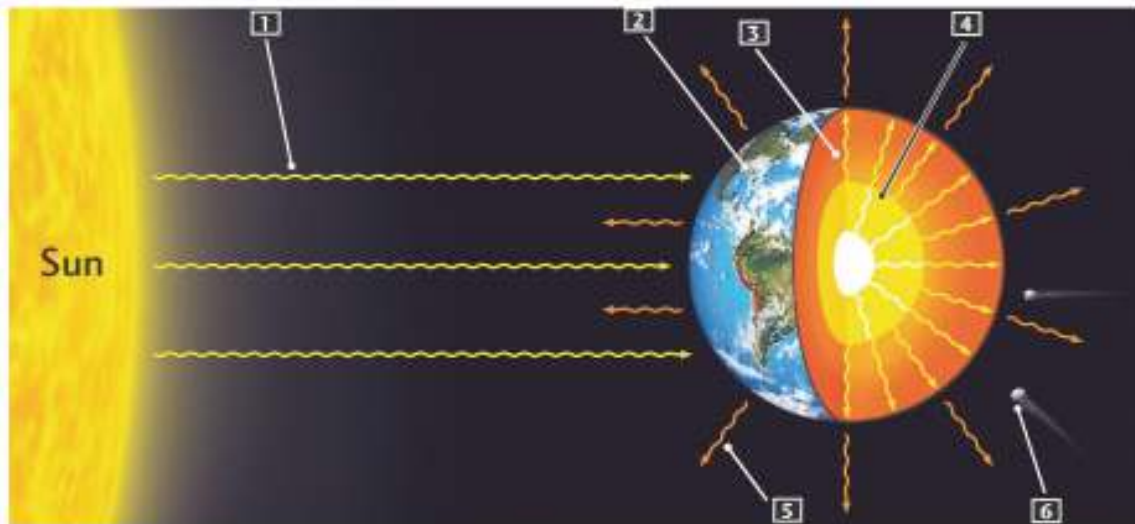
condizioni per le risorse geotermiche

cosa fa il geologo

conclusioni



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DI BARI
ALDO MORO



alcuni elementi radioattivi: U^{238} , U^{235} , K^{40} , Rb^{87}

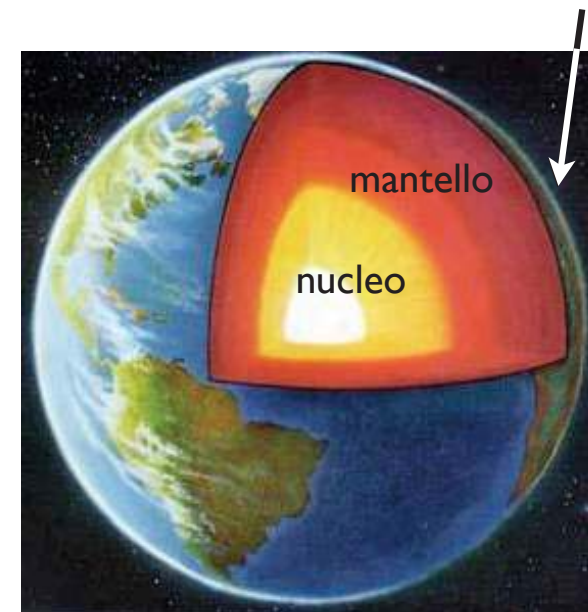
IL CALORE TERRESTRE

il calore che il sistema Terra **cede** è nell'ordine di $5 \cdot 10^{13} \text{ WATT}$

il calore che il sistema Terra **riceve** è nell'ordine di $2 \cdot 10^{16} \text{ WATT}$
(circa 340 watt/m^2)

- *fabbisogno energetico mondiale: $1 \cdot 10^{16}$ -*

La Terra vuole raffreddarsi.... ma ha un ostacolo: la crosta terrestre!

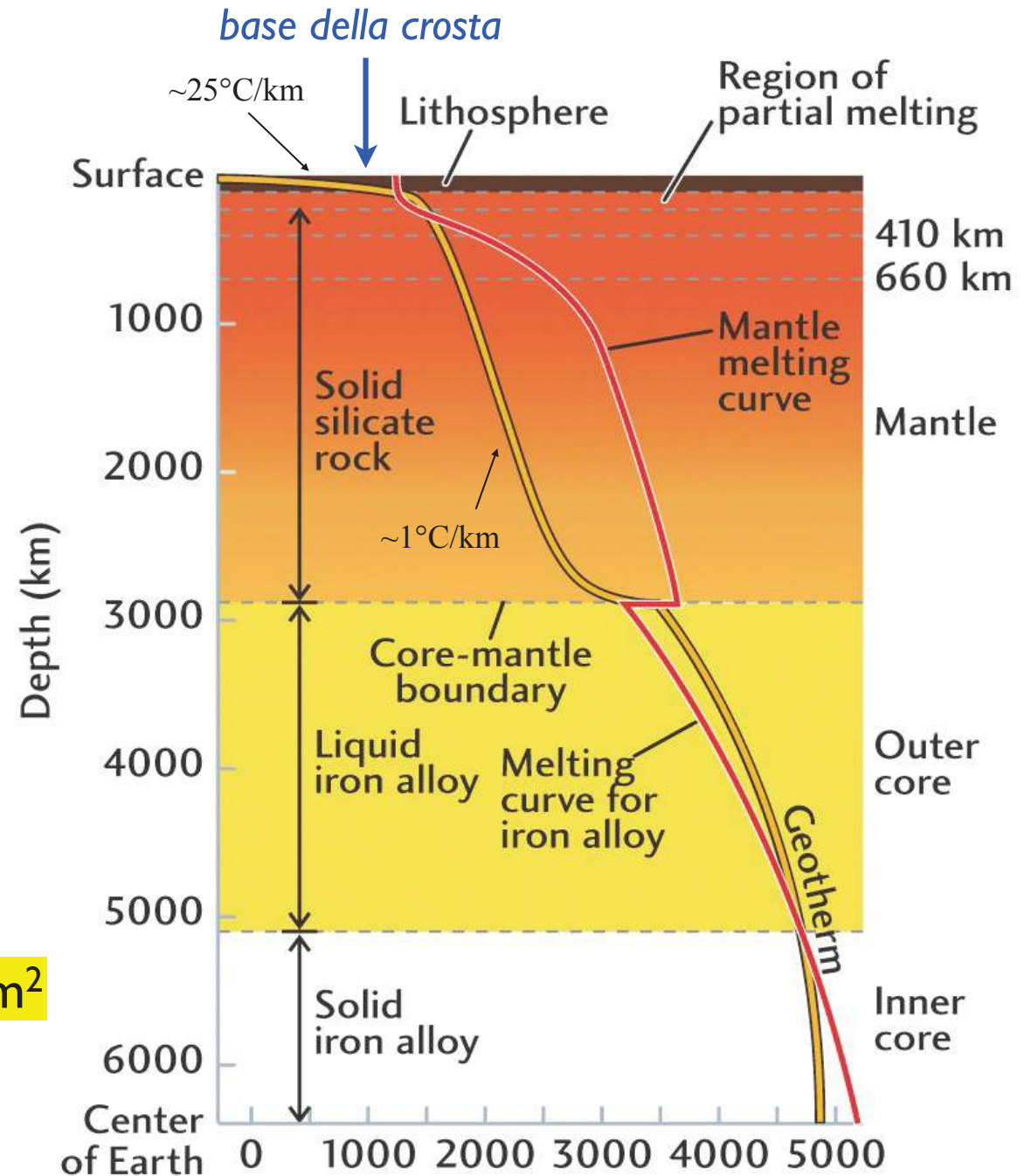


Flusso di calore

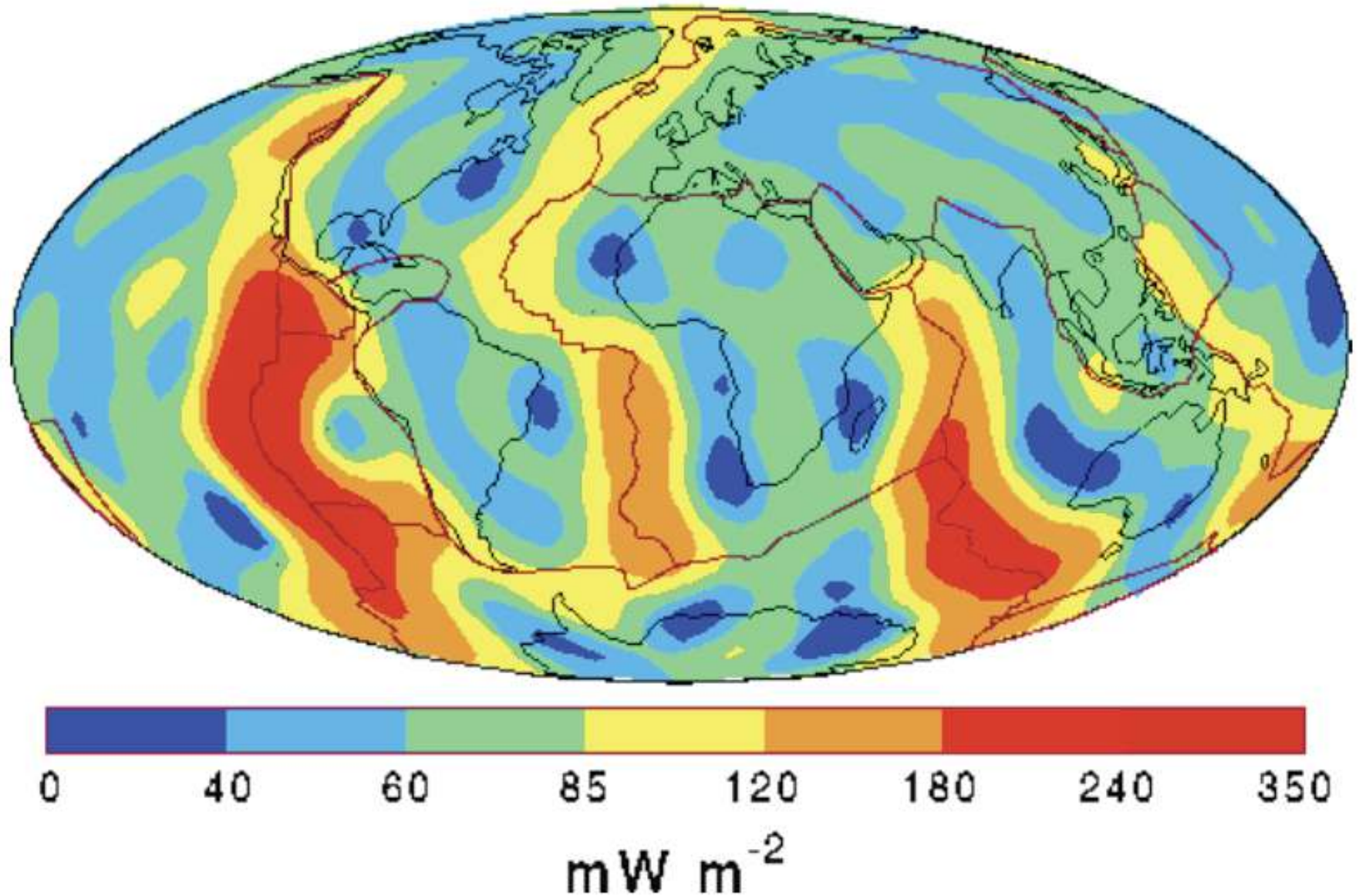
IL CALORE TERRESTRE

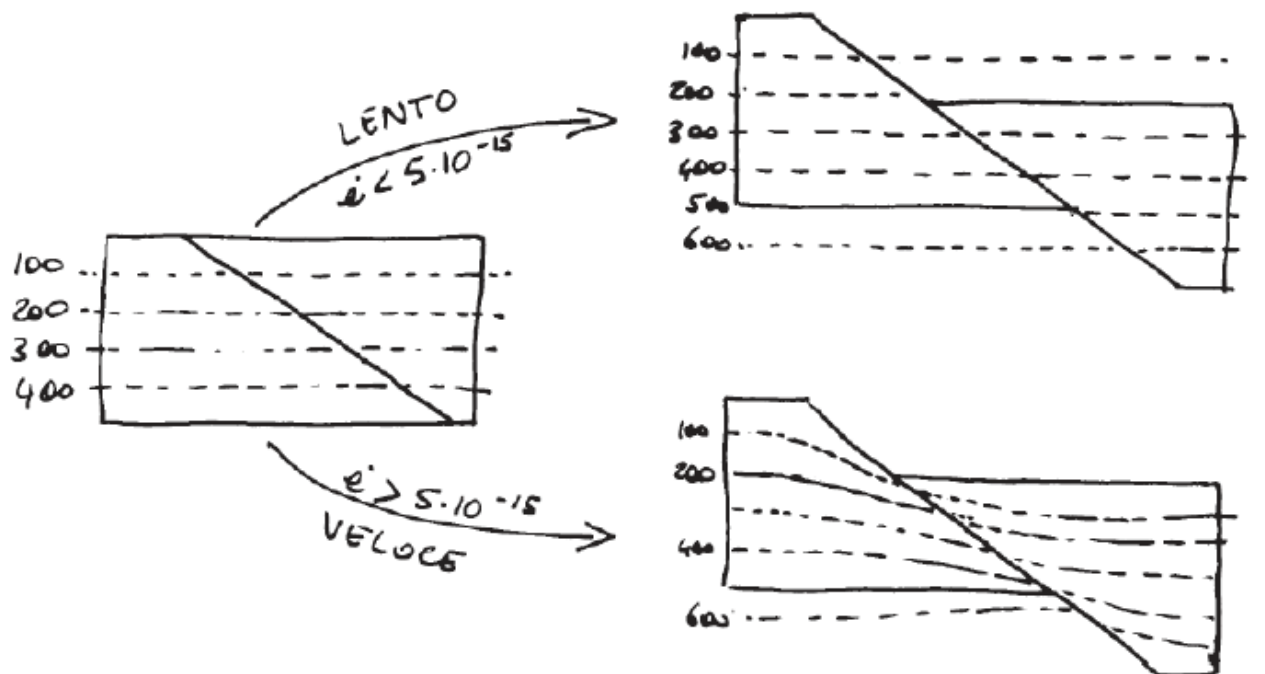
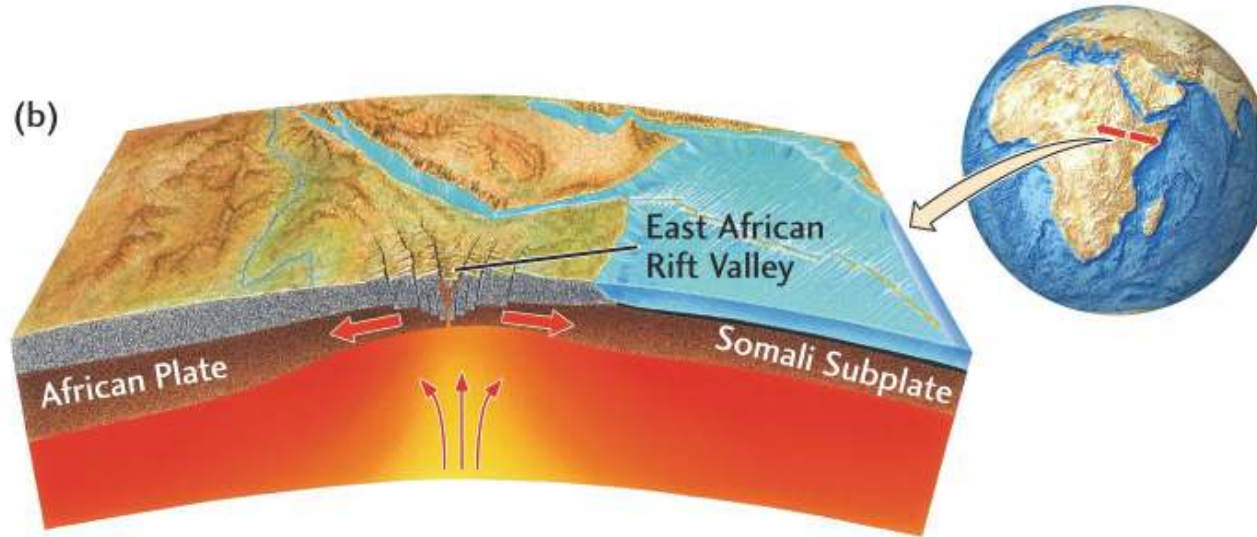


$$I_{\text{HFU}} = I_{\mu\text{cal/cm}^2 \text{ s}^{-1}} = 40 \text{ mW/m}^2$$



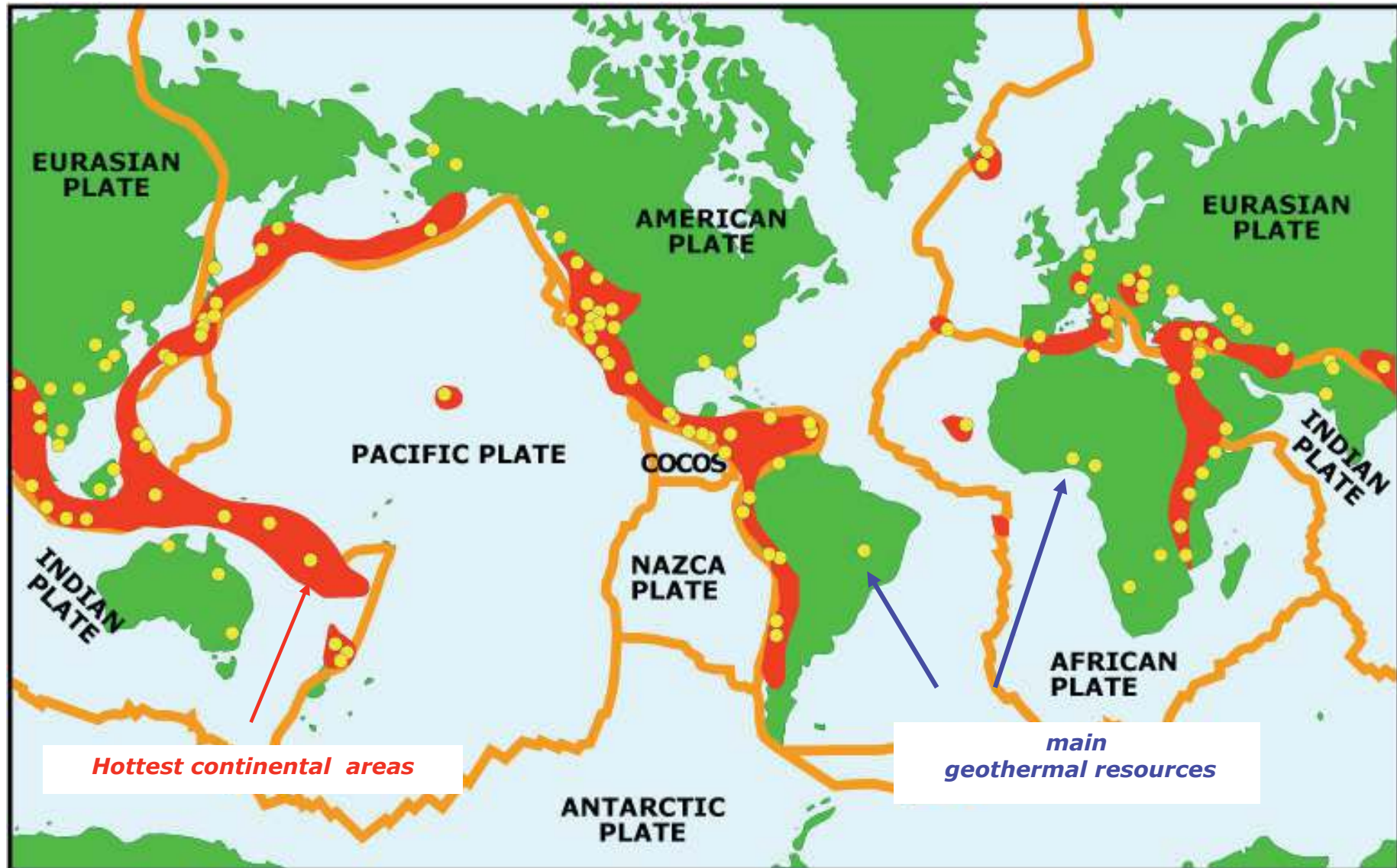
Heat Flow



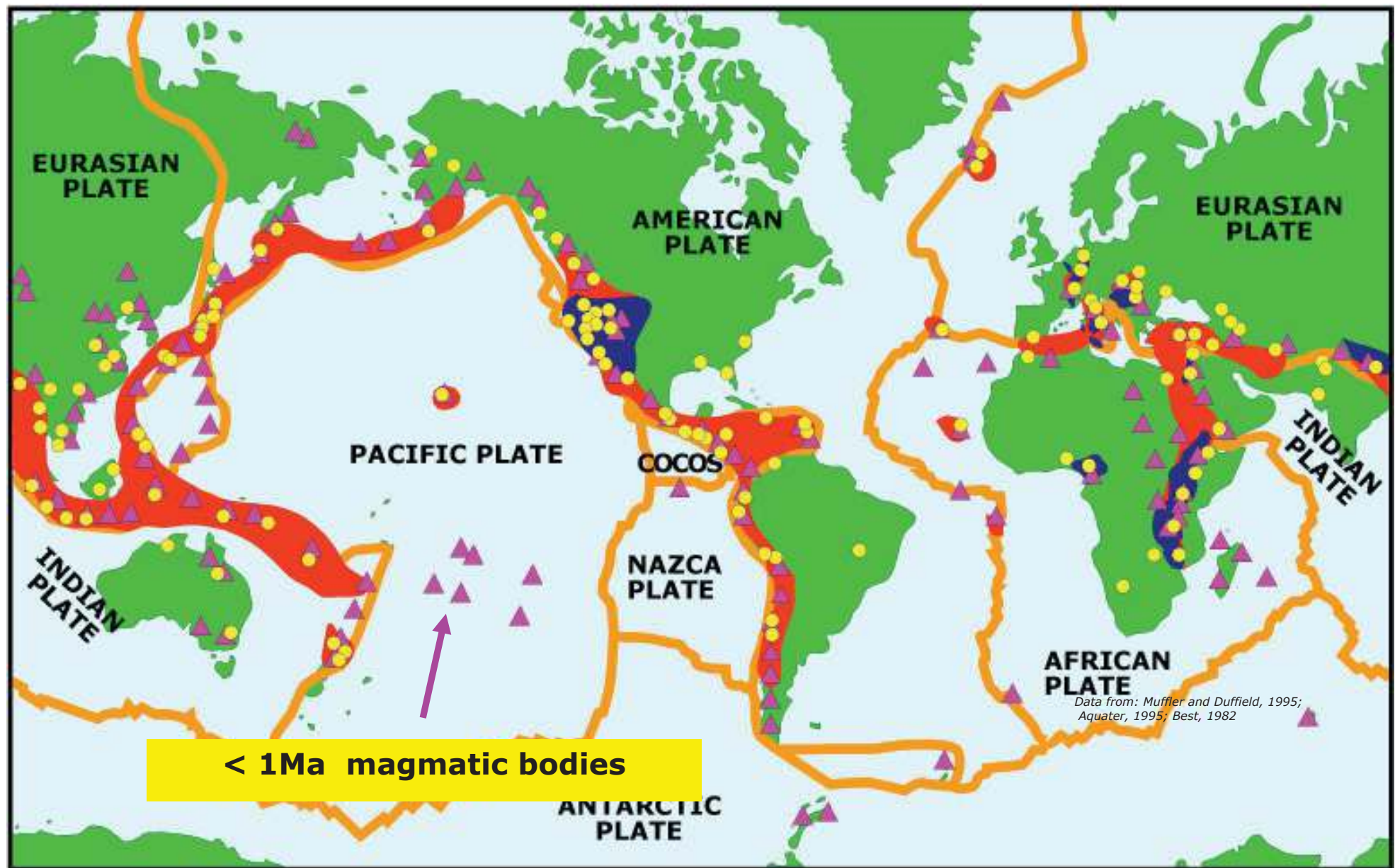


TETTONICA DISTENSIVA E CALORE TERRESTRE

A geothermal area needs heat flow $> \approx 70 \text{ mW/m}^2$



TETTONICA DISTENSIVA E CALORE TERRESTRE

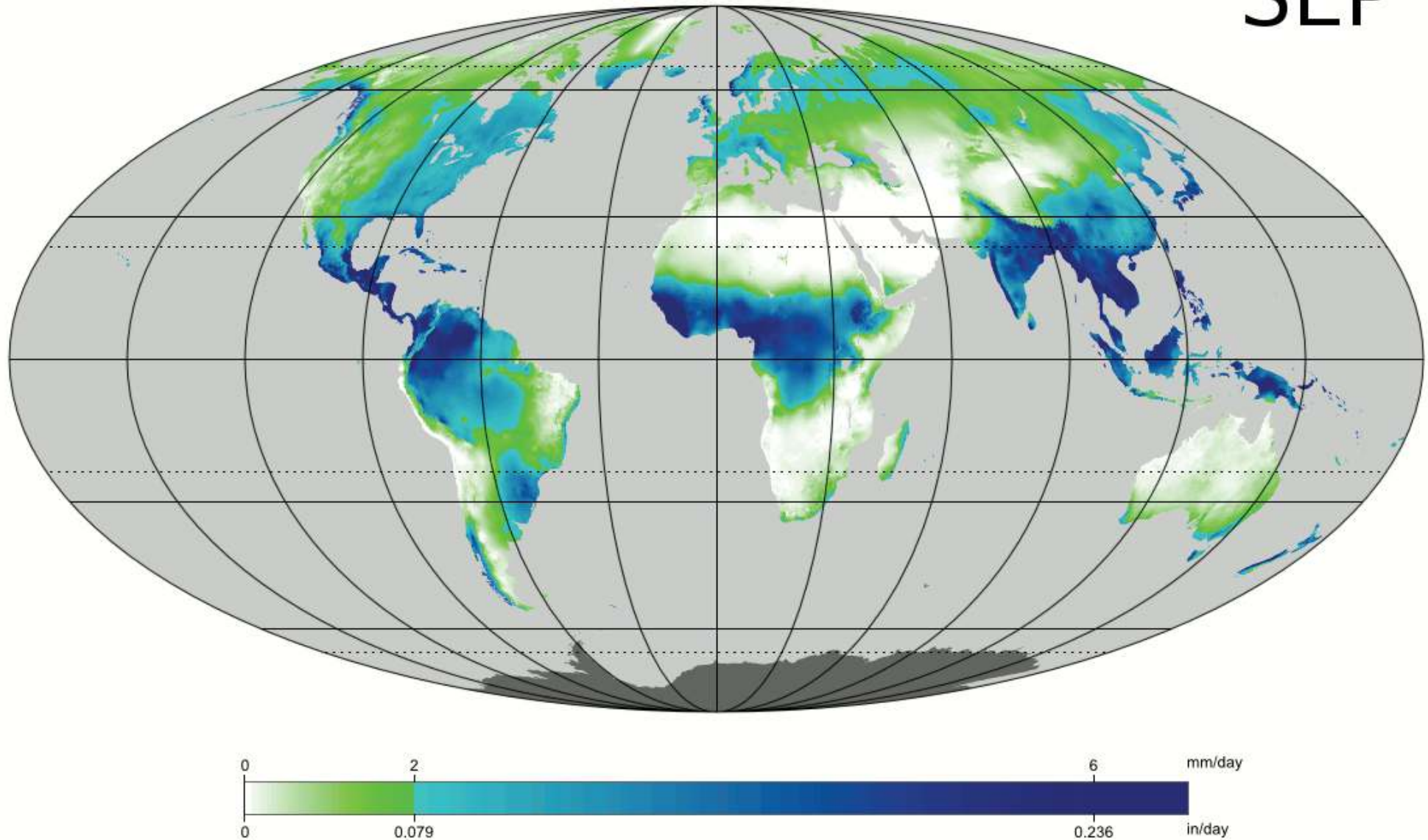


*tettonica distensiva, flusso di calore elevato, velocità
di deformazione e..... pioggia!*

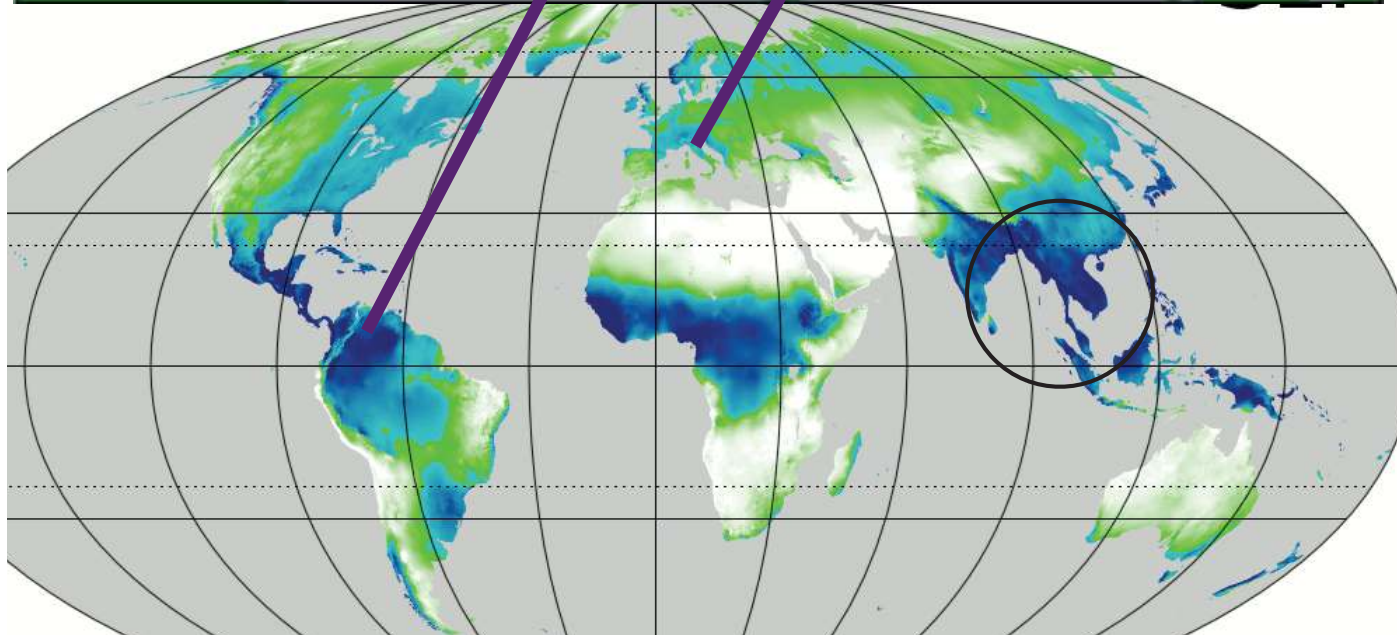
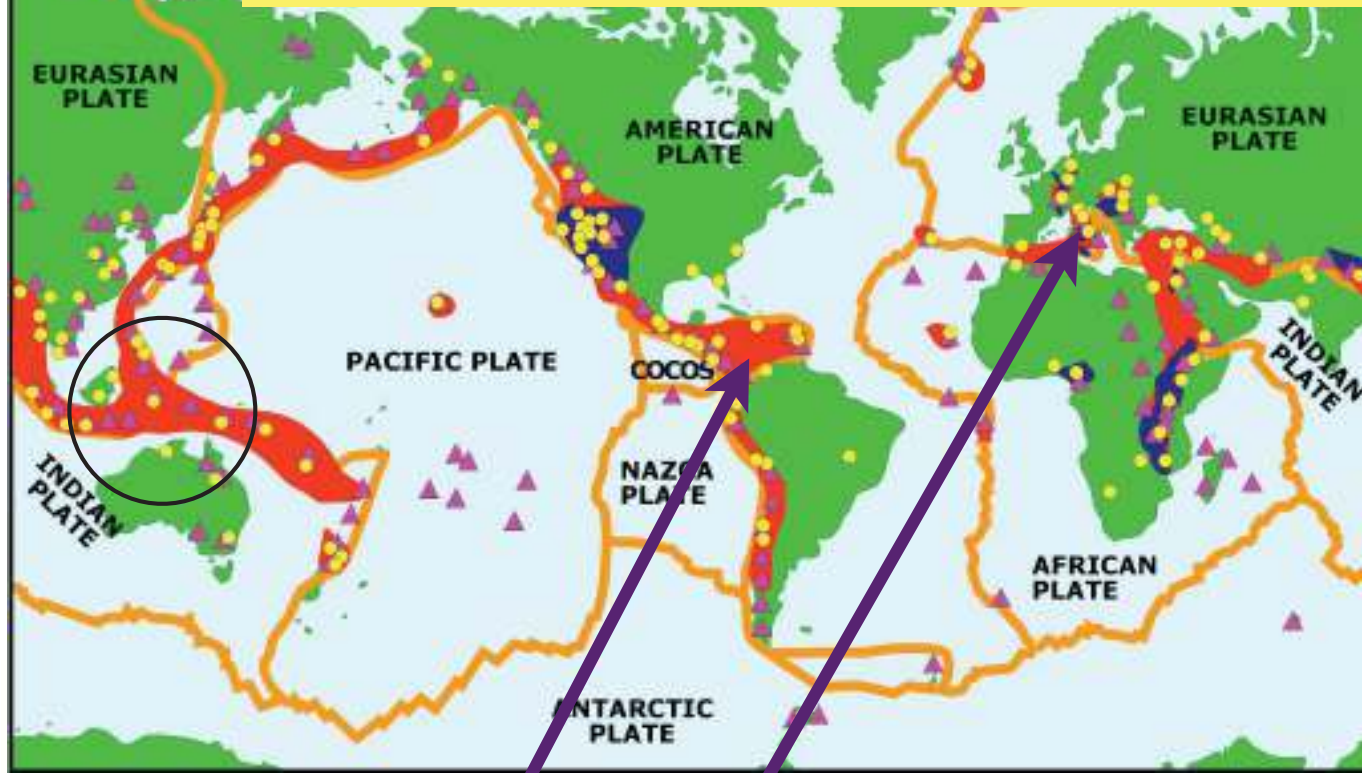
PIOVOSITA'

ANNUAL RAINFALL

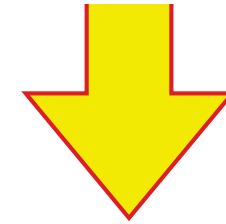
SEP



TETTONICA DISTENSIVA, CALORE TERRESTRE E PIOVOSITA'



condizioni necessarie
(non sufficienti) per



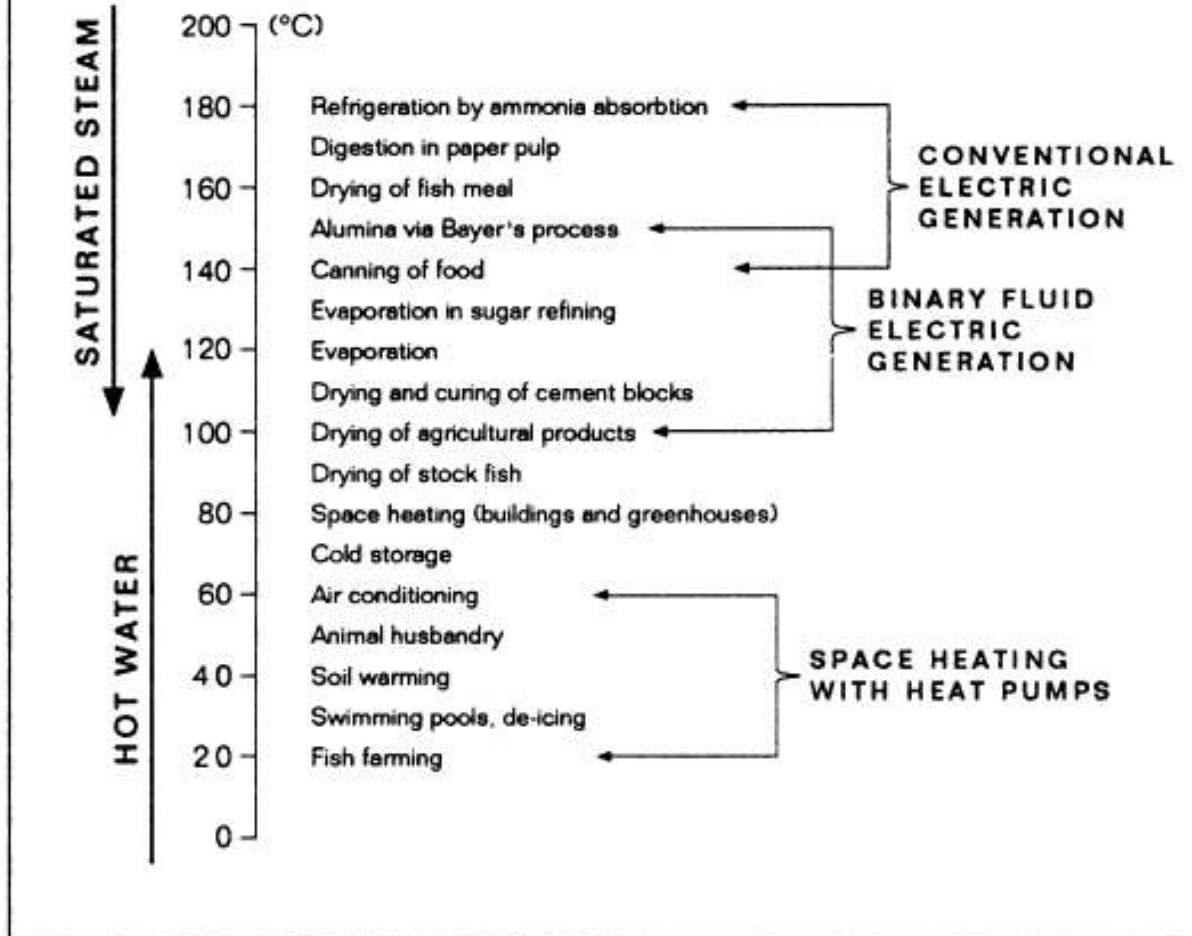
RISORSA GEOTERMICA

...energia **termica** che può
essere ragionevolmente
estratta a costi
competitivi con altre forme
di produzione di energia...
(Muffler e Cataldi, 1978)

...termica.....estratta...

E. Barbier / Renewable and Sustainable Energy Reviews 6 (2002) 3–65

The Lindal Diagram
(Modified)



vapore dominante

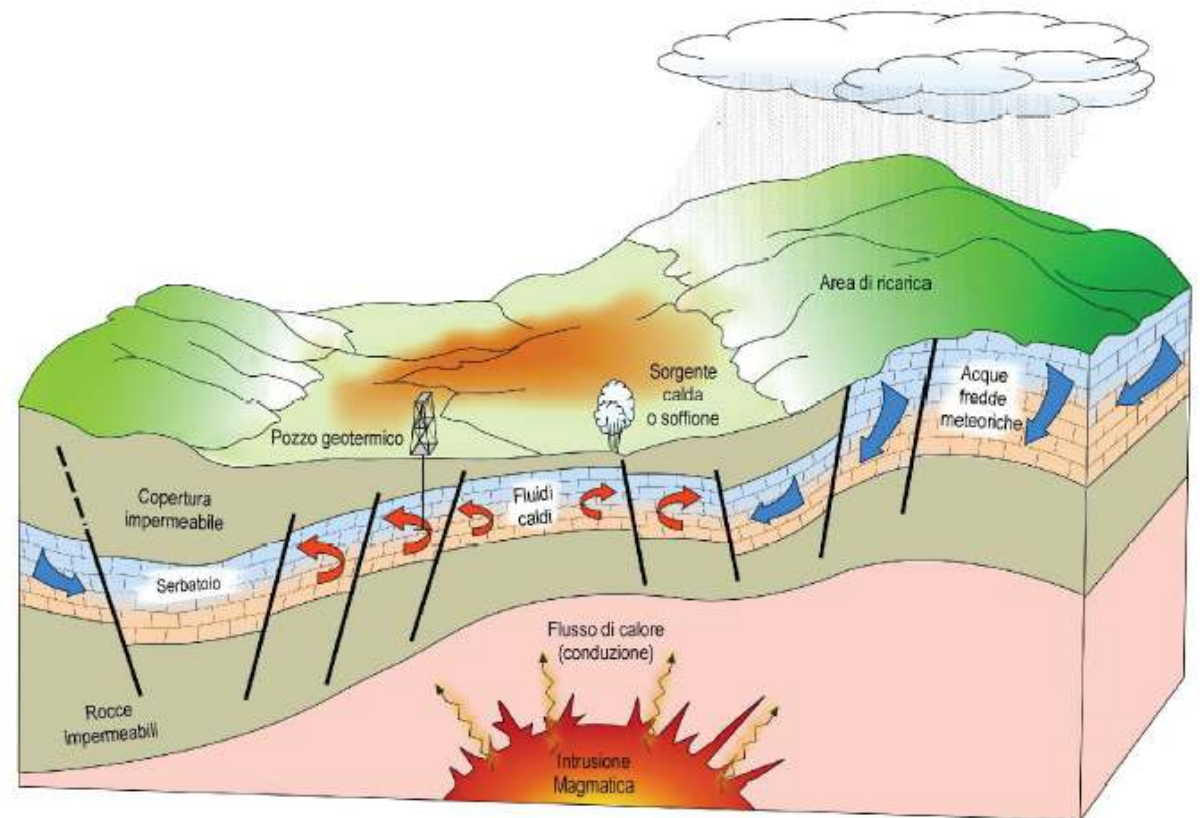
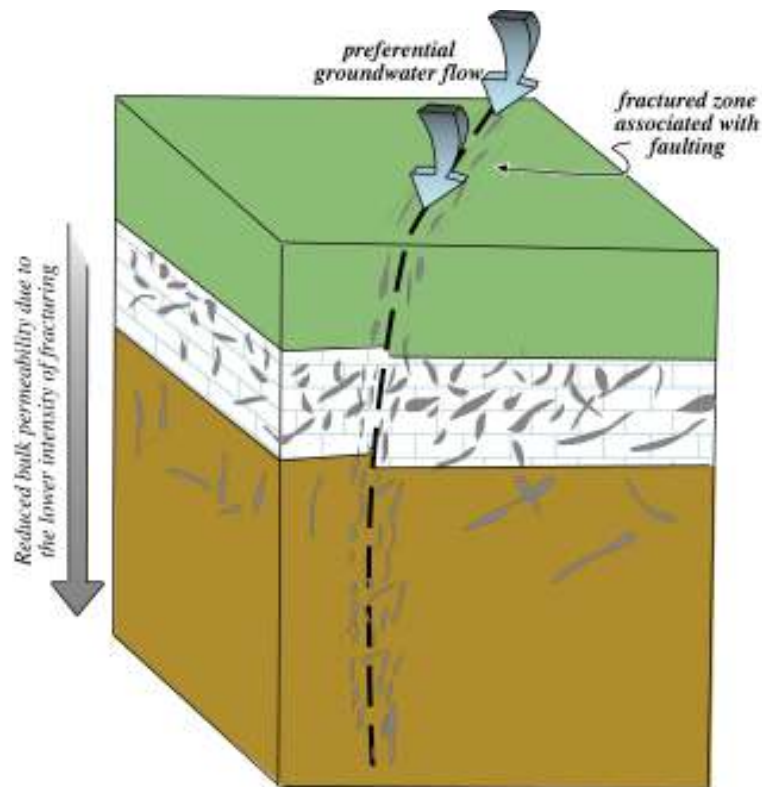


acqua dominante



valori di P - T presenti nel serbatoio geotermico e caratteristiche di permeabilità

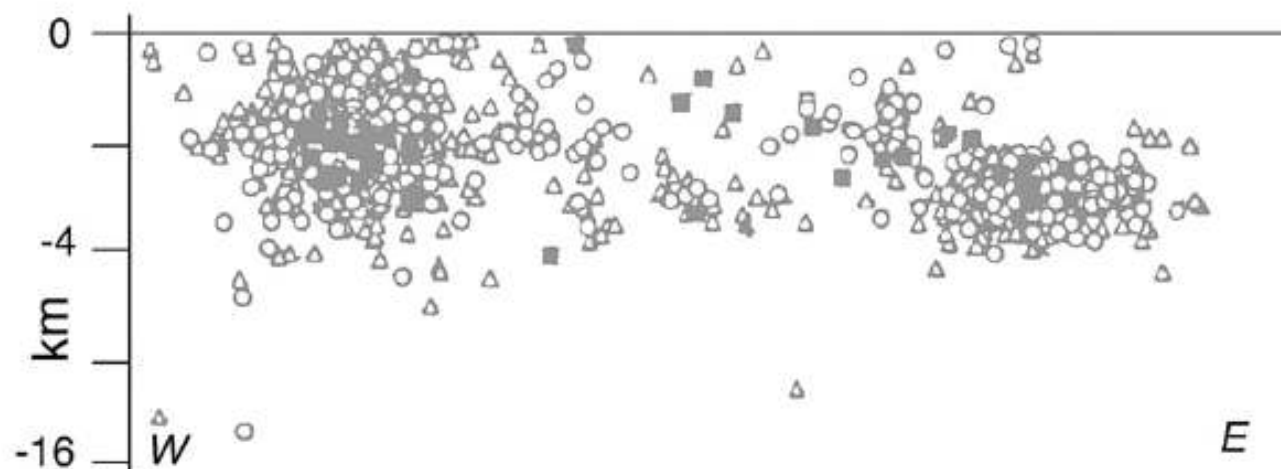
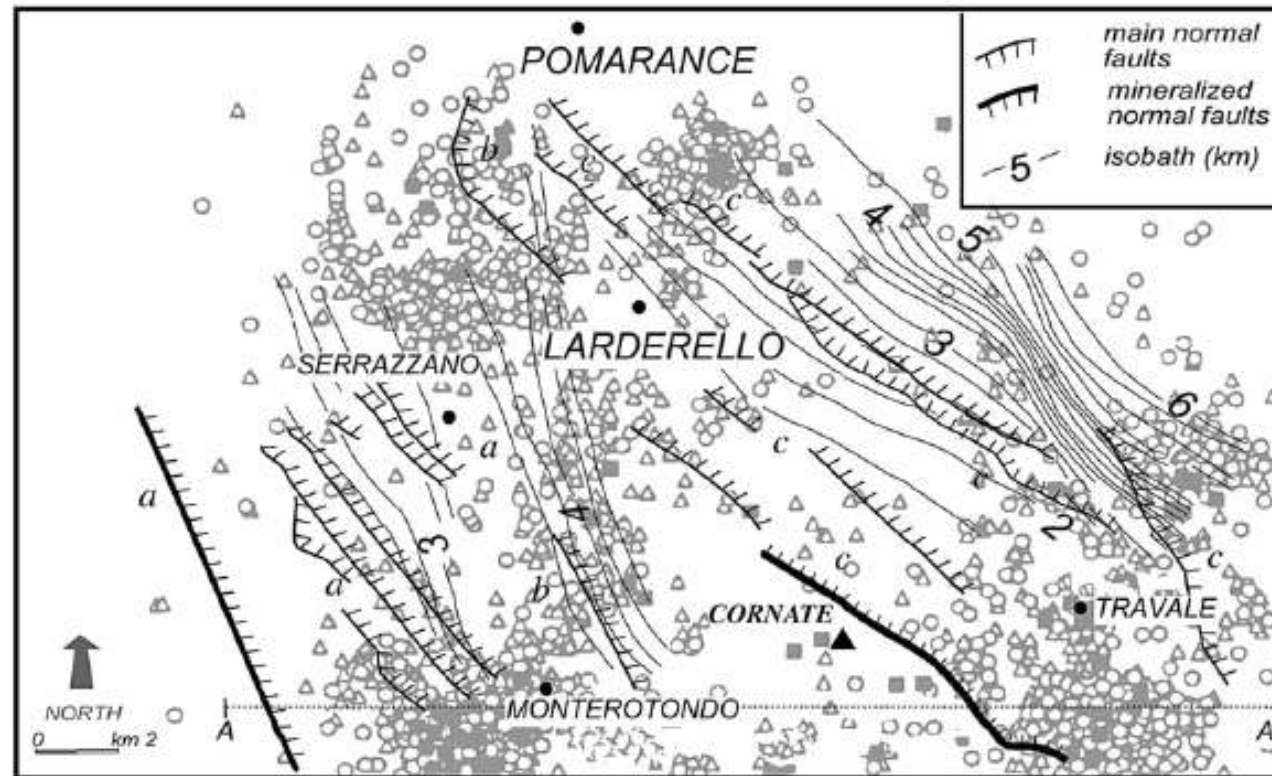
luoghi e strutture geologiche dove si possano realizzare le condizioni affinché il fluido si infiltri in profondità, si scaldi e nel risalire si immagazzini in rocce "serbatoio" (trappole strutturali)



..... e che abbiano sismicità naturale...



..... e che abbiano sismicità naturale...





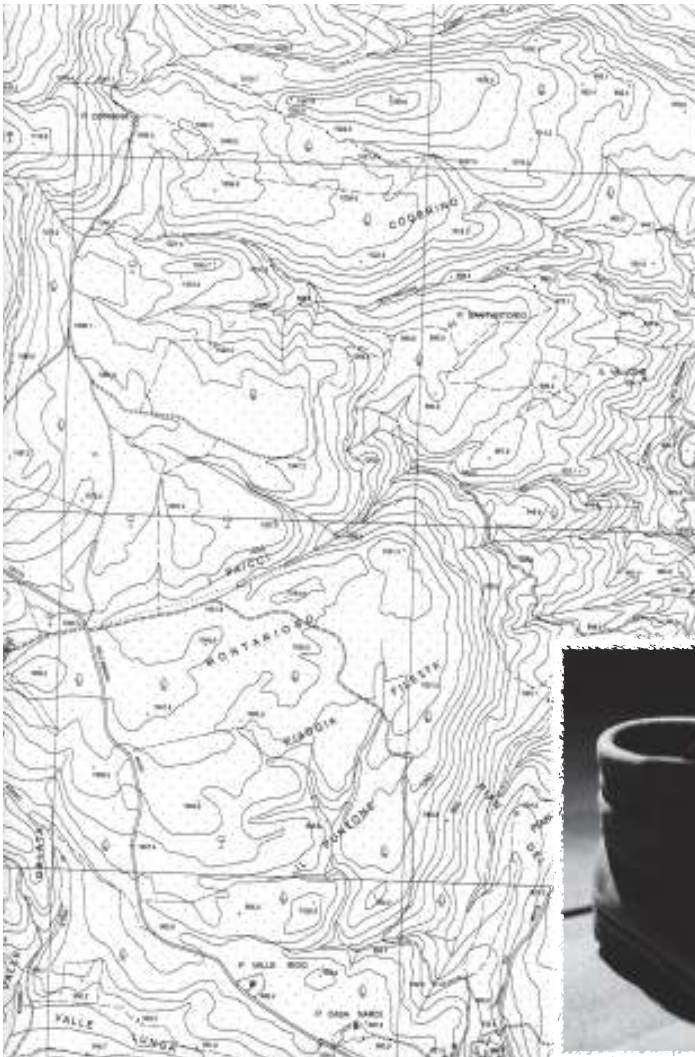
COSA FA IL GEOLOGO

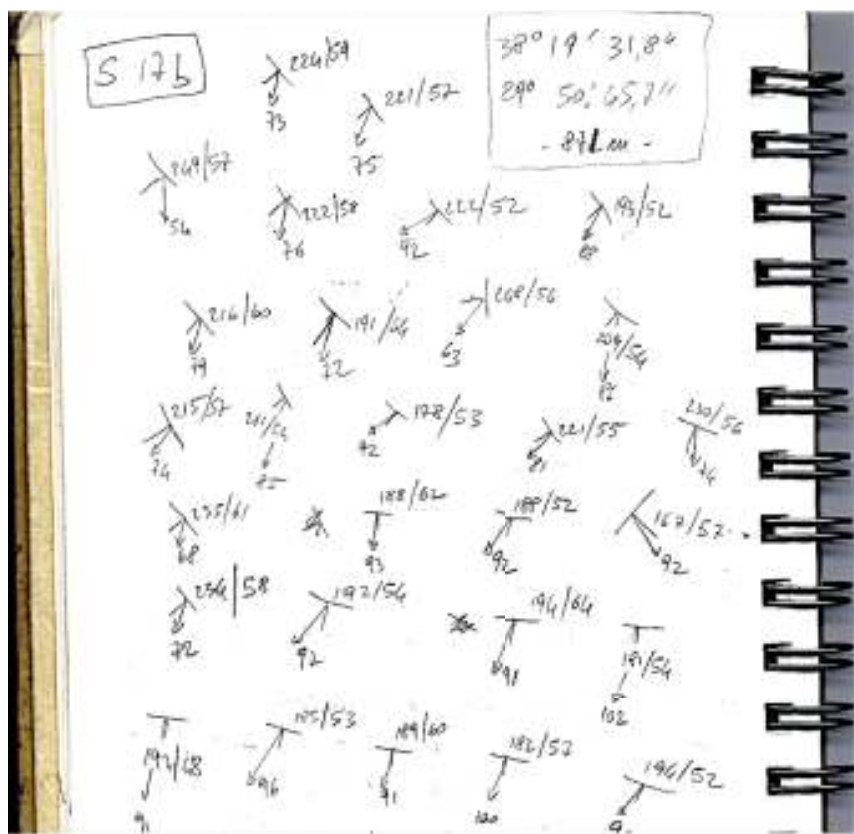
METODI DIRETTI:

esplorazione dalla superficie

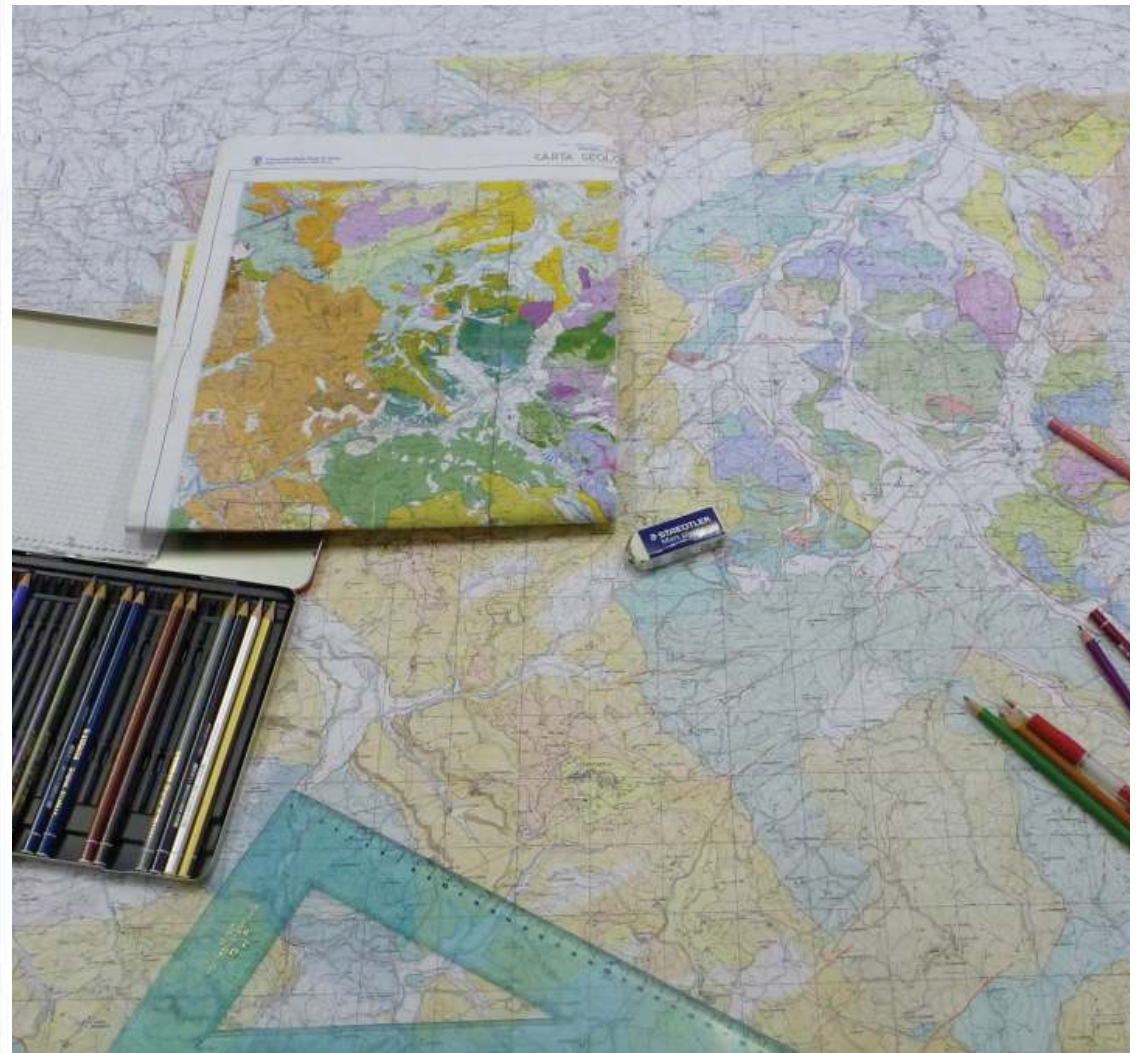
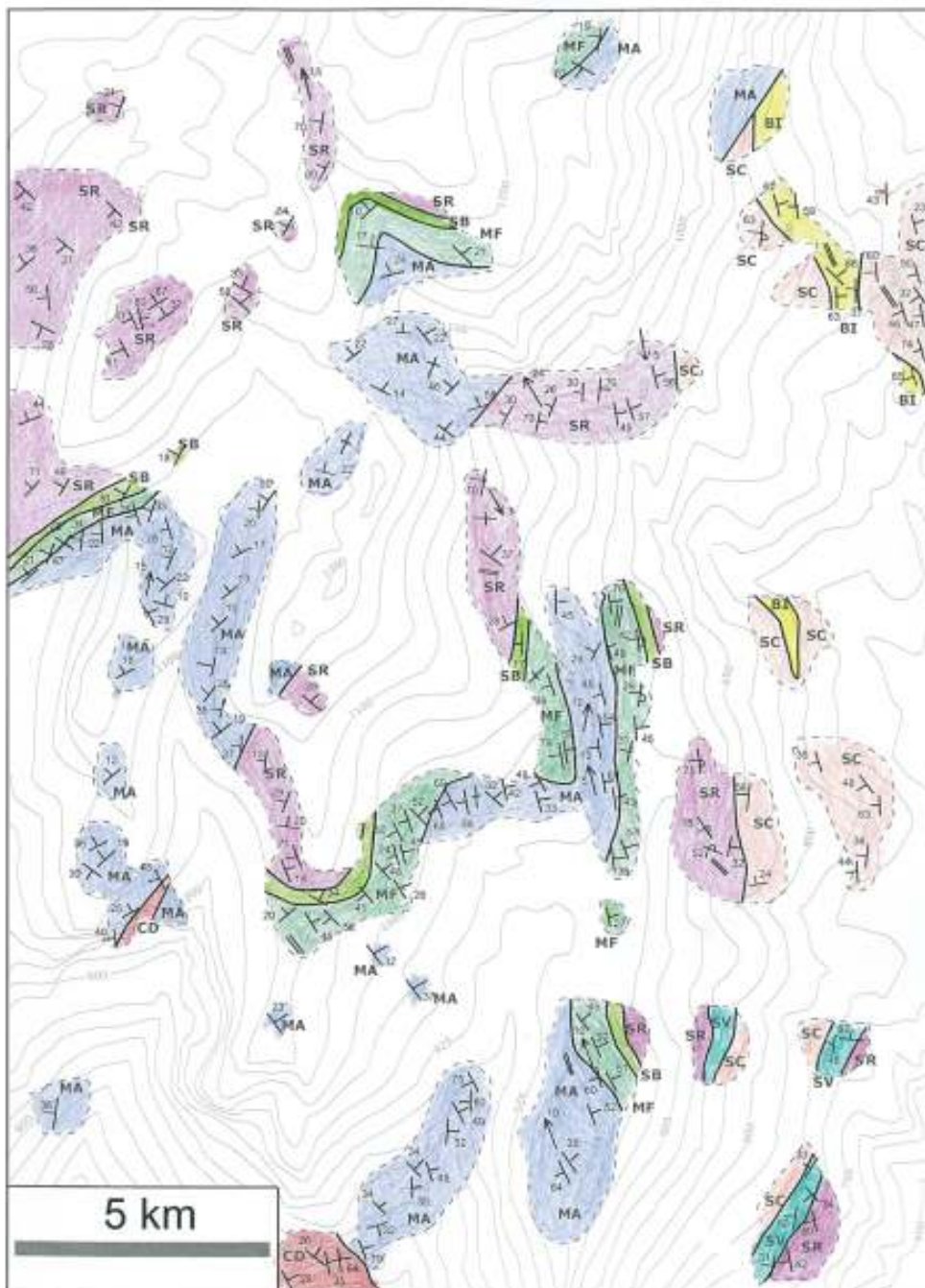
1) rilevamento geologico ed analisi strutturale

ricostruire la geometria dei corpi rocciosi e stato di fratturazione

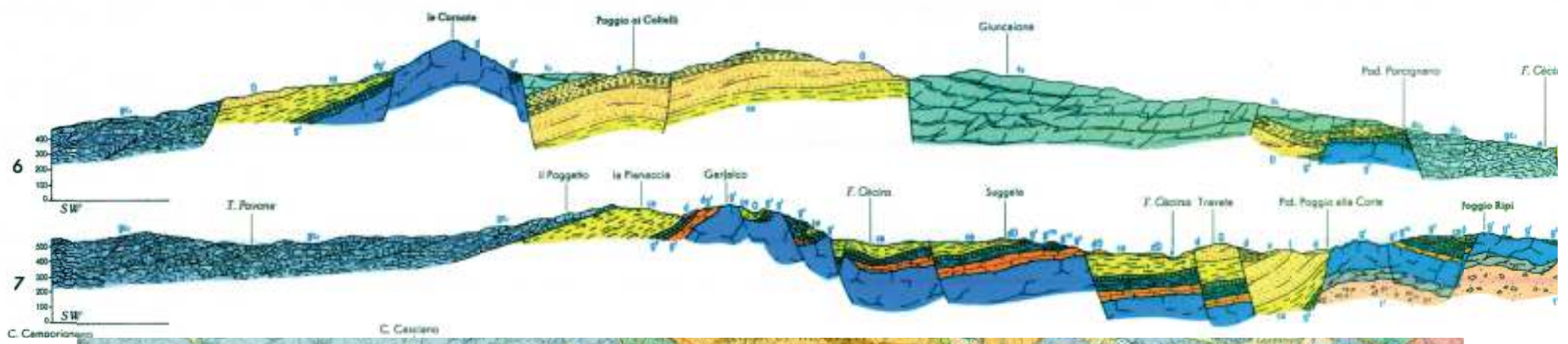
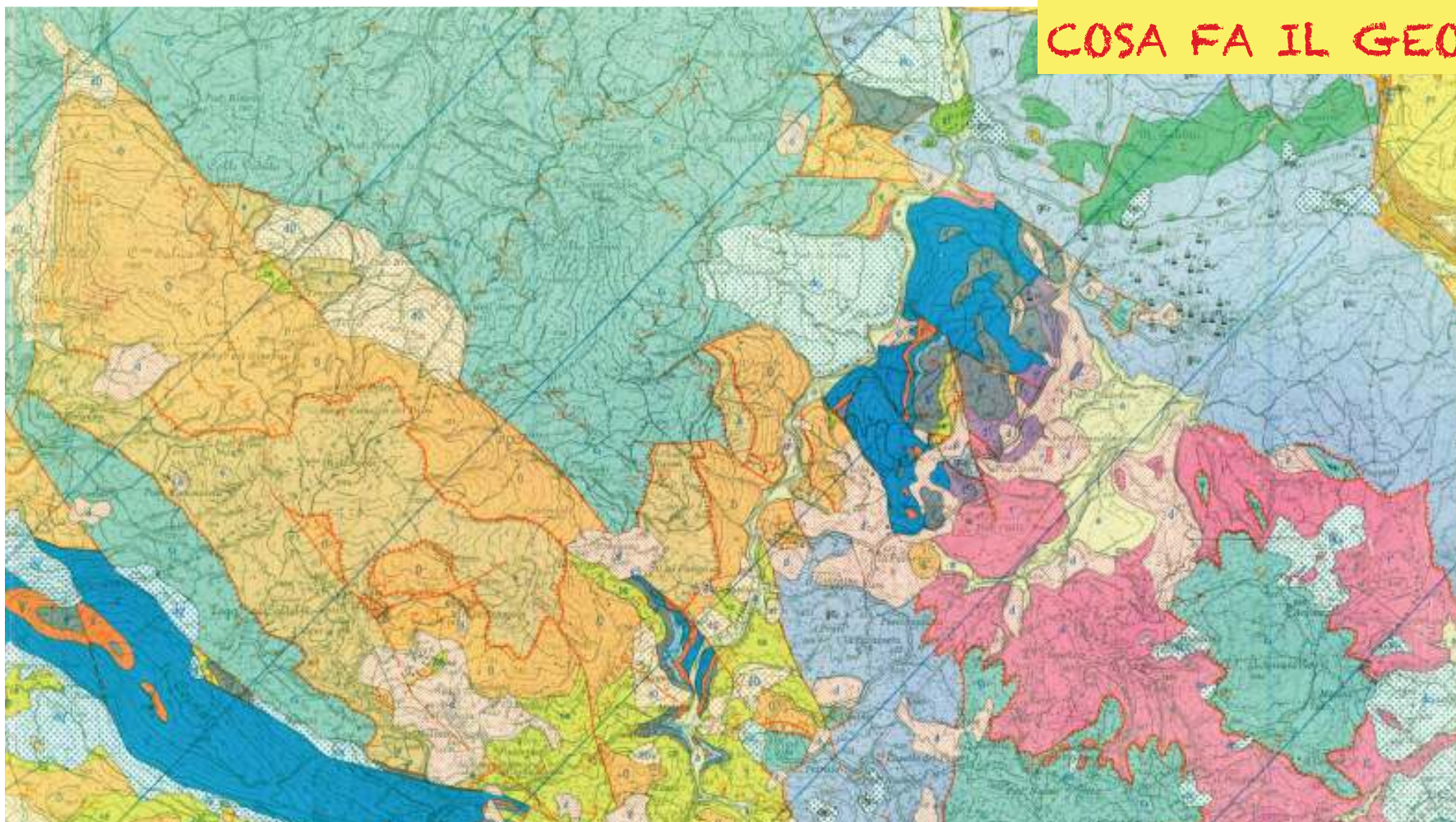




COSA FA IL GEOLOGO



COSA FA IL GEOLOGO





METODI DIRETTI: indagine geochemica

COSA FA IL GEOLOGO



A. Minissale / Earth-Science

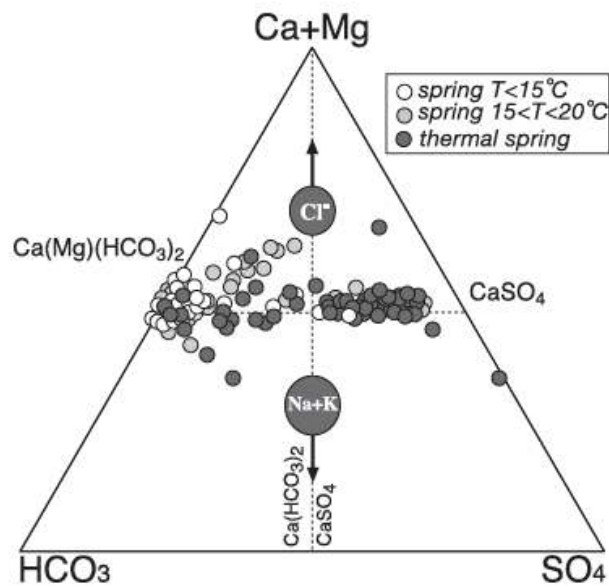


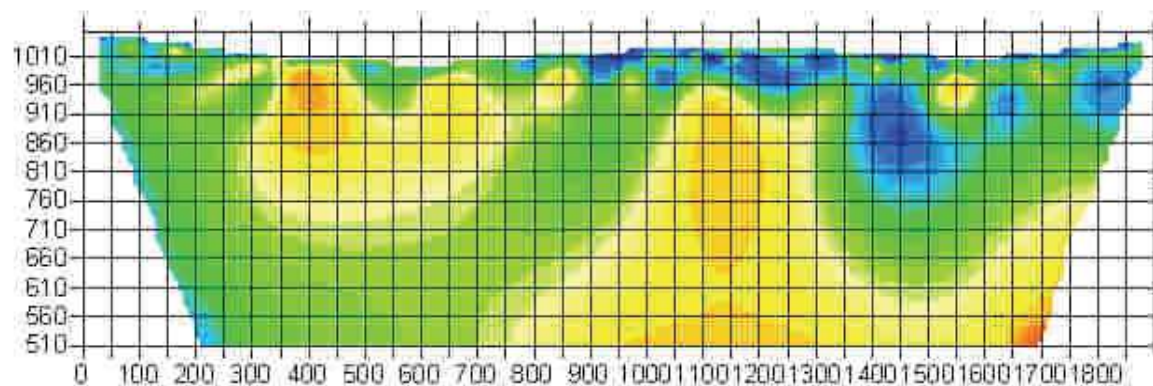
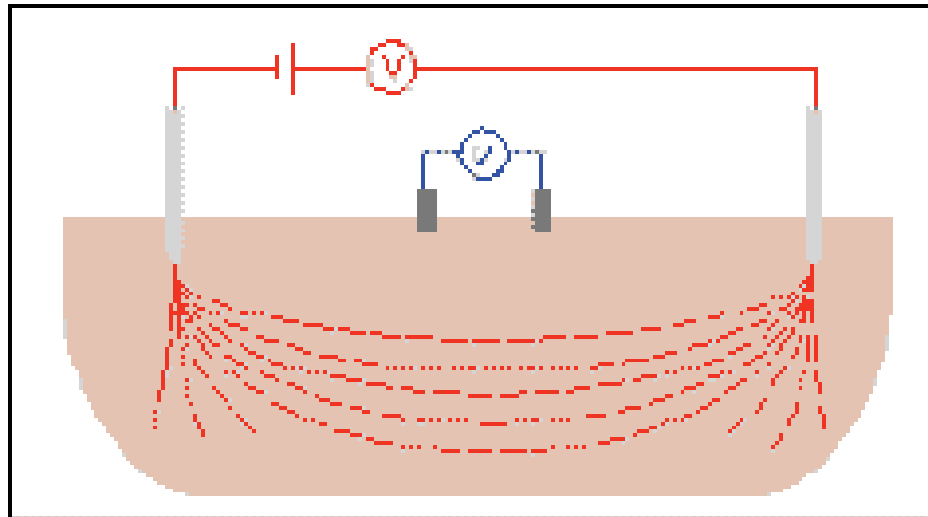
Fig. 6. Ca-SO₄-HCO₃ diagram for water springs of central-



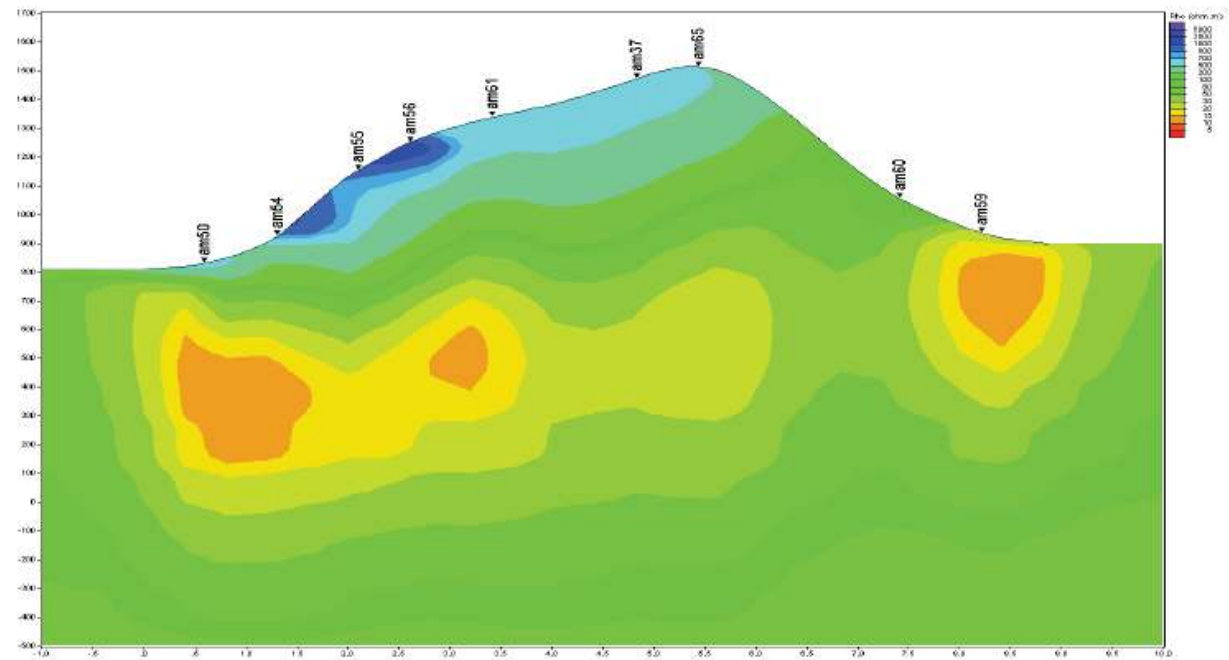
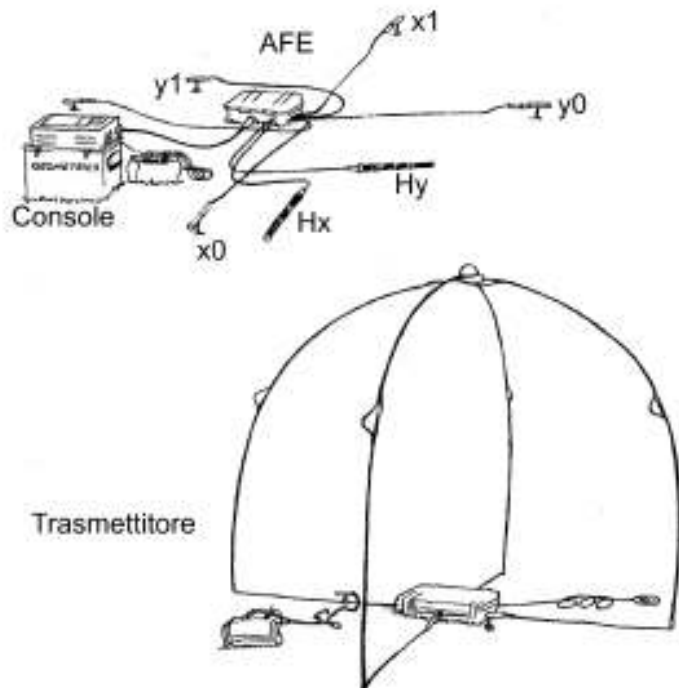
METODI INDIRETTI: geofisica

COSA FA IL GEOLOGO

geoelettrica

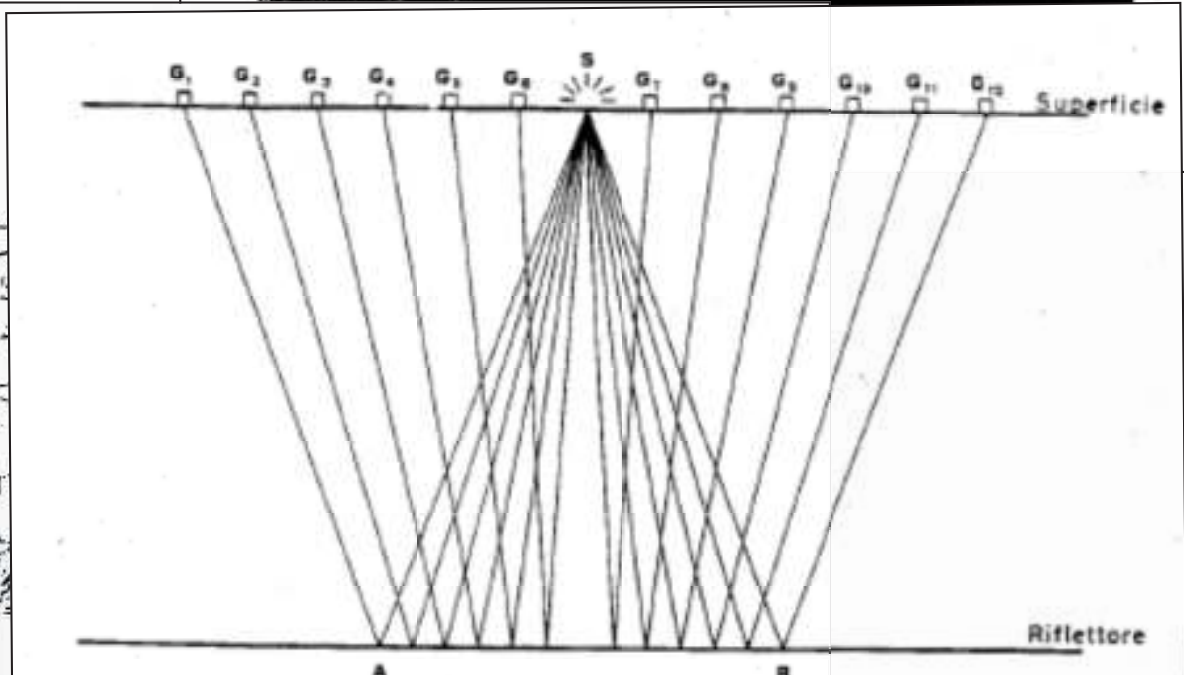
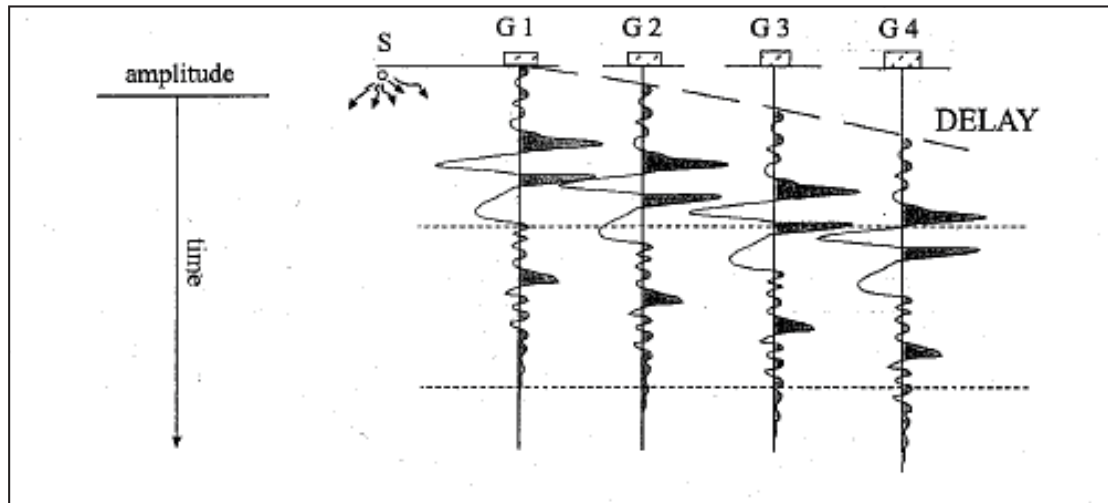


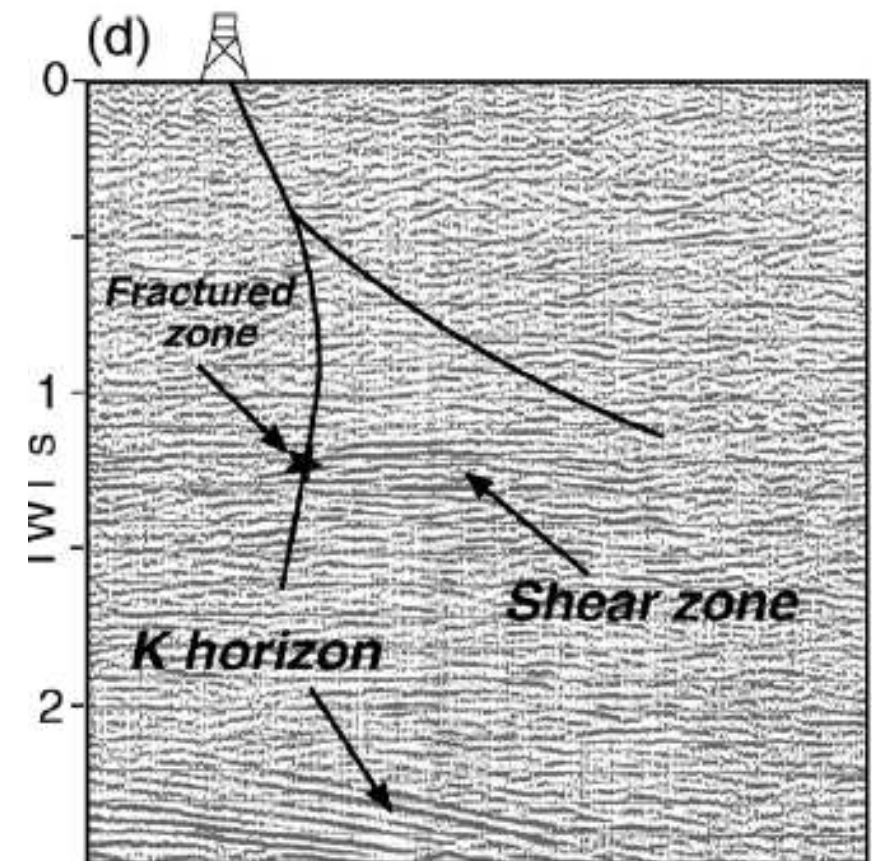
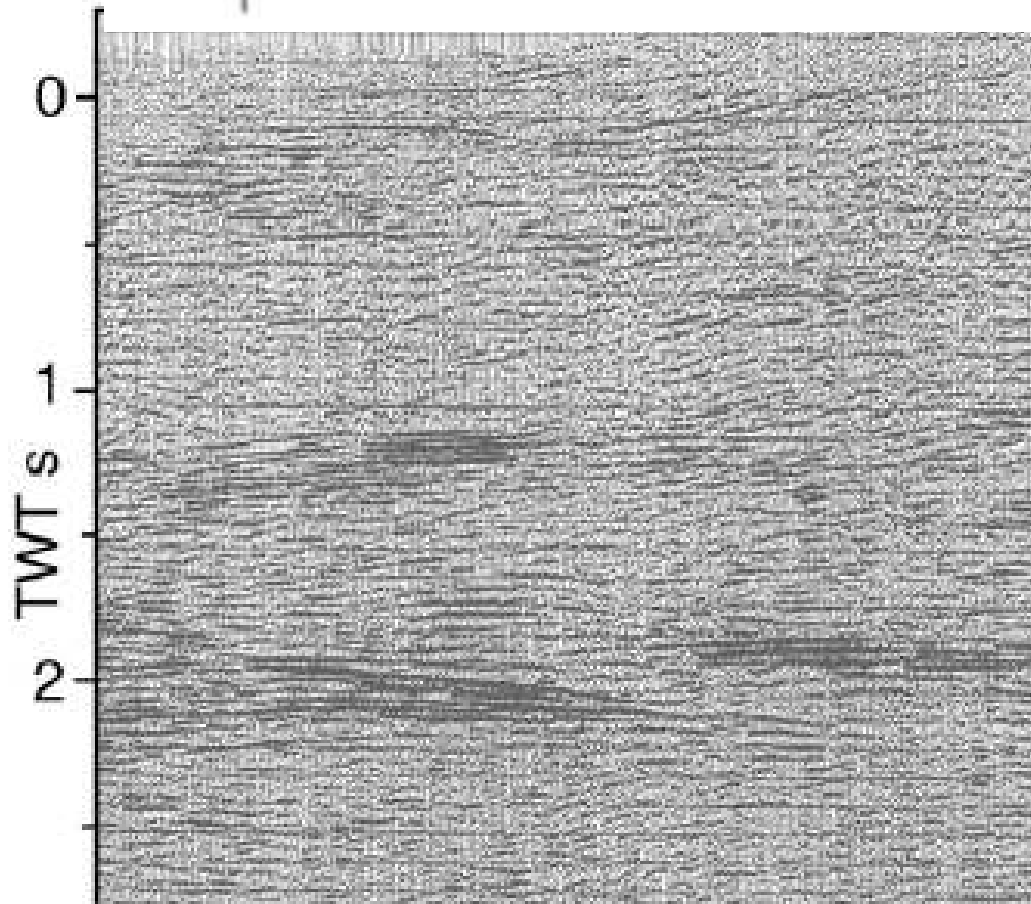
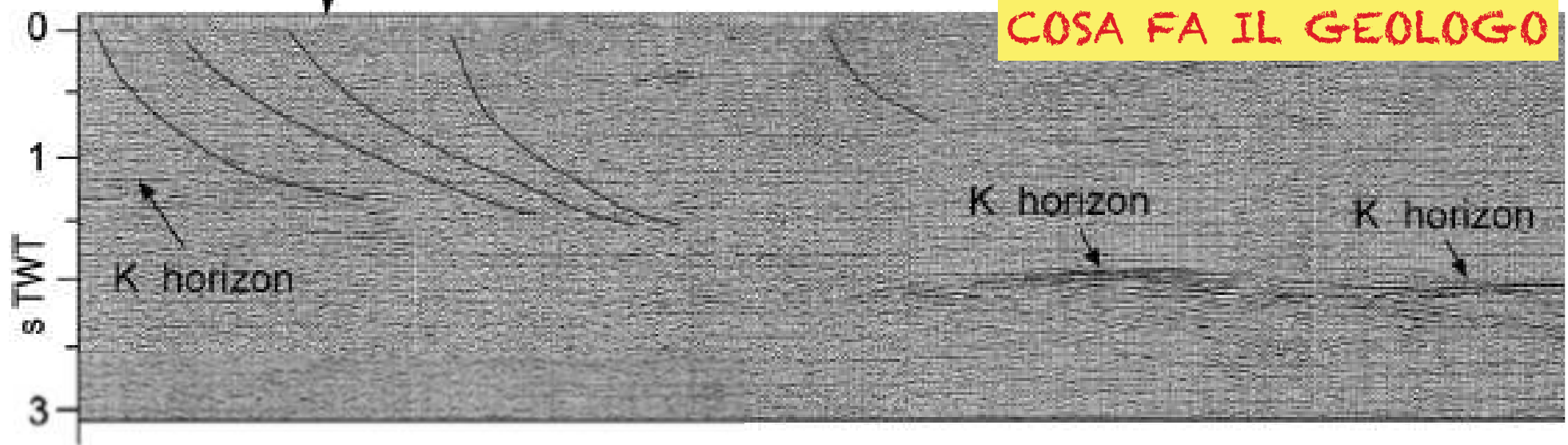
MagnetoTellurica



METODI INDIRECTI: geofisica sismica a riflessione

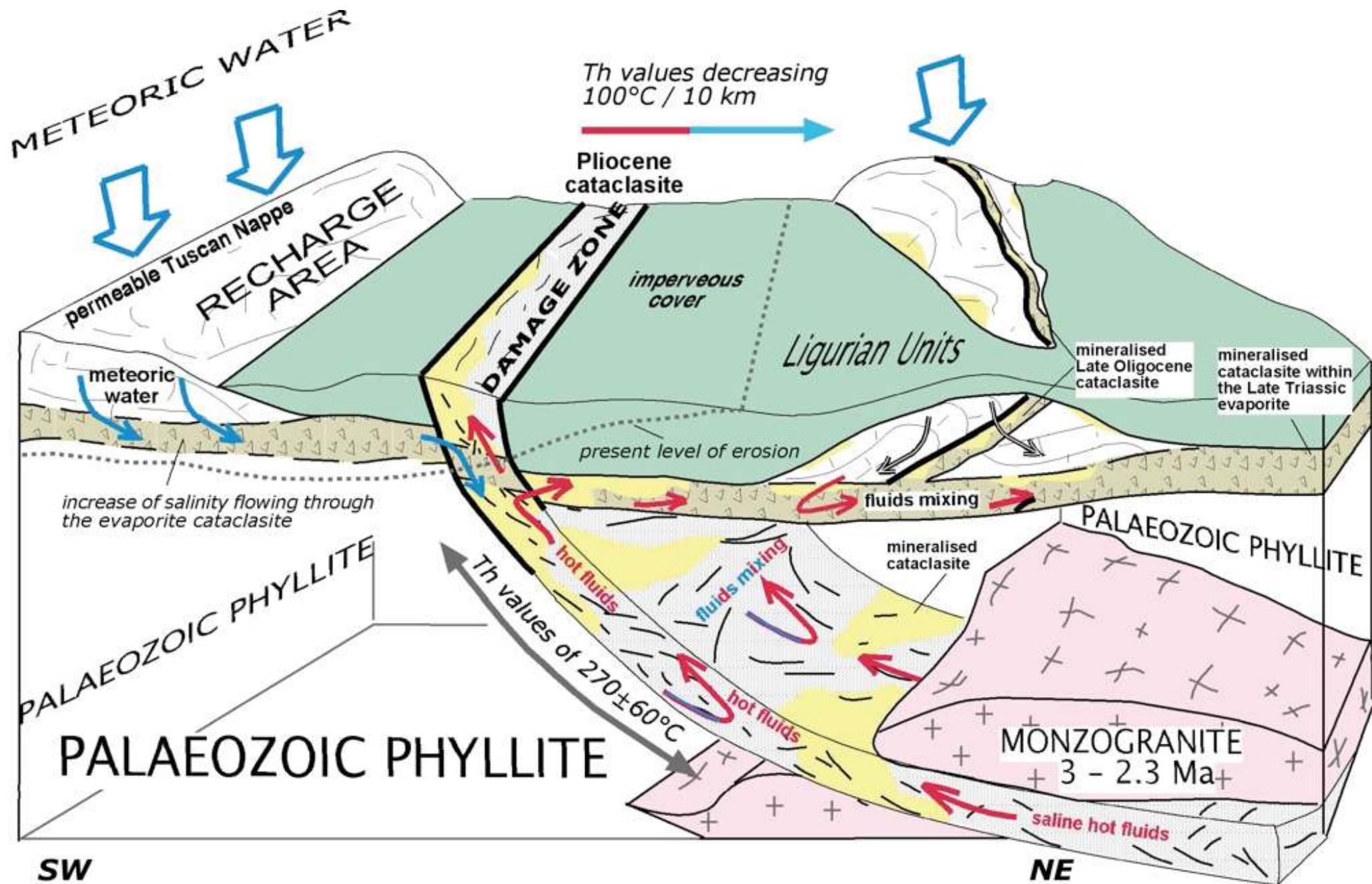
COSA FA IL GEOLOGO





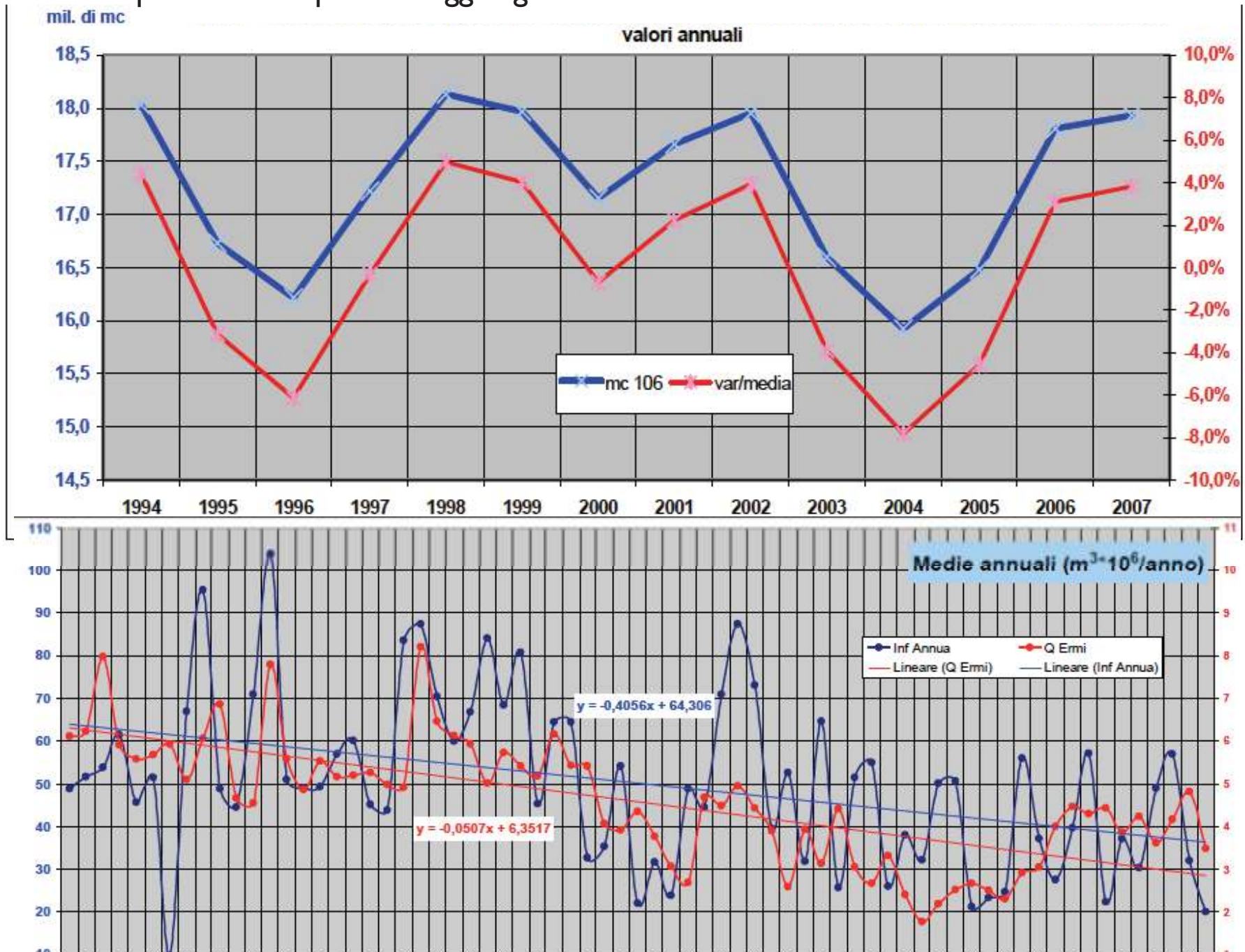
Modello concettuale

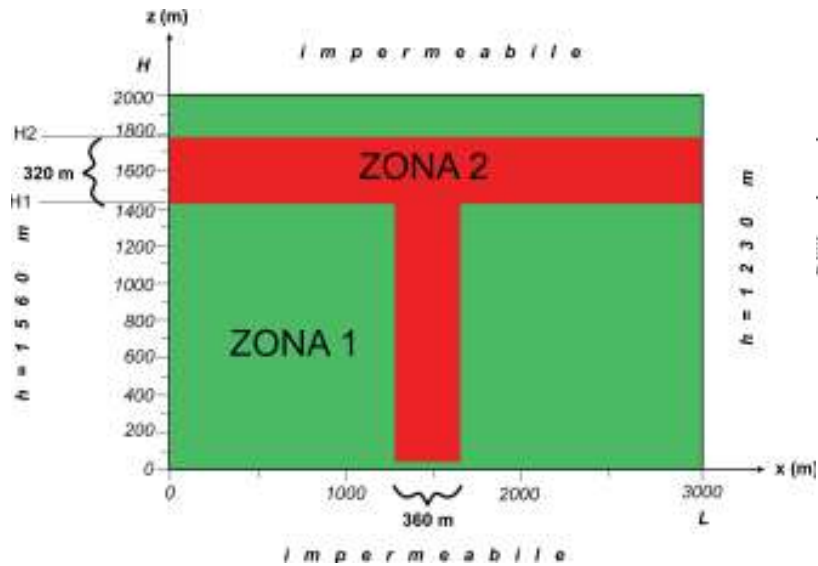
COSA FA IL GEOLOGO



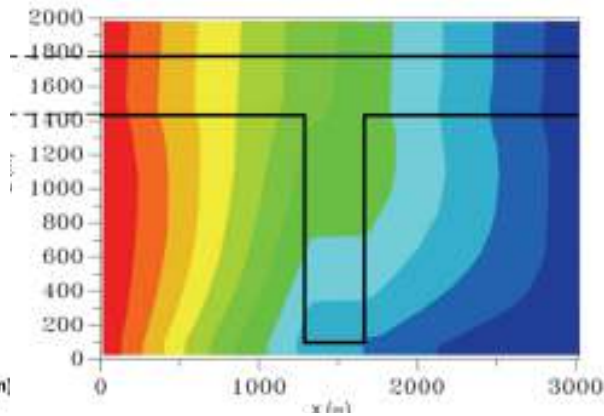
studio delle sorgenti, piovosità, ecc...., per definire la
quantità di acqua che raggiunge il sottosuolo

COSA FA IL GEOLOGO

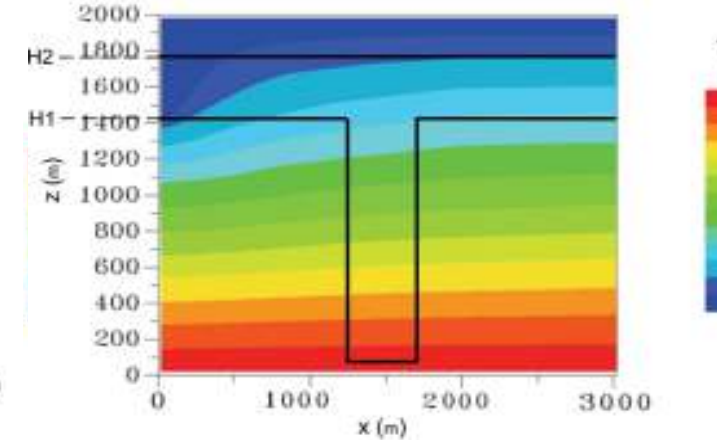




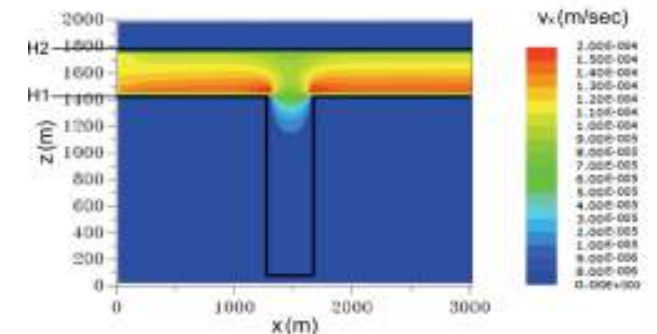
carico idraulico



temperatura



Velocità di Darcy orizzontale



Velocità di Darcy verticale

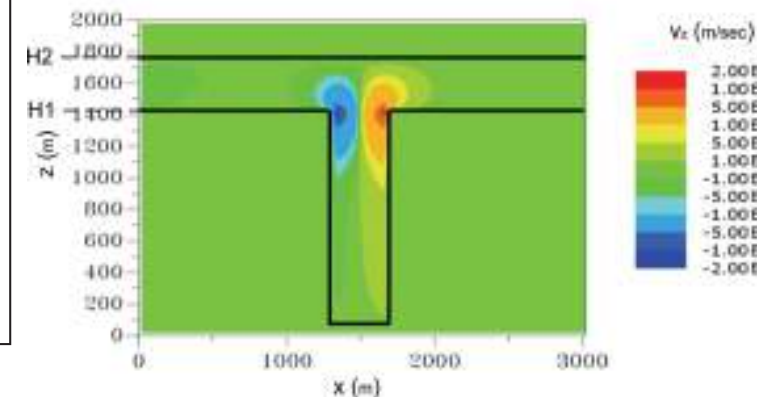


Fig. 6.7.18. Shrinking of the hottest zone during exploitation: 45 °C isotherms for the natural state (black line), the situation in 1980 (red line) and the situation predicted for 2018 (blue line)

COSA FA IL GEOLOGO



stima della risorsa sfruttabile; tipologia del serbatoio, del fluido e modalità di sfruttamento; investimento economico; produzione di energia elettrica; guadagno atteso ...

SCELTE INDUSTRIALI

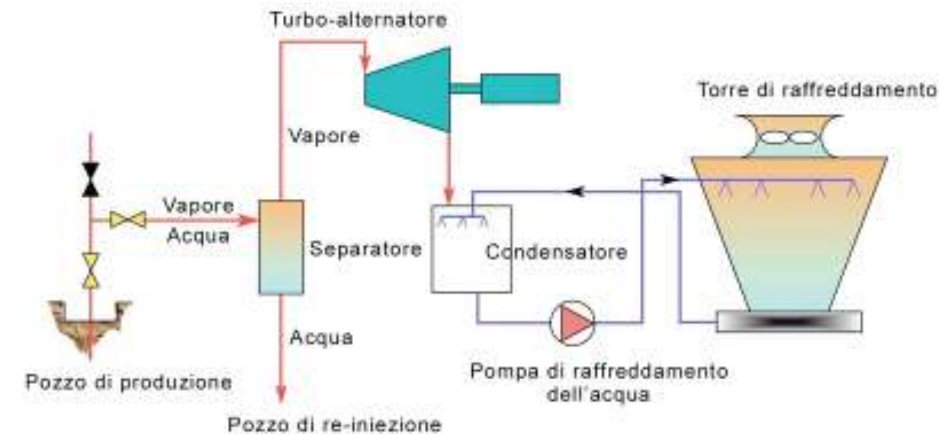
Serbatoio geotermico 180°C - fase vapore dominante

impianti fino a 5 MWe

facili da installare, scarsa

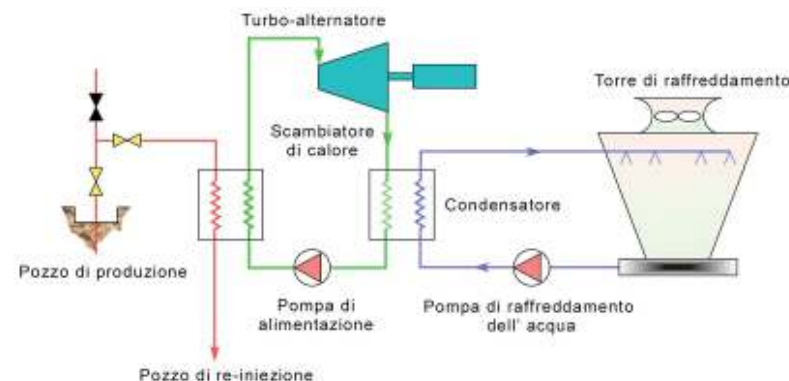
ed utilizzo industriale

sistema a condensazione: si sfrutta la forza del vapore, la caduta di pressione nel condensatore e l'espansione del vapore/gas in turbina; necessita' di raffreddare il fluido del condensatore: 55-60 MWe



Serbatoio geotermico con $90 < T^{\circ}\text{C} < 180$ - fase acquosa dominante

sistema binario: si sfrutta la vaporizzazione di fluidi basso-bollenti; unità fino a circa 10 MWe in serie



- Anions (negative electrically-charged ions) Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , F^- , Br^- , I^-
- Cations (positive ions) Na^+ , K^+ , Li^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Rb^+ , Cs^+ , Mn^{2+} , Fe^{2+}
- Neutral: SiO_2 , NH_3 , As, B, noble gases.

Acqua dominante

Sulfate-chloride waters.

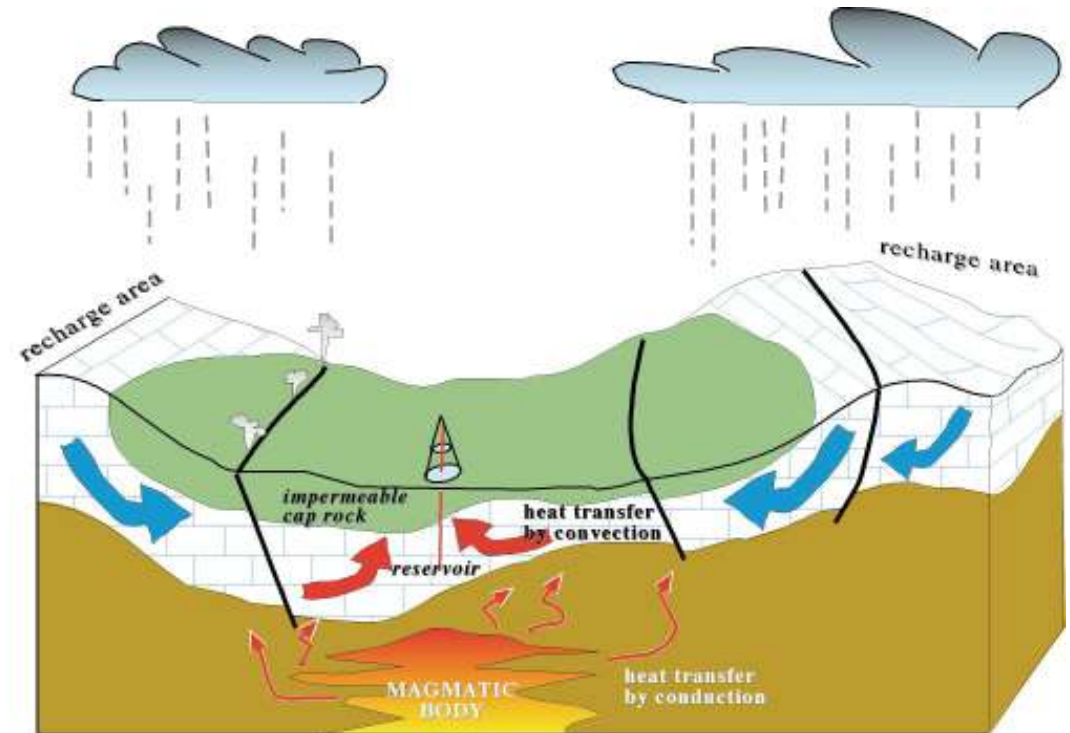
Bicarbonate waters.

Sulfate waters.

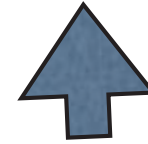
Chloride waters,

Vapore dominante

Idrogeno, Metano, Azoto, Elio, Ossigeno, Acido cloridrico e fluoridrico, Anidride carbonica, Acido solfidrico, Radon, Tritio....



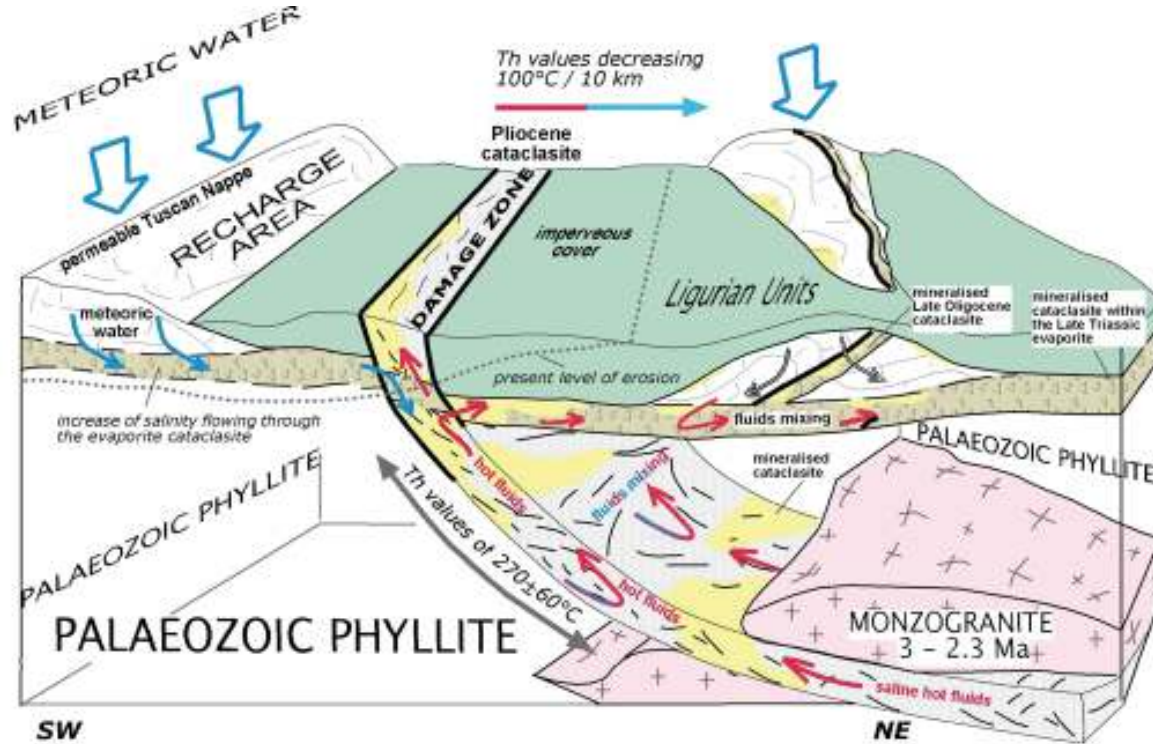
*cristallizzazione nelle
fratture (flashing)*



P-T, composizione rocce e fluido

“controllare la pressione”





GESTIONE DEL SERBATOIO

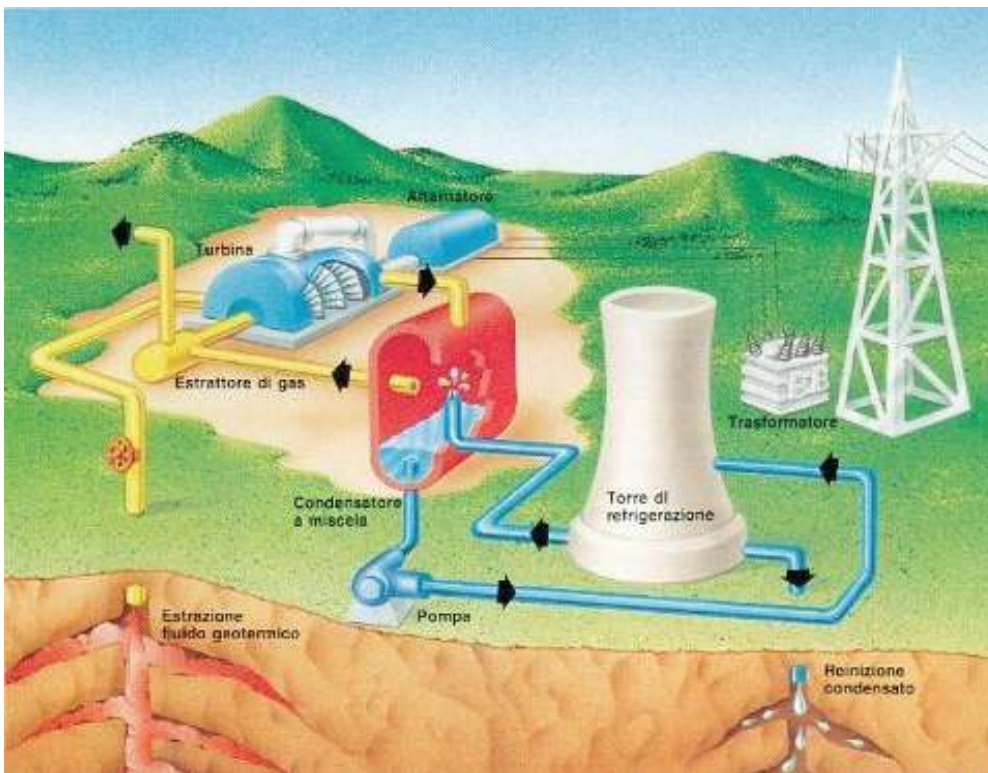
tempo di ricarica

permeabilità: nell'ordine di 10^{-14} m^2

METODO DI MISURA

tritio: fino a 40 - 60 anni

Carbonio 14: fino a 40 - 60000 anni



RE-INIEZIONE

Giampaolo Manfrida
tecnologie per
conversione ed utilizzo
sostenibile
dell'energia geotermica

“The Geysers”, circa 100 km² vapore dominante

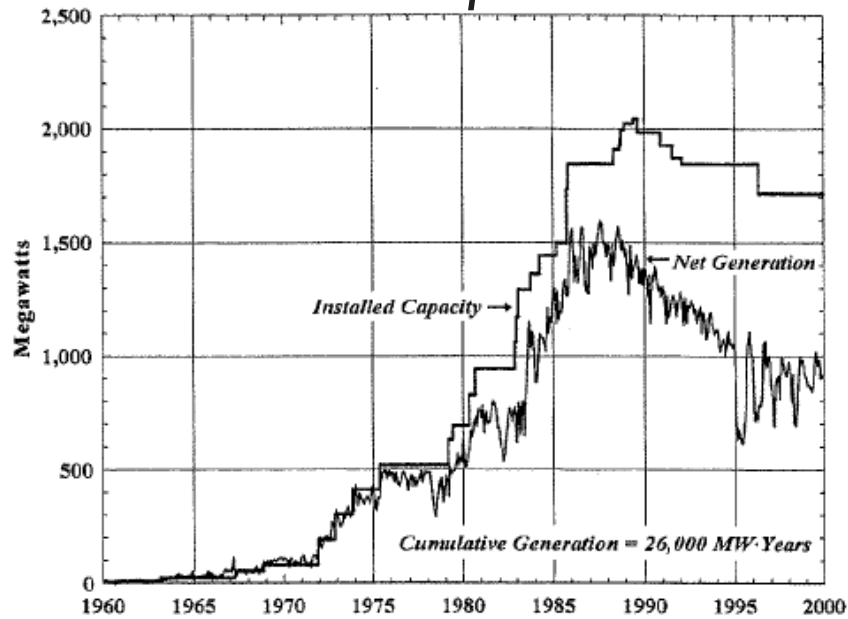
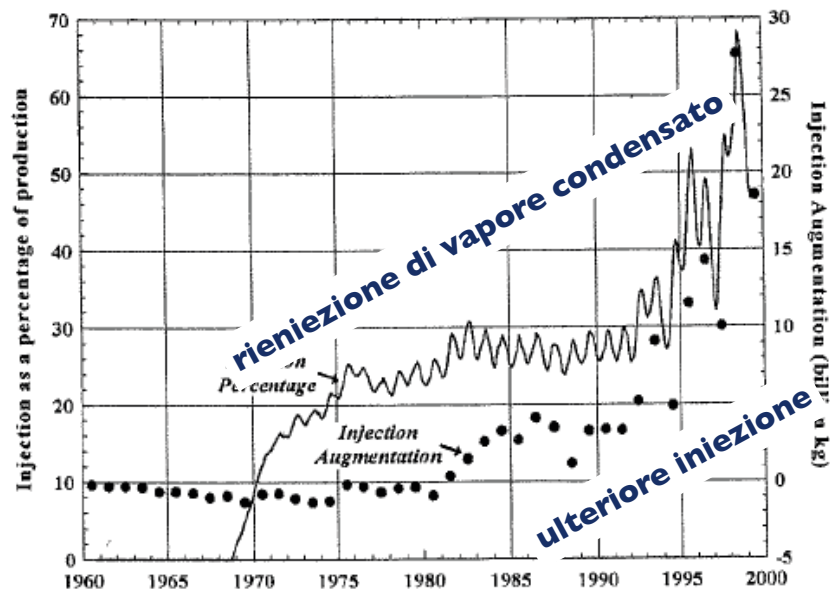


Figure 1. MW Capacity History at The Geysers.



GESTIONE DEL SERBATOIO

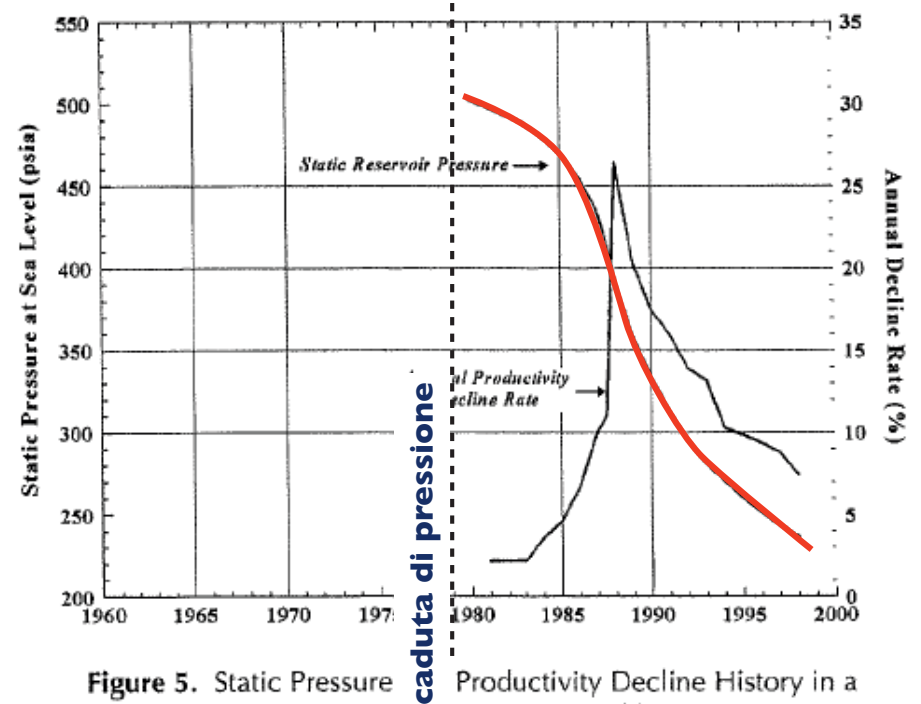
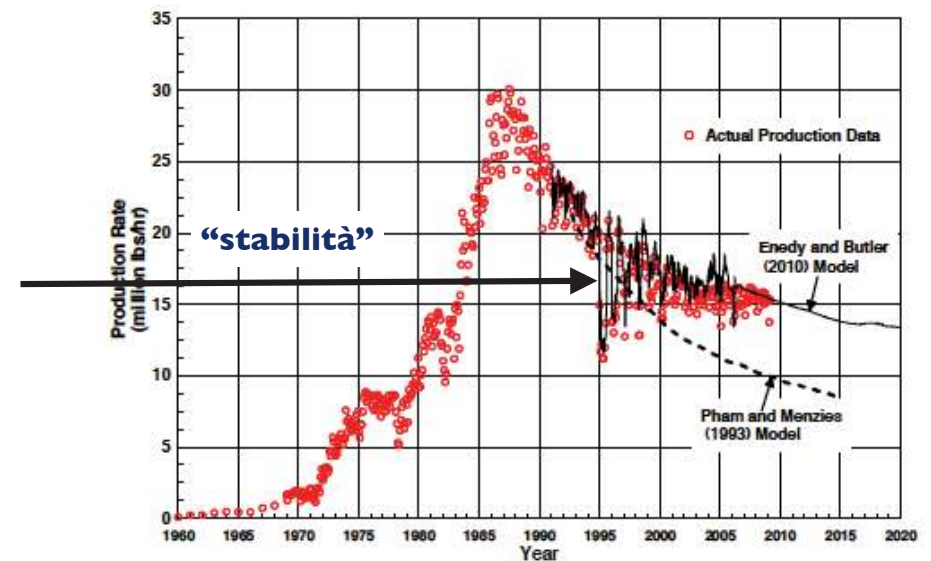


Figure 5. Static Pressure and Productivity Decline History in a Portion of the Geysers Field.



CONCLUSIONI

la ricerca, l'individuazione e la stima delle potenzialità della risorsa geotermica richiede molte ed esperte professionalità.

la re-iniezione è necessaria

la sostenibilità del serbatoio va costantemente controllata

sinergia fra diverse competenze professionali

LARDERELLO



RISORSE GEOTERMICHE

6° E

48° N

Della Vedova et al. 2001

44° N

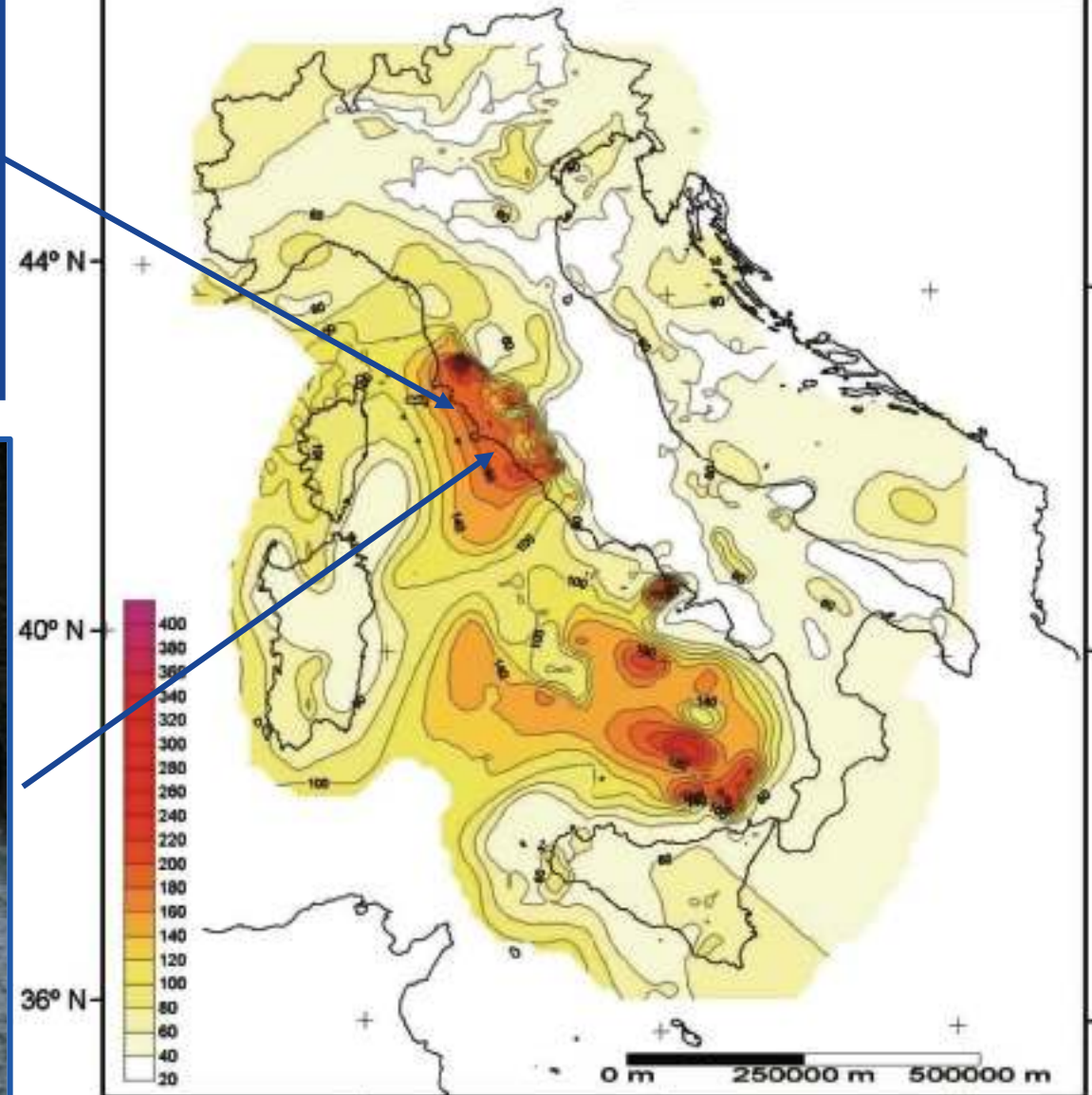
40° N

36° N

Heat Flow Map

Modified after Della Vedova et alii (2001)

Heat flow isolines in mW/m²



MT. AMIATA



structural sketch map

RISORSE GEOTERMICHE

