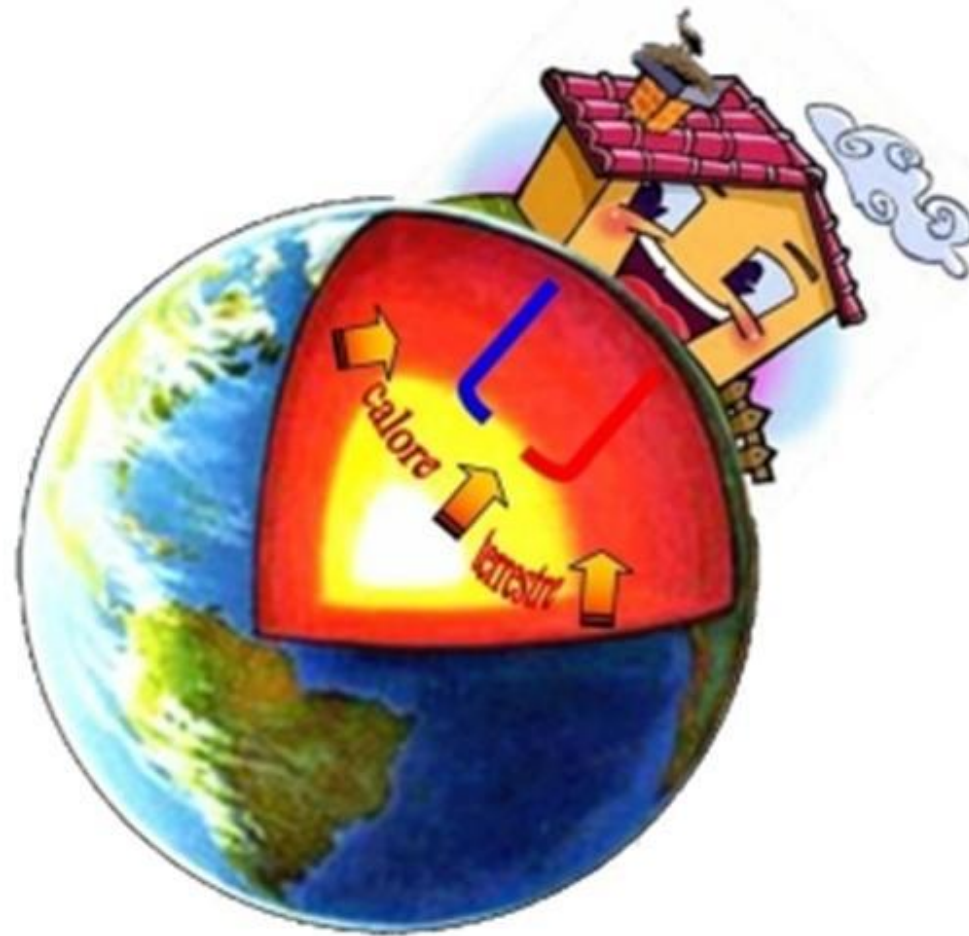


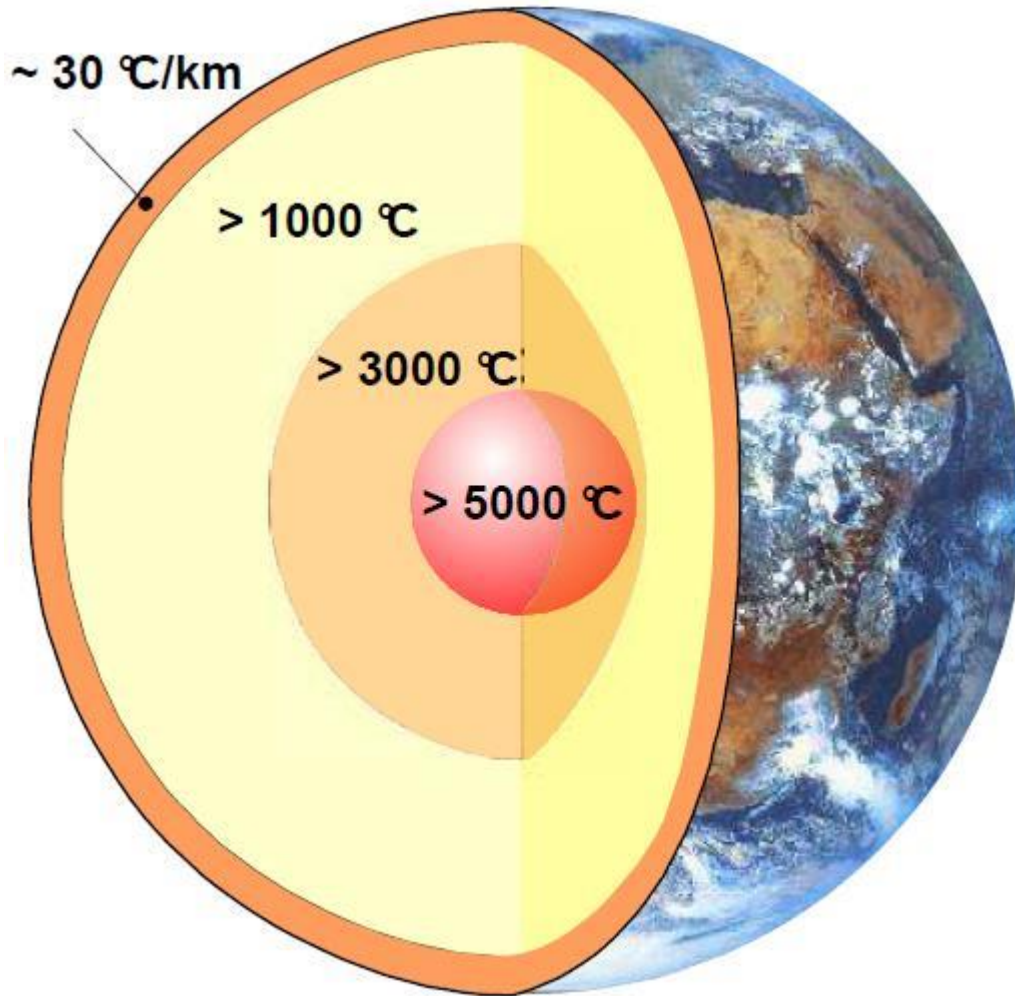


Lezione 1

Geotermia: la Terra come sorgente di energia



Definizione: L'energia geotermica è l'energia immagazzinata sotto forma di calore al di sotto della superficie terrestre.



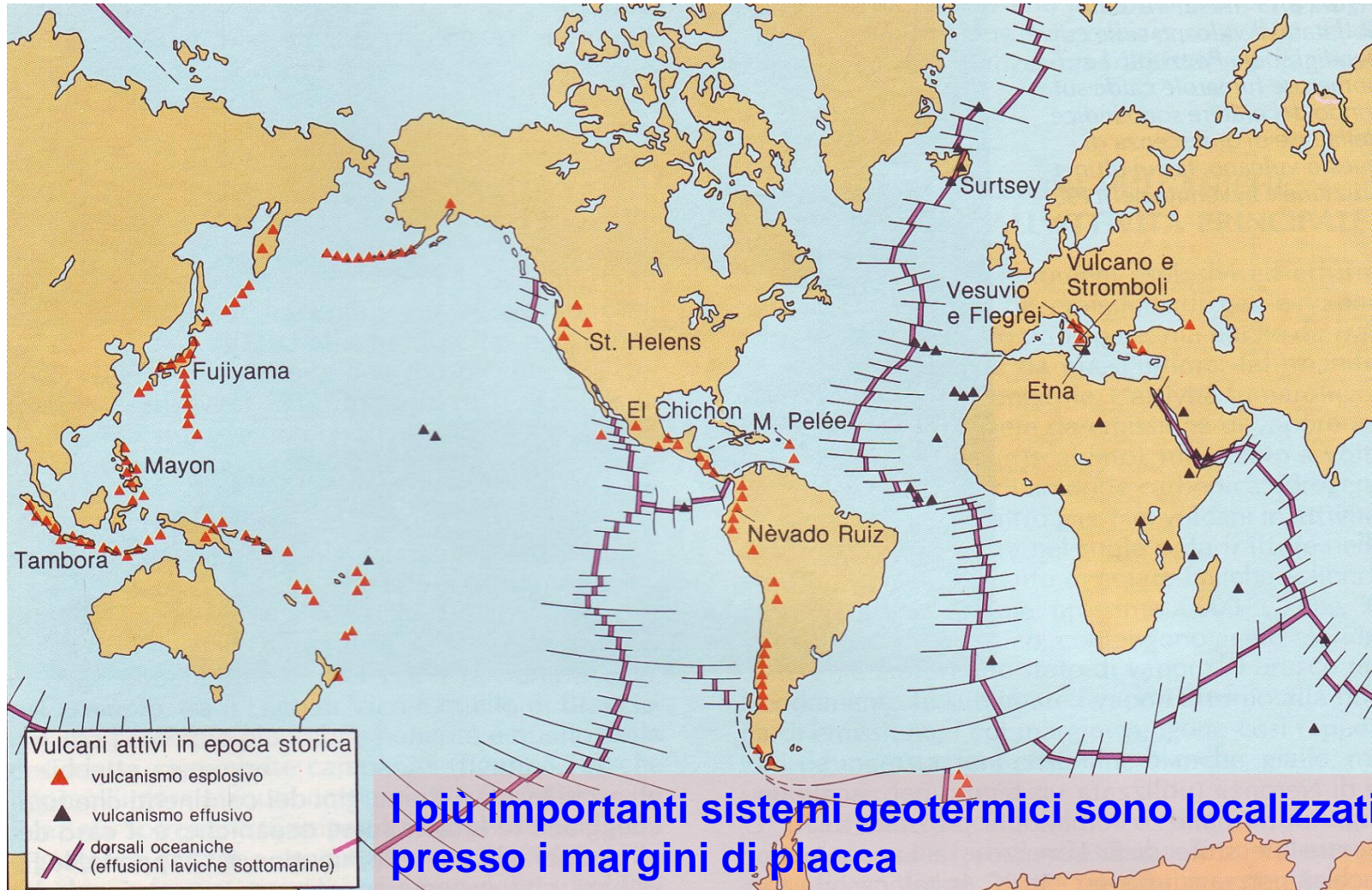
Energia dalla Terra

- 99 % $T > 1000 \text{ C}$
- 0.1 % $T < 100 \text{ C}$

Lo 0,1% dell'energia termica immagazzinata nella crosta terrestre potrebbe soddisfare la richiesta energetica mondiale

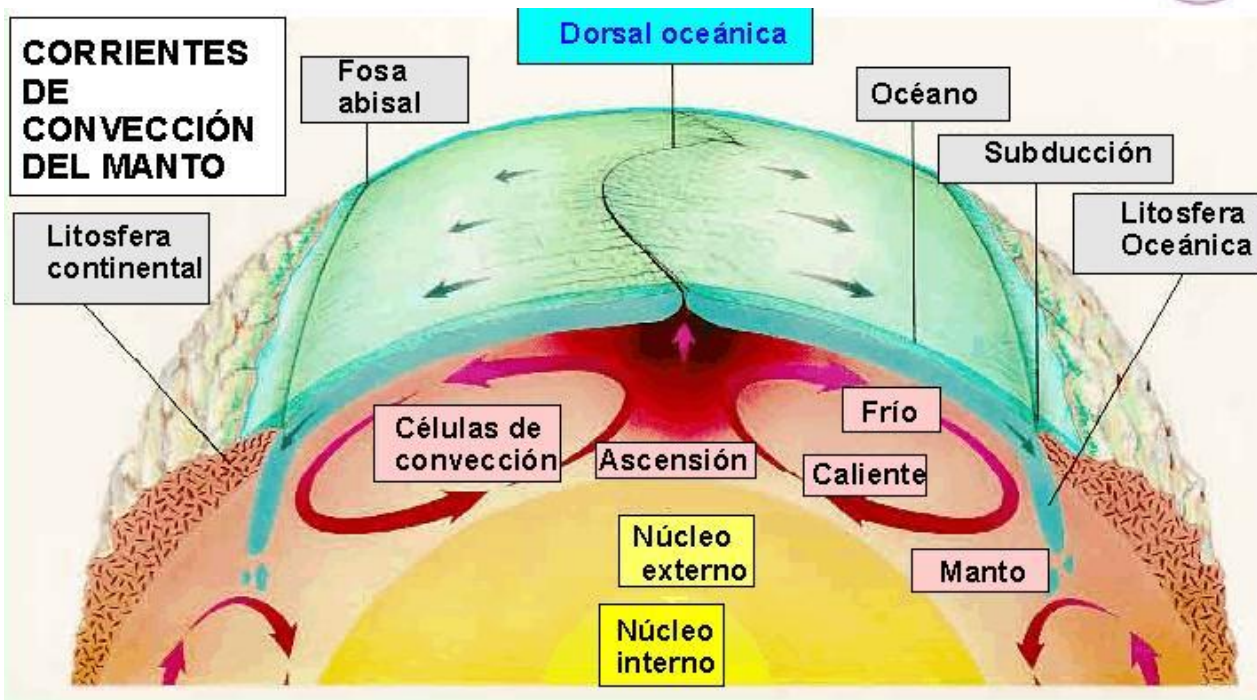
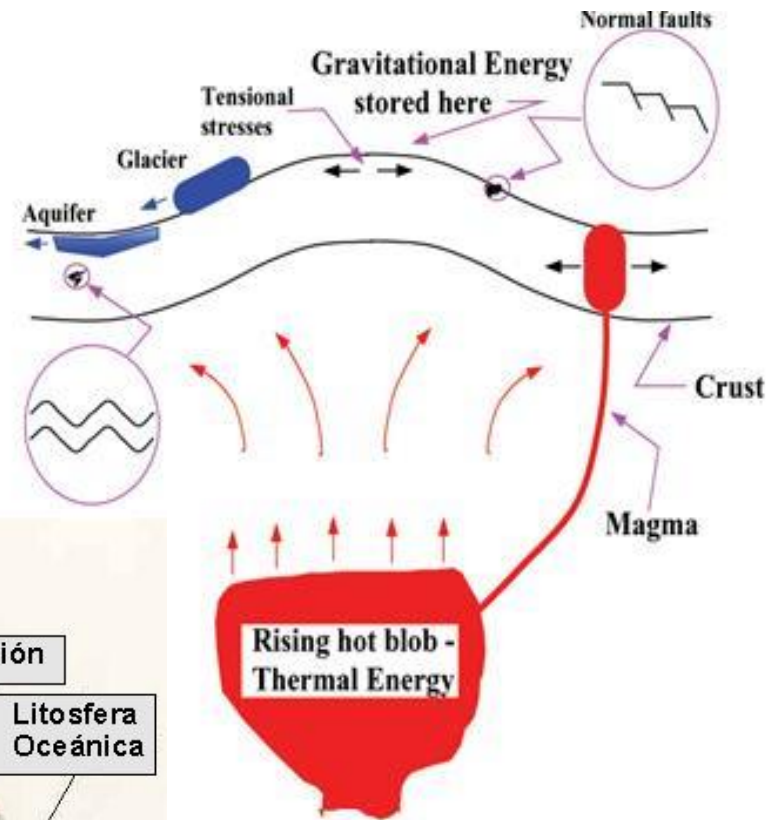
Ai fini dell'utilizzo energetico, viene indicata come **risorsa geotermica** quella il cui calore può venire estratto da profondità economicamente sostenibili ed accessibili alle tecnologie correnti.

Il calore geotermico del mantello è prevalentemente di origine radiogenica (Th_{232} , U_{235} , U_{238} , K_{40}) mentre per il settore più profondo è di origine cosmogenica



L'energia racchiusa entro il pianeta fa sì che la Terra sia un *motore termico*.

La crosta terrestre è costituita da materiali a bassa conducibilità termica. Solo alcuni contesti geologici sono favorevoli per dissipare il calore verso l'esterno, quali i margini di placca e i vulcani.



L'energia geotermica è responsabile dei fenomeni endogeni e ha creato i presupposti per lo sviluppo biologico del pianeta

Il flusso geotermico

Il flusso geotermico è la conseguenza del principio di ristabilire l'equilibrio termico. Il calore si sposta da zone a più alta temperatura, interne al pianeta, verso quelle a più bassa temperatura (la crosta terrestre): $q = \lambda (T_2 - T_1)$

Due sono i modelli fondamentali che condizionano lo spostamento:

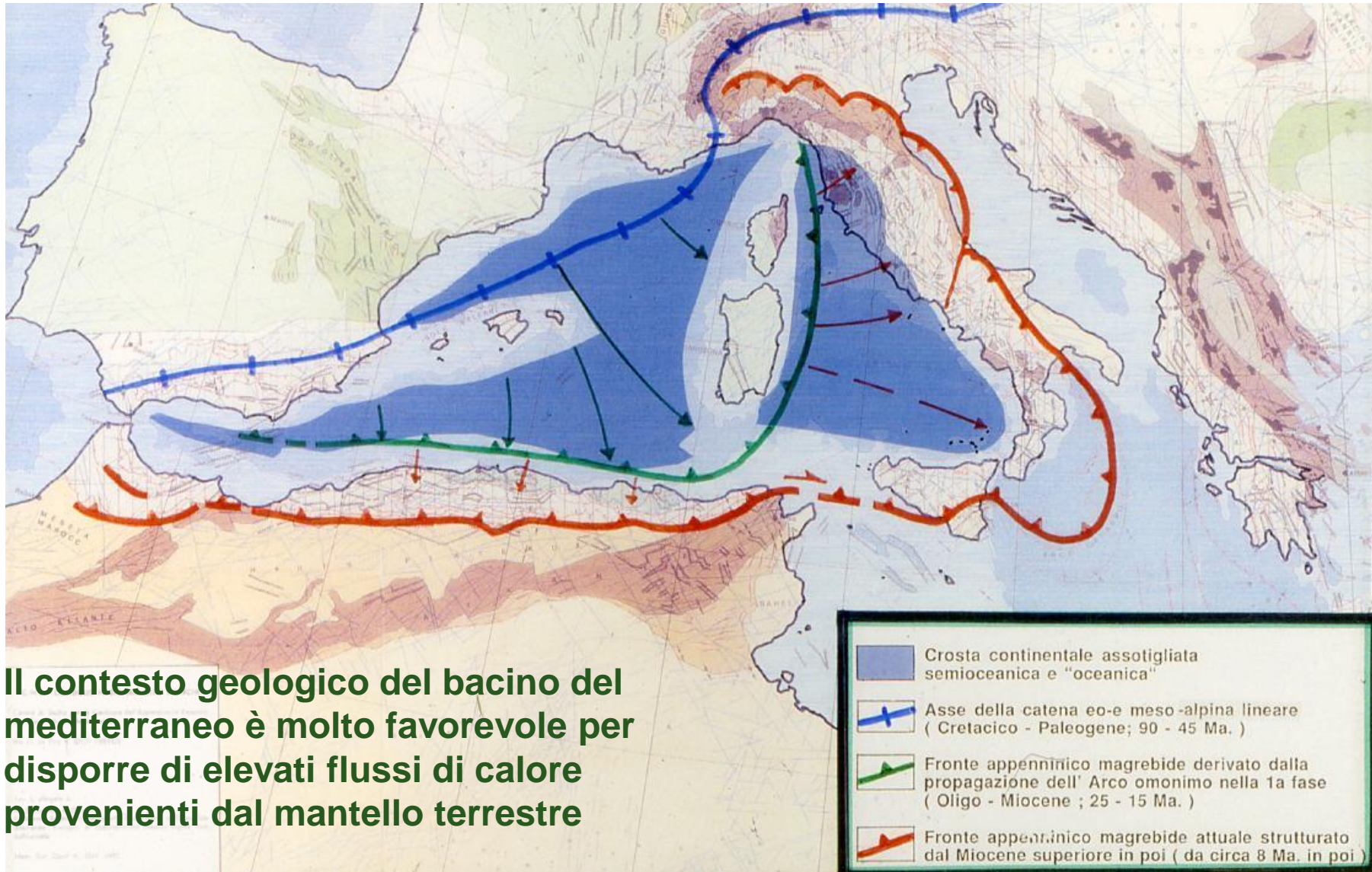
- **conduzione (senza trasporto di materia)**
- **convezione (presenza di un vettore fluido di solito acqua o vapore)**

La quantità di calore che dall'interno del pianeta giunge in prossimità della superficie per poi irradiarsi verso l'atmosfera è 5000 volte inferiore a quella che proviene dal Sole che è pari a 200-400 W/mq.

Il valore medio di q vale 63 mW/mq, ovvero compreso tra 50 e 120 mW/mq in Europa. A livello internazionale vale: 1,5 HFU

1 Heat Flow Unit = 42 mW/mq

Elementi di dinamica endogena: la placca tirrenica

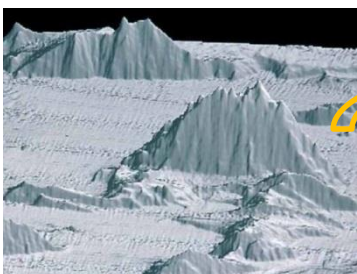


Il contesto geologico del bacino del mediterraneo è molto favorevole per disporre di elevati flussi di calore provenienti dal mantello terrestre

Risorse sulla piattaforma <200 m
(fasce retinate a colori)

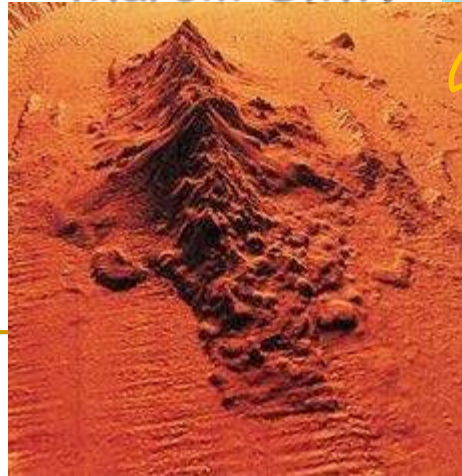
Risorse su isole e Sea Mt.
(cerchi)

Campi Flegrei
Deep Drilling
Project

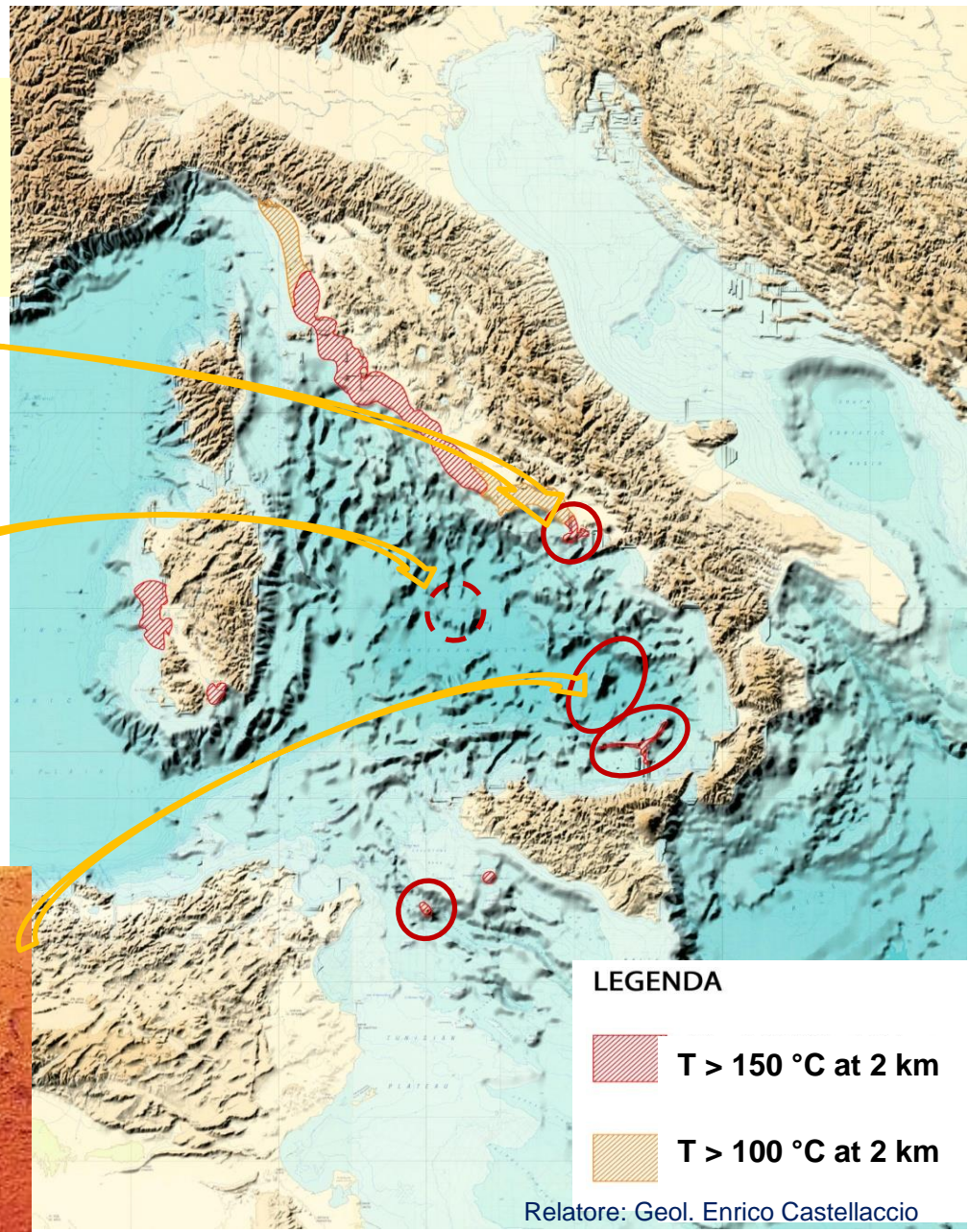


Vavilov SMt.


Marsili SMt.



14 sono i vulcani attivi in Italia che risiedono sulla placca tirrenica



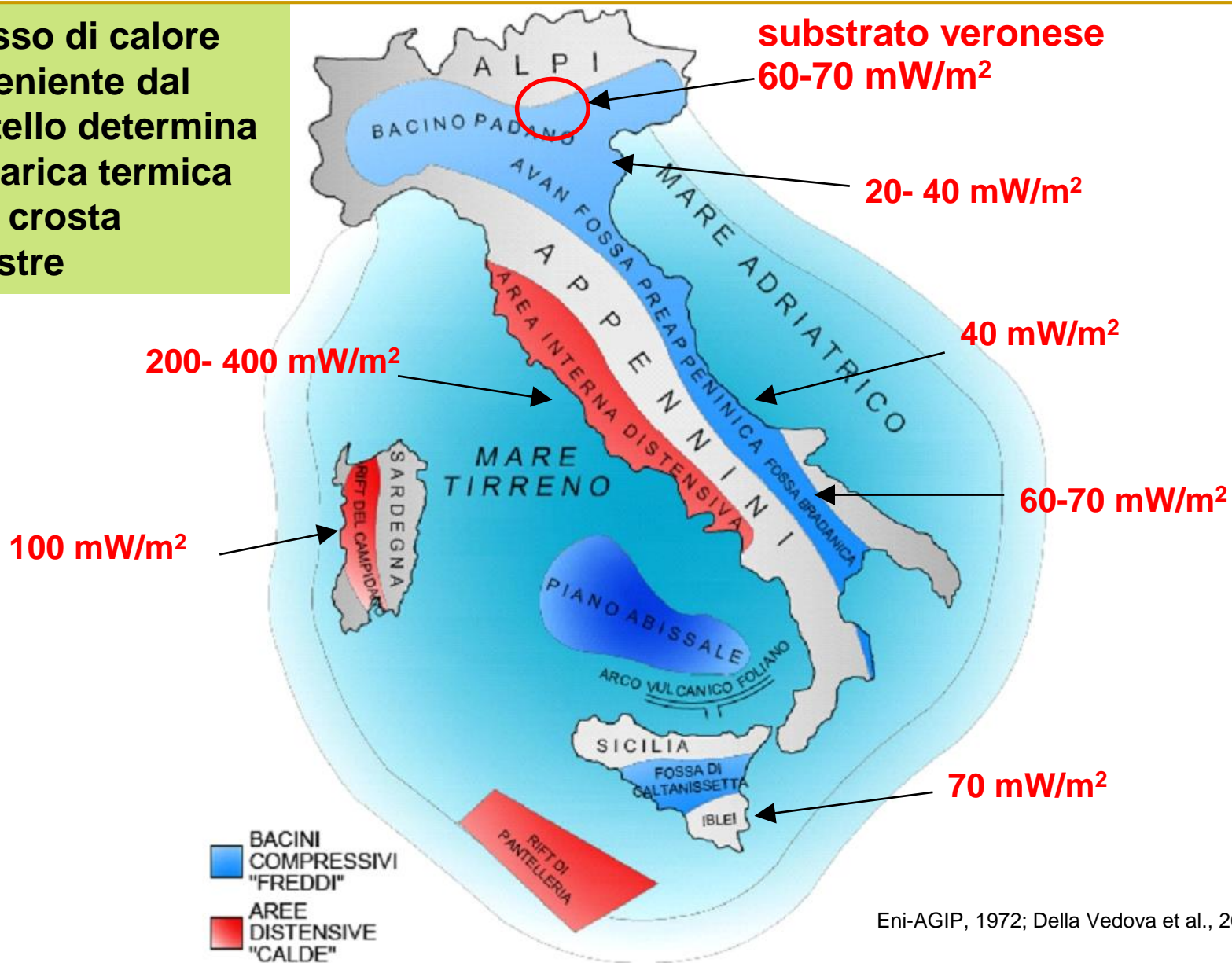
LEGENDA

 T > 150 °C at 2 km

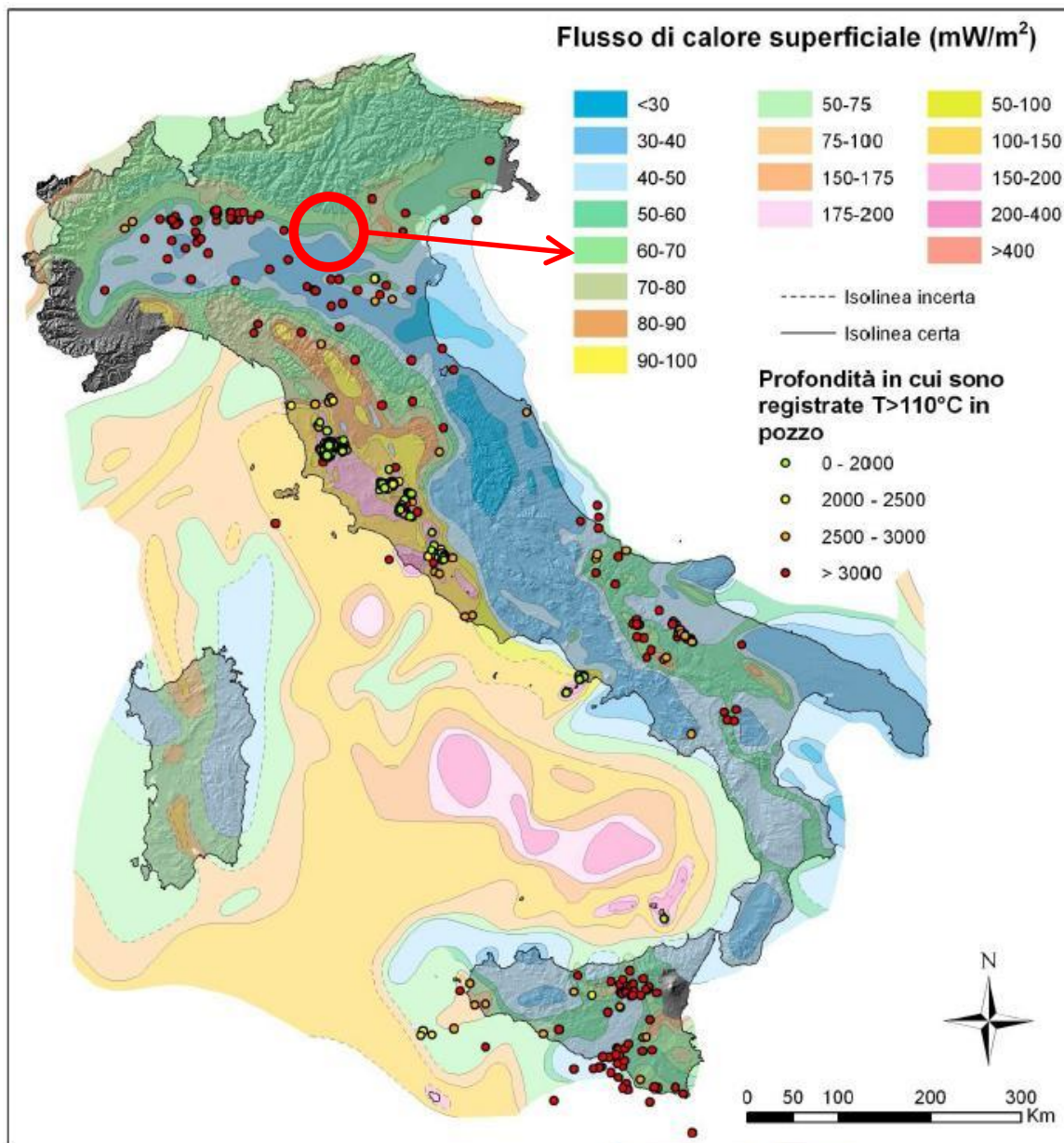
 T > 100 °C at 2 km

Relatore: Geol. Enrico Castellaccio

Il flusso di calore proveniente dal mantello determina la ricarica termica della crosta terrestre



Eni-AGIP, 1972; Della Vedova et al., 2000



Il calore geotermico è un'energia primaria **RINNOVABILE e COSTANTE**

- Bassa entalpia $t < 90 \text{ }^\circ\text{C}$
- Media entalpia $t = 90 - 150 \text{ }^\circ\text{C}$
- Alta entalpia $t > 150 \text{ }^\circ\text{C}$

Le risorse ad alta entalpia sono legate alla risalita di corpi magmatici che determinano elevati flussi di calore.

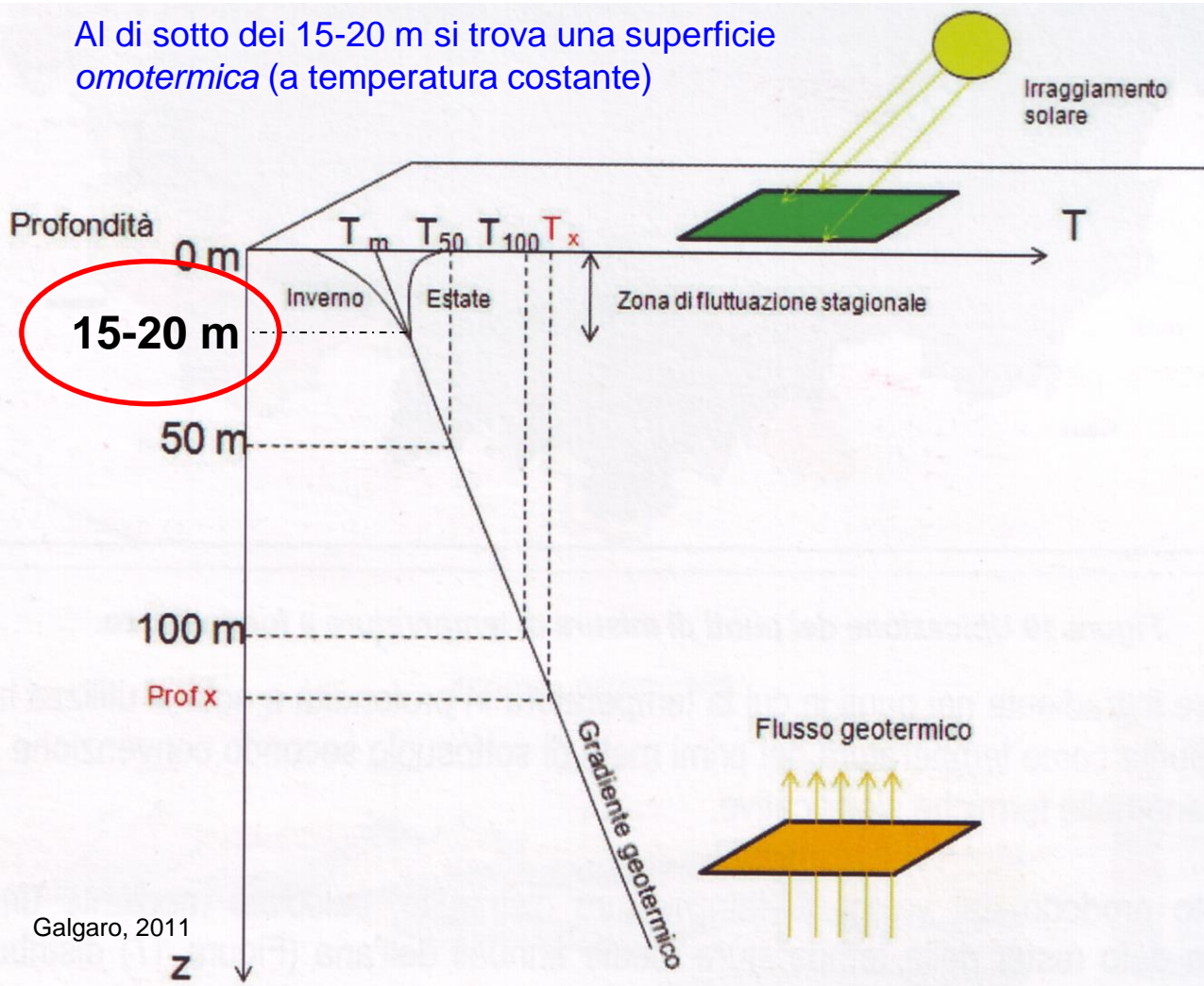
La presenza dei circuiti idrotermali a media-bassa entalpia è dovuta al normale gradiente geotermico il cui valore medio vale $3 \text{ }^\circ\text{C}/100 \text{ m}$.

La mappatura geotermica italiana evidenzia un potenziale geotermico a bassa entalpia molto grande.

Eni-AGIP, 1972; Della Vedova et al., 2000

Il gradiente geotermico dà la misura dell'aumento di temperatura con la profondità

Al di sotto dei 15-20 m si trova una superficie *omotermica* (a temperatura costante)



$$\text{grad } T = \frac{T_{\text{prof } x} - T_m}{\text{Prof } x - 0}$$

T_m = temperatura media dell'aria

T_x = temperatura alla profondità x

Esempio:

$$T_m = 12 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{100} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{Grad } T = 3 \text{ }^\circ\text{C}/100 \text{ m}$$

Galgaro, 2011

Il gradiente geotermico locale

Il gradiente geotermico medio (GT) dipende dal flusso di calore (q) e dalla conducibilità termica (λ):

$$GT = q / \lambda \quad [^{\circ}\text{C}/\text{m}]$$

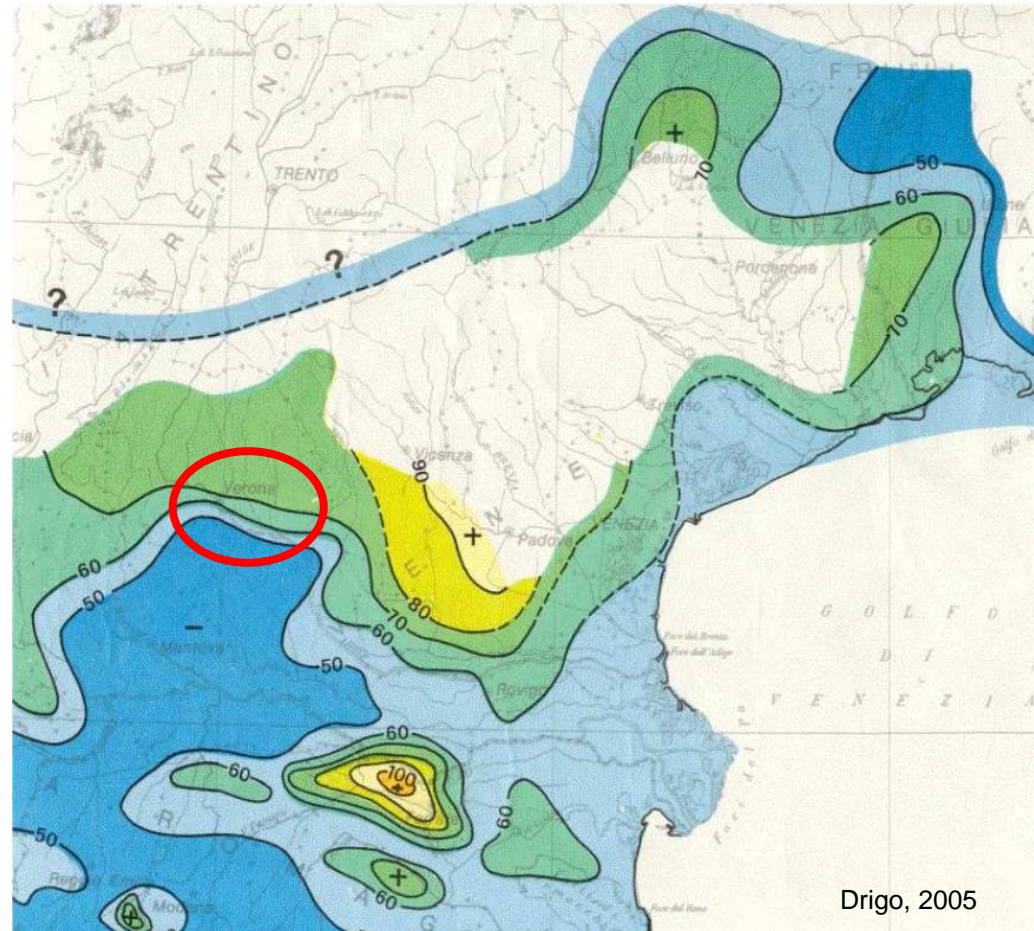
considerando valori medi di $q = 63 \text{ mW}/\text{m}^2$ e di $\lambda = 2,1 \text{ W}/\text{m}^{\circ}\text{C}$ allora $T = 3^{\circ}\text{C}/100 \text{ m}$

PROVINCIA DI VERONA

Rispetto al valore medio ($T = 3^{\circ}\text{C}/100 \text{ m}$) esistono aree di anomalia termica positiva e negativa:

Anomalia positiva con $T > 3^{\circ}\text{C}/100 \text{ m}$ - fino a $17^{\circ}\text{C}/100 \text{ m}$, nelle aree di affioramento idrotermale;

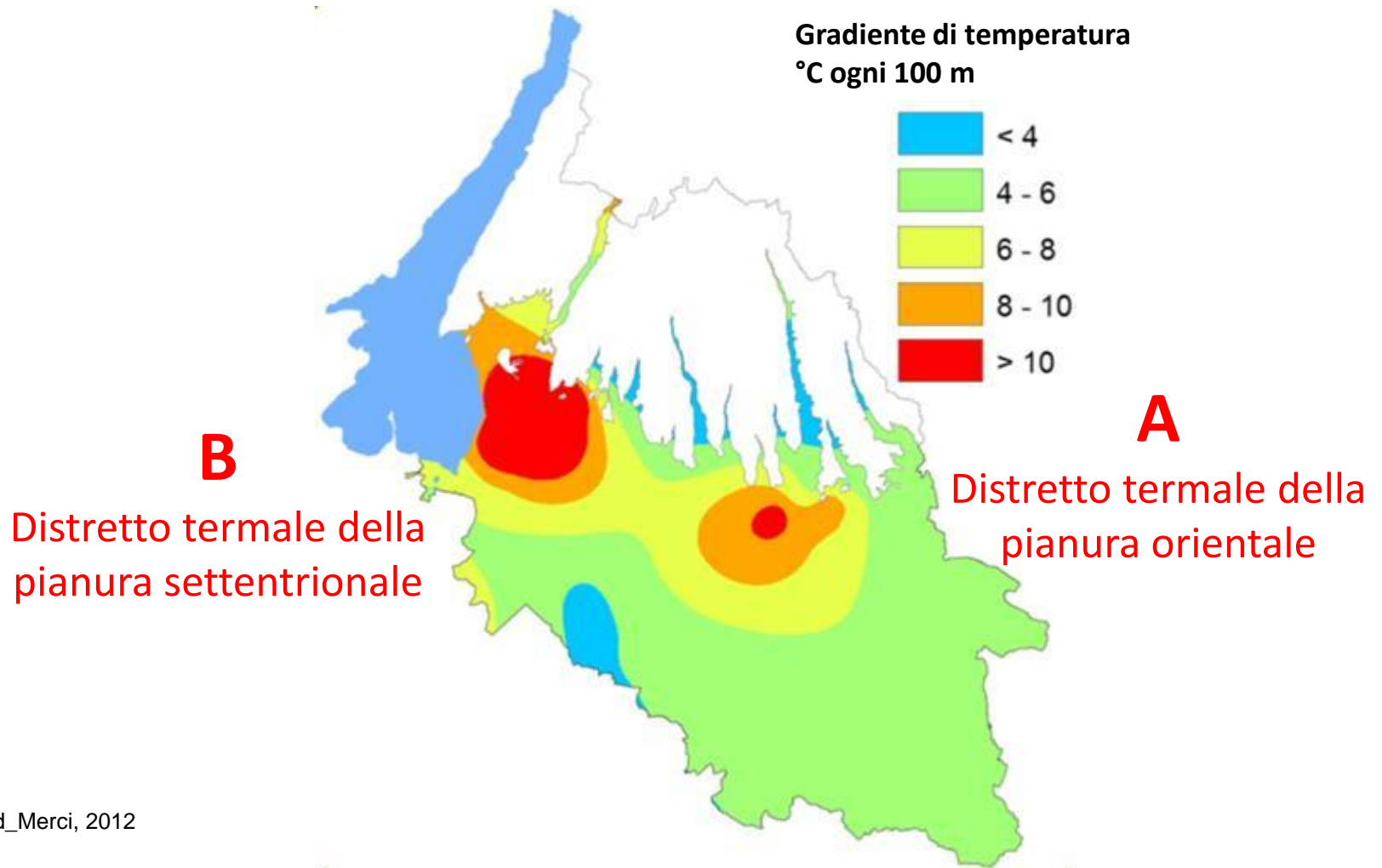
Anomalia negativa con $< 3^{\circ}\text{C}/100 \text{ m}$ - anche $< 1^{\circ}\text{C}/100 \text{ m}$, in ambito di pianura laddove esistono elevati spessori alluvionali saturi con falda in movimento.



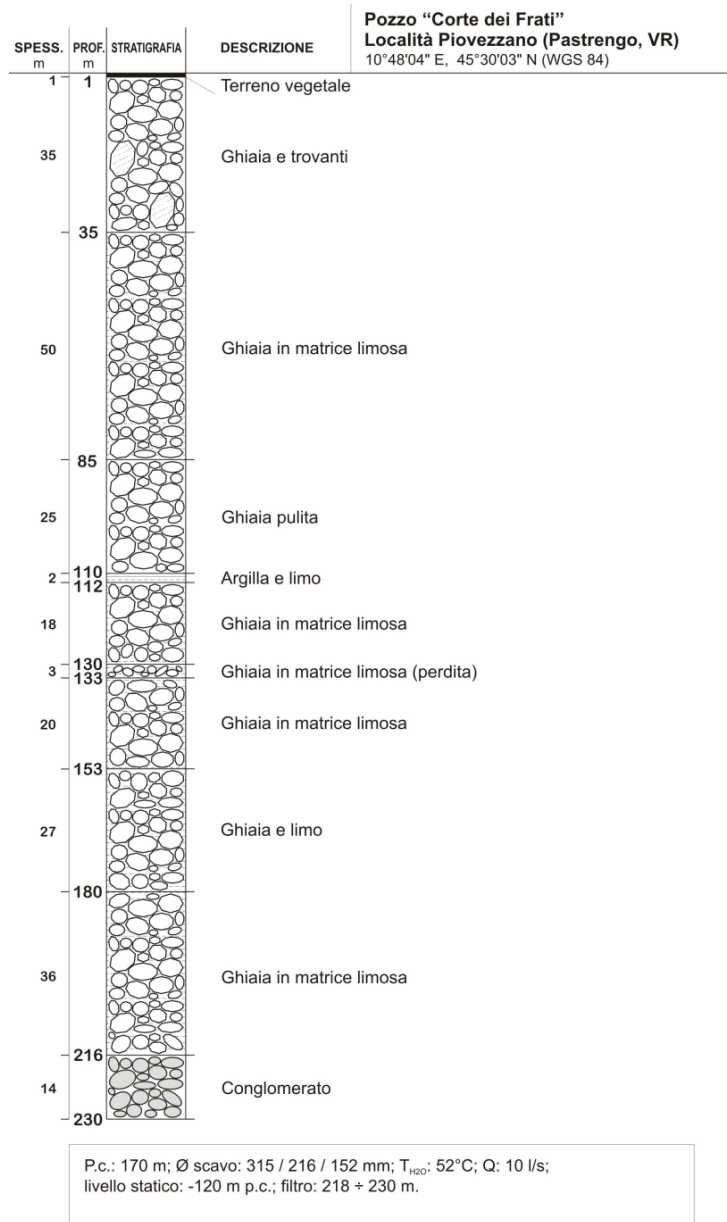
Carta delle isoterme a -2000 m – Agip, 1967

Zone di anomalia geotermica del veronese

Quelle di particolare interesse geotermico sono dotate di anomalia positiva e localizzate a profondità economicamente raggiungibili



Unipd_Merci, 2012



Il gradiente geotermico a Pastrengo

T_m aria 13 °C

T_{230 m} 52 °C

GT 17 °C/100 m

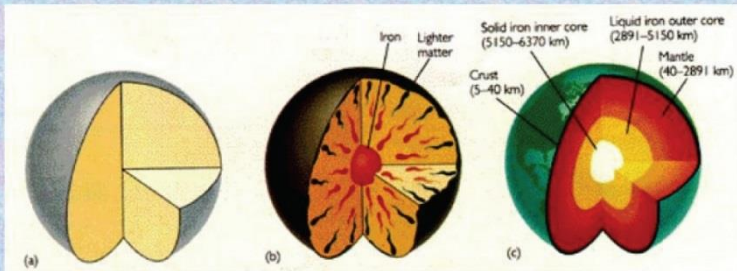
La propagazione del calore avviene per convezione



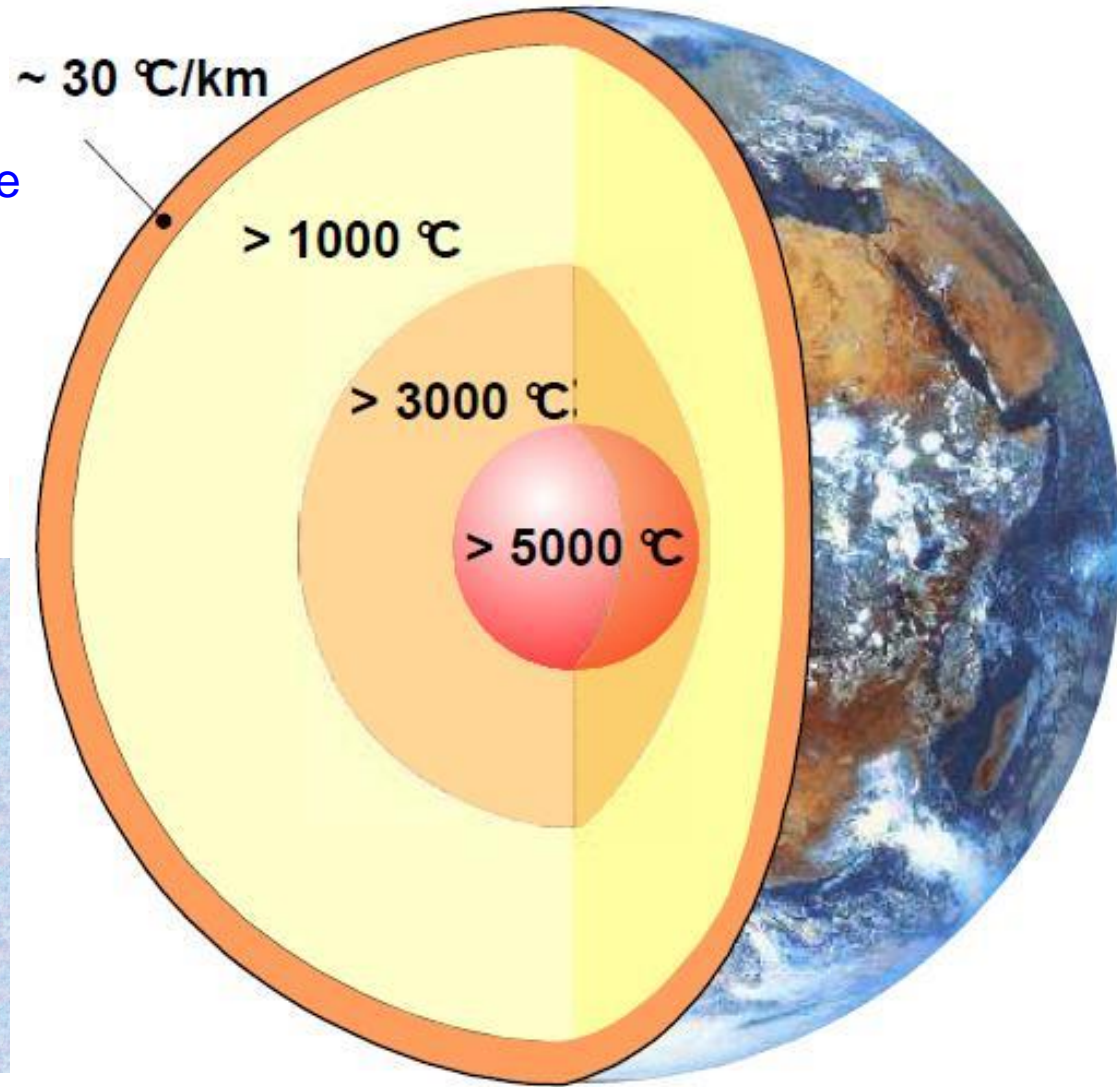
Il gradiente geotermico medio all'interno del pianeta:

30 °C/km	crosta terrestre
0,3 °C/km	mantello
0,8 °C/km	nucleo

Flusso di calore terrestre



Flusso di calore attuale: 20% dovuto al raffreddamento iniziale ed 80% dovuto al calore radiogenico



I SISTEMI GEOTERMICI: zone di accumulo di energia

IL NORMALE GRADIENTE DI TEMPERATURA CHE SI OSSERVA PROCEDENDO VERSO L'INTERNO DELLA CROSTA TERRESTRE È DI 3°C/100 m; QUANDO TALE GRADIENTE È PIÙ MARCATO SIAMO IN PRESENZA DI AREE OVE SI HA ACCUMULO DI ENERGIA TERMICA, OVVERO DI SISTEMI GEOTERMICI.

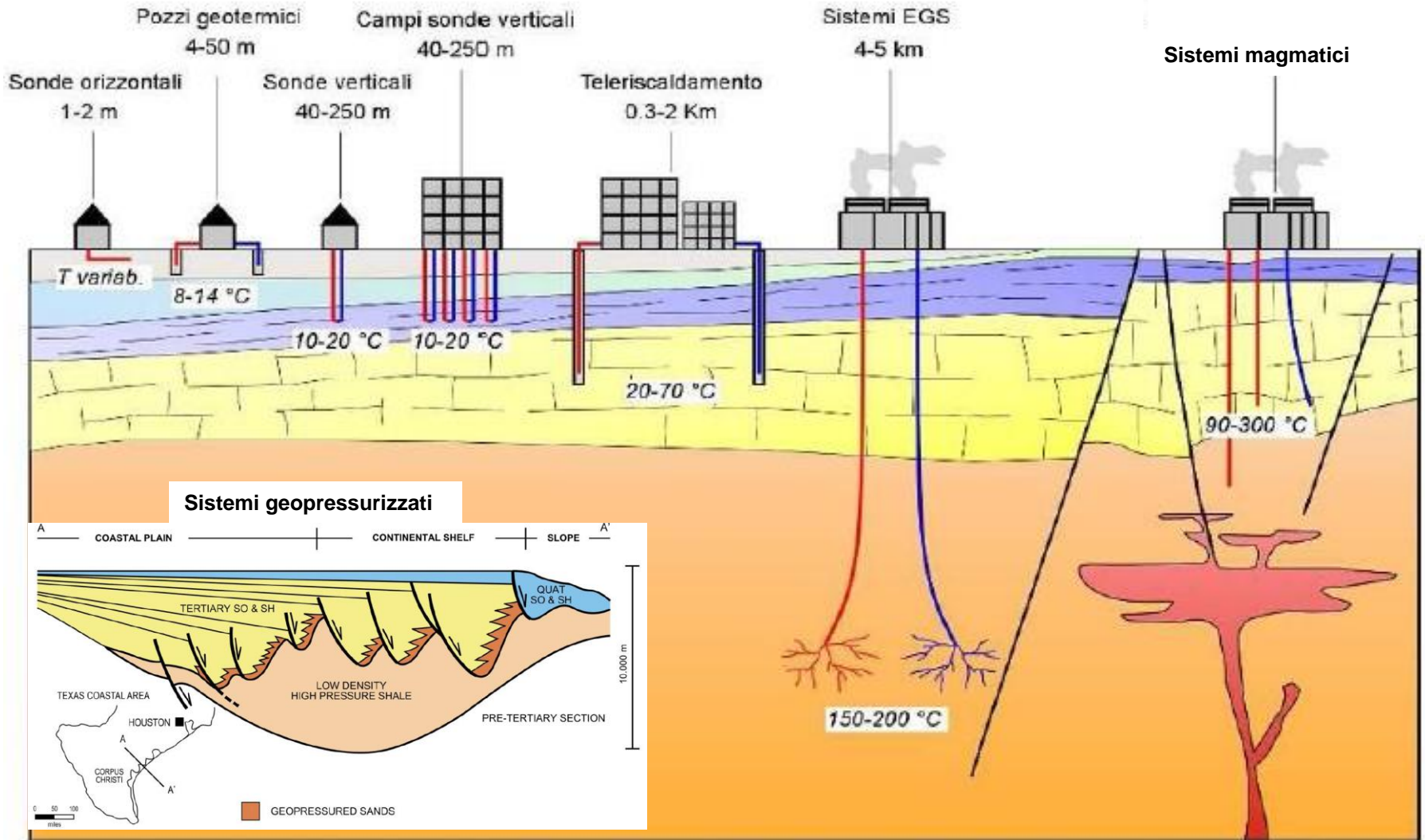
LE AREE TERMICAMENTE ANOMALE SONO MOLTO PIÙ ESTESE DI QUELLE ATTUALMENTE COLTIVATE AD USI ENERGETICI (CAMPI GEOTERMICI).

LA CLASSIFICAZIONE DEI SISTEMI GEOTERMICI È LA SEGUENTE:

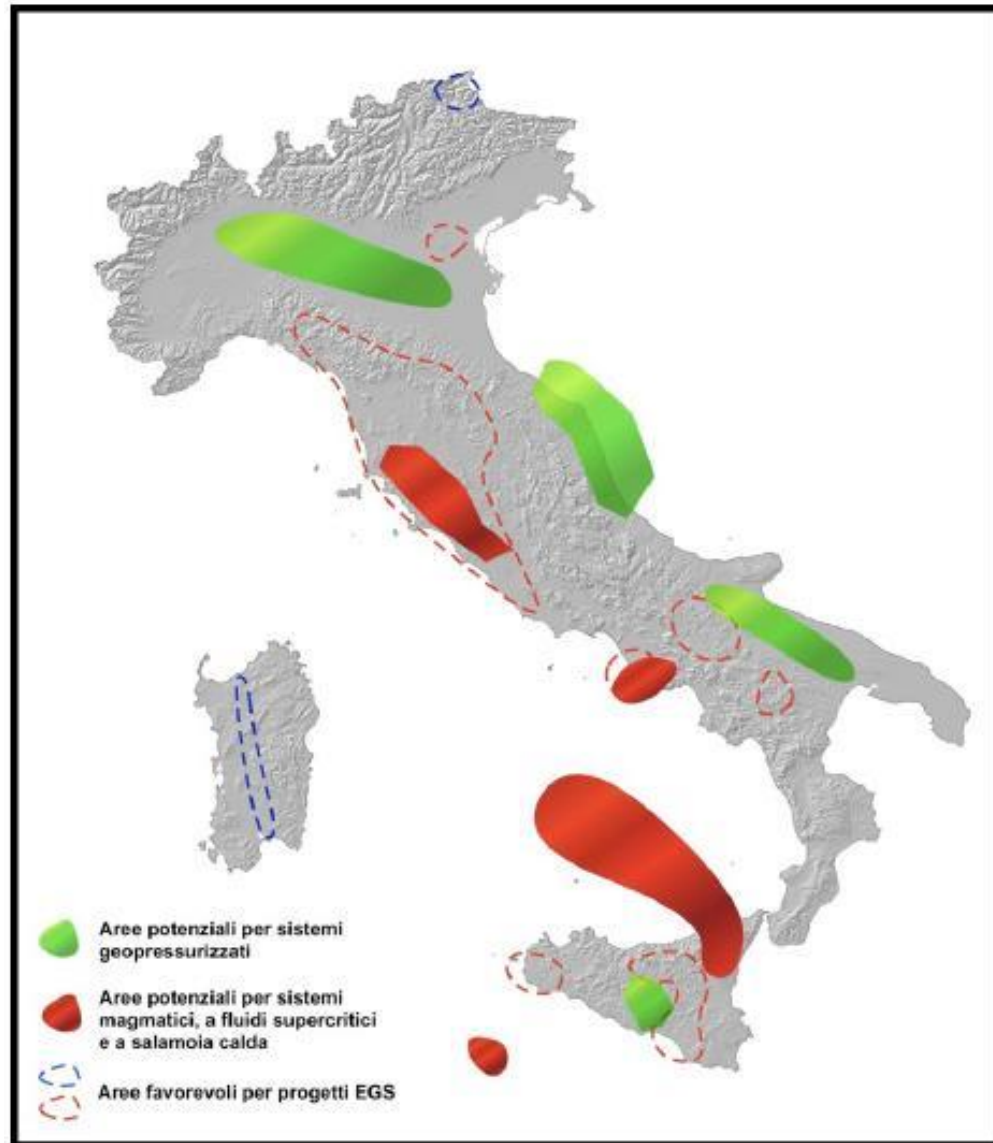
- - **SISTEMI IDROTERMALI**
- - **SISTEMI GEOPRESSURIZZATI**
- - **SISTEMI STIMOLATI (EGS)**
- - **SISTEMI MAGMATICI**
-

BASSA ENTALPIA

MEDIO-ALTA ENTALPIA



I SISTEMI GEOTERMICI NON CONVENZIONALI



I SISTEMI IDROTERMALI – geotermia convenzionale

serbatoi ad acqua dominante

Sono dominati dal moto convettivo dell'acqua che, infiltrandosi a partire dalla superficie all'interno di uno spazio confinato, si riscalda progressivamente per il gradiente geotermico e determina, risalendo, un trasferimento del calore verso la superficie o a profondità economicamente raggiungibili

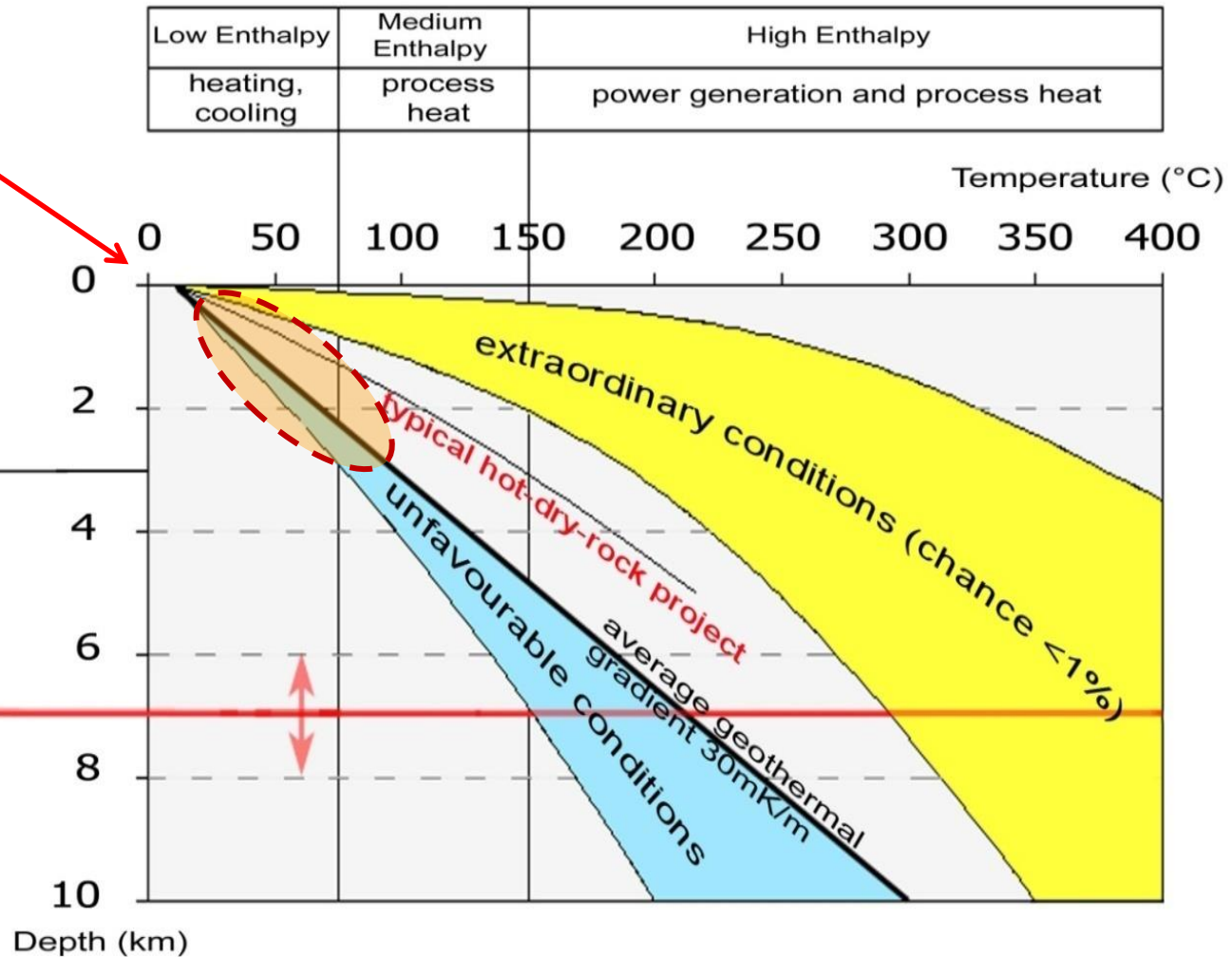
Le zone di particolare interesse geotermico sono quelle ove il gradiente è superiore a quello medio, sempre a profondità tecnicamente raggiungibili




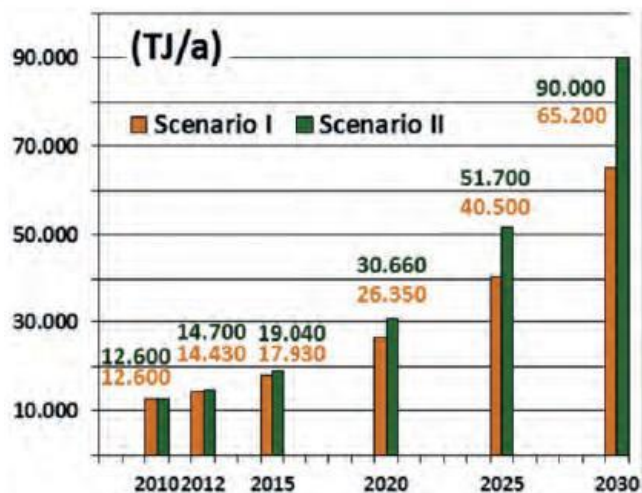
Risorse & Utilizzi

Veneto occidentale

Geothermal Reserves	technically simple, economic
Geothermal Resources	presently technically inaccessible, uneconomic



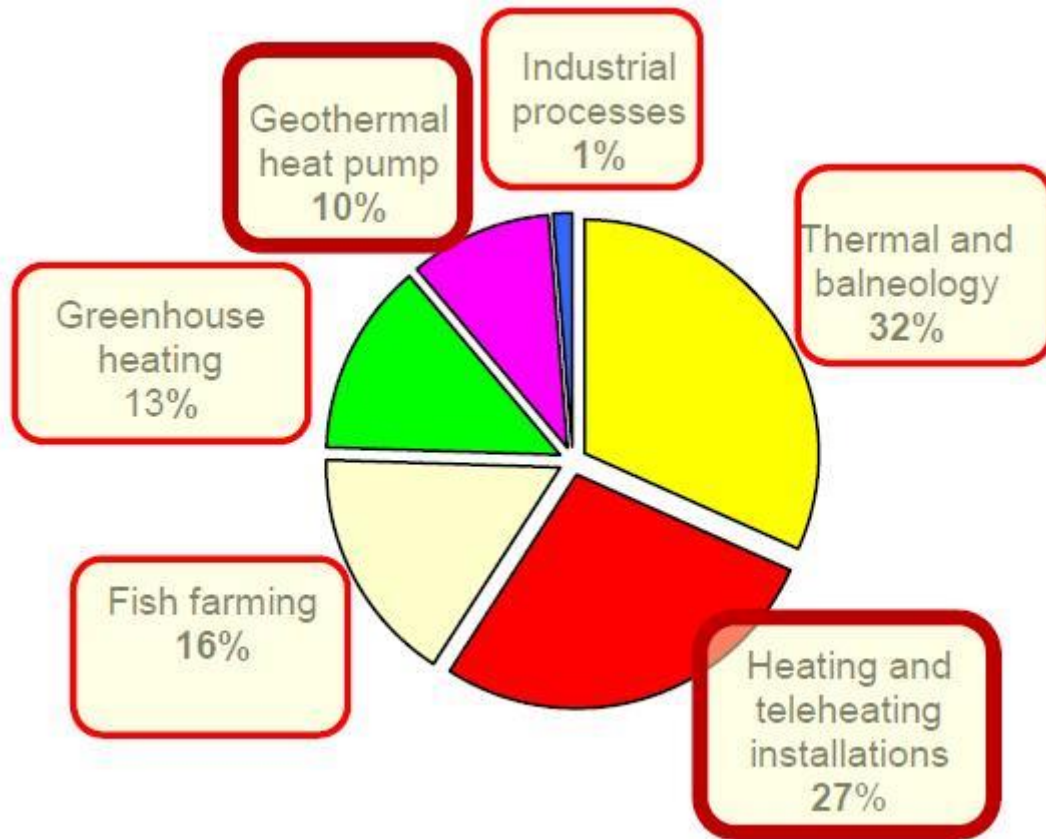
Temperatura sorgente	$T > 130 \text{ } ^\circ\text{C}$	$T = 15 - 100 \text{ } ^\circ\text{C}$	$T < 15 \text{ } ^\circ\text{C}$
Tecnologia	 Centrali geo-termo-elettriche	 Scambiatori di calore	 Pompe di calore
Usi finali	Energia elettrica	Riscaldamento, acqua calda sanitaria	Riscaldamento, raffrescamento, acqua calda sanitaria



- **Potenziale geotermico enorme**
- **Presente dappertutto**
- **Sempre disponibile**
- **A limitata prof. in aree attive**

UGI, 2012

Applicazioni geotermiche dirette in Italia



*Energia termica tot. usata 2009:
10.000 TJ (stima UGI)*

Impianti termali	32%
Riscaldamento e telerisc.	27%
Itticoltura	16%
Serricoltura	13%
Pompe di calore	10%
Processi industriali	1%

Tutte queste applicazioni hanno grandi margini di sviluppo

Le aree termali del veronese

L'interesse economico può essere rilevante ove la risorsa è vicina agli impianti di utilizzo.

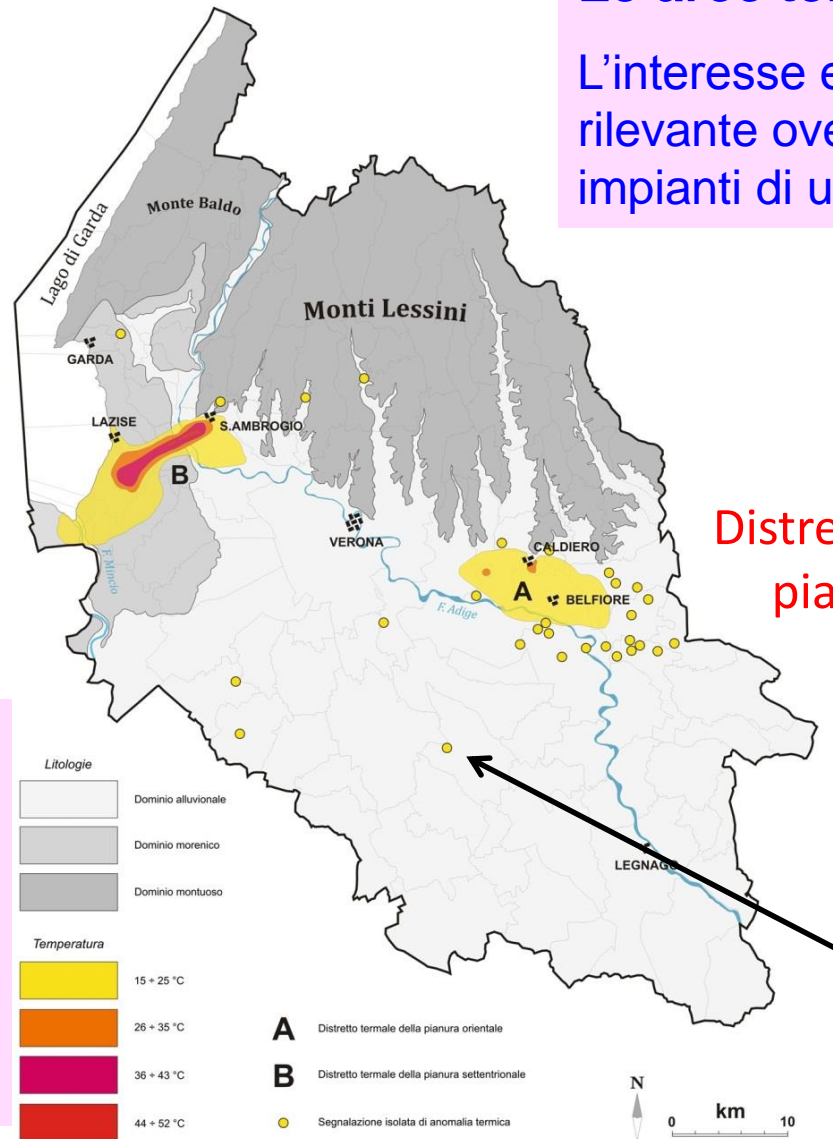
B

Distretto termale della pianura settentrionale
8 comuni

A

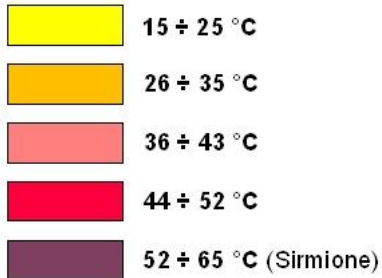
Distretto termale della pianura orientale
12 comuni

In queste aree si ha l'interazione tra il normale gradiente geotermico e un favorevole contesto tettonico ed idrogeologico



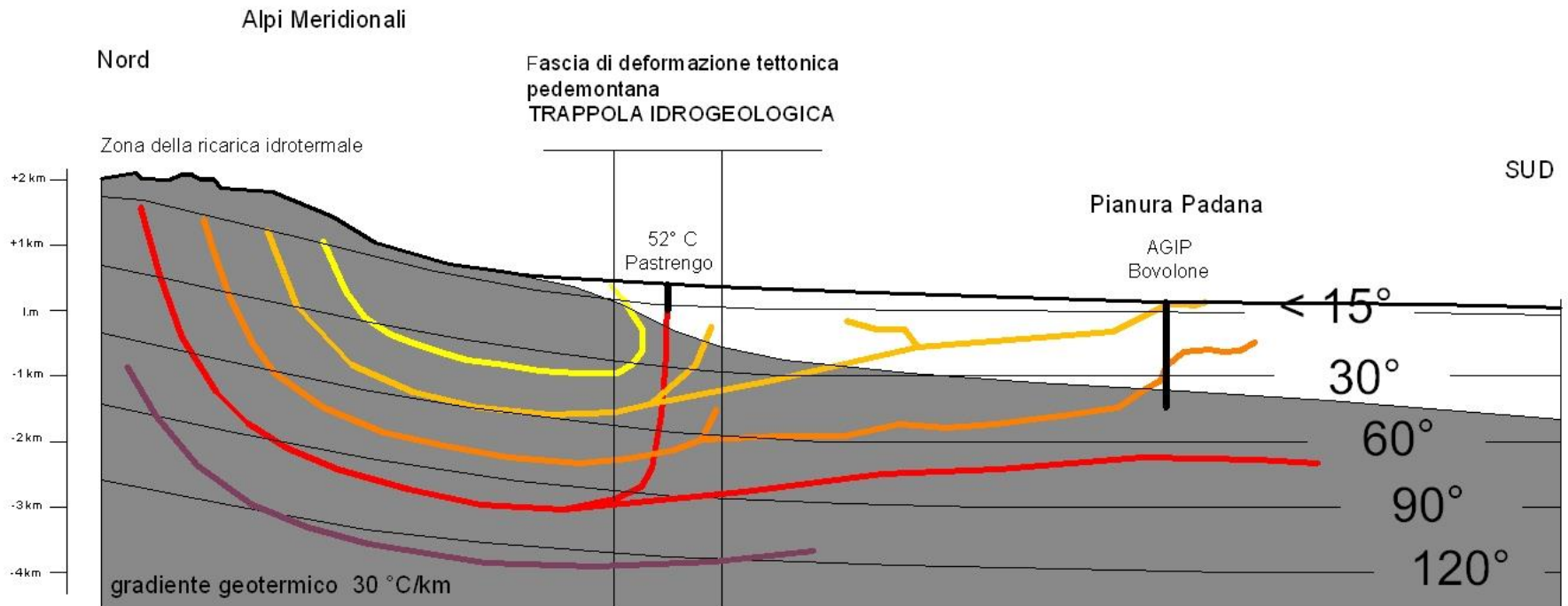
Segnalazione isolata di anomalia geotermica

Temperatura delle acque in superficie



Modello di circolazione dei fluidi idrotermali del veronese

Area in cui si possono verificare fughe termali dalla fascia di deformazione pedemontana che danno origine ad isolate anomalie termiche



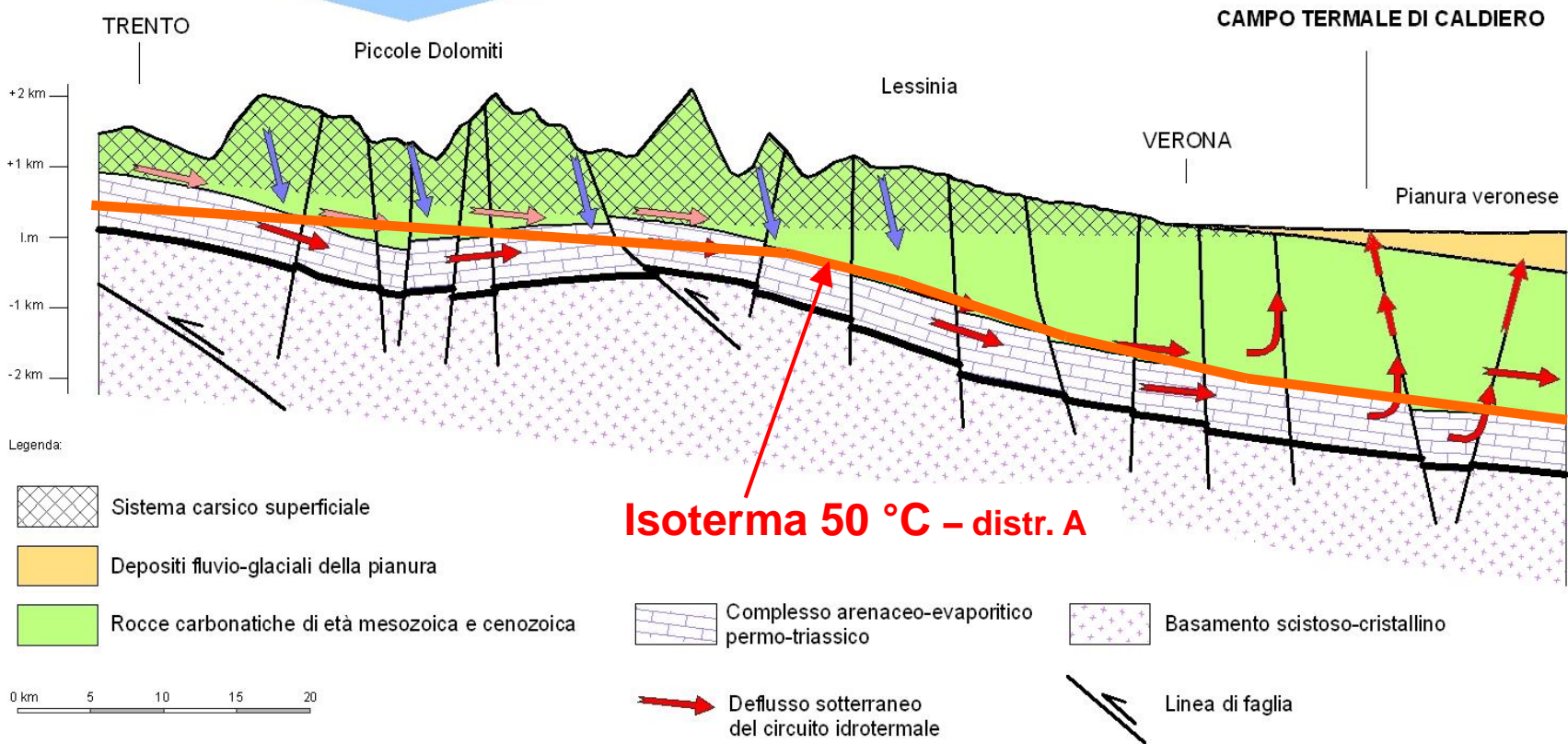
Isoterma basale:

Distretto A = 40-50 °C

Distretto B = 90-120 °C

AFFLUSSI METEORICI

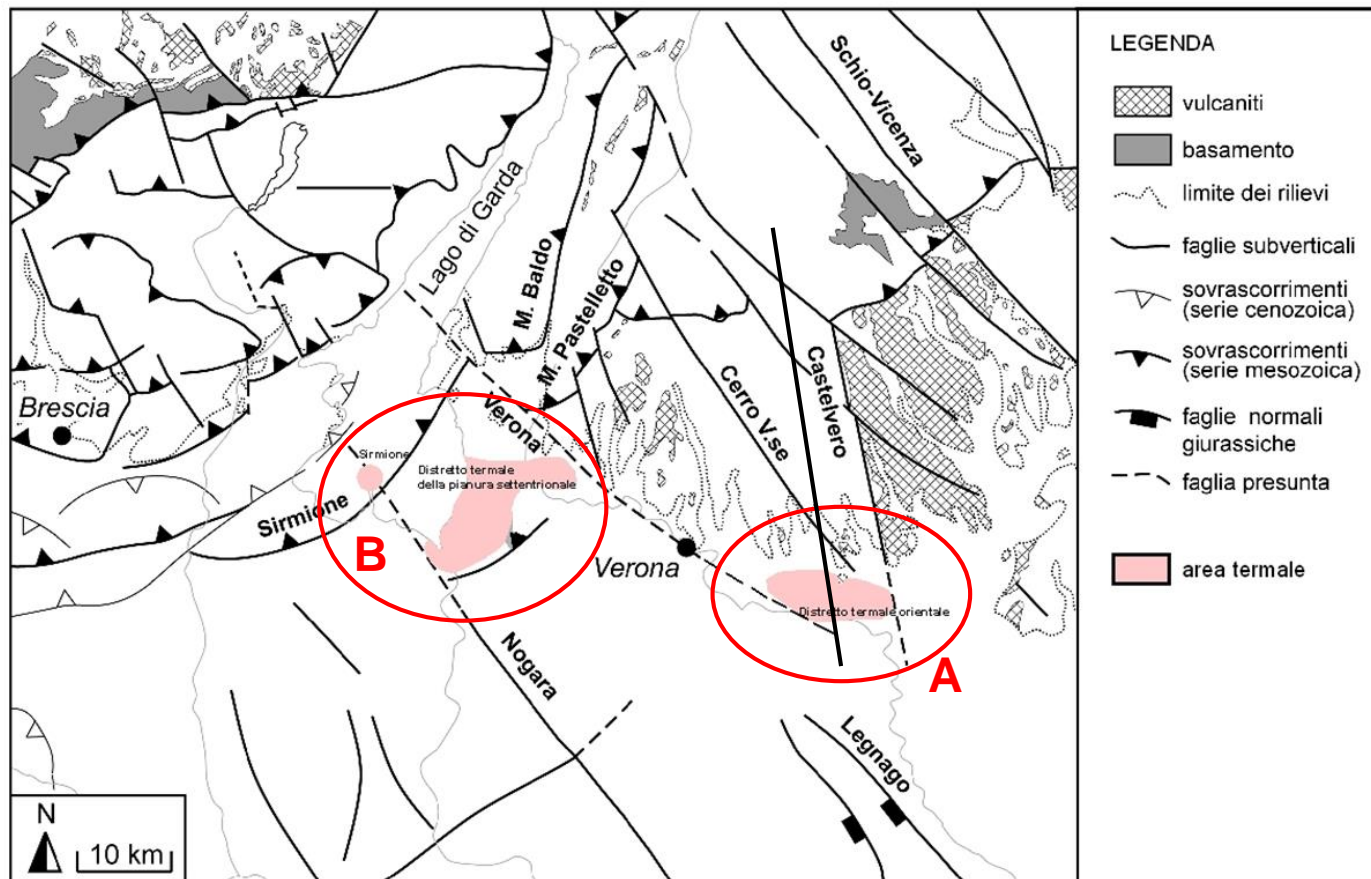
Modello idrotermale del veronese



Distr. A - Il gradiente idraulico (circa 1-2 %) fornisce l'energia al circuito idrodinamico.

I livelli statici nella fascia pedemontana sono stabilizzati a circa 30 m s.l.m

Velocità d. = 3 m/g distanza ricarica = 25-40 km tempo = 150-200 anni



L'assetto tettonico-strutturale condiziona la diversa profondità dei circuiti idrotermali e le temperature.

Le risalite termali nella fascia pedemontana sono dovute a locali fenomeni di tettonica fragile, la cui persistente attività capace di mantenere nel tempo la necessaria permeabilità, è principalmente veicolata da faglie con componente trascorrente e direzione scledense che dislocano sovrascorrimenti dello stile giudicariense.

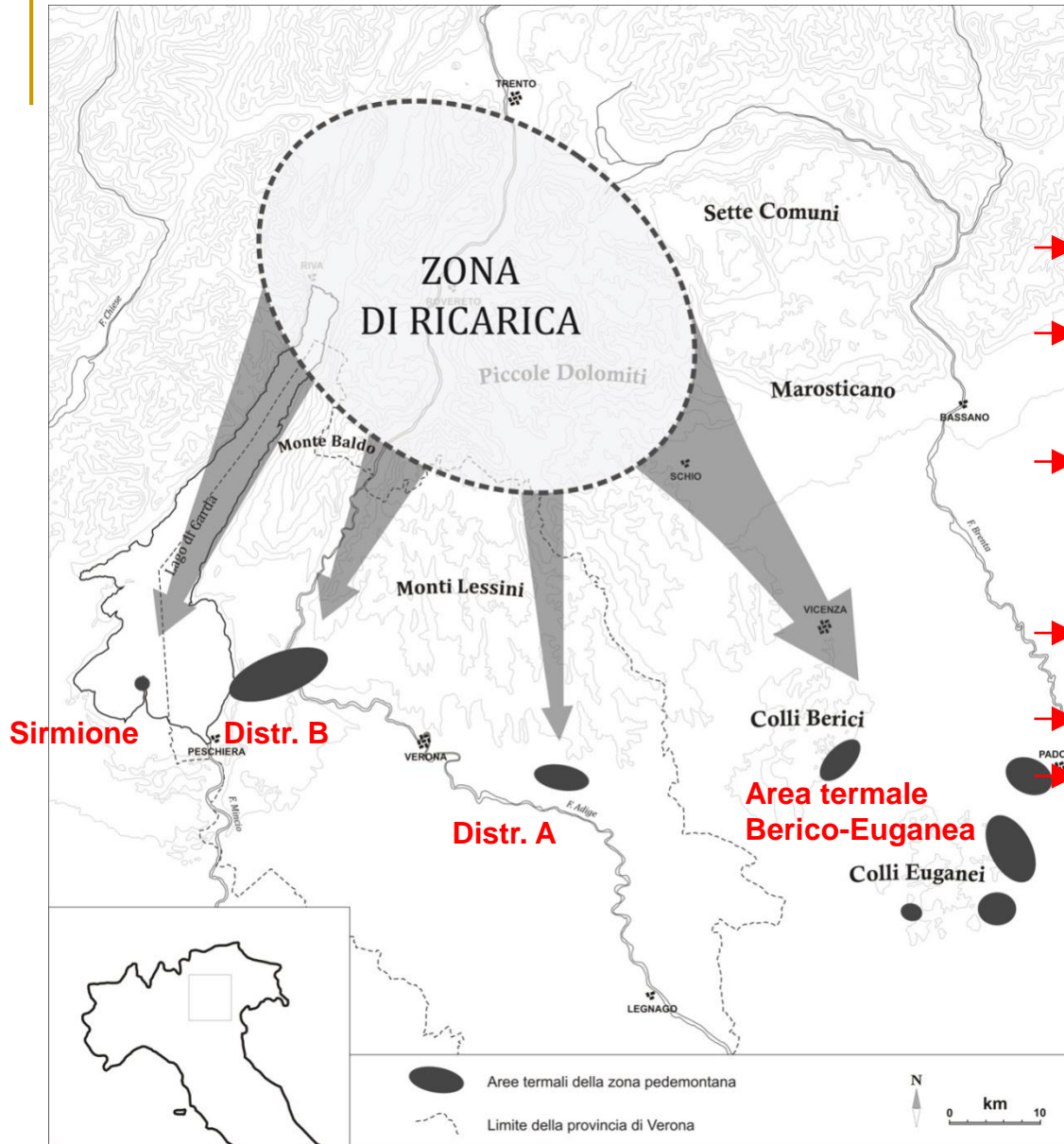
La zona di ricarica

degli affioramenti termali del Veneto occidentale

... elementi di convergenza

- ➔ situata a monte delle emergenze pedemontane;
- ➔ il basamento scistoso impermeabile corrisponde ad una monoclinale rivolta verso la pianura;
- ➔ dotata di maggiore piovosità (1000-2300 mm) i cui volumi efficaci possono essere considerati almeno 10 volte superiori alle portate idrotermali misurate;
- ➔ caratterizzata da ampie superfici al di sopra degli 800 ÷ 1500 m s.l.m.;
- ➔ presenta un'elevata fratturazione tettonica;
- ➔ ad essa appartiene il bacino idrografico del F. Adige.

E' da chiarire il complesso e articolato collegamento idrogeologico tra il sistema carsico superficiale e quello molto più profondo di tipo idrotermale



Le potenzialità idrotermali del veronese

Gli elementi di valutazione per lo sfruttamento razionale delle acque termali ad uso balneoterapico e per scambio termico con impianti a circuito aperto:

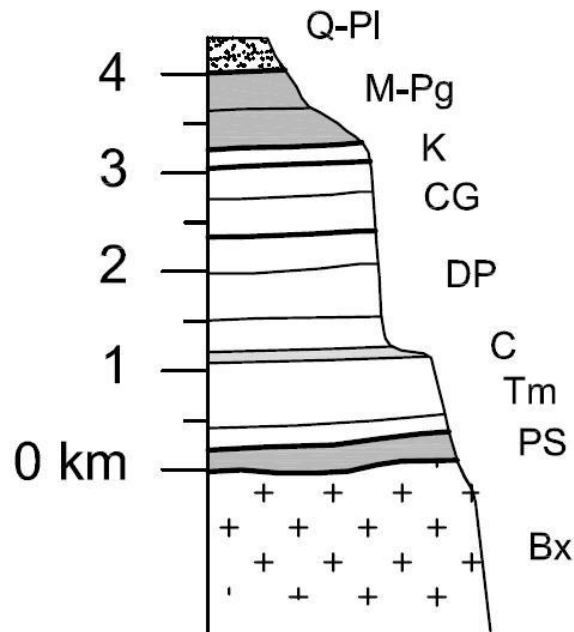
- Temperatura dei fluidi
- Profondità di prelievo
- Portate di emungimento - attenzione alla sostenibilità ambientale e agli impatti legati alla restituzione

Potenzialità idrica termale	Distretto termale	condizioni
		Profondità medie di prelievo < 150 m
BASSA	Distretto A	Portate di emungimento < 100 l/s
		Temperatura dei fluidi < 31 °C
		Profondità medie di prelievo < 150 m
MEDIO - BASSA	Distretto B – pianura atesina	Portate di emungimento < 100 l/s
		Temperatura dei fluidi < 46 °C
		Profondità medie di prelievo < 200 m
MEDIA	Distretto B – ambito morenico	Portate di emungimento < 300 l/s
		Temperatura dei fluidi < 52 °C

Il chimismo delle acque dipende da diversi fattori

Le acque delle acque calde del veronese e di Sirmione sono caratterizzate da una particolare composizione salina la cui natura e concentrazione è riconducibile a:

- alla tipologia delle rocce attraversate
- ai lunghi tempi di giacenza nel sottosuolo
- ai valori di temperatura e di pressione dell'acquifero
- ai mescolamenti tra acque di circuiti idrodinamici diversi
- alla composizione idrica iniziale prima dell'infiltrazione nel sottosuolo



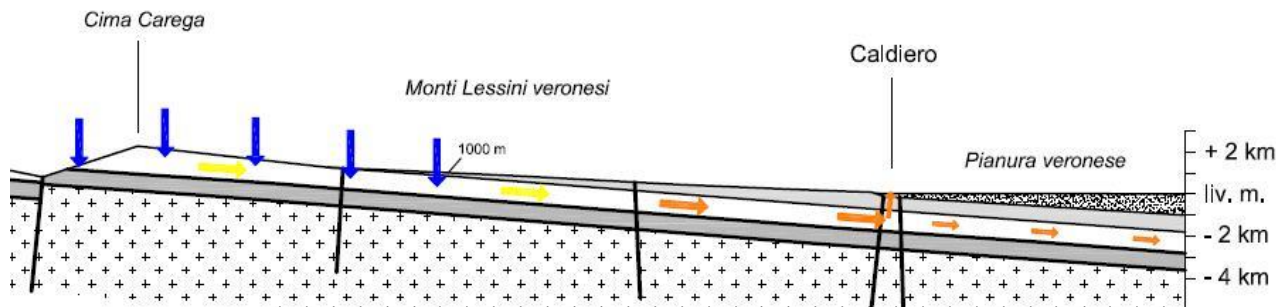
Legenda:

Q-PI	unità quaternarie e plioceniche
M-Pg	unità mioceniche-paleogeniche
K	unità cretache
CG	Calcarei grigi
DP	Dolomia Principale
C	unità carniche
Tm	unità del Triassico medio
PS	unità permo-scitiche
Bx	basamento scistoso-cristallino

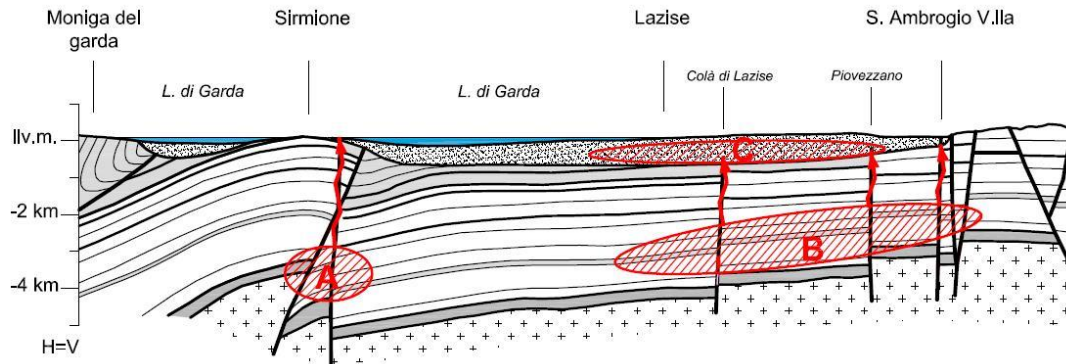
Le differenze chimiche tra i distretti termali

L'assetto tettonico dei distretti termali del veronese determina condizioni idrogeologiche diverse per le rocce serbatoio e pertanto le acque termali acquistano particolari contenuti salini:

- > **Distretto termale A:** il bacino idrotermale è sviluppato nella Dolomia Principale
- > **Distretto termale B:** i bacini idrotermali risentono soprattutto del raddoppiamento della serie stratigrafica triassica, di una maggiore profondità e quindi di percorsi e di tempi di giacenza più lunghi



Distretto A sp. 800m



Distretto B sp. 1.700 + 900 m

ASPETTI PRINCIPALI DEL CHIMISMO DELLE ACQUE

Ambito	Distretto A		Distretto B	
	TEMPERATURA [°C]	CLASSIFICAZIONE	TEMPERATURA [°C]	CLASSIFICAZIONE
PIANURA ATESINA	12 ÷ 14	BICARBONATO CALCICA- MAGNESIACA	12 ÷ 14	BICARBONATO CALCICA- MAGNESIACA
	24 ÷ 31	BICARBONATO CALCICA- MAGNESIACA	15 ÷ 30	BICARBONATO CALCICA- ALCALINA
			31 ÷ 46	CLORURATO SOLFATO-CALCICA
AREA MORENICA			15 ÷ 36	BICARBONATO CALCICA- MAGNESIACA
			40 ÷ 52	CLORURATO SODICA

Grazie per l'attenzione



Enrico Castellaccio
www.geologiaveronese.it
www.geotermiaveronese.it