



GEO 200

I 200 anni dell'utilizzo industriale del sito di Larderello: una geotermia sostenibile – Pisa 7-8.05.2018

Misure di flusso di CO₂ nella prospezione geotermica

RELATORE: Francesco Frondini – Università degli Studi di Perugia

La presentazione riporta i risultati di molti ricercatori che collaborano alle tematiche dei flussi terrestri di CO₂ e della geotermia, fra questi:

Giovanni Chiodni (INGV, BO), Rosario Avino (INGV, Na), Giulio Beddini (UniPg), Stefano Caliro (INGV, Na), Carlo Cardellini (UniPg), Giovanni Chiodini (INGV, BO), Marco Donnini (CNR-IRPI), Angelo Rosiello (UniPg), Dmitri Rouwet (INGV, BO), Giancarlo Tamburello (INGV, BO).

Misure di flusso di CO₂ nella prospezione geotermica

OUTLINE

1. Anomalie di CO₂ nelle acque di falda e presenza di strutture permeabili profonde di possibile interesse geotermico
2. Flusso diffuso di CO₂ e stima del calore rilasciato da sistemi idrotermali
3. Emissioni fredde di CO₂ dai sistemi geotermici in Italia centrale: i casi di Larderello e Torre Alfina.

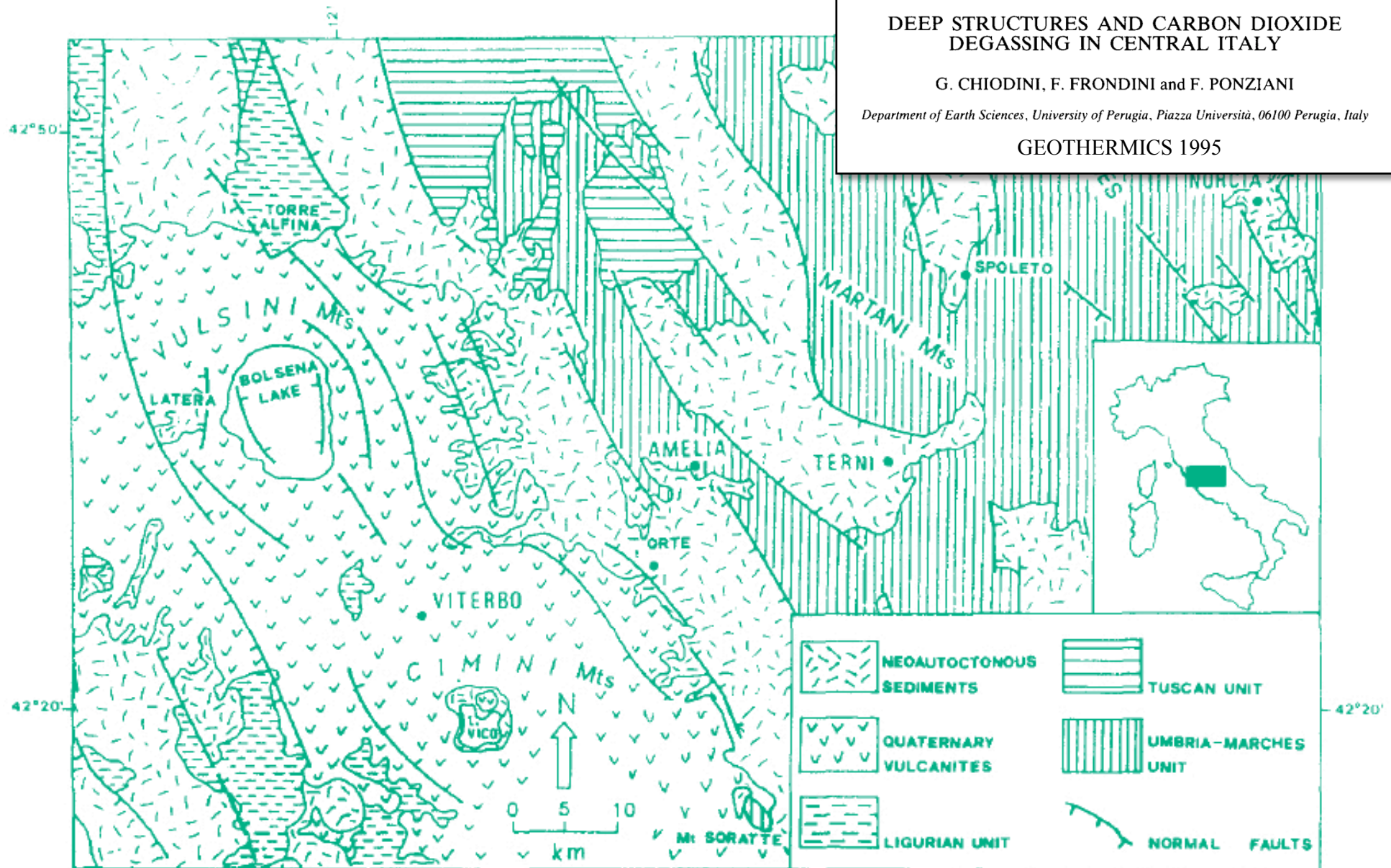
1) Anomalie di CO₂ nelle acque di falda e strutture permeabili profonde

DEEP STRUCTURES AND CARBON DIOXIDE DEGASSING IN CENTRAL ITALY

G. CHIODINI, F. FRONDINI and F. PONZIANI

Department of Earth Sciences, University of Perugia, Piazza Università, 06100 Perugia, Italy

GEO THERMICS 1995



1) Anomalie di CO₂ nelle acque di falda e strutture permeabili profonde

DEEP STRUCTURES AND CARBON DIOXIDE DEGASSING IN CENTRAL ITALY

G. CHIODINI, F. FRONDINI and F. PONZIANI

Department of Earth Sciences, University of Perugia, Piazza Università, 06100 Perugia, Italy

GEOTHERMICS 1995



1) Anomalie di CO₂ nelle acque di falda e strutture permeabili profonde

Latera e Torre Alfina.

Confronto tra anomalie di pCO₂ e strutture geologiche note:

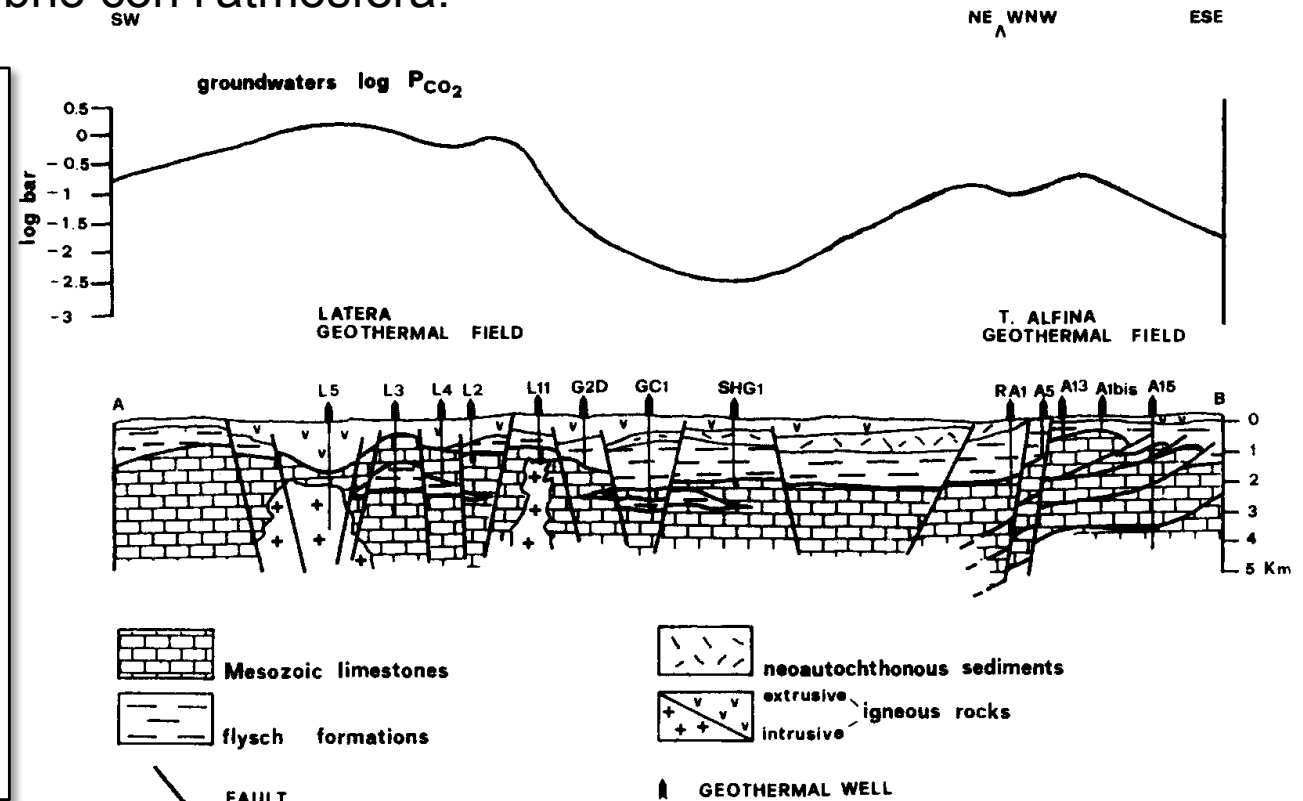
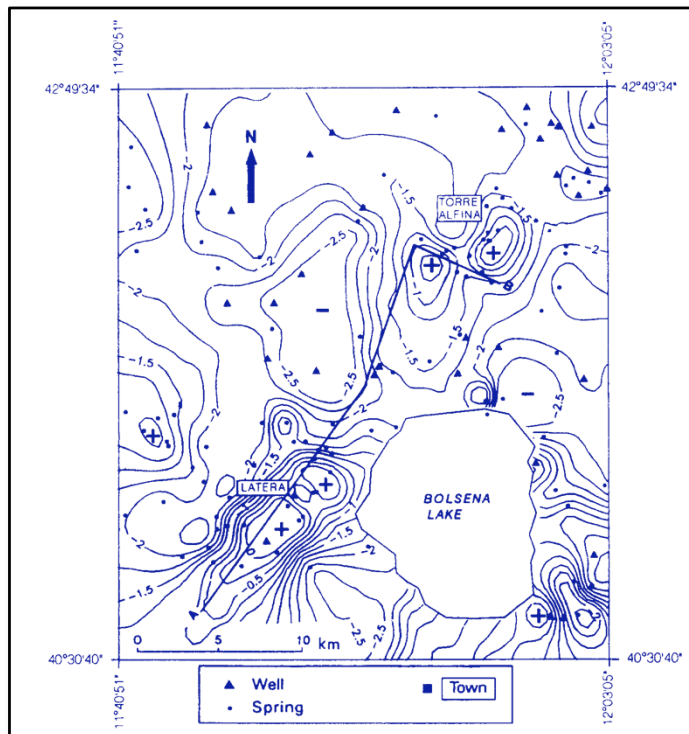
- 1) sostanziale coincidenza tra anomalie di CO₂ in superficie e reservoir geotermici;
- 2) valori di pCO₂, 2-3 ordini di grandezza superiori ai valori di equilibrio con l'atmosfera.

DEEP STRUCTURES AND CARBON DIOXIDE
DEGASSING IN CENTRAL ITALY

G. CHIODINI, F. FRONDINI and F. PONZIANI

Department of Earth Sciences, University of Perugia, Piazza Università, 06100 Perugia, Italy

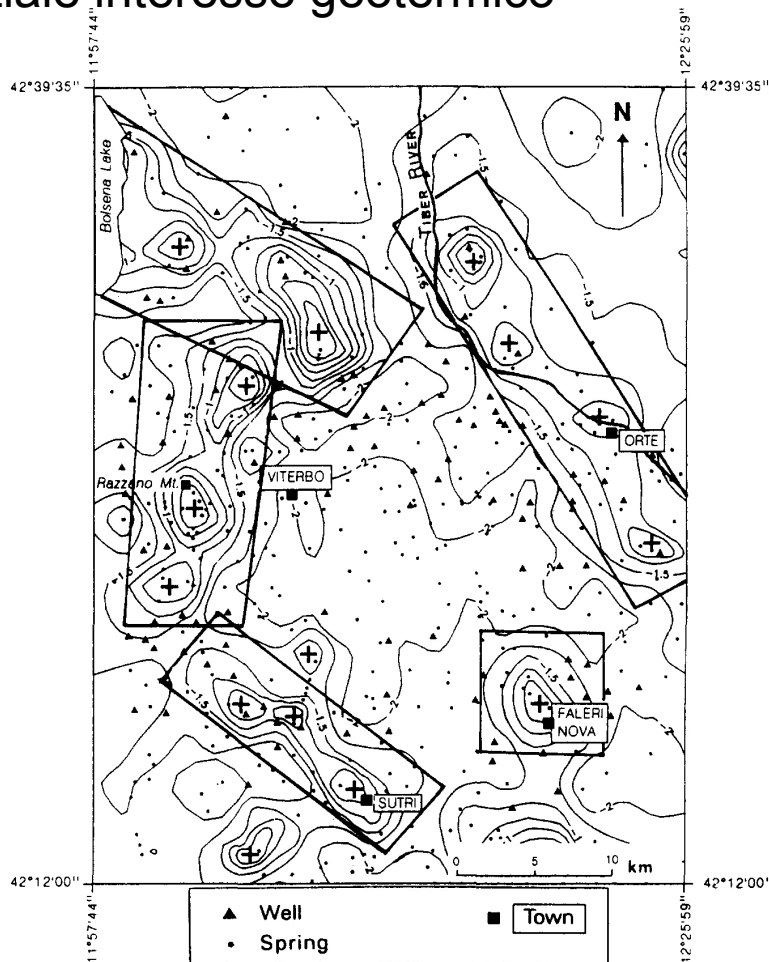
GEO THERMICS 1995



1) Anomalie di CO₂ nelle acque di falda e strutture permeabili profonde

Studio a scala regionale

La coincidenza tra anomalie di pCO₂, e anomalie gravimetriche di Bouger positive (o di altri parametri geofisici) può indicare le aree di potenziale interesse geotermico

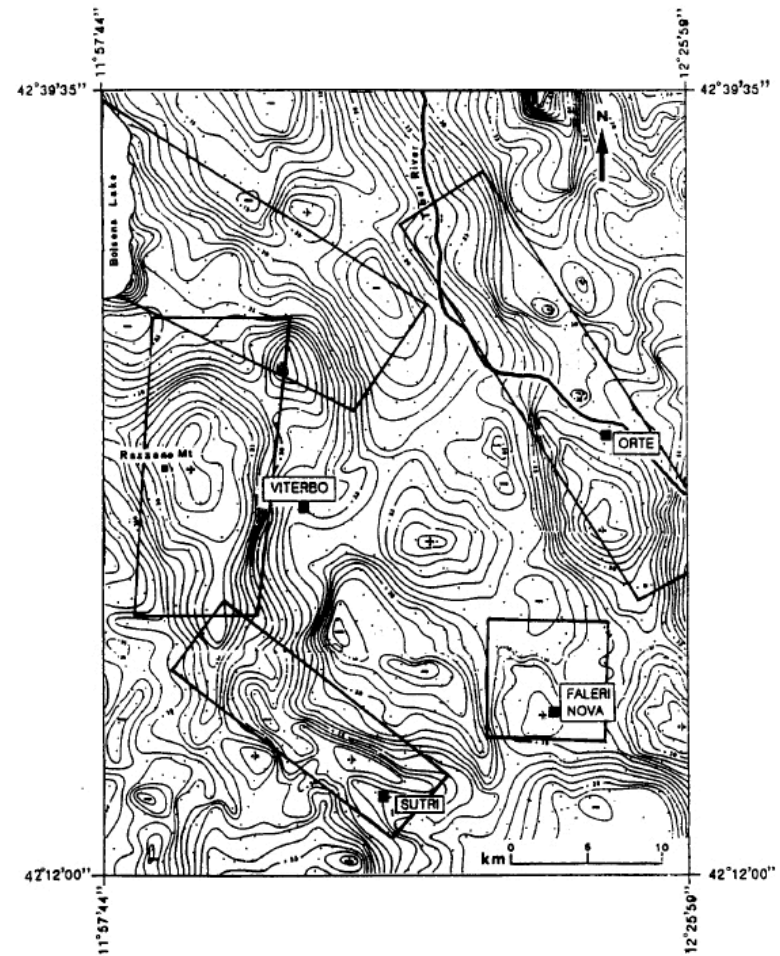


DEEP STRUCTURES AND CARBON DIOXIDE
DEGASSING IN CENTRAL ITALY

G. CHIODINI, F. FRONDINI and F. PONZIANI

Department of Earth Sciences, University of Perugia, Piazza Università, 06100 Perugia, Italy

GEOTHERMICS 1995

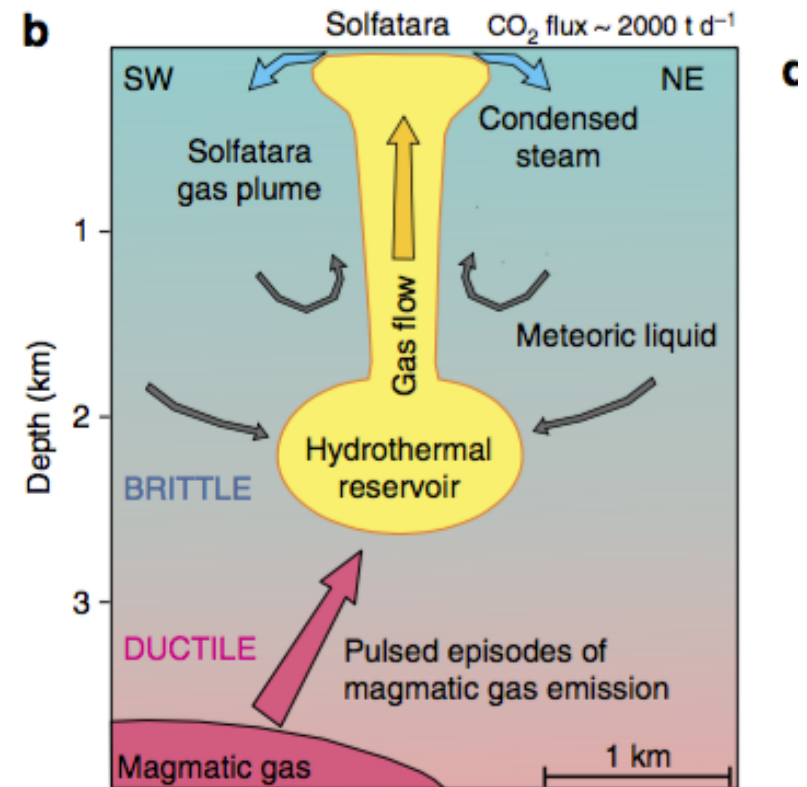


2) Flusso diffuso di CO₂ e stima del calore rilasciato da sistemi idrotermali

CO₂ degassing and energy release at Solfatara volcano, Campi Flegrei, Italy

G. Chiodini,¹ F. Frondini,² C. Cardellini,² D. Granieri,¹ L. Marini,³ and G. Ventura
Journal of Geophysical Research, 2001

1. STIMA DEL FLUSSO DI CO₂
2. STIMA DELLA QUANTITA' DI ACQUA DAL RAPPORTO CO₂/H₂O DELLE FUMAROLE
3. CALCOLO DELL'ENERGIA TRASPORTATA IN SUPERFICIE DAL FLUIDO



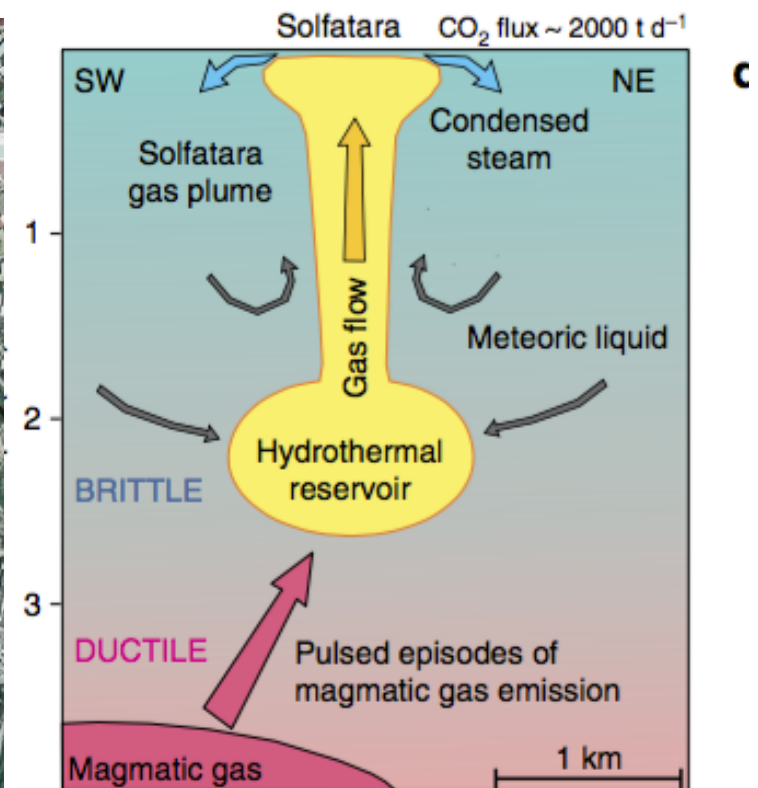
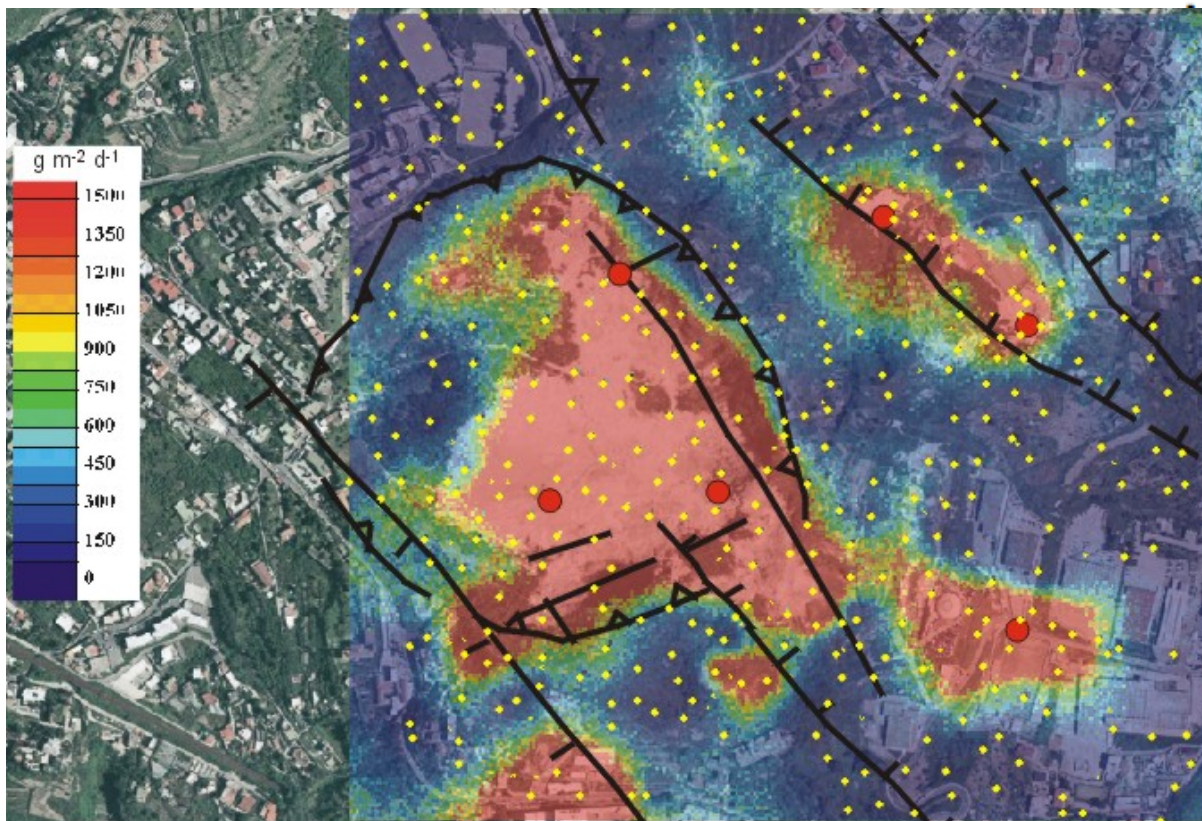
2) Flusso diffuso di CO₂ e stima del calore rilasciato da sistemi idrotermali

CO₂ degassing and energy release at Solfatara volcano, Campi Flegrei, Italy

G. Chiodini,¹ F. Frondini,² C. Cardellini,² D. Granieri,¹ L. Marini,³ and G. Ventura
Journal of Geophysical Research, 2001

1. STIMA DEL FLUSSO DI CO₂

- Circa 400 misure con il metodo della camera di accumulo (Chiodini et al., 1996)
- Trattazione statistica dei dati (sGs)
- Stima del flusso di CO₂ (circa 1524 t/d nel 2001; > 2000 t/d oggi - Cardellini et al 2017)



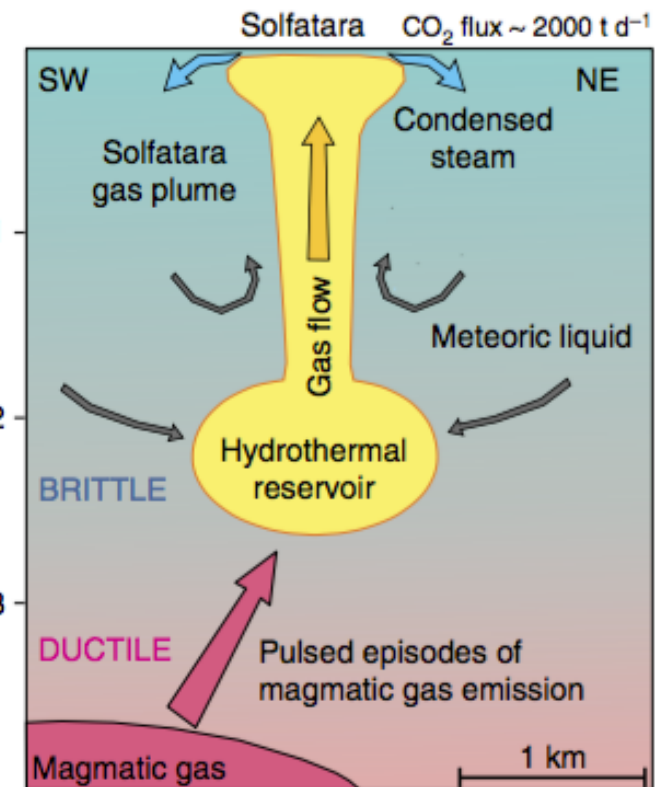
2) Flusso diffuso di CO₂ e stima del calore rilasciato da sistemi idrotermali

CO₂ degassing and energy release at Solfatara volcano, Campi Flegrei, Italy

G. Chiodini,¹ F. Frondini,² C. Cardellini,² D. Granieri,¹ L. Marini,³ and G. Ventura
Journal of Geophysical Research, 2001

2. STIMA DELLA QUANTITA' DI ACQUA DAL RAPPORTO CO₂/H₂O DELLE FUMAROLE

- Dalle analisi delle fumarole a 160 °C H₂O/CO₂=2.2±0.1 in peso
- Flusso H₂O = 1500*2.2 = 3353 t/giorno



C

CO₂ degassing and energy release at Solfatara volcano, Campi Flegrei, Italy

G. Chiodini,¹ F. Frondini,² C. Cardellini,² D. Granieri,¹ L. Marini,³ and G. Ventura
Journal of Geophysical Research, 2001

3. CALCOLO DELL'ENERGIA TRASPORTATA IN SUPERFICIE DAL FLUIDO

Trascurando il calore trasportato dalle specie gassose minori, il FLUSSO DI CALORE ADVETTIVO, legato ad acqua e anidride carbonica è pari a **1.19 10¹³ J/d (138 MW)**

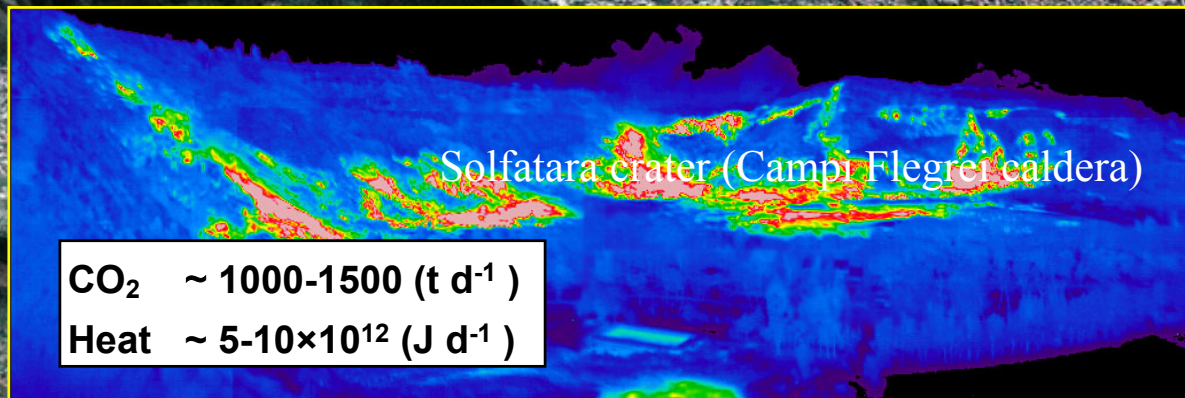
Tale valore è dato dalla somma di 4 contributi:

- il calore rilasciato da H₂O gas muovendosi dal sistema idrotermale alla zona di condensazione (1.90×10^{12} J/d);
- il calore rilasciato da CO₂ muovendosi dal sistema idrotermale alla zona di condensazione (1.16×10^{12} J/d);
- il calore rilasciato dal processo di condensazione dell'acqua a 100°C condensazione (7.57×10^{12} J/d);
- Il calore rilasciato dall'acqua liquida nel raffreddamento da 100°C alla temperatura ambientale (1.25×10^{12} J/d);

A) Gran parte del calore (circa il 90%) è trasportato e rilasciato dall'acqua;

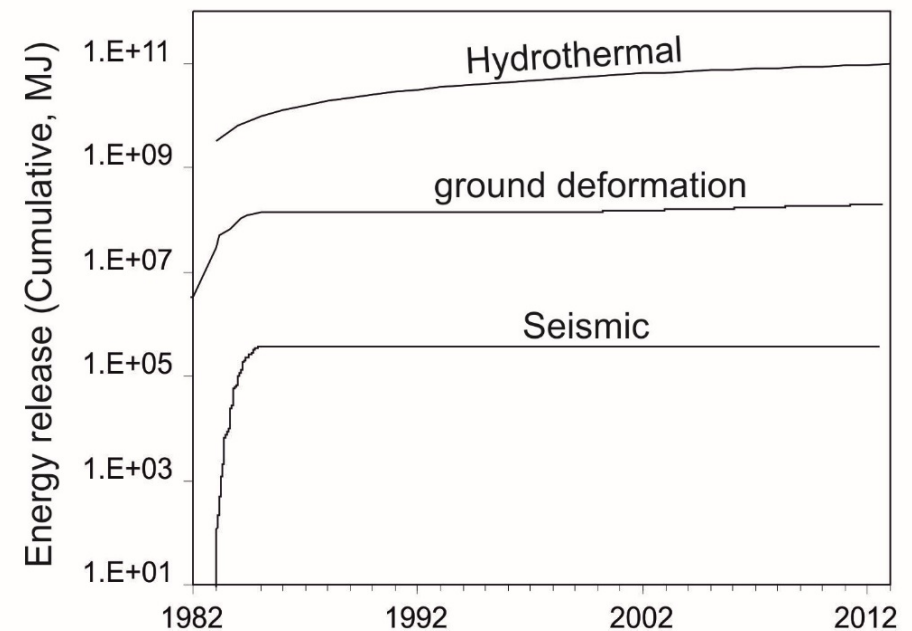
B) Di questo circa il 75% è rilasciato durante la condensazione

Output idrotermale ai Campi Flegrei



L'energia rilasciata alla Solfatara negli ultimi 30 anni è molto maggiore di:

- del flusso di calore conduttivo dell'intera caldera dei Campi Flegrei ($1-2 \times 10^{12}$ J d⁻¹)
- del'energia sismica rilasciata dai terremoti
- del'energia legata alla deformazione del suolo durante i bardisismi (includendo anche la crisi del 1982-1984)



Carbon dioxide diffuse degassing and estimation of heat release from volcanic and hydrothermal systems

G. Chiodini, D. Granieri, R. Avino, S. Caliro, and A. Costa

Osservatorio Vesuviano, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Naples, Italy

C. Werner

Institute of Geological and Nuclear Sciences, Taupo, New Zealand

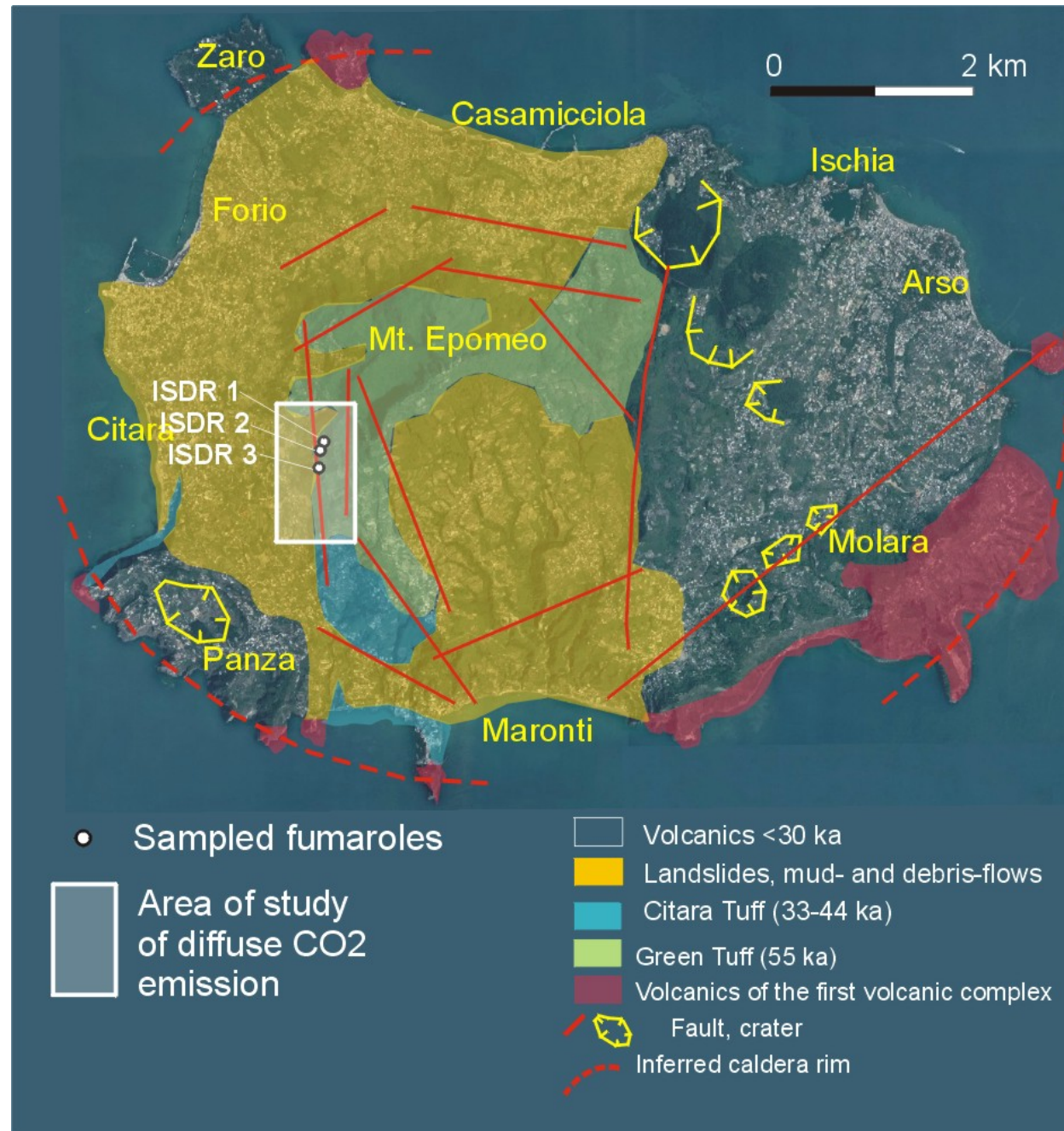
...using the CO₂ soil fluxes as a tracer of the deep fluids...

$$Q_H \sim F_{CO_2} \times R_{H_2O/CO_2} \times (H_{v,100} - H_{l,20})$$

structures (2005) located in eight volcanic systems in the world were sampled and analyzed. Furthermore, each area was measured for soil temperature gradients and for soil CO₂ fluxes. The results show that each hydrothermal or volcanic system is characterized by a typical source fluid which feeds both the fumaroles and diffuse degassing through the soil. Experimental data and the results of physical numerical modeling of the process demonstrate that the heat released by condensation of steam at depth is almost totally transferred by conduction in the uppermost part of the soil. A linear relationship is observed between the log of the steam/gas ratio measured in the fumaroles and the log of the ratio between soil thermal gradient and soil-gas flux. The main parameter controlling this relation is the thermal conductivity of the soil (K_c). For each area, we computed the values of K_c which range from 0.4 to 2.3 W m⁻¹ °C⁻¹. Using the CO₂ soil fluxes as a tracer of the deep fluids, we estimated that the total heat released by steam condensation in the systems considered varies from 1 to 100 MW.

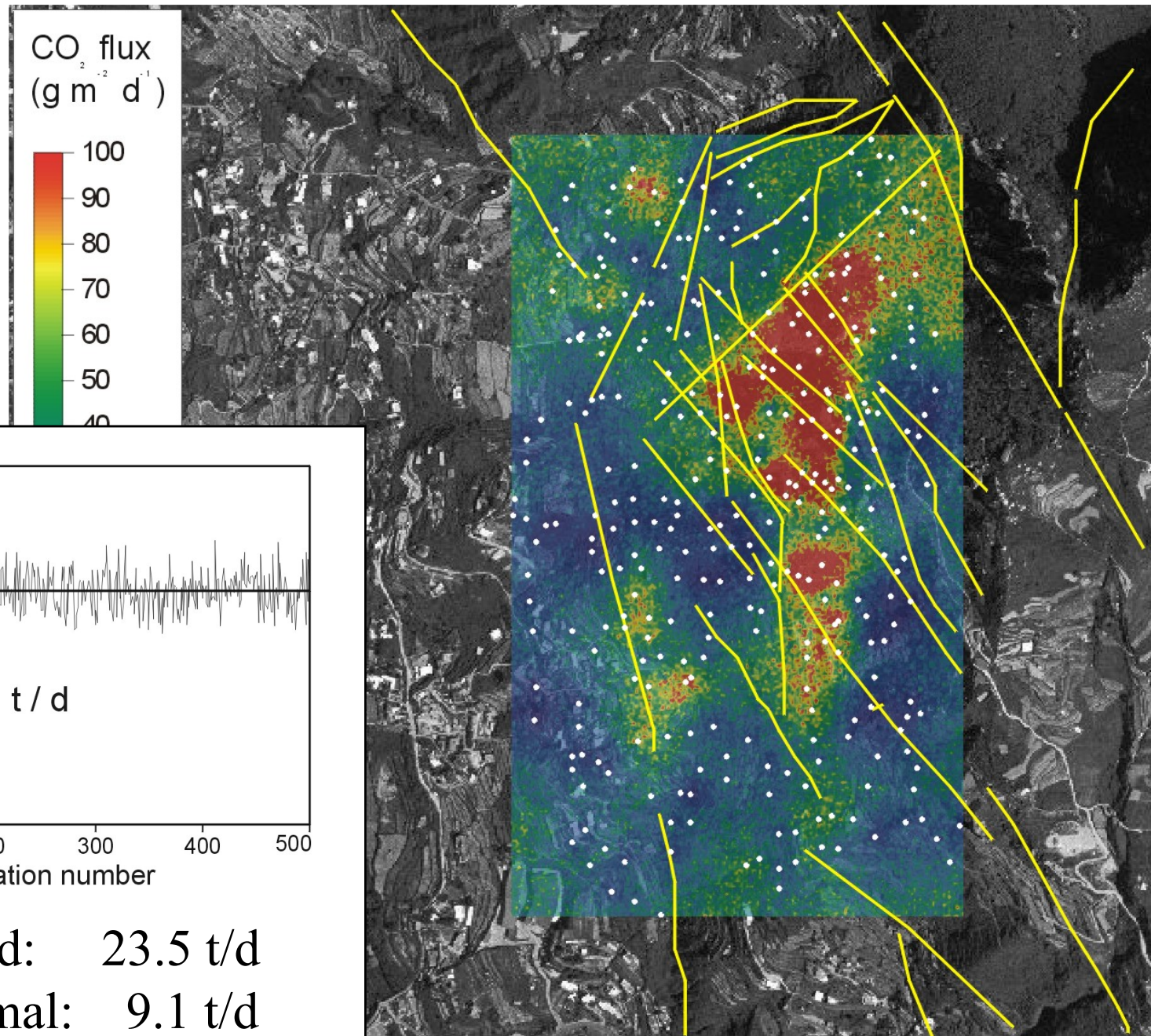
2) Flusso diffuso di CO₂ e stima del calore rilasciato da sistemi idrotermali

Ischia,
April 2001
campaign of
Soil CO₂ flux



2) Flusso diffuso di CO₂ e stima del calore rilasciato da sistemi idrotermali

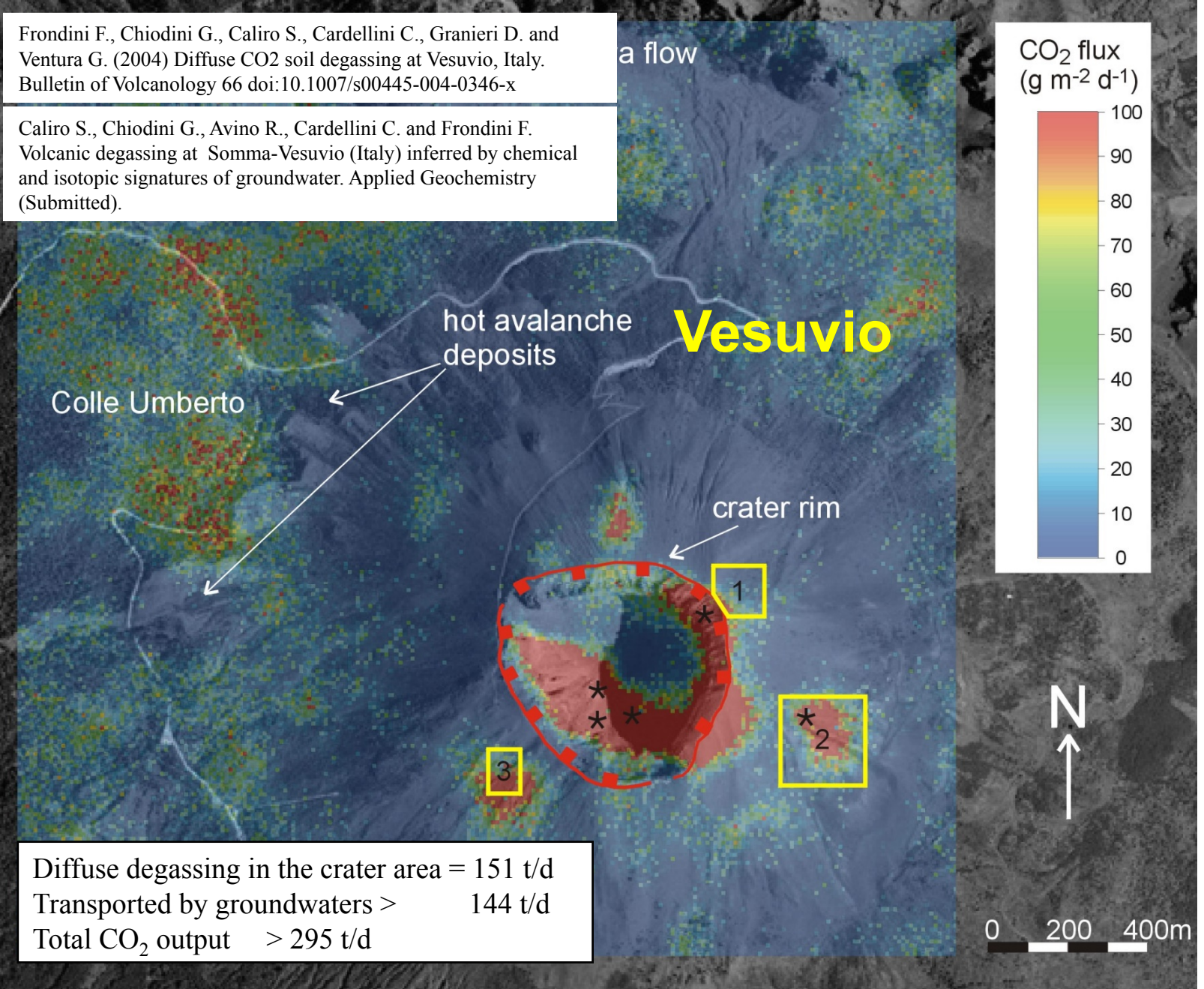
Ischia,
April 2001
campaign of
Soil CO₂ flux



2) Flusso diffuso di CO₂ e stima del calore rilasciato da sistemi idrotermali

CO₂ output (t d⁻¹)

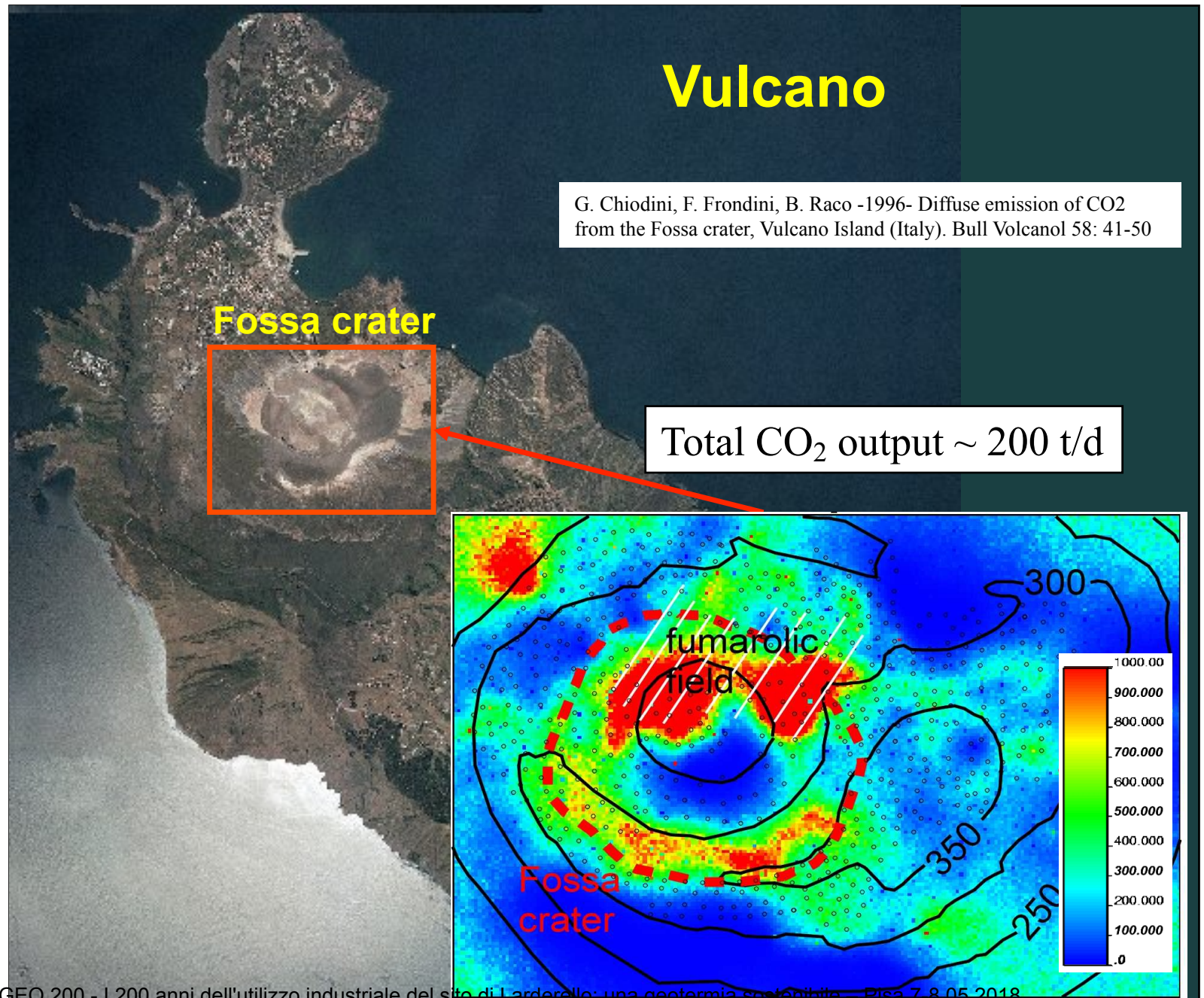
Vesuvio 395



2) Flusso diffuso di CO₂ e stima del calore rilasciato da sistemi idrotermali

CO₂ output (t d⁻¹)

Vulcano 200



Solfatarara di Pozzuoli



The figure shows an aerial photograph of the Solfatarara di Pozzuoli area. A large, irregularly shaped area is overlaid with a color-coded simulation of CO₂ flux. The highest flux (red) is concentrated in the central and eastern parts of the area. The simulation is overlaid on a grid of yellow dots representing measurement locations. Several red dots are also visible, likely representing specific measurement points or simulation nodes. Black lines with arrows indicate geological features or boundaries. A scale bar at the bottom left shows 0, 200, and 400 meters.

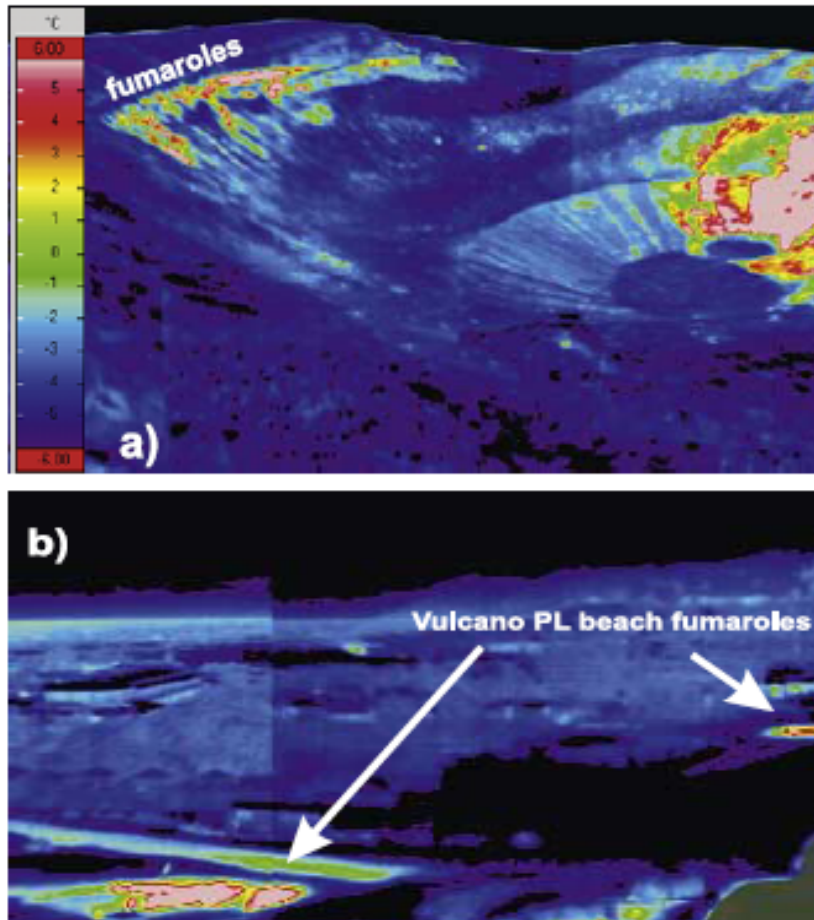
	December 1998	July 2000
n. of measurements	402	414
n. of simulations	200	200
CO ₂ output t/d ($\pm 1\sigma$)	1329 \pm 122	1513 \pm 146

2) Flusso diffuso di CO₂ e stima del calore rilasciato da sistemi idrotermali

Carbon dioxide diffuse degassing and estimation of heat release from volcanic and hydrothermal systems

G. Chiodini, D. Granieri, R. Avino, S. Caliro, and A. Costa
Osservatorio Vesuviano, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Naples, Italy

C. Werner
Institute of Geological and Nuclear Sciences, Taupo, New Zealand



IR immagini di strutture da degassamento diffuso (DDS) a Vulcano (a,b), Vesuvio (c), Solfatara (d) and Nisyros (e,f)

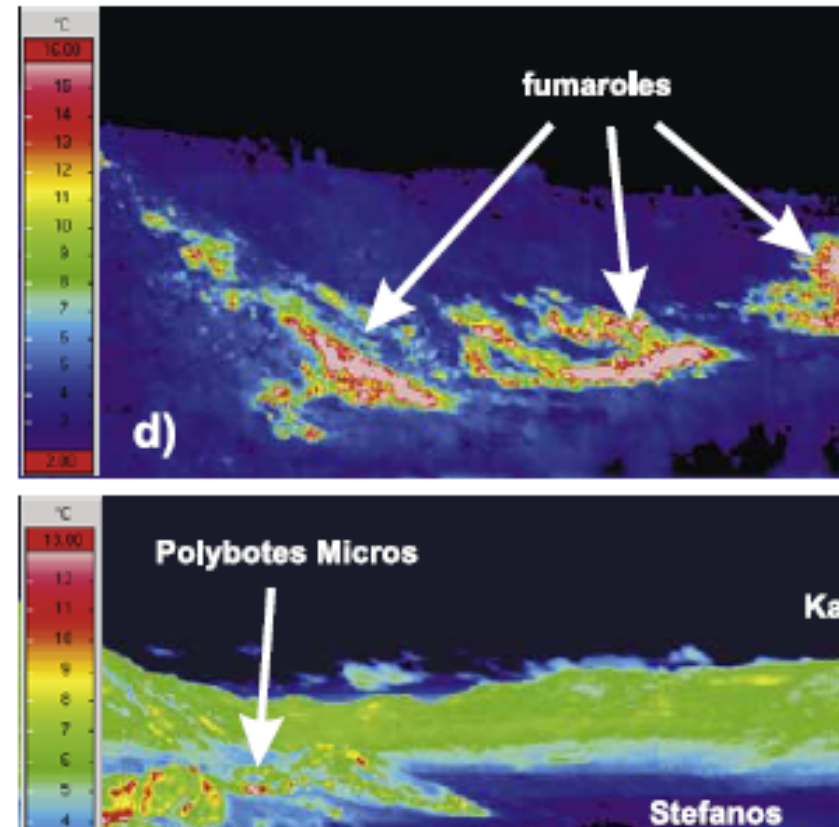
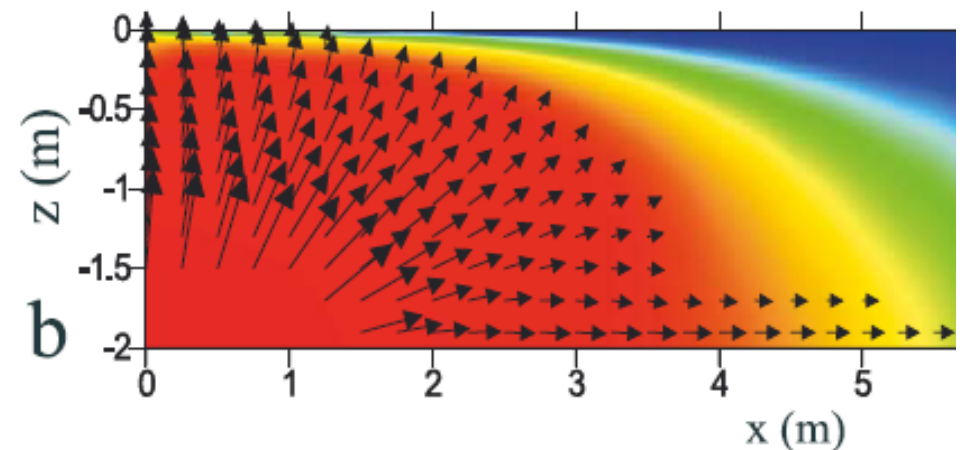
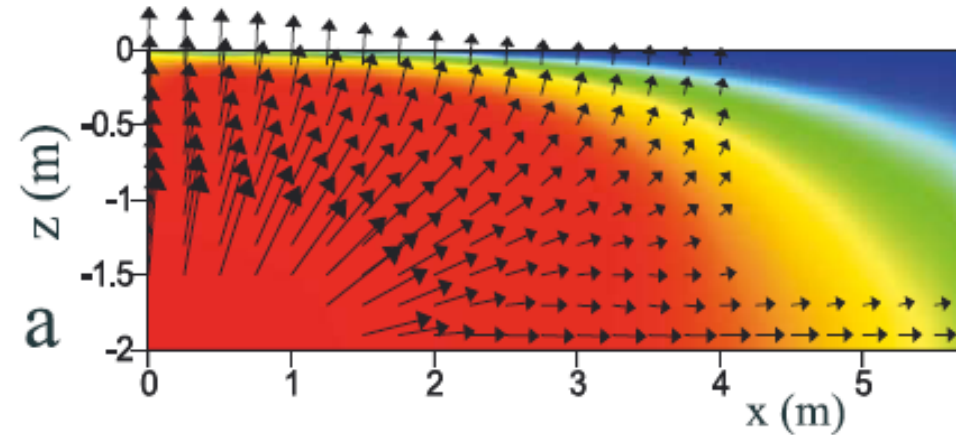
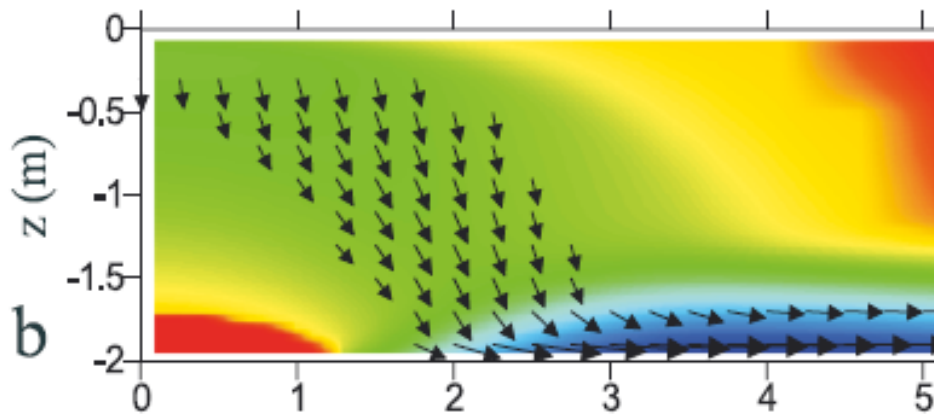
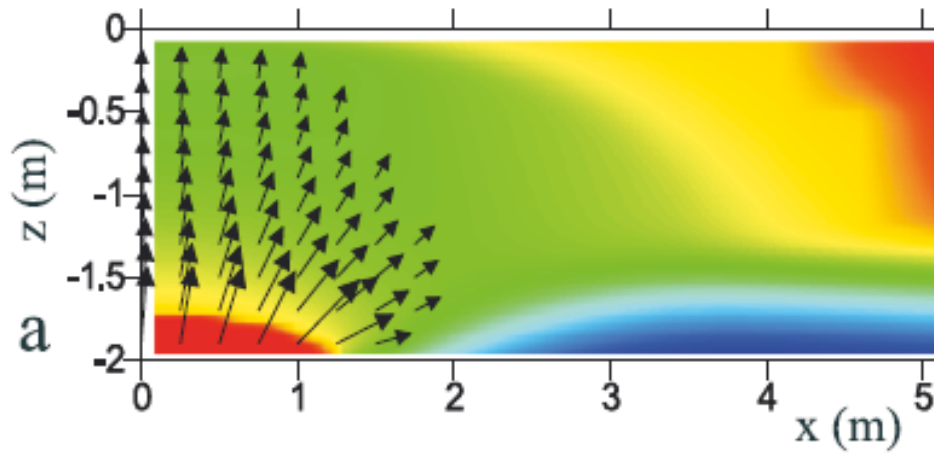
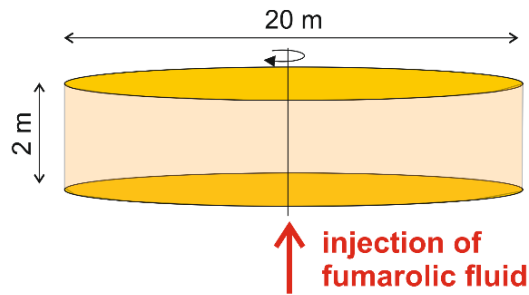


Figure 1. Thermal infrared images of (a) Vulcano crater, (b) Vulcano PL Beach, (c) Vesuvio crater, (d) Solfatara crater, (e) Lakki plain of Nisyros and (f) Stefanos Crater.

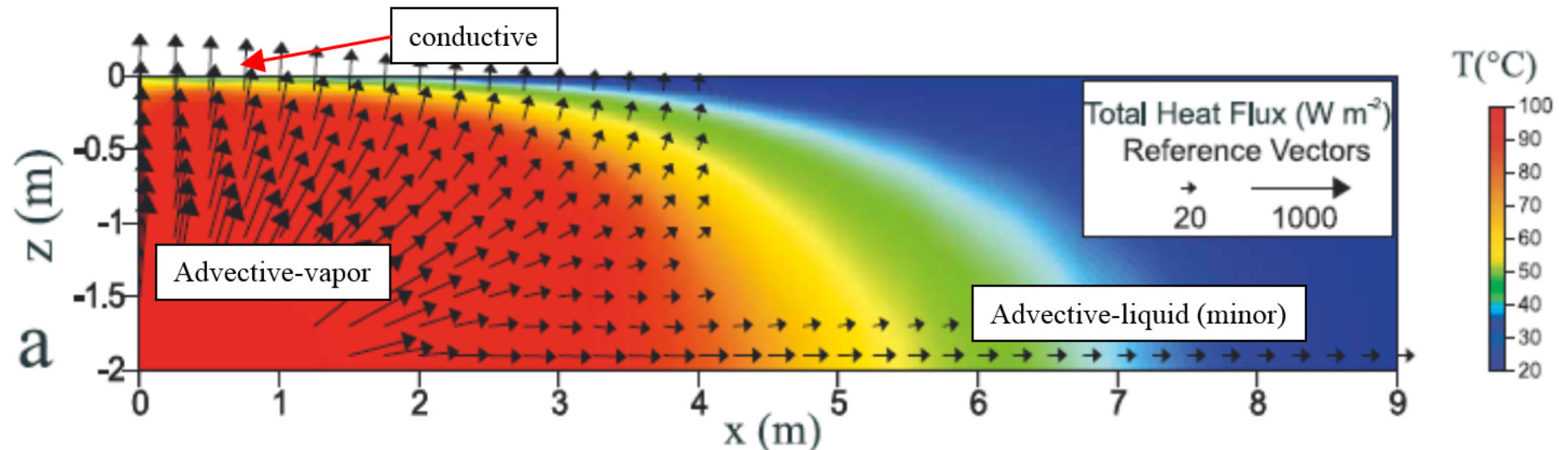
2) Flusso diffuso di CO₂ e stima del calore rilasciato da sistemi idrotermali

Modellazione numerica del processo di degassamento diffuso e del rilascio di energia termica



2) Flusso diffuso di CO₂ e stima del calore rilasciato da sistemi idrotermali

Modellazione numerica del processo di degassamento diffuso e del rilascio di energia termica



2) Flusso diffuso di CO₂ e stima del calore rilasciato da sistemi idrotermali

4.4 Heat transfer in Diffuse Degassing Structures: theoretical considerations and field observations

Assuming conduction is the main mode of heat transfer in the uppermost portion of a soil affected by diffuse degassing, a simple heat balance between the source zone and the conductive zone gives the following equation:

$$K_c \cdot \nabla T \cong Q_{Tj}$$

In superficie il calore (Q_{Tj}) è trasmesso per conduzione

(2)

where the terms on the left represent the heat conducted in the upper part of the soil (K_c = thermal conductivity of the soil, ∇T = average thermal gradient), while Q_{Tj} is the total energy injected at temperature T_j ,

In the injection zone, the total heat flux (Q_{Tj}) is equal to the heat transported by the vapor phase which is approximately given by the heat content of the steam $H_{H_2O(Tj,g)}$ at the injection temperature (T_j) times the steam mass flux ($\phi_{H_2O(Tj)}$). Expressing $\phi_{H_2O(Tj)}$ as a function of ϕ_{GAS} (in mol m⁻² s⁻¹) and of the molar ratio $(x_{H_2O}/x_{GAS})_{Tj}$ of the injected gas mixture, Q_{Tj} is given by:

$$Q_{Tj} \cong \phi_{GAS} \cdot (x_{H_2O}/x_{GAS})_{Tj} \cdot H_{H_2O(Tj,g)}$$

In profondità il calore (Q_{Tj}) è trasportato dal vapore

(3)

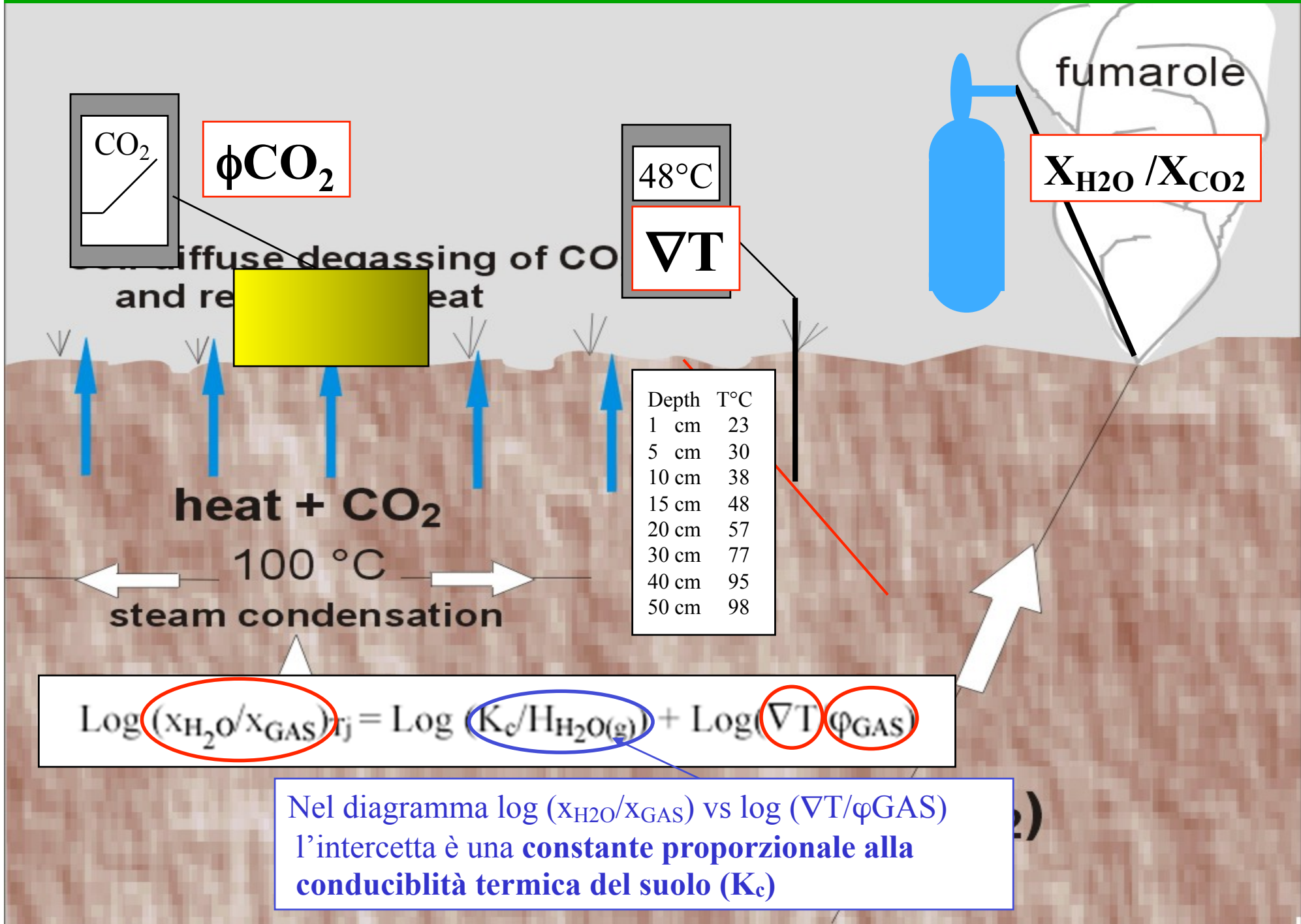
.....
Results of the 2-dimensional simulations and the 1-dimensional theoretical model reported above suggest that almost all of the energy transferred by advection is transferred primarily by conduction in the upper part of the soil, with h_c on the initial content of non-condensable gases. Combining equation (2) in its original form, the following relation is obtained:

$$\text{Log} (x_{H_2O}/x_{GAS})_{Tj} = \text{Log} (K_c/H_{H_2O(g)}) + \text{Log} (\nabla T/\phi_{GAS})$$

Combinando le eqs 2 e 3 in forma logaritmica si ottiene Eq.4. L'equazione mostra che il rapporto tra vapore e gas incondensabile (x_{H_2O}/x_{GAS}) è proporzionale al rapporto tra gradiente termico superficiale (nel suolo) e flusso di gas ($\nabla T/\phi_{GAS}$).

Equation (6) highlights a linear relation between the molar ratios $(x_{H_2O}/x_{GAS})_{Tj}$ of the fluids before condensation and the ratios $\nabla T/\phi_{GAS}$ with a proportional factor equal to $K_c/H_{H_2O(g)}$. Assuming that $H_{H_2O(g)}$ does not significantly vary in the temperature range of interest ($H_{H_2O(g)} \cong 40626 \text{ J mol}^{-1}$), equation (6) describes a family of rectilinear curves with slope ~1 and intercepts proportional to K_c on a $(x_{H_2O}/x_{GAS})_{Tj}$ vs. $\nabla T/\phi_{GAS}$ diagram (Figure 10). Figure 10 demonstrates that the fumarolic x_{H_2O}/x_{GAS} ratios are proportional to the average values of the measured $\nabla T/\phi_{GAS}$ for 30 campaigns in fifteen different DDSs. The measured data plot along the curve $K_c = 1$ and are well correlated ($R^2 = 0.954$).

2) Flusso diffuso di CO₂ e stima del calore rilasciato da sistemi idrotermali



2) Flusso diffuso di CO₂ e stima del calore rilasciato da sistemi idrotermali

B08204

CHIODINI ET AL.: CARBON DIOXIDE DIFFUSE DEGASSING

B08204

Table 2. Summary of Measured and Estimated Parameters in 15 DDSs in the World^a

DDS	Date	Number of Measurements	∇T , °C m ⁻¹	φ_{CO_2} , mol m ⁻² s ⁻¹	$x_{\text{H}_2\text{O}}/x_{\text{GAS}}$	φ_{GAS} , mol m ⁻² s ⁻¹	$\varphi_{\text{H}_2\text{O}}$, mol m ⁻² s ⁻¹	K_s , W m ⁻¹ °C ⁻¹	HF, W m ⁻²
<i>Campi Flegrei Volcanic System</i>									
Solfatara	Mar 1999	30	107	4.79E-04 ^b	5.392	4.87E-04	2.63E-03	1	107
	Apr 1999	30	130	5.99E-04	5.601	6.09E-04	3.41E-03	1.07	139
	May 1999	30	141	5.73E-04	5.597	5.83E-04	3.26E-03	0.94	132
	May 1999	200	160	6.58E-04	5.597	6.68E-04	3.74E-03	0.95	152
	Jun 1999	30	121	4.80E-04	5.593	4.88E-04	2.73E-03	0.92	111
	Jul 2000	94	170	4.80E-04	5.568	4.88E-04	2.72E-03	0.65	108
	Mar 2002	30	171	1.08E-03	5.126	1.10E-03	5.63E-03	1.34	229
<i>Nisyros Volcanic System</i>									
Stefanos	Sep 1999	84	208	7.28E-05	57.824	9.13E-05	5.28E-03	1.03	214
	May 2000	87	183	5.45E-05	57.824	6.91E-05	3.99E-03	0.89	162
	Sep 2000	86	294	7.89E-05	62.83	1.05E-04	6.60E-03	0.91	268
	Feb 2001	73	241	7.87E-05	65.604	1.04E-04	6.79E-03	1.14	276
	May 2001	102	256	5.13E-05	65.334	6.79E-05	4.44E-03	0.7	180
	Sep 2001	88	223	6.37E-05	68.181	8.51E-05	5.80E-03	1.06	236
	Feb 2002	90	180	6.30E-05	71.181	8.51E-05	6.06E-03	1.36	246
	Jul 2002	84	232	3.97E-05	70.669	5.31E-05	3.75E-03	0.66	152
	May 2003	87	223	6.38E-05	72.112	7.47E-05	5.39E-03	0.98	219
SU Area	May 2003	37	286	2.71E-04	38.758	3.12E-04	1.21E-02	1.72	492
Polybotes Micros	May 2001	29	405	6.26E-05	99.357	8.37E-05	8.32E-03	0.83	338
Kaminakia	Sep 2000	28	153	1.18E-04	18.608	1.35E-04	2.52E-03	0.67	102
<i>Masaya Volcanic System^c</i>									
Comalito	Mar 2003	36	64	5.76E-04	0.724	3.10E-03	2.25E-03	1.43	91
<i>Cerro Negro Volcanic System^c</i>									
Cerro Negro	Mar 2003	22	101	9.86E-05	22.05	1.78E-04	3.92E-03	1.58	159
<i>Pantelleria Volcanic System</i>									
Favara Grande	Jul 2004	188	34	2.35E-05	36.773	2.68E-05	9.86E-04	1.19	40
Favara Piccola	Jul 2004	44	178	1.15E-04	26.197	1.40E-04	3.67E-03	0.84	149
<i>Ischia Volcanic System</i>									
Donna Rachele	Oct 2000	61	201	2.50E-05	269.409	2.55E-05	6.87E-03	1.39	279
	May 2001	19	199	2.16E-05	410.769	2.21E-05	9.09E-03	1.86	369
<i>Vulcano Volcanic System</i>									
Crater	Mar 2002	54	60	7.94E-05	17.874	8.67E-05	1.55E-03	1.05	63
PL Beach	Mar 2002	39	100	3.53E-04	8.877	3.65E-04	3.24E-03	1.31	131
PL Beach	Mar 2002	66	65	2.23E-04	15.687	2.34E-04	3.67E-03	2.3	149
<i>Vesuvio Volcanic System</i>									
NE Rim	Feb 2002	21	239	4.87E-04	0.503	2.08E-02	1.04E-02	1.77	424
Bottom	Mar 2002	10	168	2.76E-04	7.976	2.80E-04	2.24E-03	0.54	91

^aMeasured parameters are the number of measurements, thermal gradient ∇T , soil CO₂ flux φ_{CO_2} , and fumarolic molar ratio $x_{\text{H}_2\text{O}}/x_{\text{GAS}}$ and the estimated parameters are soil gas flux φ_{GAS} , steam flux $\varphi_{\text{H}_2\text{O}}$, soil thermal conductivity K_s , and heat flux (HF).

^bRead 4.79E-04 as 4.79×10^{-4} .

^cData collected during the 8th Field Workshop on Volcanic Gases (IAVCEI-CCVG), Nicaragua and Costa Rica, March 2003.

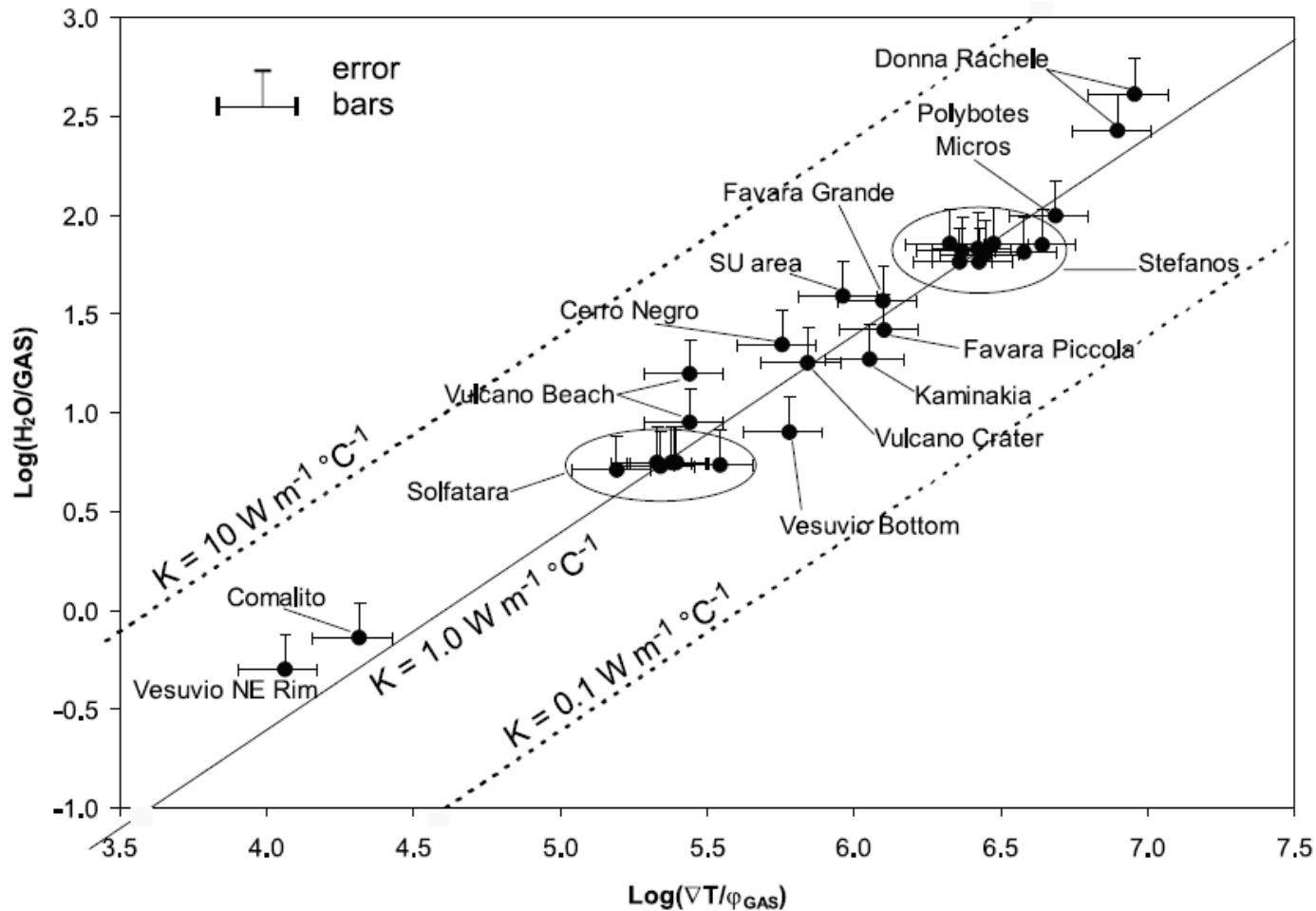


Figure 10. Linear relation among the log ratios $x_{\text{H}_2\text{O}}/x_{\text{GAS}}$ of the fumarolic fluids and the measured log ratios $\nabla T/\varphi_{\text{GAS}}$ for 30 campaigns in 15 different DDSs. Error bars refer to the effects of 50% condensation of the original steam and to an uncertainty of $\pm 30\%$ in the estimation of $\nabla T/\varphi_{\text{GAS}}$ (see text for explanation).

2) Flusso diffuso di CO₂ e stima del calore rilasciato da sistemi idrotermali

Table 4. Total CO₂ Output and Energy Release from DDSs

Volcano, DDS ^a	Date	DDS Area, ^b m ²	CO ₂ , t d ⁻¹	H ₂ O/CO ₂ Fumaroles	Steam, t d ⁻¹	Energy Release, MW
Campi Flegrei, Solfatara	Jul 2000	620,000	1480	2.27	3359.6	100.8
Ischia, Donna Rachele	Apr 2001	57,600	9.1	147	1337.7	40.1
Nisyros, all DDSs	2000–2002	903,000	68	6.1–36	1420	42.6
Vesuvio, cone	Apr 2000	331,000	151	3.66	552.66	16.6
Vulcano, crater	Jul 1998	415,000	158	4.42	698.36	21
Vulcano, PL Beach	Mar 2002	17,700	19	5.24	99.56	3
Pantelleria, Favara Grande	Jul 2004	57,700	7	17.2	120.4	3.6
Masaya, Comalito	Mar 2003	10,300	19	1.6	30.4	0.9
Yellowstone, Mud volcanoes	Aug 1993	400,000	290	3.49	1021.1	30.4

^aThe data of Campi Flegrei, Ischia, Nisyros, Vesuvio, Masaya, and Yellowstone are from the literature [Cardellini *et al.*, 2003; Chiodini *et al.*, 2004; Caliro *et al.*, 2004; Lewicki *et al.*, 2003; Werner and Brantley, 2003]. The data for Vulcano crater, Vulcano PL beach, and Pantelleria are unpublished data of Osservatorio Vesuviano, INGV.

^bThe area of DDS is computed as the area where CO₂ fluxes are the double of local background values.

Nelle diffuse degassing structures (DDS) associate a campi fumarolici, la stima del calore rilasciato può essere fatta Q_H può essere fatta attraverso la relazione:

$$Q_H = F_{CO_2} \times R_{H_2O/CO_2} \times (H_{v,100} - H_{l,20})$$

F_{CO_2} = outpt totale di CO₂ della sorgente idrotermale (in g/s)

R_{H_2O/CO_2} = rapporto in peso H₂O/CO₂ (stimato o misurato dalle fumarole)

$H_{v,100}$ = entalpia del vapore alla temperatura di condensazione (2676 J/g a 100°C)
(o, se possibile, alle condizioni di reservoir)

$H_{l,20}$ = entalpia dell'acqua liquida a temperatura ambiente (83.94 J/g a 20°C)

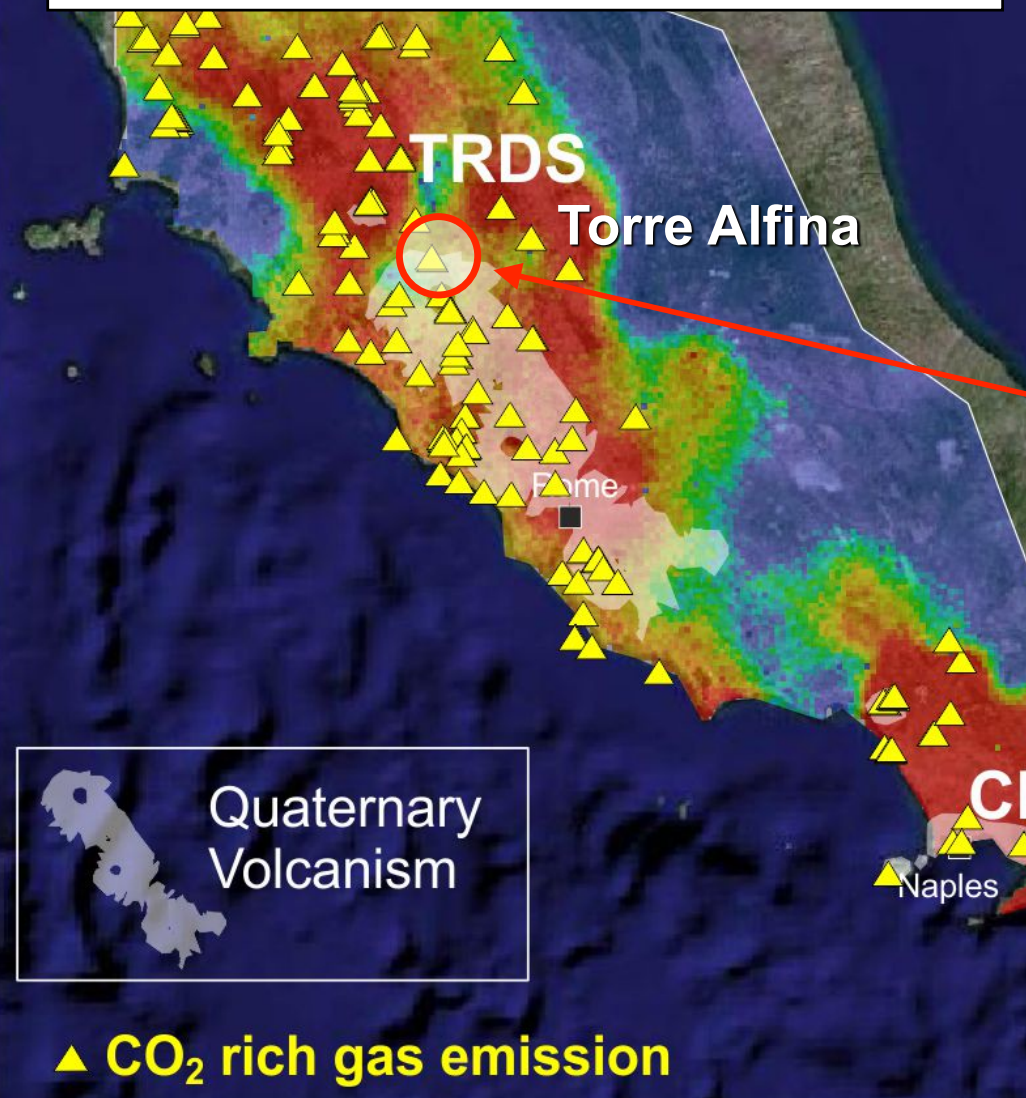
3) Emissioni fredde di CO₂ dai sistemi geotermici in Italia centrale

Metodo di misura

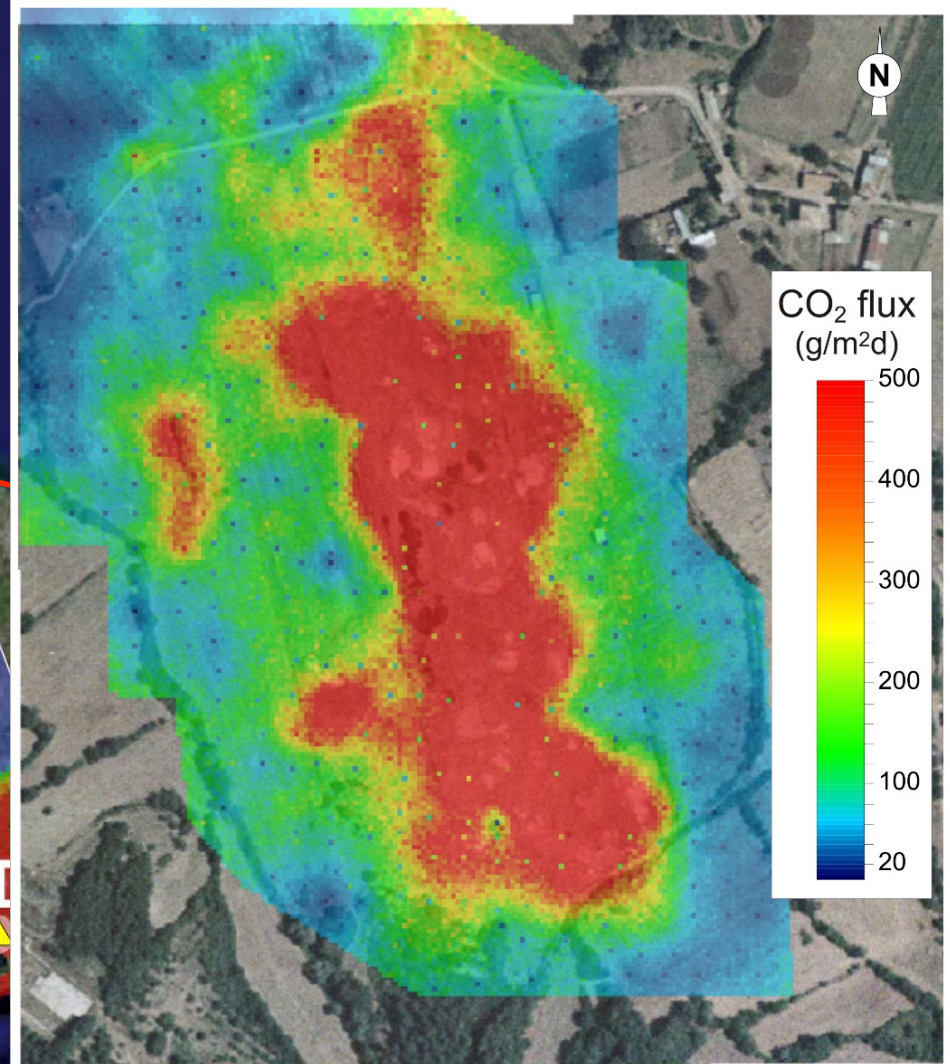
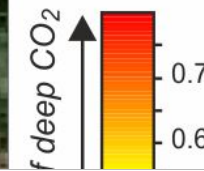
Misurazioni puntuali con il metodo della camera di accumulo

Trattazione geo-statistica dei dati

CO₂ flux ~ 70 t d⁻¹



CO₂ flux
(t d⁻¹ km⁻²)



3) Emissioni fredde di CO₂ dai sistemi geotermici in Italia centrale

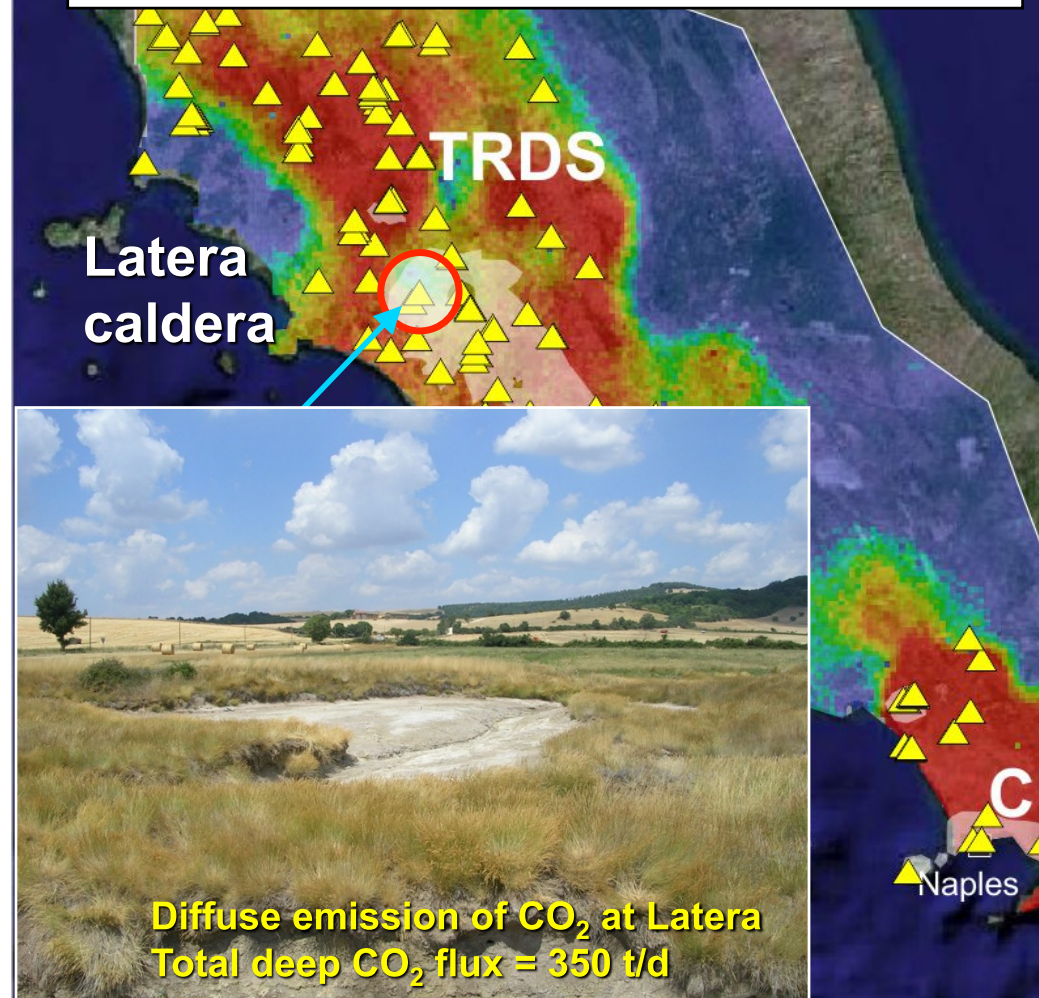
CO₂ flux
(t d⁻¹ km⁻²)

Metodo di misura

Misurazioni puntuali con il metodo della camera di accumulo

Trattazione geo-statistica dei dati

CO₂ flux ~ 350 t d⁻¹

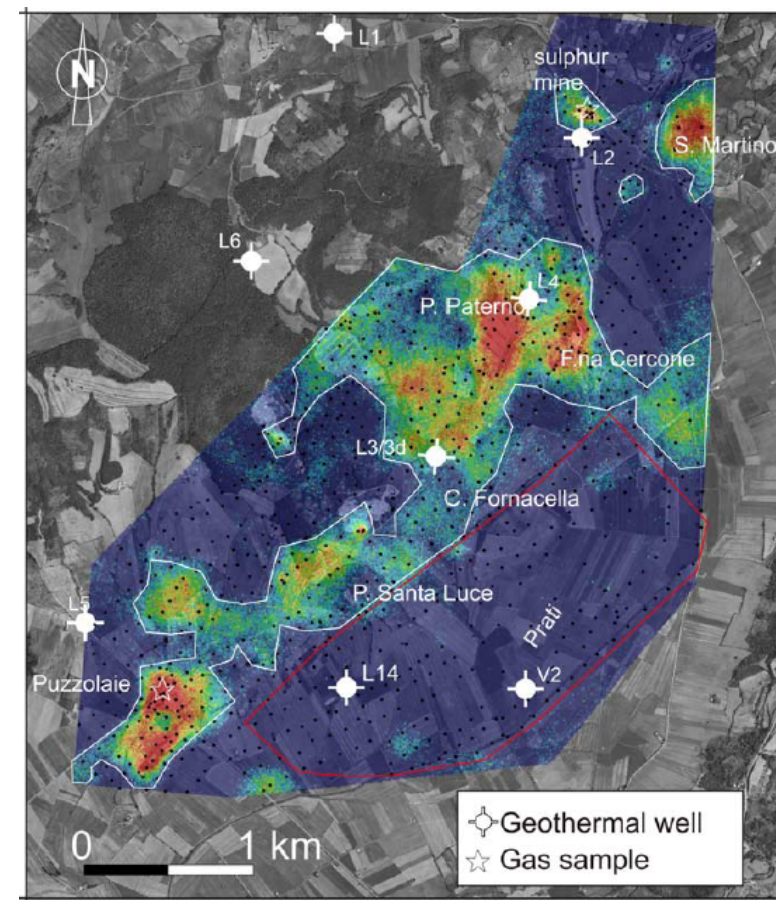


Click Here for Full Article

JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 112, B12204, doi:10.1029/2006JB004896, 2007

Carbon dioxide degassing at Latera caldera (Italy): Evidence of geothermal reservoir and evaluation of its potential energy

G. Chiodini,¹ A. Baldini,² F. Barberi,³ M. L. Carapezza,⁴ C. Cardellini,² F. Frondini,² D. Granieri,¹ and M. Ranaldi³

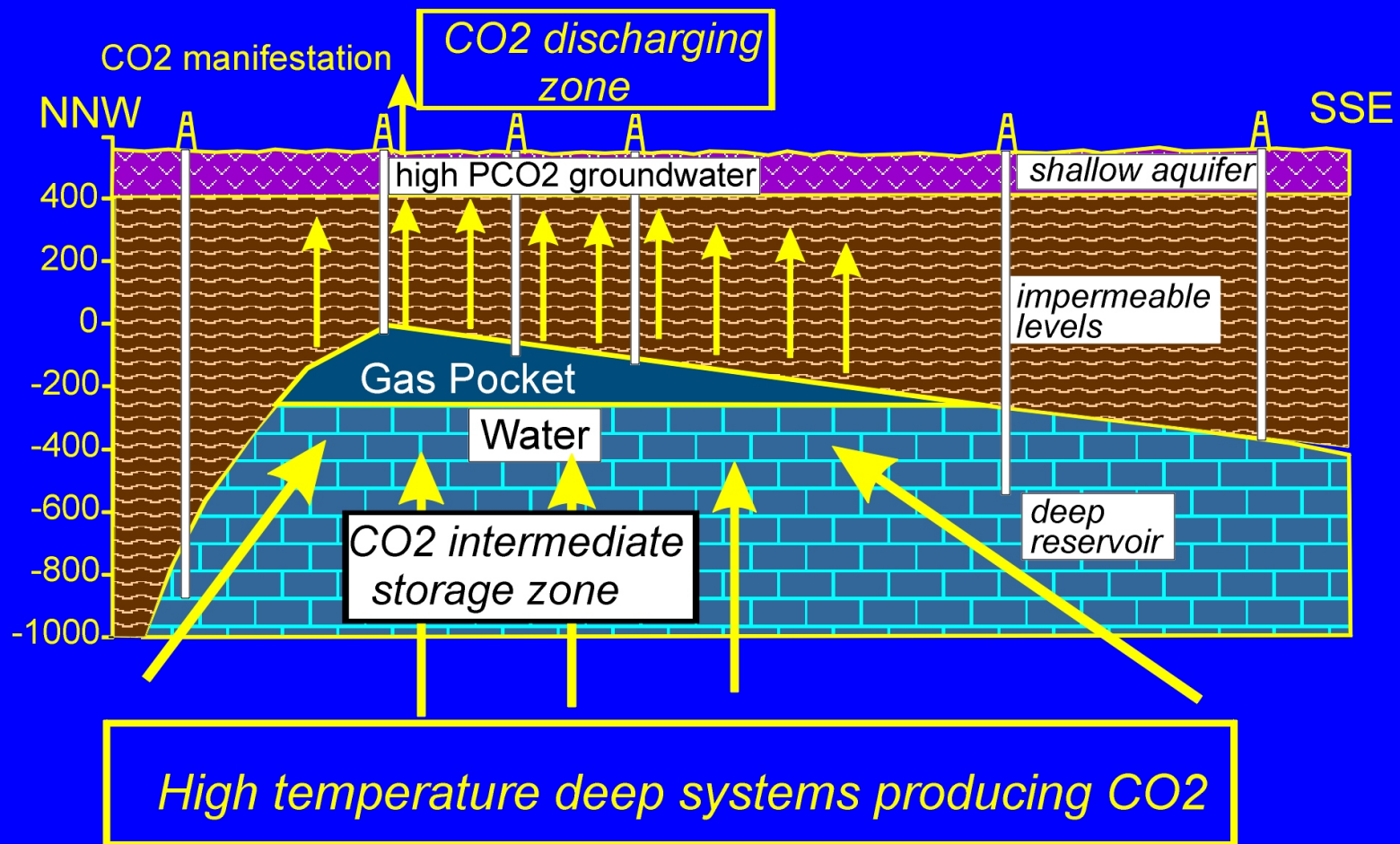


▲ CO₂ rich gas emission

3) Emissioni fredde di CO₂ dai sistemi geotermici in Italia centrale

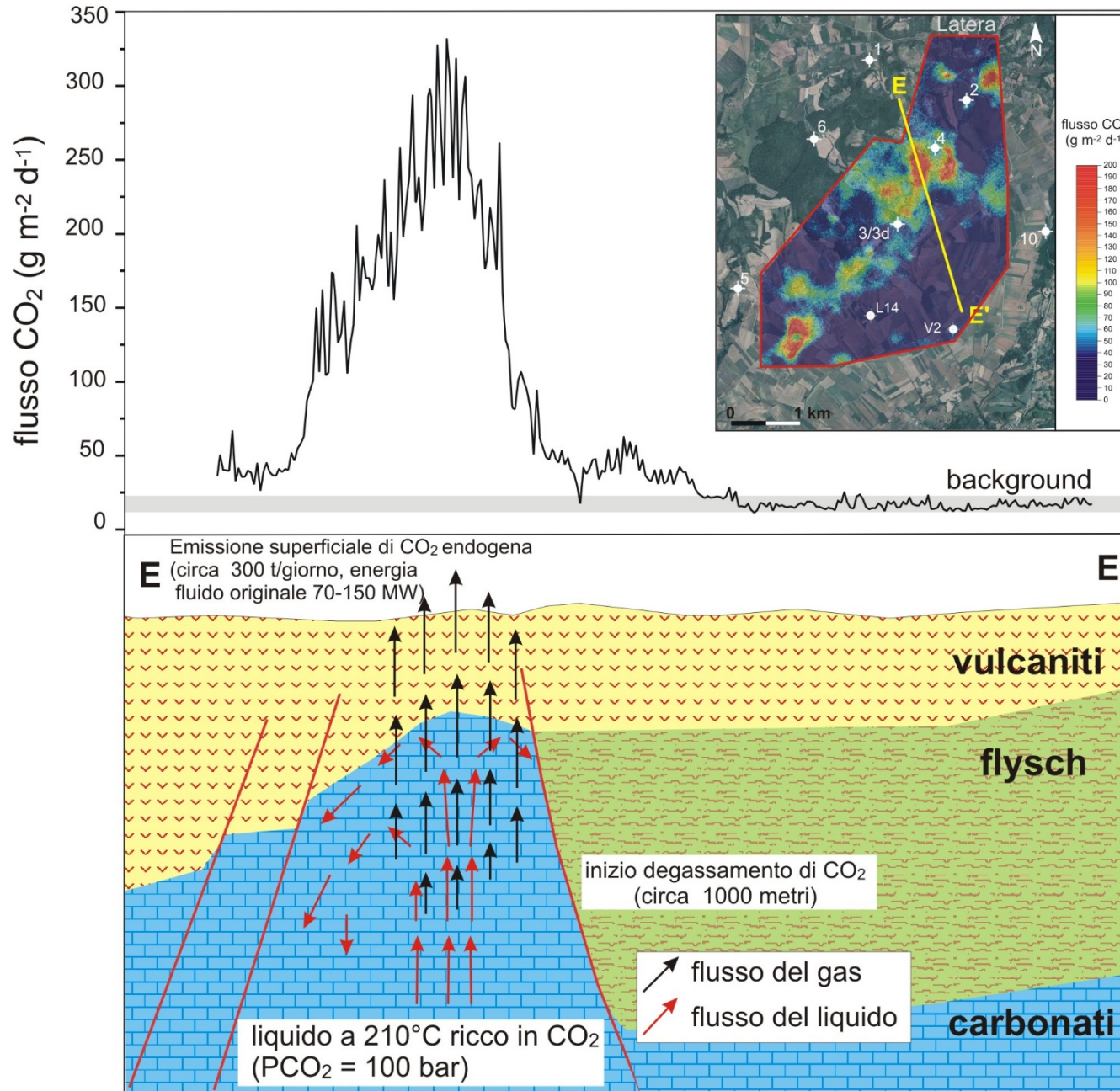
Origine delle emissioni fredde di CO₂ in Italia Centrale

A general model for the CO₂ degassing: the Torre Alfina case



3) Emissioni fredde di CO₂ dai sistemi geotermici in Italia centrale

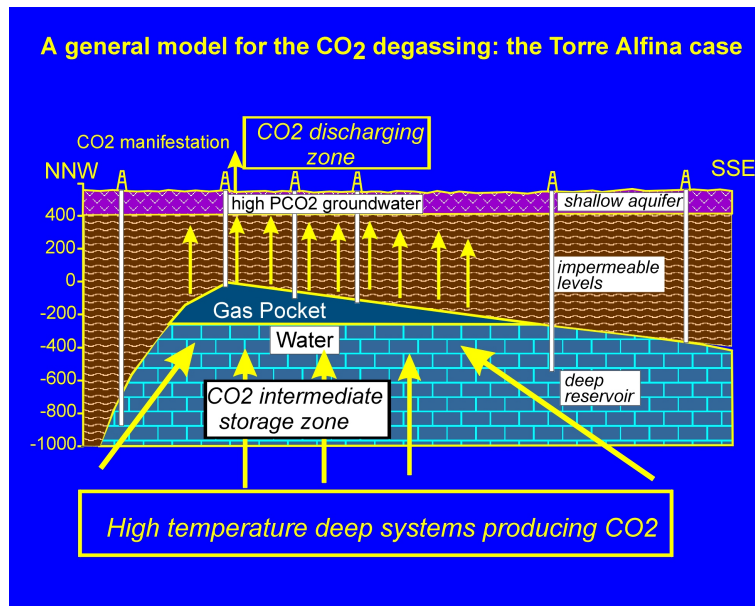
Modello concettuale del sistema di Latera



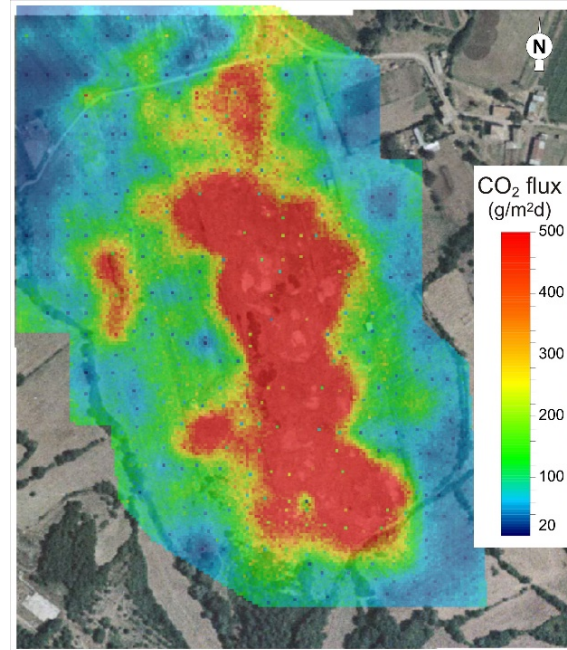
3) Emissioni fredde di CO₂ dai sistemi geotermici in Italia centrale

Dal modello concettuale alla simulazione fisico-numerica (es. TOUGH2)

Modello concettuale del sistema idrotermale basato su misure dirette e/o studi geochimici



Stima del flusso di CO₂ dal sistema idrotermale



Proprietà fisica delle rocce da misure dirette o da studi geologici precedenti

Porosity
Permeability
Density
Heat capacity
Heat conductivity

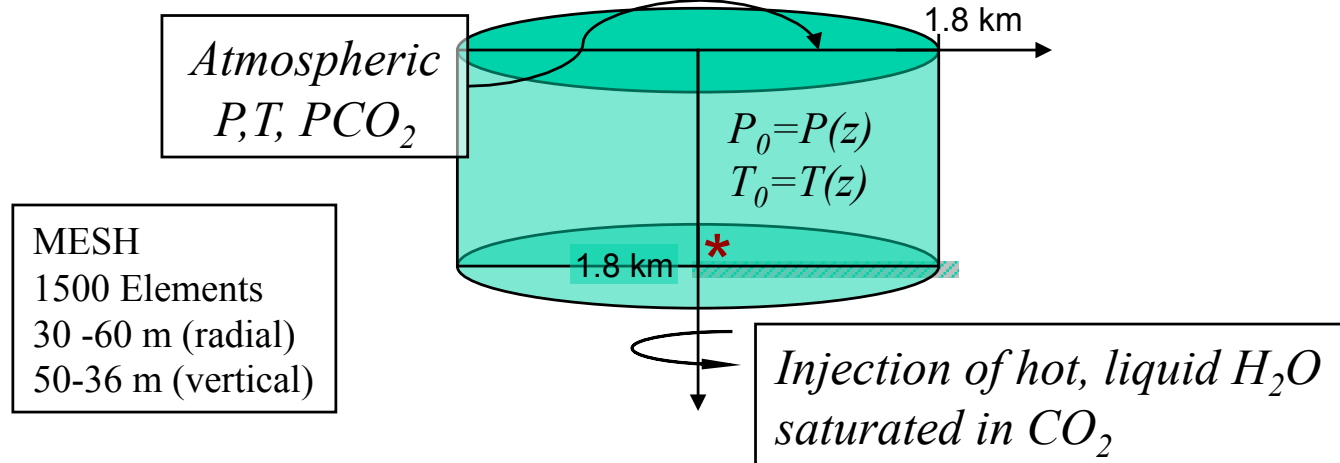
SIMULAZIONE FISICO-NUMERICA del sistema

3) Emissioni fredde di CO₂ dai sistemi geotermici in Italia centrale

Un modello fisico di circolazione di fluidi in sistemi idrotermali ricchi in CO₂ (TOUGH2 code)

H₂O + CO₂ come componente fluido; 2D, dominio cilindrico;

Source of hot fluids at the base of the domain



Reservoir

$$\begin{aligned} \Phi &= 0.15 \\ k &= 10^{-13} \text{ m}^2 \\ \rho &= 2700 \text{ kg/m}^3 \\ C &= 1000 \text{ J/kg}^\circ\text{C} \\ K &= 2.7 \text{ W/m}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Cap rock

$$\begin{aligned} \Phi &= 0.10 \\ k &= 10^{-16} \text{ m}^2 \\ \rho &= 2400 \text{ kg/m}^3 \\ C &= 1000 \text{ J/kg}^\circ\text{C} \\ K &= 1 \text{ W/m}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Condizioni iniziali

H₂O con P_{CO₂} atmosferica

Gradiente geotermico misurato nell'area (80°C/km)

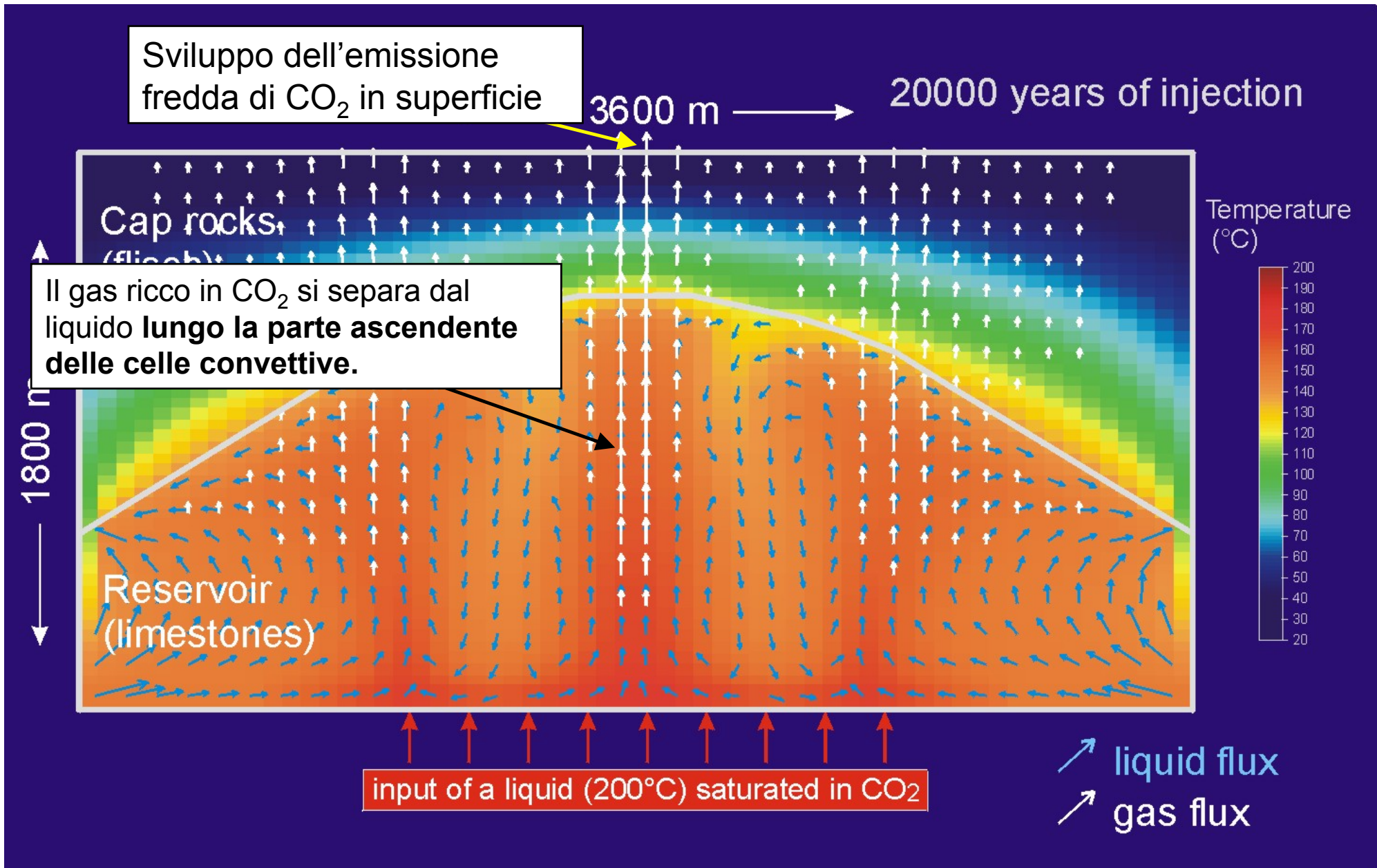
Tasso di iniezione

1500 t d⁻¹ di acqua liquida a 200°C con m_{CO₂} = 1.6 mol/kg

Geothermal well	T °C	m _{CO₂} mol/kg
Torre Alfina	120	0.37
Cesano	200	0.64
Piancastagnaio	240	0.65
Latera	238	0.73
Marta	185	1.5
Bracciano	210	1.6
Simulation	200	1.6

3) Emissioni fredde di CO₂ dai sistemi geotermici in Italia centrale

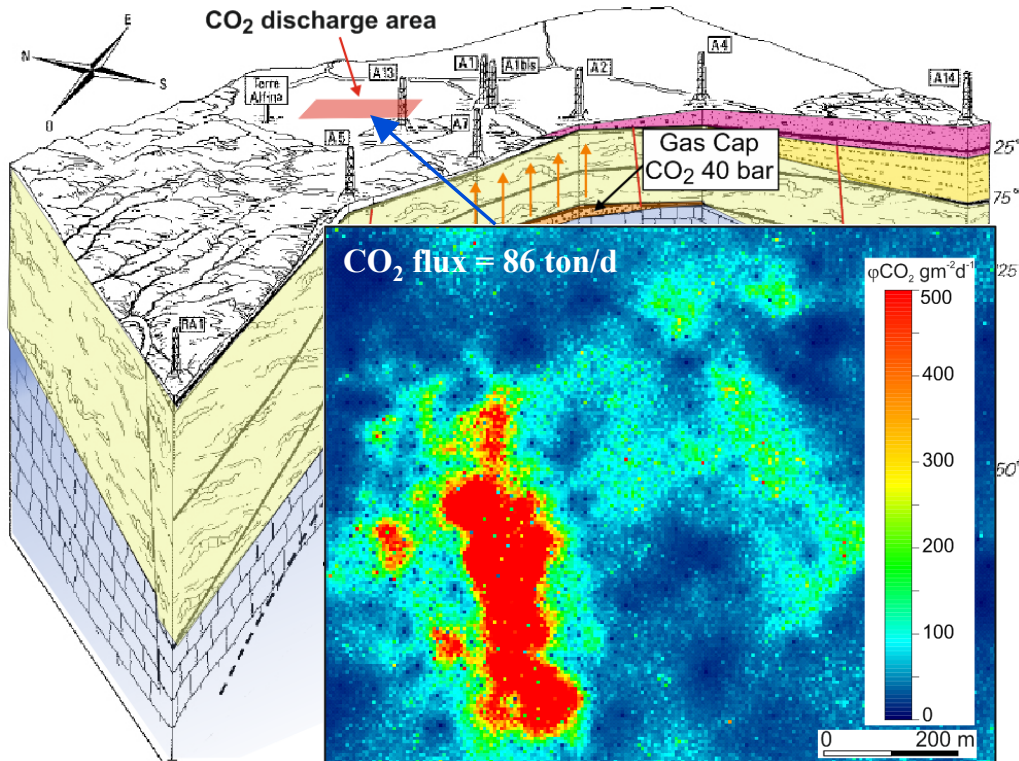
Results of *tough2* simulations



3) Emissioni fredde di CO₂ dai sistemi geotermici in Italia centrale

Una sorgente profonda di calore e CO₂?

CO₂ emission at Torre Alfina



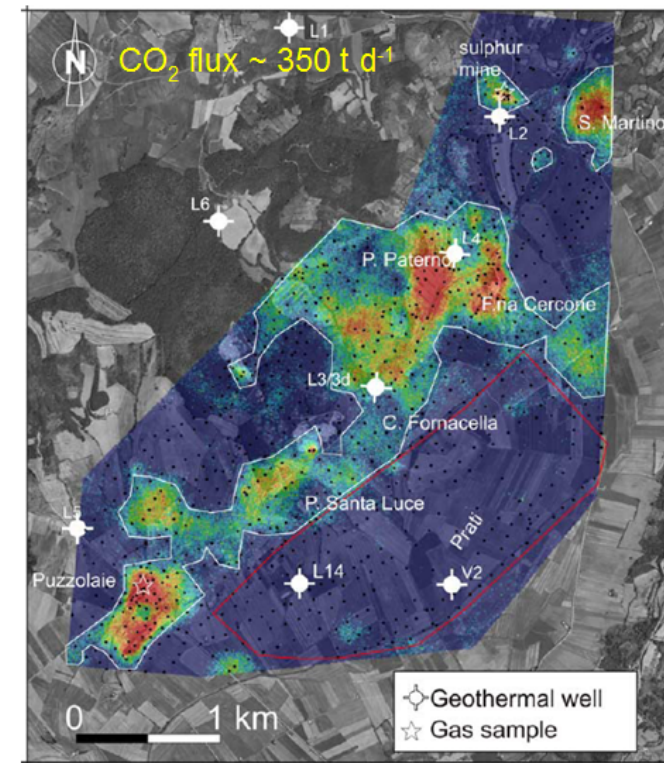
$T = 150^{\circ}\text{C}$, $\text{CO}_2 = 0.37 \text{ mol/kg}$
CO₂ flux = 1 kg/s
geothermal water 61 kg/s
Associated heat = 39 MW

CO₂ emission at Latera

JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 112, B12204, doi:10.1029/2006JB004896, 2007
Click Here for Full Article

Carbon dioxide degassing at Latera caldera (Italy): Evidence of geothermal reservoir and evaluation of its potential energy

G. Chiodini,¹ A. Baldini,² F. Barberi,³ M. L. Carapezza,⁴ C. Cardellini,² F. Frondini,² D. Granieri,¹ and M. Ranaldi³



$T = 212^{\circ}\text{C}$, $\text{CO}_2 = 0.72 \text{ mol/kg}$
CO₂ flux = 4.1 kg/s
geothermal water 128 kg/s
Associated heat = 117 MW

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

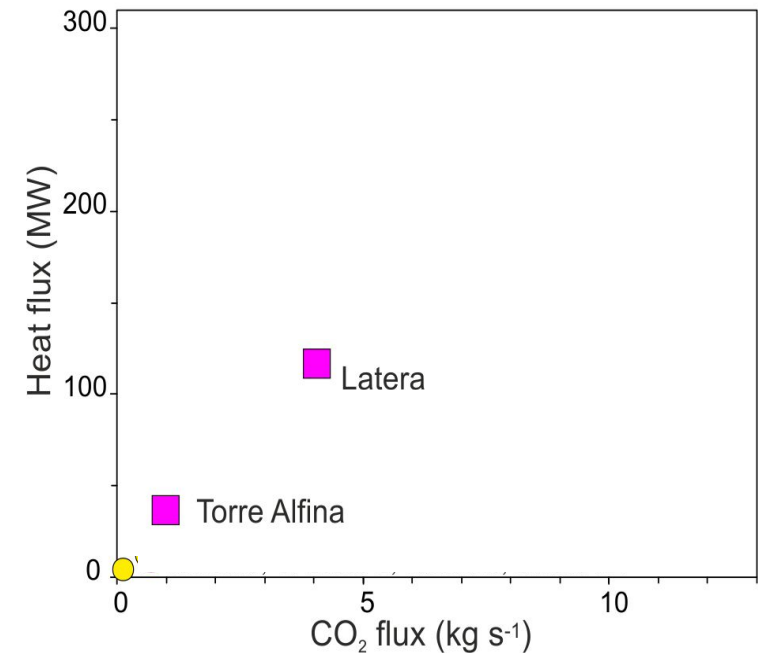
La quantificazione e la mappatura dei flussi di anidride carbonica rappresentano, a vari livelli, dei validi metodi di indagine geotermica permettendo:

- l'individuazione dei sistemi geotermici (insieme ai dati geofisici e geologici)
- la valutazione del flusso di calore convettivo

non solo

La misurazione dei flussi di CO₂ è necessaria anche per

- valutare l'impatto ambientale globale dello sfruttamento geotermico di una certa regione
- valutare la quantità di gas incondensabili per programmare la loro gestione



n.b. I flussi di CO₂ stimati nei sistemi geotermici italiani sono 5-10 volte superiori alla baseline globale 10⁶ mol km⁻² d⁻¹ (Kerrick et al., 1995)

GRAZIE PER L'ATTENZIONE

Bibliografia essenziale

- Caliro, S., Chiodini, G., Avino, R., Cardellini, C., & Frondini, F. 2005. Volcanic degassing at Somma–Vesuvio (Italy) inferred by chemical and isotopic signatures of groundwater. *Appl. Geochem.*, 20, 1060-1076. doi:10.1016/j.apgeochem.2005.02.002.
- Cardellini C., Chiodini G., Frondini F., 2003. Application of stochastic simulation to CO₂ flux from soil: mapping and quantification of gas release. *J. Geophys. Research*, 108, 2425. doi:10.1029/2002JB002165.
- Chiodini G., Frondini F., Cardellini C., Parello F., Peruzzi L. (2000). Rate of diffuse carbon dioxide earth degassing estimated from carbon balance of regional aquifers: the case of central Apennine, Italy. *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, vol. 105, p. 8423-8434, ISSN: 0148-0227, doi: 10.1029/1999JB900355
- Chiodini, G., & Frondini, F., 2001. Carbon dioxide degassing from the Albani Hills volcanic region, Central Italy. *Chem Geol*, 177, 67–83. doi:10.1016/S0009-2541(00)00382-X
- CHIODINI G, FRONDINI F, PONZIANI F (1995). Deep structures and carbon dioxide degassing in Central Italy. *GEO THERMICS*, vol. 24, p. 81-94, ISSN: 0375-6505
- CHIODINI G, FRONDINI F, RACO B (1996). Diffuse emission of CO₂ from the Fossa Crater, Vulcano Island (Italy). *BULLETIN OF VOLCANOLOGY*, vol. 58, p. 41-50, ISSN: 0258-8900
- Chiodini G., Granieri D., Avino R., Calir S., Costa A., Werner C. (2005) Carbon dioxide diffuse degassing and estimation of heat release from volcanic and hydrothermal systems. *J. Geophys. Res.* 110, B08204, doi:10.1029/2004JB003542
- Chiodini, G., Baldini, A., Carapezza, M., Cardellini, C., Frondini, F., Granieri, D. & Ranaldi, M. 2007. Carbon Dioxide degassing at Lateral caldera (Italy): evidence of geothermal reservoir and evaluation of its potential energy. *J. Geophys. Res.*, 112, 2156-2202. doi:10.1029/2006JB004896
- Chiodini, G., C. Cardellini, S. Caliro, C. Chiarabba, Frondini F., 2013. Advective heat transport associated with regional Earth degassing in central Apennine (Italy), *Earth And Planetary Science Letters*, 373, 65-74.
- Frondini, F., Chiodini, G., Caliro, S., Cardellini, C., Granieri, D. & Ventura, G. 2004. Diffuse CO₂ degassing at Vesuvio, Italy. *Bulletin of Volcanology*. 66, 642-651. doi:10.1007/s00445-004-0346-x.
- Frondini, F., Caliro, S., Cardellini, C., Chiodini, G., Morgantini, N., Parello F. 2008. Carbon dioxide degassing from Tuscany and Northern Latium (Italy). *Global Planet. Change*, 61, 89-102. doi:10.1016/j.gloplacha.2007.08.009
- Kerrick, D.M., McKibben, M.A., Seward, T.M. & Caldeira, K. 1995. Convective hydrothermal CO₂ emission from high heat flow regions. *Chem. Geol.* 121, 285-293. doi:10.1016/0009-2541(94)00148-2