

Il rischio Campi Flegrei

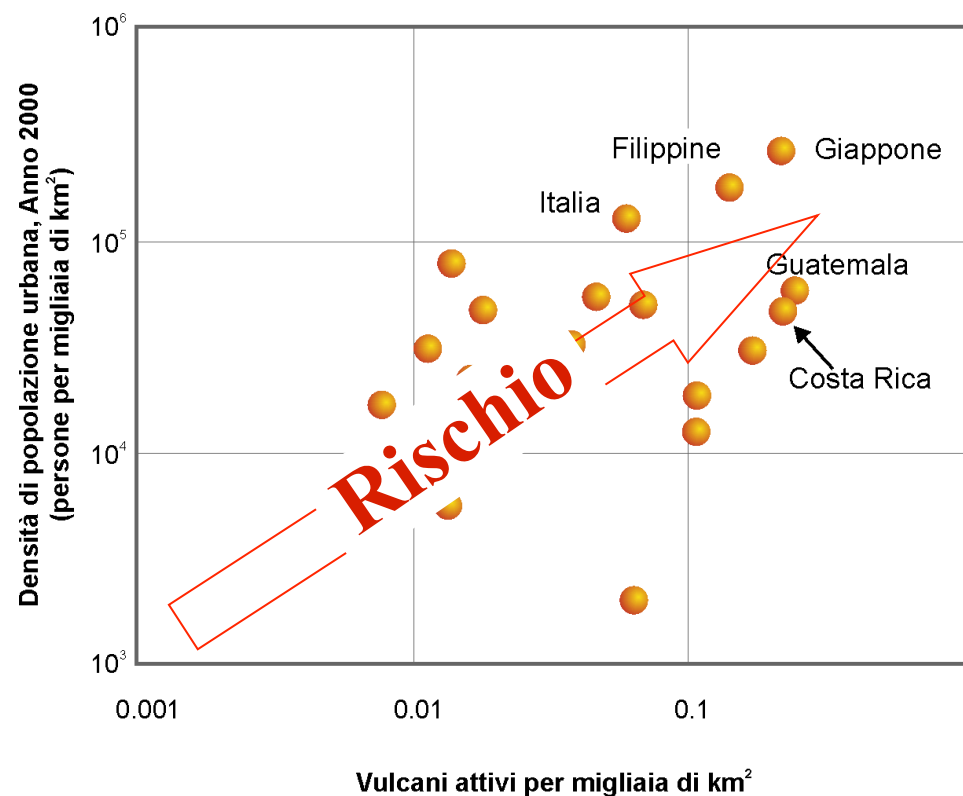
Augusto Neri

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Museo di Storia Naturale dell'Università di Pisa
Certosa di Calci, 31 gennaio 2020

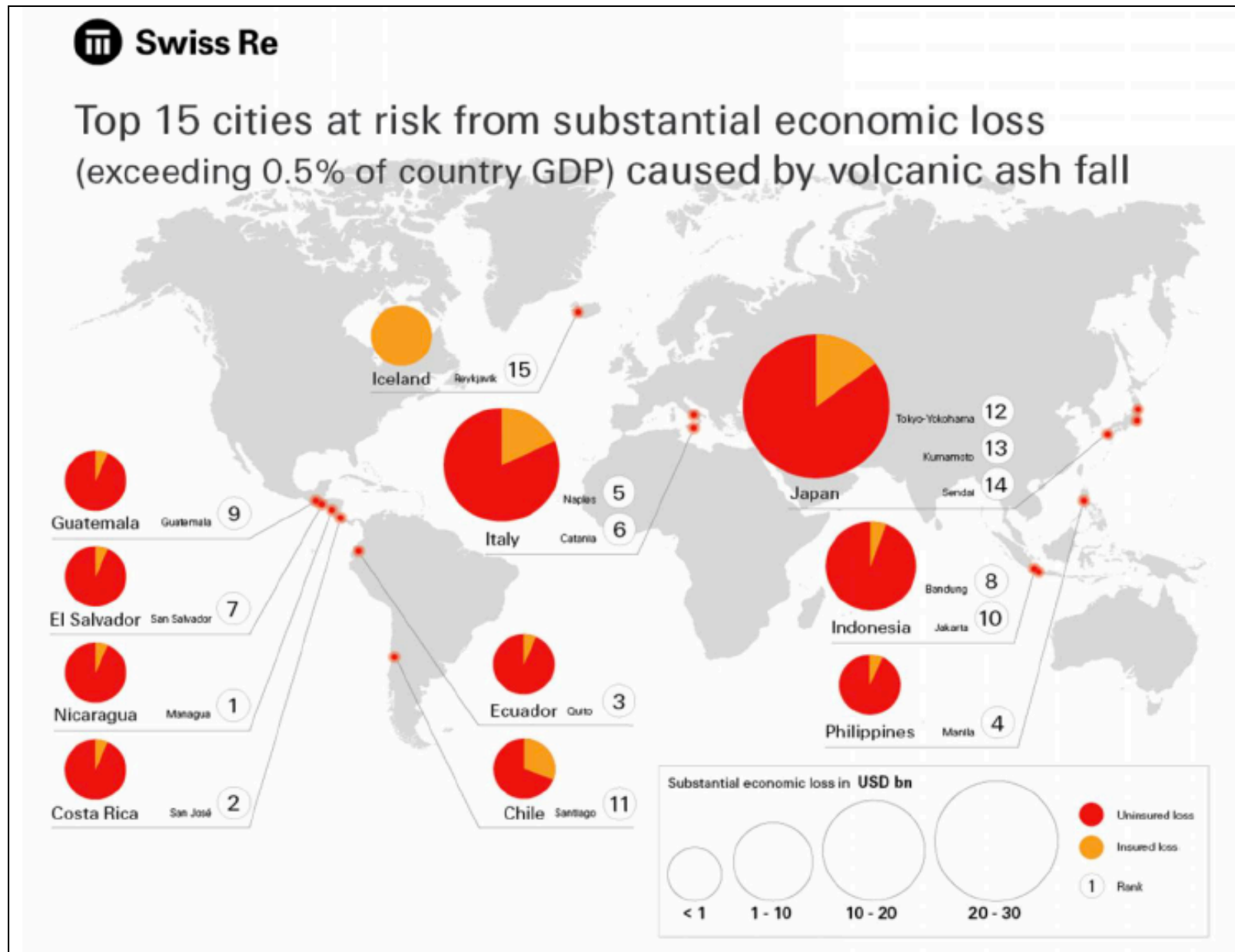


Il rischio vulcanico in Italia e nel mondo



(modificato da Pyle 1995)

Le città più esposte al rischio ceneri



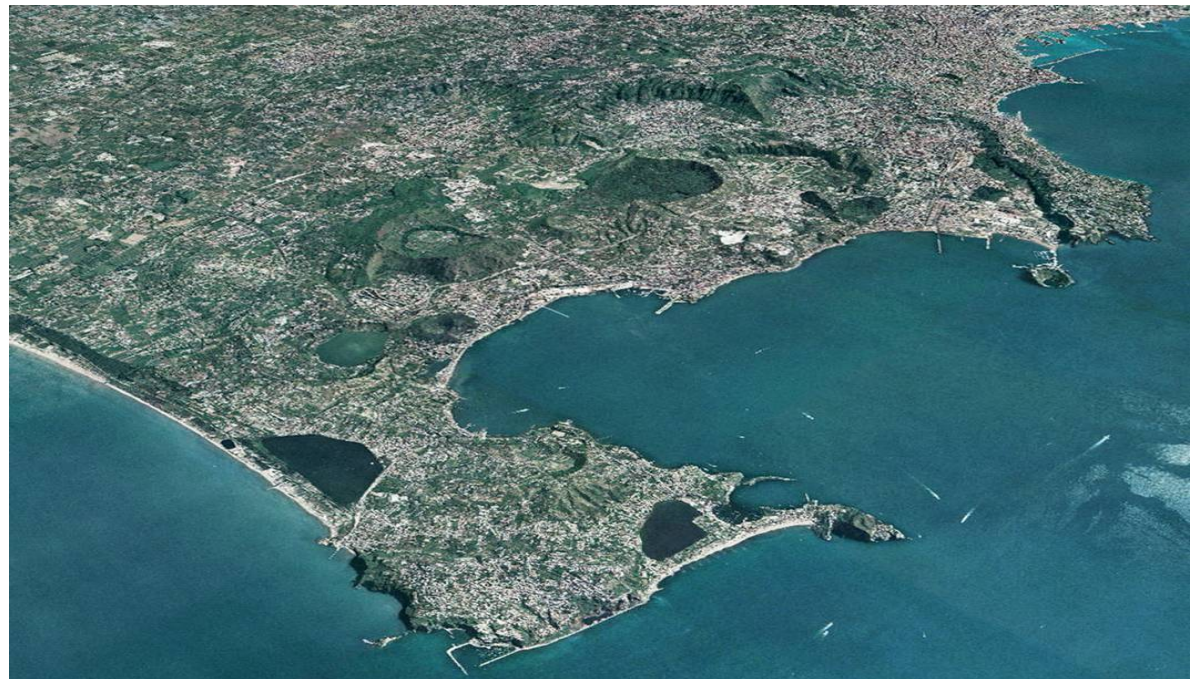
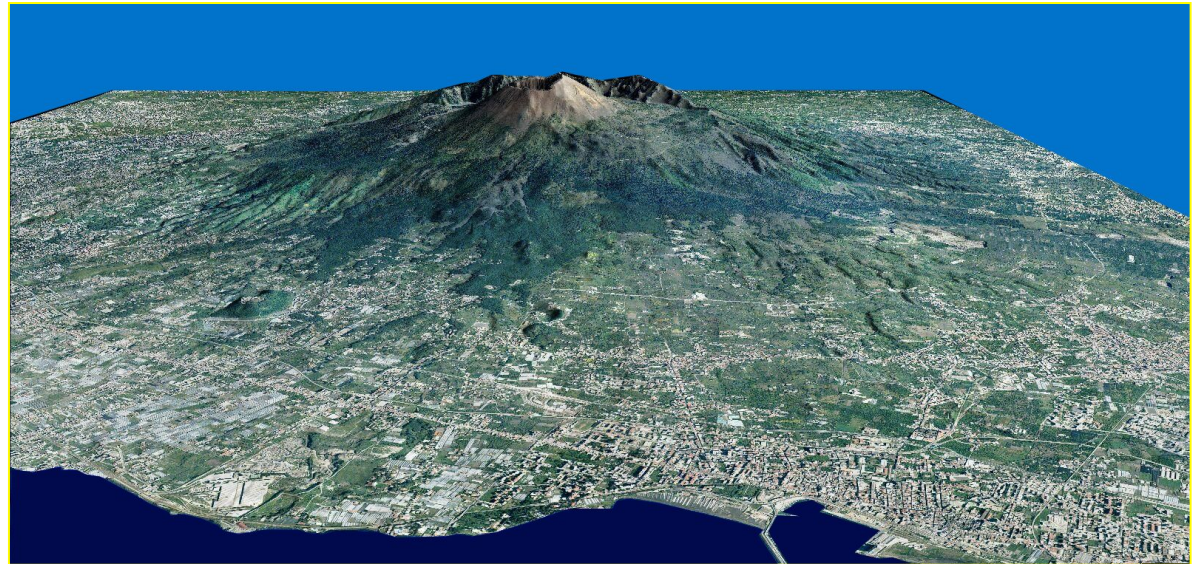
(da P. Tscherig, Swiss Re, 2017)

Vesuvio e Campi Flegrei

A causa del loro **carattere esplosivo** e dell'**alta densità di popolazione** il Vesuvio e i Campi Flegrei sono due dei vulcani a **più alto rischio al mondo**.

Dal 2012 il livello di allerta dei **Campi Flegrei è Giallo** (livello 2 su 4).

(Immagini di INGV-OV)



Il Rischio Vulcanico

$$R = \frac{P * V * A}{M}$$

R = *Rischio*

P = *Pericolosità (scenari)*

V = *Vulnerabilità*

A = *Valore*

M = *Mitigazione*

(modificato da Fournier D'Albe, 1979)

La pericolosità vulcanica

La **stima della pericolosità** si avvale oggi di quattro metodologie:

1.Ricostruzione della storia eruttiva (studi stratigrafici e analitici sui prodotti delle eruzioni passate)

2.Conoscenza dello stato attuale del sistema vulcanico (reti di sorveglianza e misure osservative)

3.Simulazione numerica della dinamica dei fenomeni pericolosi (modelli fisico-matematici e statistici)

4.Quantificazione dell'incertezza del sistema vulcanico

Dall'integrazione di questi studi derivano le stime di pericolosità e **gli scenari eruttivi** su cui si basano i piani di emergenza e mitigazione

Gli scenari pre-eruttivi

Gli scenari pre-eruttivi possono essere definiti sulla base delle seguenti informazioni:

Conoscenze acquisite:

- Informazioni su **altri vulcani simili** (e.g. Rabaul 1994);
- Ricostruzione **dell'unica eruzione storica (1538 AD)**;
- Ricostruzione dei **movimenti del suolo nei secoli** (da cronache e studi);
- **Stato attuale** dei CF (crisi bradisismiche recenti)

Dati di monitoraggio:

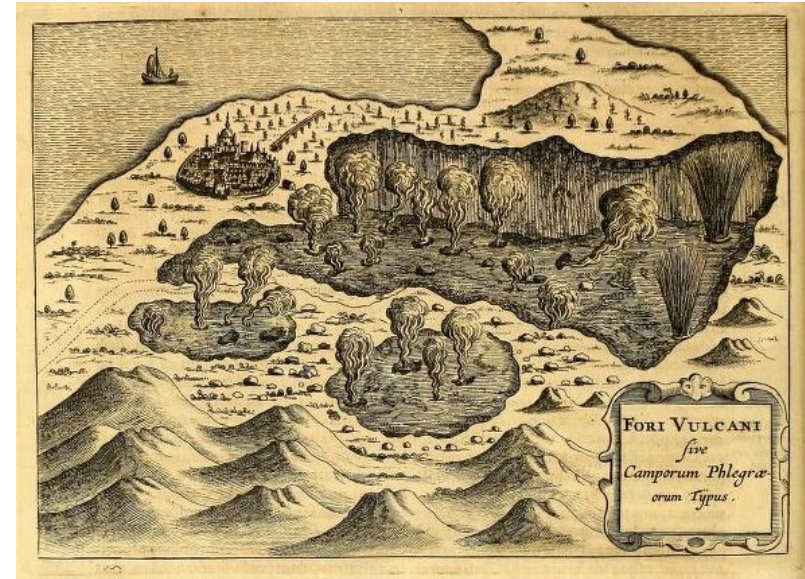
- ***Dati sismici*** (numero di eventi, localizzazione, meccanismi sorgente, ecc.);
- ***Dati geodetici*** (deformazione, variazioni gravimetriche, ecc.);
- ***Dati geochimici*** (temperatura, composizione, flusso di gas, ecc, per esempio alla Solfatara e Pisciarelli).



L'intensa attività fumarolica di Pisciarelli.

Gli scenari pre-eruttivi: sommario delle conoscenze

- I segnali che tipicamente portano ad eruzioni in vulcani centrali **possono non portare ad eventi eruttivi** nelle caldere; l'**intensità** dei segnali del possibile risveglio (attività sismica, deformazioni, ecc.) sembrano non direttamente correlati al verificarsi dell'eruzione (e.g. Rabaul 1994, Monte Nuovo 1538);
- Esiste una **grossa incertezza** nella localizzazione della **bocca eruttiva**. Le osservazioni potrebbero indicare in modo affidabile la localizzazione della bocca futura **solo alcune ore prima dell'eruzione**;
- Esiste la possibilità di **eruzioni simultanee da più bocche** (e.g. Rabaul 1994 e eruzioni di Averno/Solfatara ai CF).

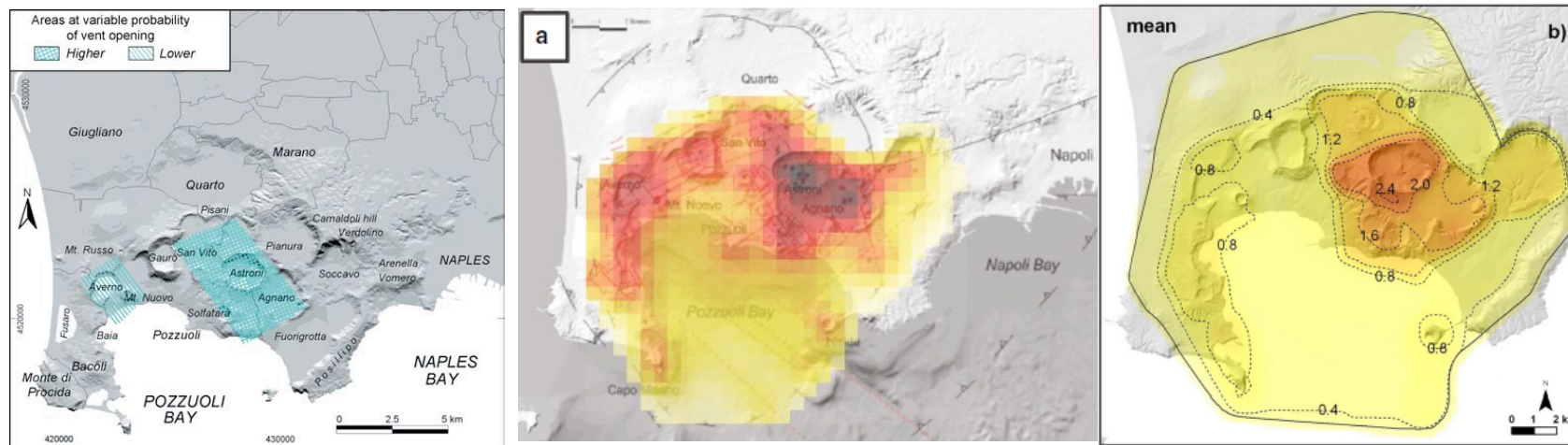


Pictures of the CF caldera in the 17th century (A.Kircker) and Rabaul eruption in 1994 (J.Seach)

Scenari eruttivi: apertura della bocca

- Le mappe di apertura bocche si riferiscono a **stime di medio-lungo termine**. Durante una eventuale crisi le informazioni provenienti dal **monitoraggio potranno modificare queste mappe**.
- L'area a più alta probabilità di apertura bocche è l'area **Astroni-Agnano-Solfatara**. Probabilità più basse sono localizzate nell'area di Averno-Monte Nuovo e in numerose altre zone della caldera. Di conseguenza la **prossima bocca** potrebbe aprirsi su **un'area significativamente vasta**.
- Indicazioni più affidabili sulla localizzazione della bocca potrebbero essere disponibili **solo poco prima dell'eruzione** (da alcune ore a giorni).

Mappe di apertura bocche di (da sx a dx) Orsi et al. 2004; Selva et al., 2011; Bevilacqua et al., 2015



Scenari eruttivi: tipologia e scala degli eventi

- **Eruzione effusiva**
- **Eruzione esplosiva** (evento magmatico di scala variabile con possibili fenomeni di interazione con acqua esterna)
- **Eruzione esplosiva da bocche multiple** (i.e. possibile attività simultanea)
- **Esplosioni freatiche** in aree idrotermali

<i>Scala eruttiva</i>	<i>Probabilità condizionata (%) (Orsi et al., 2009)</i>				<i>Frequenza (%) (ultimi 5 kyr)</i>
	Average	10° per.	50° per.	90° per.	
<i>Effusiva</i>	10.7	3.89	9.84	18.6	12
<i>Piccola (Monte Nuovo)</i>	60.6	49.9	61.4	72.2	60
<i>Media (Astroni6)</i>	25.0	14.9	23.6	35.5	24
<i>Grande (AMS)</i>	3.73	0.58	2.67	7.50	4

- Le stime non cambiano significativamente se ci si riferisce agli **ultimi 15 ka**
- La probabilità di **eventi molto grandi** (*caldera-forming*) risulta essere **sotto l'1%**
- Allo stato attuale delle conoscenze **non è possibile correlare il tipo e la scala dell'eruzione ai dati di monitoraggio.**

Scenari eruttivi: fenomeni attesi per eruzioni esplosive

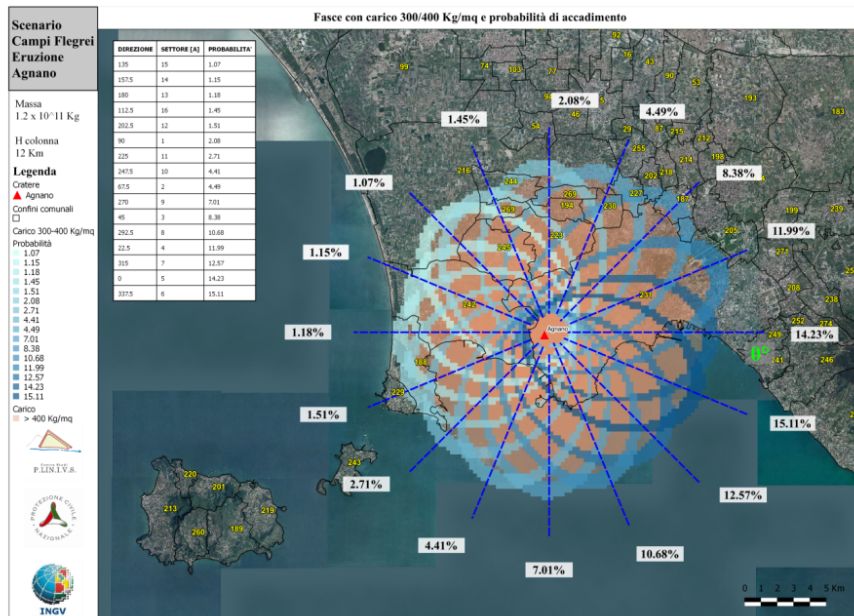
Le **eruzioni esplosive** consistono in una successione di **fasi eruttive** che tipicamente possono essere semplificate come segue (sebbene esse dipendano significativamente dalla scala dell'evento):

- **Fase di apertura** (**minuti-ore**, balistici, onde di shock, piccole emissioni di cenere e piccole colate piroclastiche);
- **Fase sostenuta** (**ore**, colonna vulcanica, ricaduta di cenere, balistici);
- **Fase pulsante con generazione di colate piroclastiche** (**ore-giorni**, collasso parziale/totale della colonna, colate piroclastiche, balistici, incendi, tsunami, collasso della caldera);
- **Fase prolungata di emissione di cenere e gas** (**giorni-mesi**, colonna vulcanica di piccola scala, ricaduta di ceneri bagnate, lahar);
- **Emissione lava degassata** (**giorni-mesi**, colate di lava, duomi, esplosioni).

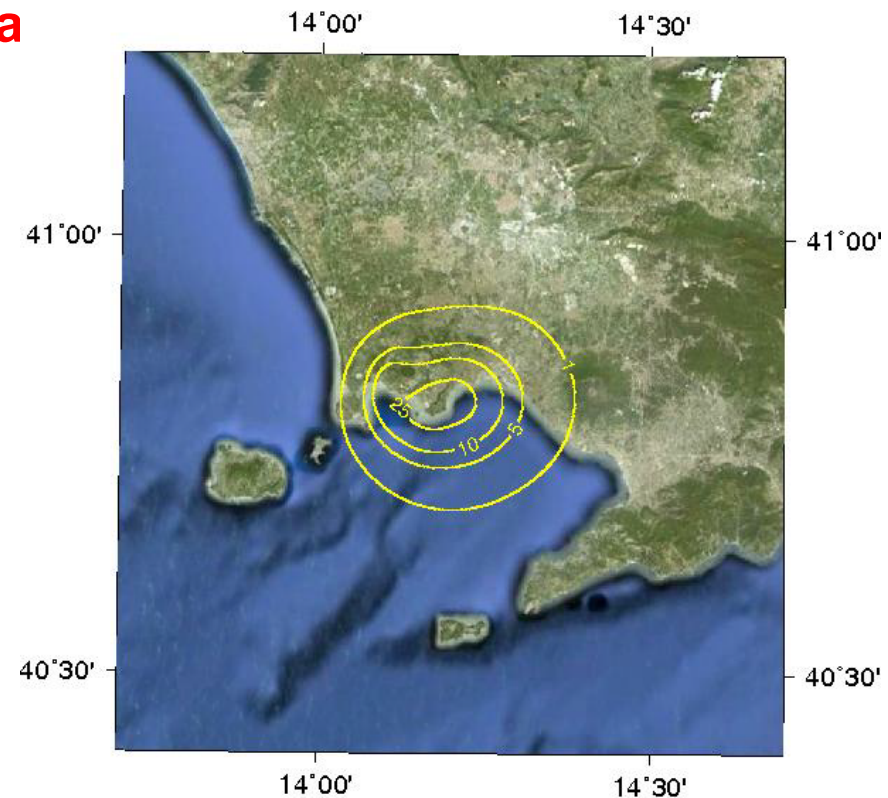
Scenari eruttivi: ricaduta di cenere

La pericolosità da ricaduta di cenere è stata stimata utilizzando sia le **ricostruzioni di terreno** che le **simulazioni numeriche**.

Simulazioni numeriche sono state realizzate per stimare la ricaduta di cenere per **specifici scenari eruttivi** (e.g. in funzione della direzione del vento) e per realizzare **mappe integrali** di ricaduta considerando **tutte le possibili scale eruttive e posizioni della bocca**



Distribuzione per settori dei depositi di ricaduta della cenere per una eruzione di scala media con bocca in Agnano e carico al suolo di 300 e 400 kg/m².

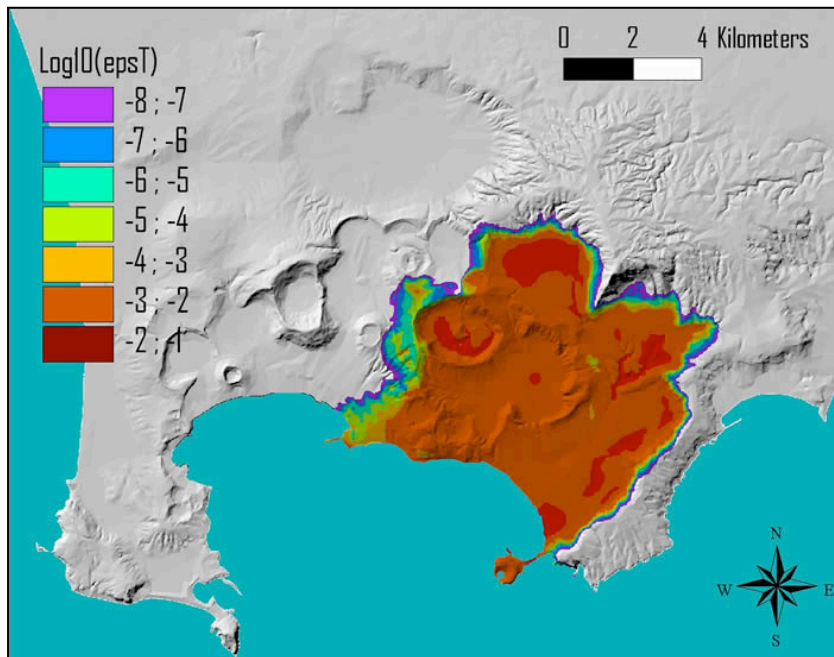


Mappa integrale di ricaduta di cenere calcolata per un carico al suolo di 300 kg/m² (da Selva et al. 2010).

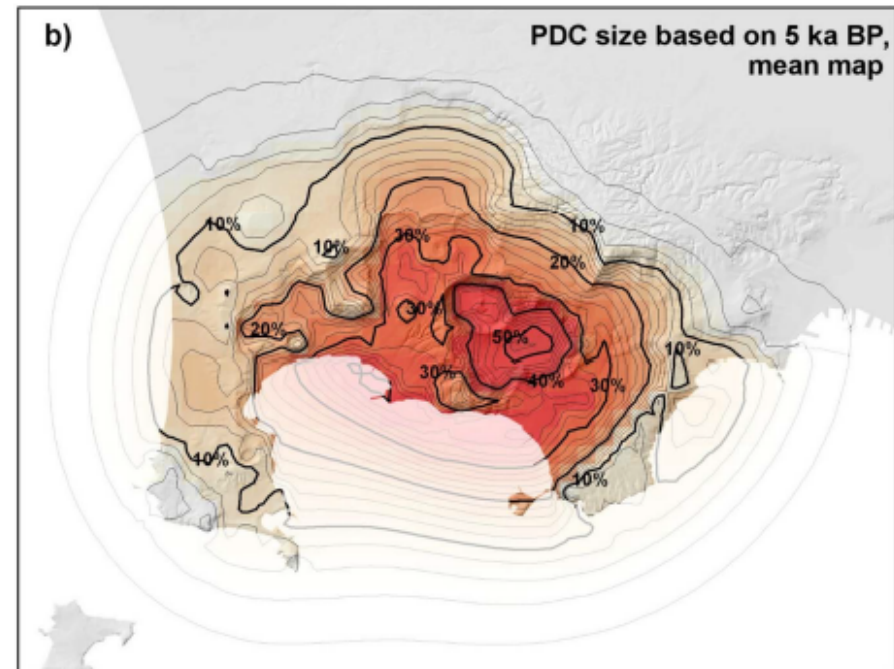
Scenari eruttivi: colate piroclastiche

Simulazioni numeriche 3D sono state realizzate per **singoli scenari eruttivi** e assumendo differenti posizioni della bocca eruttiva.

Mappe integrali sono state sviluppate considerando **tutte le possibili scale e posizioni della bocca**, ciascuna pesata in funzione della sua probabilità di occorrenza, utilizzando modelli semplificati.

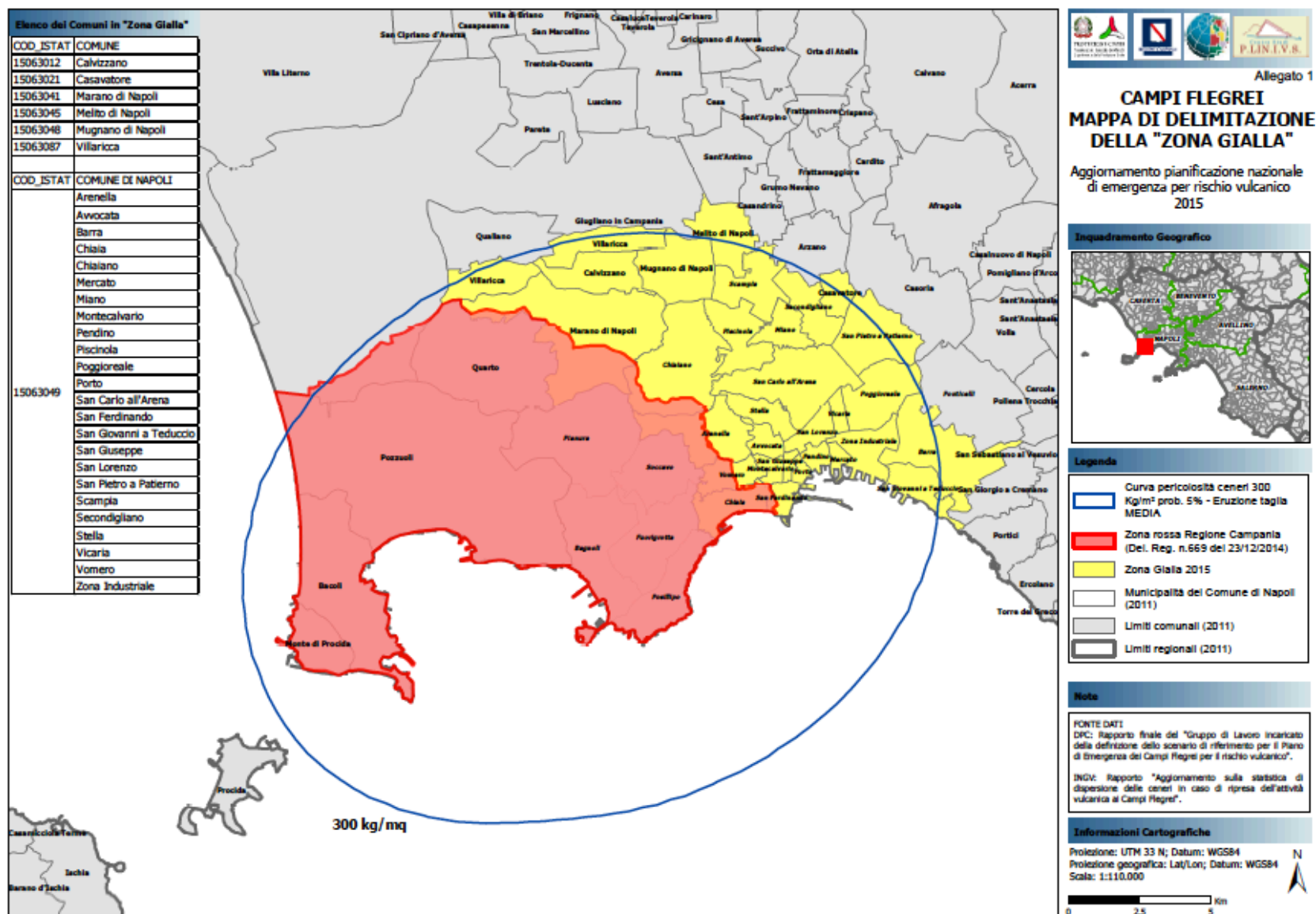


Area invasa da colate piroclastiche stimata da simulazioni 3D assumendo una intensità simile a quella dell'eruzione di Agnano Monte Spina e una bocca al centro della conca di Agnano (da Esposti Ongaro et al. 2008).



Mapa della probabilità media di invasione da colate piroclastiche basata sulla storia eruttiva degli ultimi 15 ka (da Neri et al. 2015).

Mappa di delimitazione delle Zone Rossa e Gialla

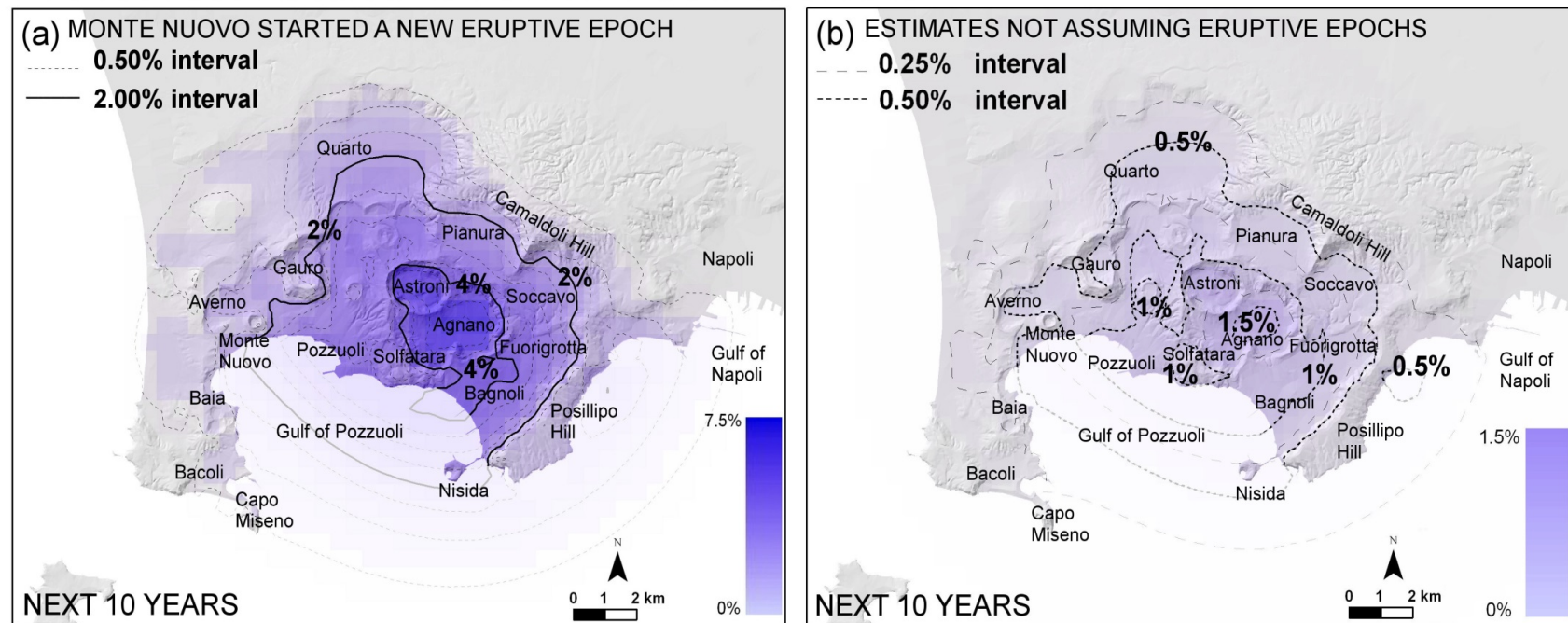


(Dal Piano nazionale di emergenza dei Campi Flegrei, DPC 2015)

Probabilità di eruzione: previsioni a lungo e breve termine

- Stime della **probabilità di eruzione a lungo-termine**, con gli associati intervalli di incertezza, sono state realizzate attraverso modelli probabilistici e analisi statistiche dell'attività eruttiva conosciuta.
- Stime della **probabilità di eruzione a breve-termine**, con le relative incertezze, sono state realizzate tramite lo sviluppo di un **Albero degli Eventi** in grado di quantificare la probabilità di risveglio/eruzione sulla base dei dati di monitoraggio.

PDC HAZARD ESTIMATES FOR THE NEXT 10 YEARS



(Bevilacqua et al., 2017)

La “sfida vulcanica”

La storia della vulcanologia ci dimostra che diversi risultati sono possibili:

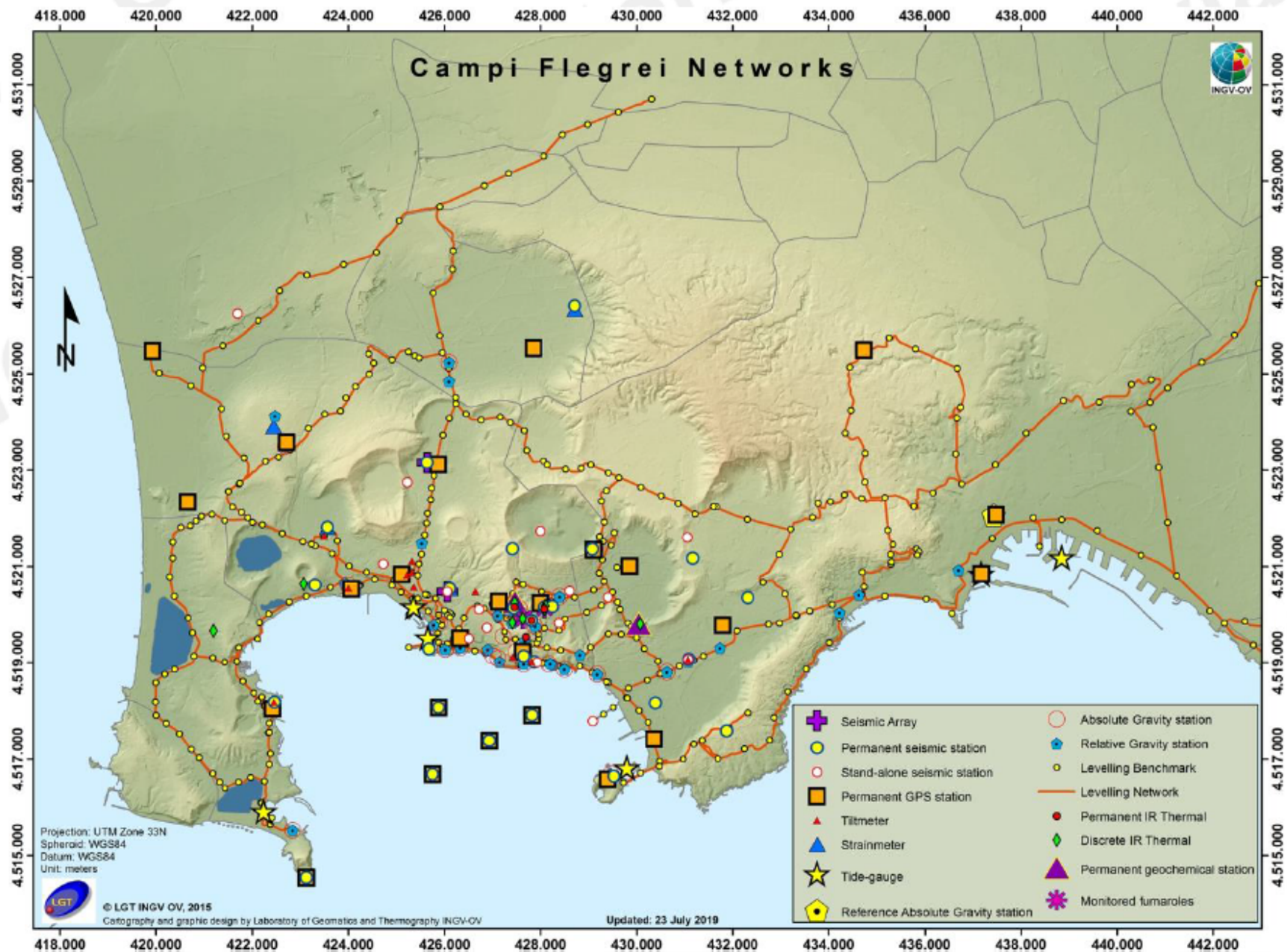
- **Successi:** e.g. Izu-Oshima (1986), Pinatubo (1991), Rabaul (1994), Merapi (2010, 2016), Taal (2020)
- **Falsi allarmi:** e.g. La Soufriere of Guadeloupe (1976) (70.000 evacuati)
- **Allarmi falliti:** e.g. Nevado del Ruiz (1985, 25.000 vittime), Mt. St. Helens (1980, 57 vittime), Fuego (2018, migliaia?)

L'eruzione sarà preceduta da una serie di *precursori geofisici e geochimici* come:

- Anomalie sismiche
- Sollevamento del suolo
- Anomalie gravimetriche, magnetiche ed elettriche
- Variazioni geochimiche ed isotopiche dei gas vulcanici e delle falde acquifere
- Aumento del flusso di gas e calore dal suolo e da nuove fumarole

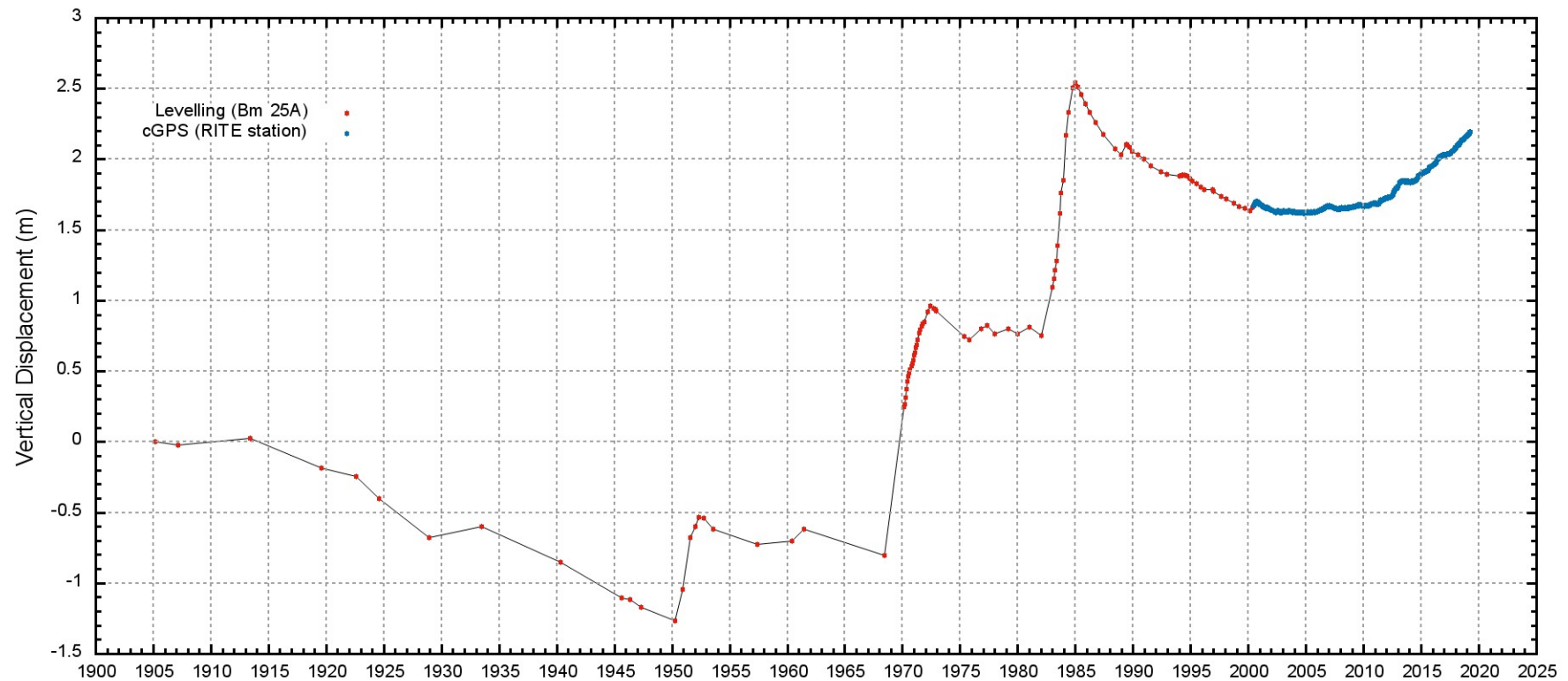
Il successo della gestione della crisi in gran parte dipenderà **dall'accuratezza della previsione vulcanologica** ovvero dalla nostra capacità di interpretare correttamente i segnali precursori e i fenomeni ad essi associati.

Il sistema di monitoraggio OV-INGV



Spostamento verticale del suolo a partire dal 1905

Vertical Displacement at Campi Flegrei since 1905



References

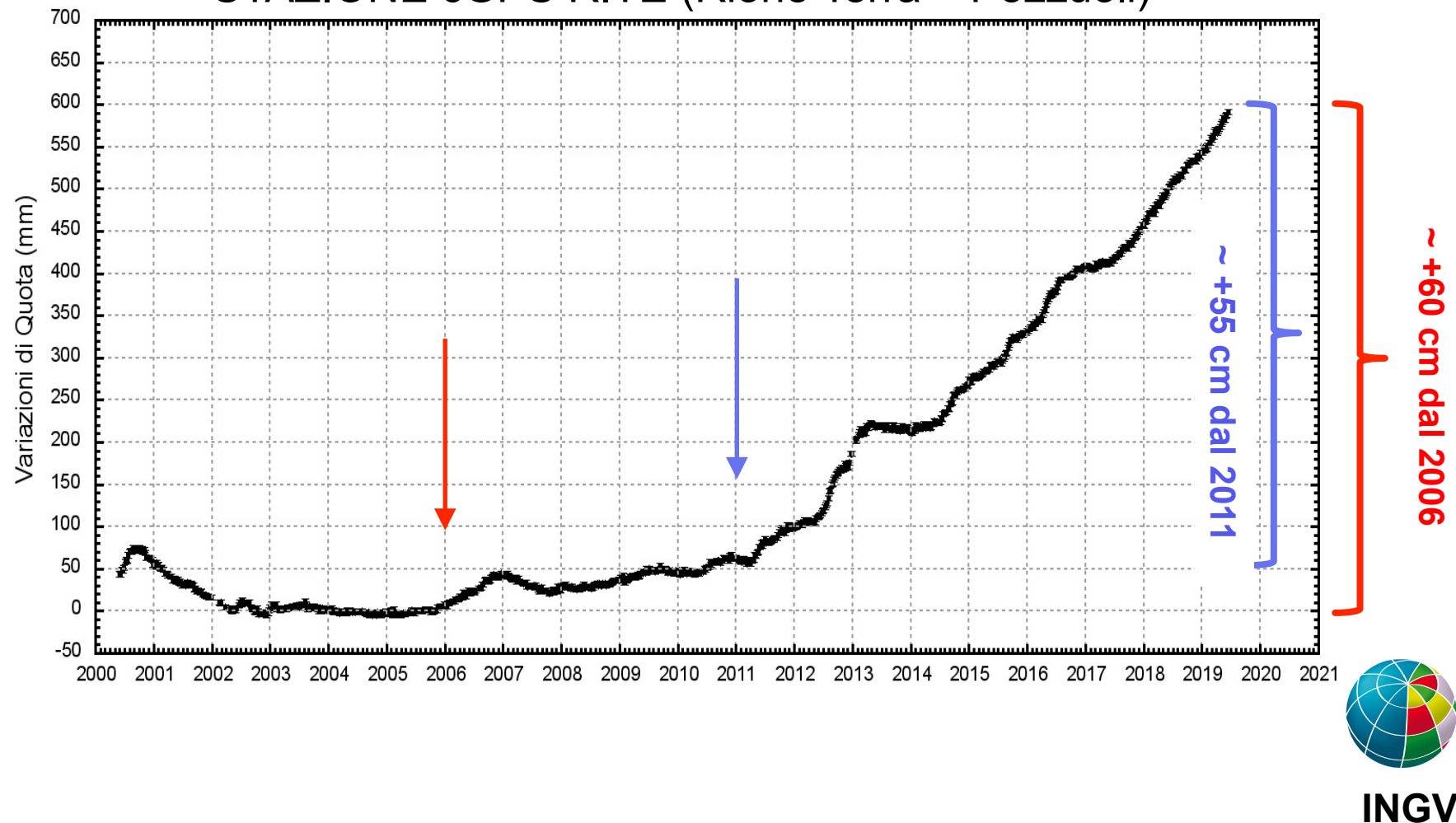
- Del Gaudio C., Aquino I., Ricciardi G.P., Ricco C., Scandone R. (2010). Unrest episodes at Campi Flegrei: A reconstruction of vertical ground movements during 1905-2009. *J. Volcanol. Geother. Res.*, 195(1), <http://dx.doi.org/10.1016/j.jvolres.2010.05.001>.
- De Martino P., Tammaro U., Obrizzo F. (2014). GPS time series at Campi Flegrei caldera (2000-2013). *Annals of Geophysics*, 57(2), S0213. doi:10.4401/ag-6431.



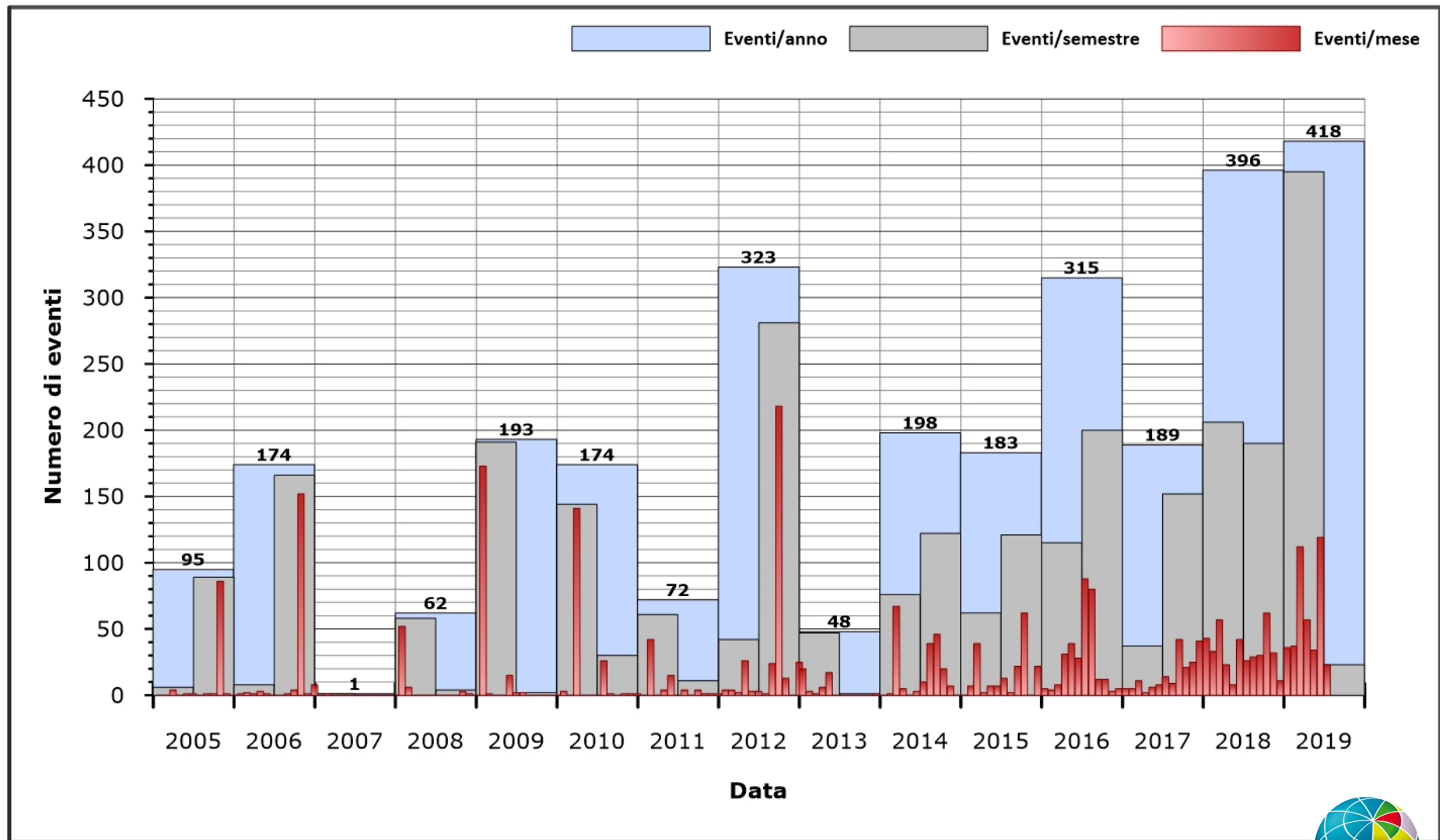
INGV

Spostamento verticale del suolo dal 2000

STAZIONE cGPS RITE (Rione Terra – Pozzuoli)



Osservazioni: Sismologia (1)

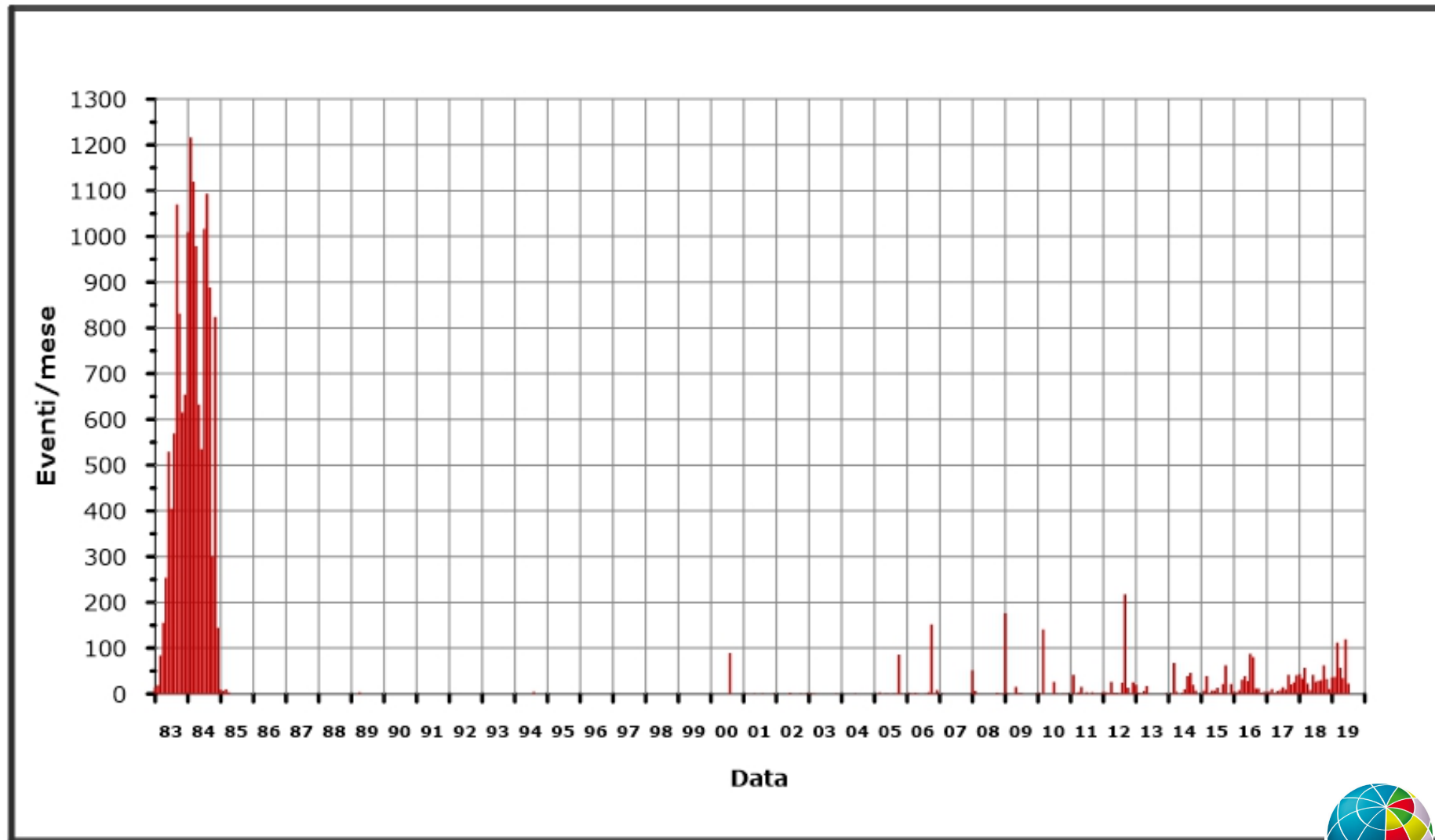


Numero di eventi sismici/mese/semestre/anno a partire dal 2005



INGV

Osservazioni: Sismologia (2)

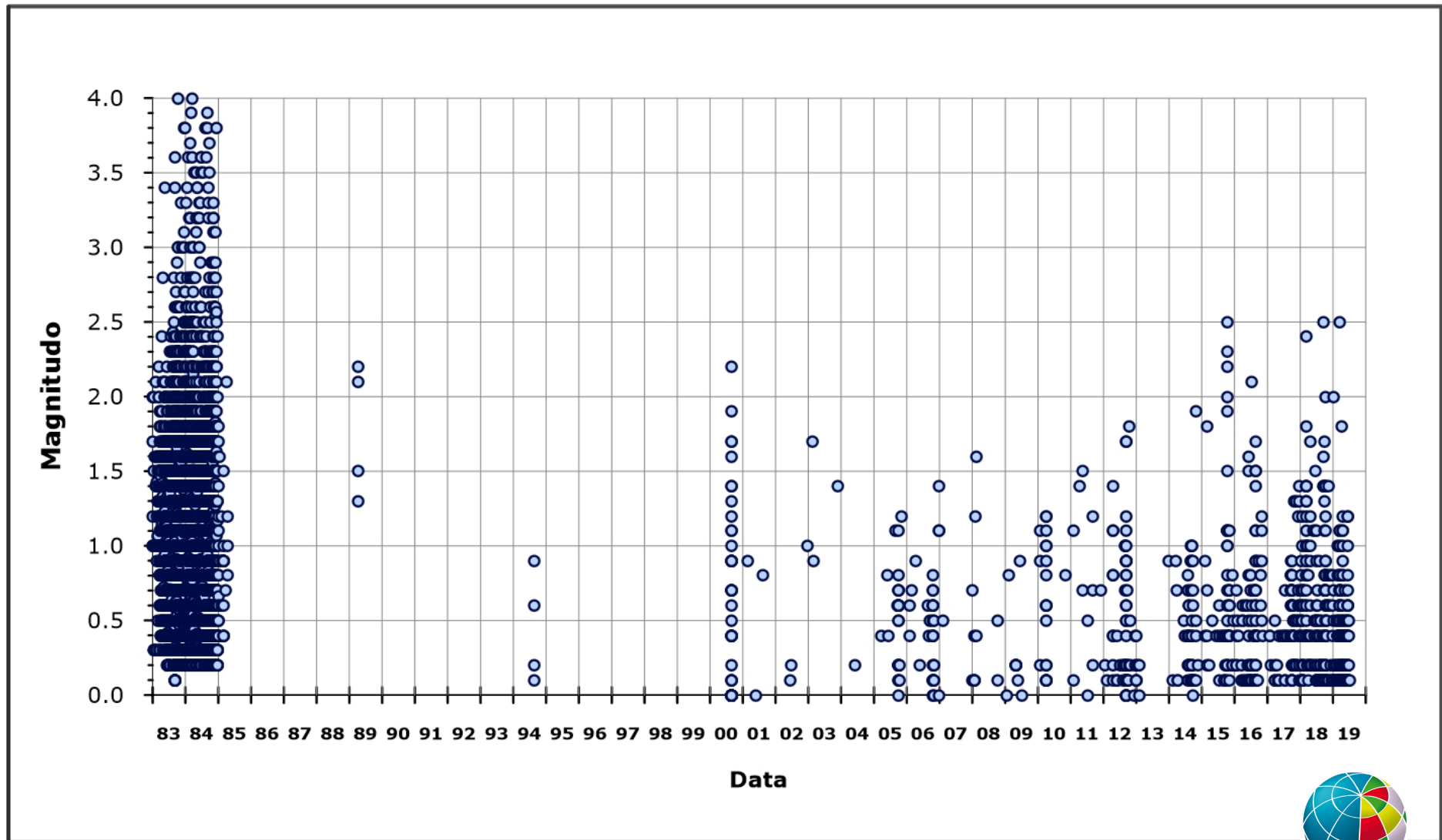


Numero di eventi sismici/mese dal 1983



INGV

Osservazioni: Sismologia (3)



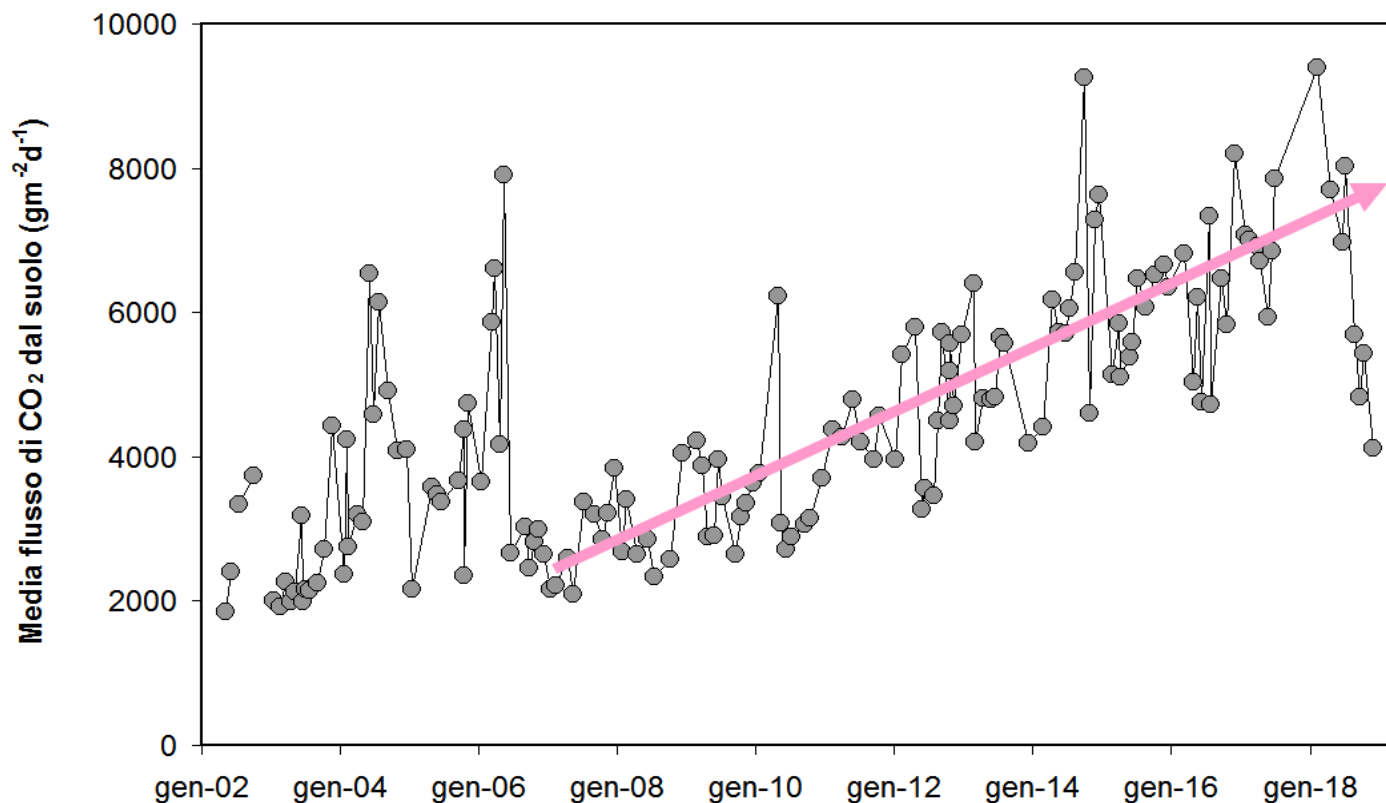
Magnitudo ≥ 0 dal 1983



INGV

Osservazioni: Geochimica (1)

incremento del flusso di CO₂ dal suolo in Solfatara

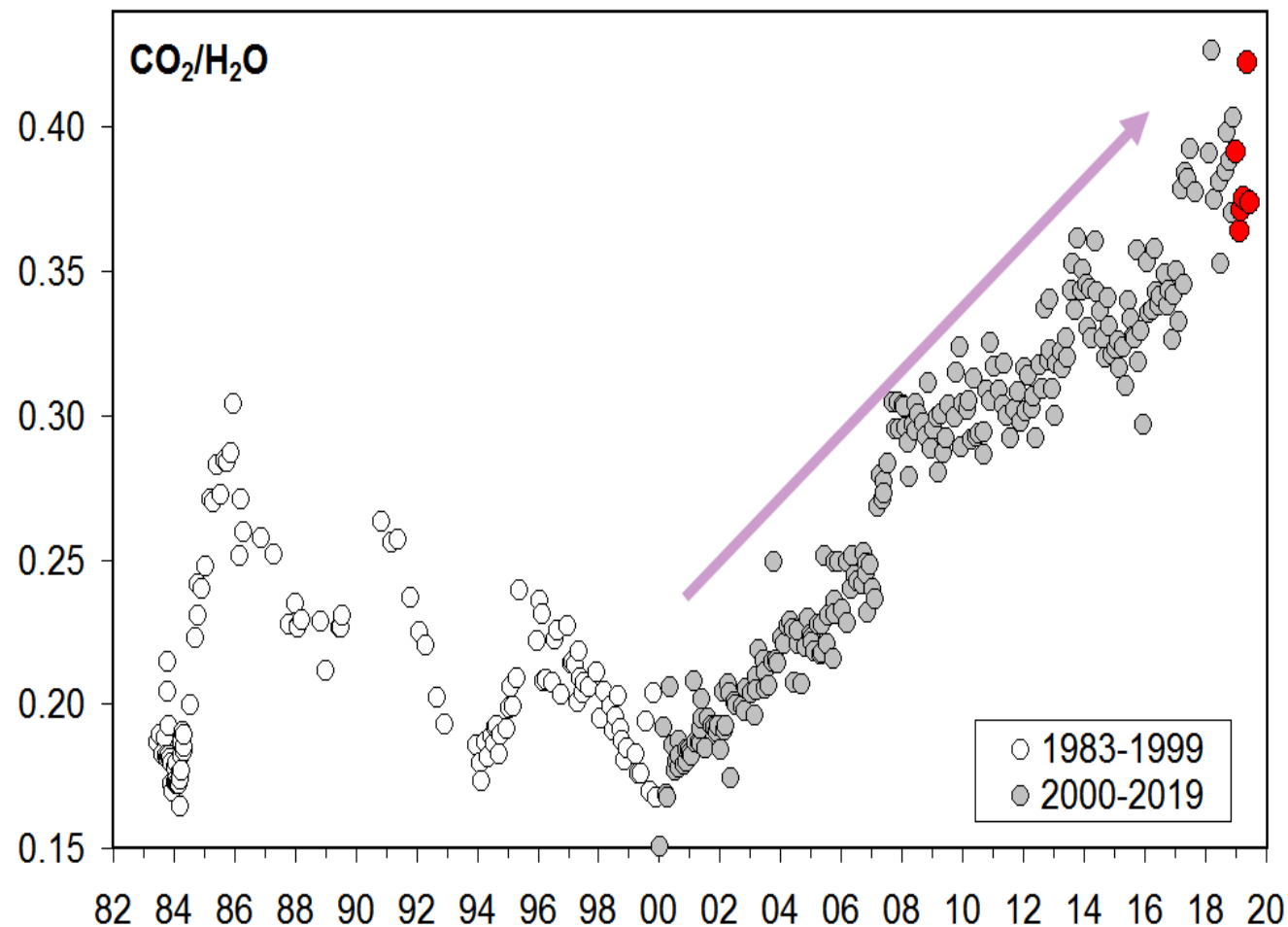


Cronogramma della media dei flussi di CO₂ dal suolo misurati mensilmente su 61 punti fissi nell'area craterica della Solfatara.

Osservazioni: Geochimica (2)



CO₂/H₂O alla fumarola BG (Solfatara) : incremento significativo indica un aumento della componente magmatica nei fluidi fumarolici



Considerazioni conclusive

- I Campi Flegrei sono uno dei vulcani a **più alto rischio al mondo**.
- Le conoscenze acquisite hanno permesso di ottenere **stime quantitative della loro pericolosità** e di realizzare un **Piano Nazionale di Emergenza**.
- La **previsione del loro comportamento** futuro è possibile su base statistica nel lungo termine (decenni/secoli) mentre a breve termine (giorni/settimane/mesi?) è basata sui dati di monitoraggio.
- Un obiettivo primario consiste nell'identificare, quantificare e ridurre **le incertezze** in gioco. **Comunicare bene** queste incertezze è cruciale.
- Un **stretta collaborazione** tra ricercatori, autorità di protezione civile (a tutti i livelli), mezzi di informazione e le popolazioni esposte è ugualmente fondamentale.

Grazie per l'attenzione

