

VESUVIO

**Rischio vulcanico e sfide per l'ingegneria
e la geofisica finalizzate alla sicurezza
ed allo sviluppo del territorio**

Prof. Ing. Flavio Dobran

GVES, Napoli

www.westnet.com/~dobran

Università di Napoli Federico II, 15 gennaio 2009

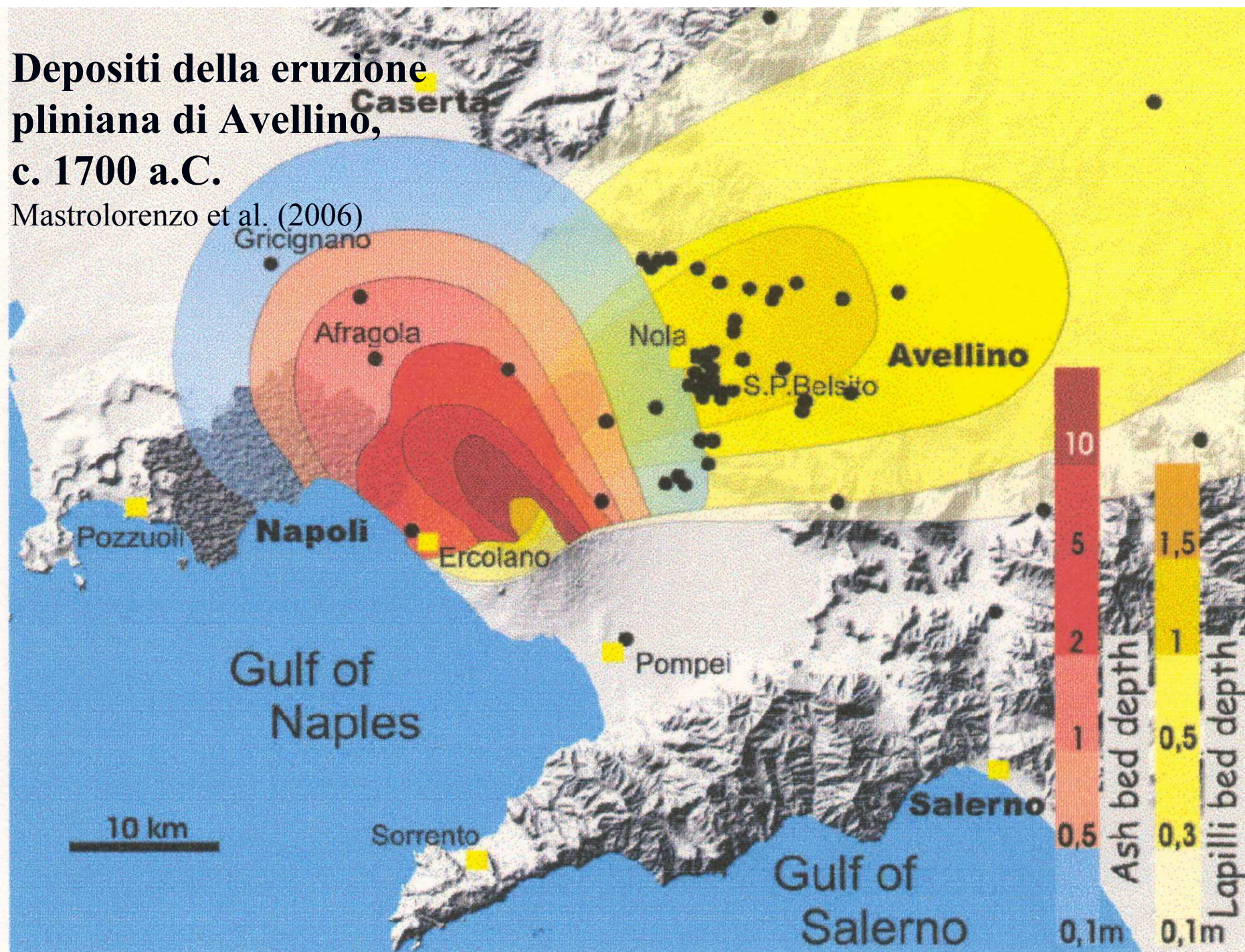
20.000 anni
di eruzioni
pliniane e
subpliniane

300 km³ di
materiale
eruttato

Eruption	Fall deposits			Pyroclastic surges and flows		
	Thickness	Distance	Direction	Thickness	Distance	Direction
	m	km		m	km	
Basal 17,000 y.B.P. plinian	2 0.2	4.5 22	N NE	3.5	4	N
Greenish 15,000 y.B.P. plinian	1 0.4	4.5 9	N N	15 2	4.5 9	N N
Lagno Amendolare 11,000 y.B.P. plinian	2 1	4 20	NW E-NE	Absent		
Ottaviano 8000 y.B.P. plinian 22 km, 3 km ³	4 3 1.5 0.5	5 10 20 30	N-NE N-NE N-NE N-NE	10 3.5 0.5 0.1	4.5 7 3.5 20	N NE NE NE
Avellino 3750 y.B.P. plinian 36 km, 4 km ³	0.8 1 0.6 0.1 1	6 15 30 40 3.5	E-NE E-NE E-NE E-NE NE	6 2 1 0.5 0.2	8 12 15 6 20	NW NW NW NE NW
Pompeii 79 A.D. plinian, 30 km, 3 km ³	14 4 2 1	5 8 20 40	W S-SE S-SE S-SE	15 10 2 3	5 8 8 10	W W-SW N-NE SE
Pollena 472 A.D. subplinian 20 km, ~ 1 km ³	1.3 1.2 0.9 0.3 0.7	5 8 20 30 10	NE NE NE NE NE	10-14 2 0.5	5 8 10	NW NW N-NE
1631 A.D. subplinian 20 km ~ 1 km ³	0.7 0.5 0.3 0.2 0.1	8 10 15 20 25	E-NE E-NE E-NE E-NE E-NE	0.3 0.2 0.1 4	5 10 15 7	E-NE E-NE E-NE S

Depositi della eruzione pliniana di Avellino, c. 1700 a.C.

Mastrolorenzo et al. (2006)



Depositi della eruzione
pliniana di Pompei,
79 d.C.
(Sigurdsson et al., 1985)

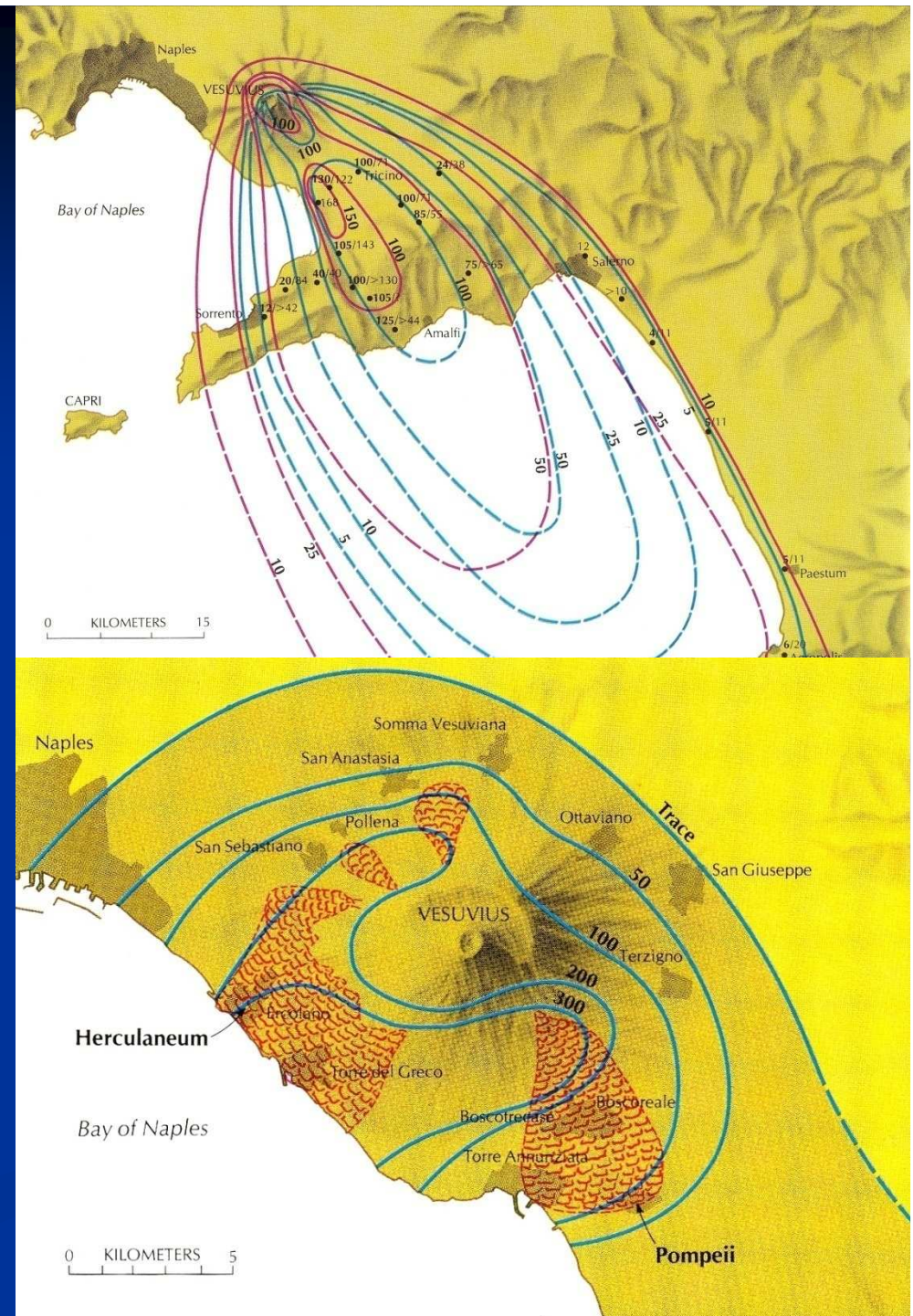
Depositi di caduta (cm)

Rosso — pomice grigia

Blu — pomice bianca

Depositi di surges e flussi
piroclastici (cm)

Rosso — flussi piroclastici



Vesuvio

il pericolo ignorato

Scelte per il futuro

- Aspettare l'eruzione e sperare che 1 milione di persone possa essere evacuato in 1-2 giorni
Piano di evacuazione del Vesuvio:
fallimento scientifico, sociale e tecnologico
- Spingere al declino socio-economico la zona
Intorno al Vesuvio
dilagare della criminalità ed esodo involontario
- Costruire habitats sostenibili per i vesuviani
VESUVIUS 2000
superare incommensurabili barriere

Piano di Evacuazione

1. Promosso nel governo italiano nel 1995 dai geologi (per bloccare lo sviluppo del progetto VESUVIUS 2000)
2. L'eruzione possa essere prevista almeno 3 settimane in anticipo (basata su precursori non specificati)
3. 600.000 persone entro 7 km dal Vesuvio saranno evacuate in maniera ordinata durante frequenti terremoti (i sistemi di trasporto e le vie di fuga resteranno funzionanti)
4. Gli evacuati saranno dispersi per tutta l'Italia (nelle regioni ospitanti non ci saranno effetti sociali ed economici)
5. L'abbandonata area vesuviana sarà protetta dai saccheggiatori e dagli infiltrati (cosa sarà protetto e per quanto tempo non è specificato)
6. La popolazione a distanza superiore a 7 km (inclusa Napoli) non avrà conseguenze dalla eruzione e dalla massiccia deportazione dei vesuviani)

An aerial photograph of a coastal city, likely Genoa, Italy. The image shows a dense urban area with a mix of old and new buildings. A large body of water, the Port of Genoa, is visible on the right side of the image, with a long bridge spanning across it. The city is built on a hillside, and the water is a deep blue color. The overall scene is a wide-angle shot from a high vantage point.

Piano di
evacuazione
3.000.000 di
persone da
gestire

- Il Piano di Evacuazione promuove l'ignoranza scientifica, sociale e tecnologica nelle istituzioni italiane e nella popolazione esposta al rischio
- Il controllo gerarchico dall'alto al basso dell'emergenza è difettoso
(ricordiamo l'uragano Katrina, lo tsunami di Sumatra, le colate di fango di Sarno del 1998, attuale situazione rifiuti in Campania)
- La popolazione vesuviana può oggi solo pregare San Gennaro per un aiuto

- Le iniziative dovrebbero mirare a proteggere le vite, le proprietà, e mantenere continuità delle operazioni. Questo si consegue tramite la conoscenza condivisa.
- Un'adeguata gestione del rischio richiede:
 - Rivelazione del rischio
 - Ricognizione ed interpretazione del rischio
 - Comunicazione del rischio a molteplici organizzazioni
 - Autorganizzazione e mobilitazione della comunità per ridurre il rischio e rispondere al pericolo
- Senza una ben definita e funzionante infrastruttura informatica sostenuta da appropriata tecnologia, una risposta collettiva della comunità esposta al rischio fallirà

Obiettivi di VESUVIUS 2000

- Combinare il pericolo con le opportunità per maneggiare il rischio vulcanico.

Considera la **Matrice del Rischio**:

		OPPORTUNITÀ	
		SI	NO
PERICOLO	SI	FUNGIBILITÀ 1	MEGLIO SICURO CHE AFFLITTO 2
	NO	NON SPRECAR NON VOLERE 3	INDIFFERENZA 4

Costruire nuovi habitats per i vesuviani

- zona di esclusione (< 5 km raggio)
- limitata protezione (5-10 km raggio)
- habitats sostenibile (> 10 km raggio)
- bisogna che gli ingegneri conoscano:
 - parametri per disegnare complessi residenziali, commerciali, industriali e sistemi infrastrutturali
 - procedure di rifornimento e uso di materiali, energia, informazione, servizi e prodotti
 - misure di protezione dai terremoti, caduta di cenere, flussi piroclastici, blocchi balistici

- Utilizzo di paradigmi associati al disegno di centri urbani

- Sostenibilità

- basilari bisogni umani (cibo, acqua, spazio)
 - diritti socio-politici
 - assistenza sanitaria
 - educazione
 - equa distribuzione delle risorse
 - lavoro
 - abitazione
 - senso di appartenenza
 - limitato spazio geografico e delle risorse
 - autoregolazione del territorio
 - gestibilità territoriale

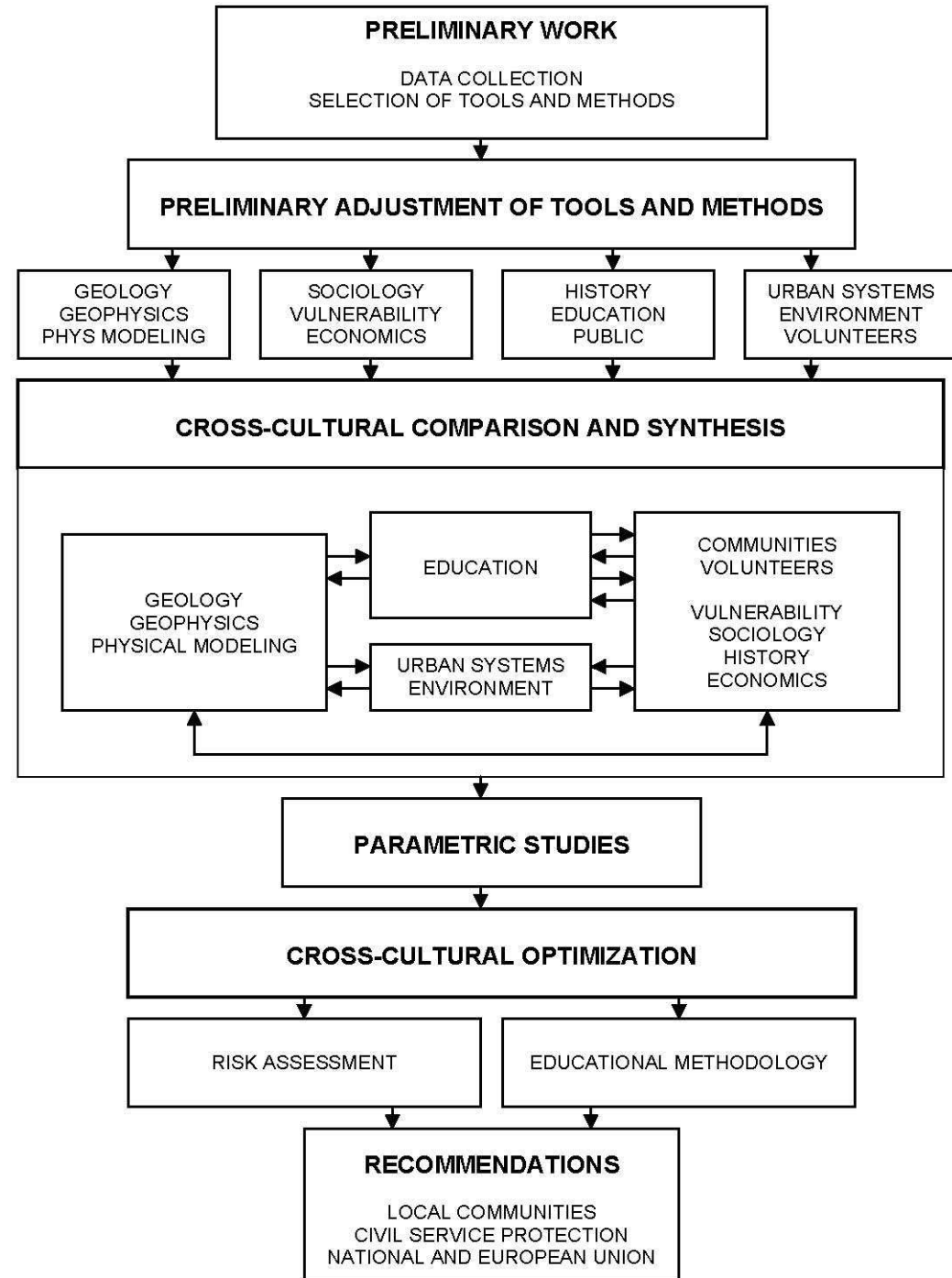
➤ Impostare sistema di sistemi

- bilancia attività locali e centralizzate
- distribuisce trasporti, servizi, ricreazioni, affari, complessi residenziali attraverso interconnessi clusters
- decidi livelli di interazione tra
 - ❑ componenti biologiche (attività umane, vegetazione, microrganismi)
 - ❑ componenti sociali (idee, attività collettive, organizzazione degli abitanti)
 - ❑ componenti di macchinari (attrezzature di supporto alla vita)

- Utilizzo degli strumenti per disegnare systemi
 - Analisi probabilistica del rischio
 - Simulatore Vulcanico Globale
 - Zonazione Sismica
 - Sistema Geografico di Informazione
 - Econometria
 - Pianificazione urbana
 - meccanica strutturale
 - paradigmi per disegnare sistemi sostenibili
- Coinvolgi la popolazione come coautori
- Promuovi educazione della cultura della sicurezza
- Fornisci incentivi economici per sviluppare la zona in comunità prospere

VESUVIUS 2000

Studio di fattibilità
interdisciplinare
per l'area
vesuviana



STRUMENTI PER DISEGNARE SISTEMI

Analisi probabilistica del rischio

- L'analisi del rischio risponde alle domande
 - Che cosa può accadere?
 - Quanto verosimile è che accadrà?
 - Se accadrà, quali sono le conseguenze?
- Analisi del rischio comprende
 - Tutti i possibili scenari S_i
 - Verosimiglianza di ogni scenario L_i
 - Conseguenza del *i*mo scenario X_i

$$R = (S_i, L_i, X_i)_{\text{completo}}$$

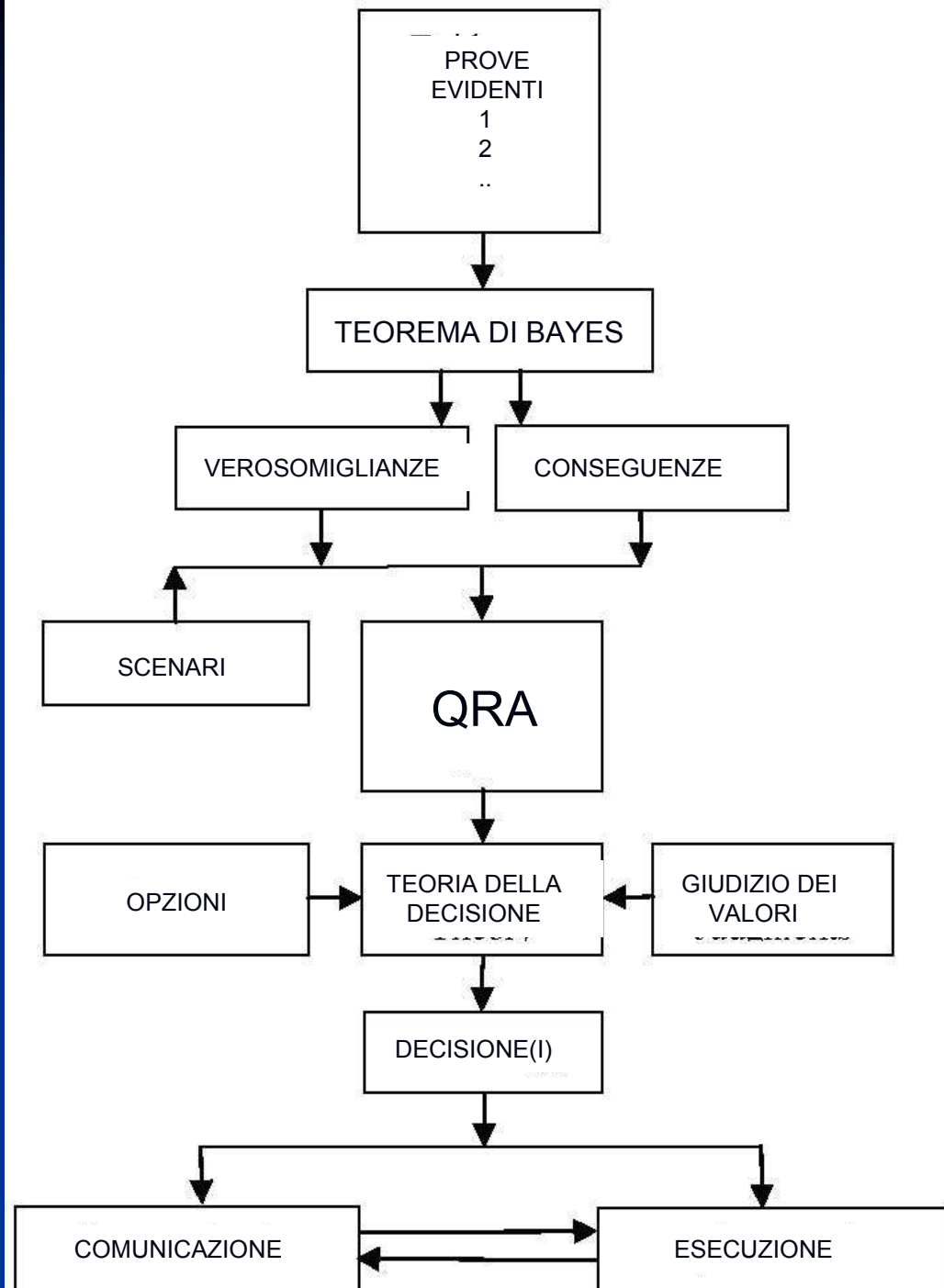
- Analisi Quantitativa del Rischio (QRA)
- Specificazione delle preferenze
- Massimizzazione di utilità delle decisioni d_i

$$u(d_i) = P(X / d_i) = \sum_{j=1}^m P(X / d_i @ A_j) P(A_j / d_i)$$

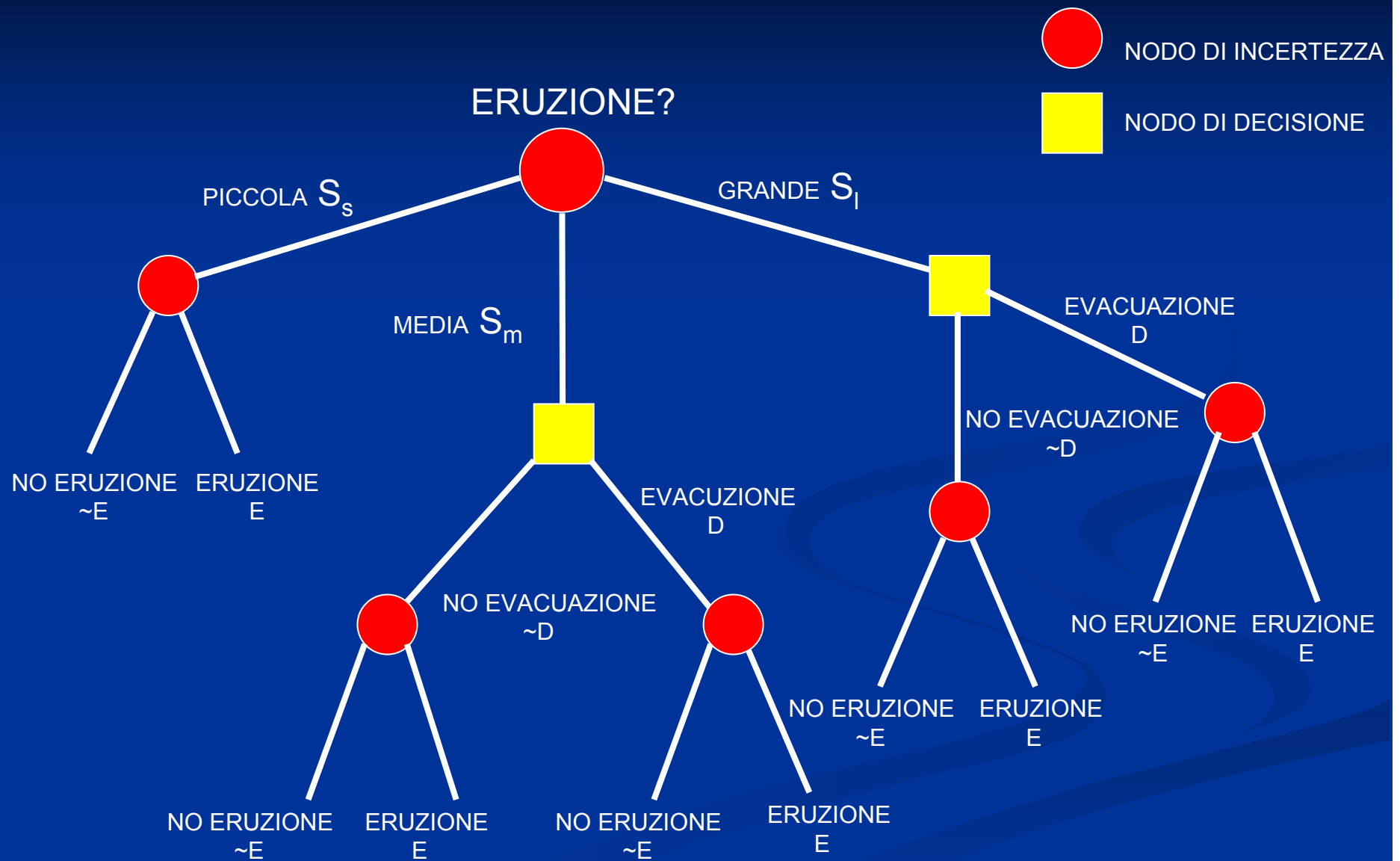
Teoria razionale delle decisioni

- Quantificazione di probabilità di scenari sismici, vulcanici, socio-economici, e di pianificazione urbana
- Specificazione delle preferenze (opzioni e giudizi di valori)
- Sviluppo della teoria di utilità (prendere decisioni nelle incertezze)

“il valore di un articolo non può essere basato sul suo prezzo, ma in base alla sua utilità”
(Daniel Bernoulli, 1731)



Esempio: Evacuazione dell'area vesuviana



(a) Eventi E e $\sim E$ formano una partizione: $E \cap \sim E = 0$, $E \cup \sim E \prec \Omega$

$$P(S_l) = P(S_l/E)P(E) + P(S_l/\sim E)P(\sim E)$$

$$P(S_m) = P(S_m/E)P(E) + P(S_m/\sim E)P(\sim E)$$

(b) Probabilità condizionale:

$$P(E/S_l) = P(S_l/E)P(E) / P(S_l), P(\sim E/S_l) = P(S_l/\sim E)P(\sim E) / P(S_l)$$

$$P(E/S_m) = P(S_m/E)P(E) / P(S_m), P(\sim E/S_m) = P(S_m/\sim E)P(\sim E) / P(S_m)$$

(a) + (b) = Teorema di Bayes

(c) Indipendenza degli eventi

$$P(E \& D) = P(E) P(D)$$

(d) Utilità del costo (conseguenze) della decisione di evacuare

$$u(C) = P(C/E \& D)P(E \& D) + P(C/\sim E \& \sim D)P(\sim E \& \sim D) +$$

$$P(C/\sim E \& D)P(\sim E \& D) + P(C/E \& \sim D)P(E \& \sim D)$$

$$P(E \& D) = P(E \& D/S_l)P(S_l) + P(E \& D/S_m)P(S_m) + P(E \& D/S_s)P(S_s)$$

$$P(E \& D/S_l) = P(E/D \& S_l)P(D/S_l), P(E/S_l)P(S_l) = P(S_l/E)P(E), \dots$$

$$P(D/S_l) = 1, P(D/S_m) = 1, P(D/S_s) = 0 \text{ (affidati alle decisioni)}$$

$$P(D/S_l) = 0, P(S/S_m) = 0, P(D/S_s) = 0 \text{ (ignora le decisioni)}$$

$$k \equiv [P(C/E \& \sim D) - P(C/E \& D)] / [P(C/\sim E \& D) - P(C/\sim E \& \sim D)] > 0 \text{ (O(1))}$$

$u(C)_{\text{affidati alle decisioni}} < u(C)_{\text{ignora decisioni}}$

$$\text{VEROSIMIGLIANZA} = \frac{P(S_i/E) + P(S_m/E)}{P(S_i/\sim E) + P(S_m/\sim E)} > \frac{P(\sim E)}{k P(E)}$$

$$\text{odds} = P(E)/P(\sim E)$$

(vantaggio di favorevoli a non favorevoli risultati)

$$P(E) = 1 - \exp[-6.534 \tau \exp(-1.18 \text{VEI})]$$

$$\tau = 1/52 \text{ yr, VEI} = 4 \text{ (subpliniana)}$$

$$\text{LR} > 10^3 \text{ (evacuazione 1 settimana)}$$

$$\tau = 1 \text{ yr, VEI} = 4 \text{ (subpliniana)}$$

$$\text{LR} > 10 \text{ (allarme 1 mese)}$$

$$\tau = 100 \text{ yr, VEI} = 4 \text{ (subpliniana)}$$

$$\text{LR} > 10^{-1} \text{ (prevenzione 100 anni)}$$

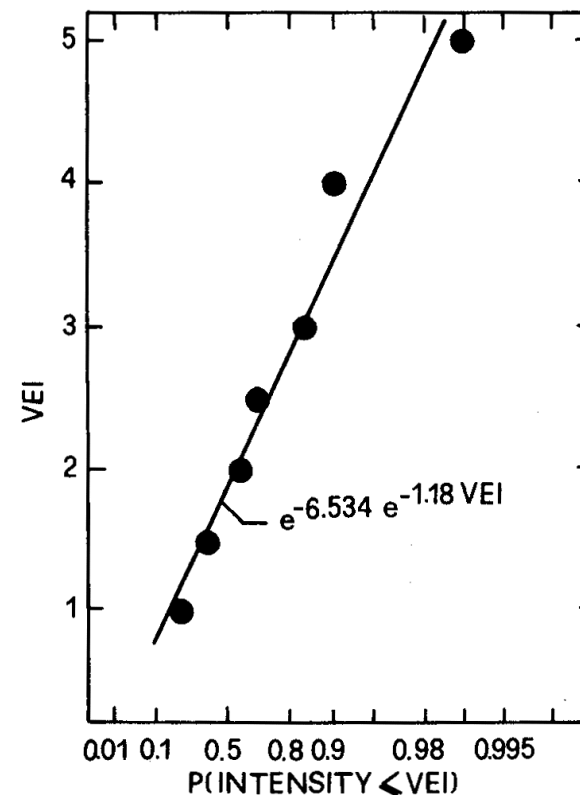
$$\text{LR}_{\text{PRATICA}} < 5 \text{ (PREDIZIONE DI 1 GIORNO DI PIOGGIA)}$$

- Non possiamo evacuare in breve tempo senza sostenere enorme costo, almeno se non abbiamo precursori affidabili

Table 7.2. Classification of Eruptions of Vesuvius in Terms of Volcanic Eruption Index (VEI) or Intensity.^a

VEI	Eruption type	Number	Probability P
1	Lava effusion	21	0.228
1.5	Strombolian crisis	15	0.391
2	Strong strombolian activity	17	0.576
2.5	Strong strombolian activity and lava fountains	10	0.685
3	Small eruption column (similar to 1944)	15	0.848
4	Subplinian eruption (similar to 1631)	5	0.902
5	Plinian eruption (similar to 79)	8	0.989
6	Ultraplinian eruption (Monte Somma)	1	1.000

^a P is the cumulative frequency that the intensity is less than or equal to VEI. For example, $P(\text{VEI} \leq 2) = (21 + 15 + 17)/92 = 0.576$.



Vulnerabilità delle strutture

Vento (regionale, dalla eruzione)
Terremoti (regionali e vulcanici)
Caduta di cenere (diametro < 1 cm)
Flussi piroclastici, fango e lava
Impatti balistici ($d = 10$ cm – 1 m)
Fuoco e materiali pericolosi

Carichi sulle strutture

Effetto della deformazione
sul carico

Risposta (dinamica)
strutturale

Produzione delle procedure
per la costruzione delle strutture
residenziali, commerciali e industriali
intorno al Vesuvio

Analisi della incertezza

Sicurezza e servizio
a 5, 10, 20, 50 km

Contributi necessari:

- geologici, geotecnici, e caratterizzazione sismica dei luoghi intorno al Vesuvio (scenari e verosimiglianze)
- modellizzazione fisica delle eruzioni (scenari e verosimiglianze)
- architetti (forma e funzionalità delle strutture)
- pianificazione urbana (distribuzione delle strutture)
- procedure per disegnare edifici (analisi dinamica utilizzando metodi di forza ed energia)

Analisi del pericolo sismico

- Utilizzo delle probabilità (metodo tradizionale)
 - tanti parametri non sono ben definiti
(Gutenberg-Richter tipo di modelli)
 - i risultati dimostrano grande incertezza per le regioni con lungo tempo di quiescenza
 - questo metodo non è utile per disegnare strutture intorno al Vesuvio

Zonazione Sismica

- Utilizzo deterministico basato su scenari

(Klügel Mualchin & Panza, 2006, Peresan, Zuccolo, Vaccari & Panza, 2007)

- determina scenari di terremoti per considerati luoghi

- identifica zone sismogeniche, faglie
- identifica maggiori terremoti per ogni sorgente
- identifica condizioni geologiche, geotecniche, geofisiche dei siti
- stabilisci relazioni di attenuazione per la propagazione dei segnali sismici
- determina verosimiglianze degli scenari
- stabilisci le incertezze dei parametri della modellizzazione

- determina parametri per analisi strutturale

- spettro del movimento del suolo dei luoghi di interesse
- spettro della velocità del suolo dei luoghi di interesse
- spettro della accelerazione del suolo dei luoghi di interesse

Simulatore Vulcanico Globale

Dobran (1993, 1994, 2001, 2006)

- Modello fisico-matematico-computerizzato del sistema vulcanico
- Determina scenari e loro verosimiglianze
 - Dinamica della camera magmatica
 - Apertura del sistema vulcanico
 - Dinamica dei flussi nel condotto vulcanico
 - Dispersione piroclastica nell'atmosfera
 - Caduta di cenere dalla colonna eruttiva
 - Propagazione di flussi piroclastici, lava e fango
 - Dispersione di blocchi balistici

Simulazione della futura eruzione pliniana

• Decomposizione del vulcano

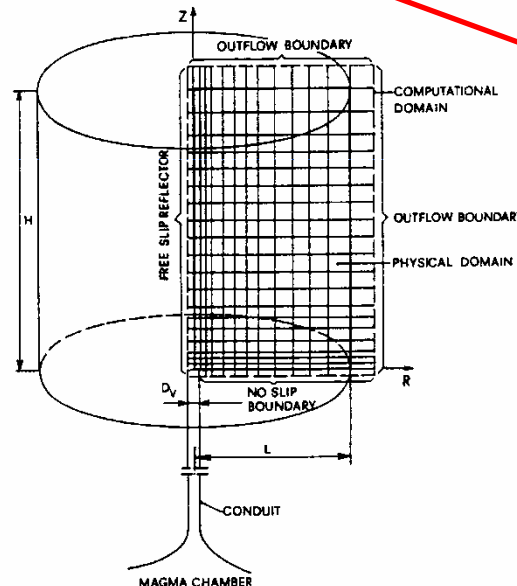
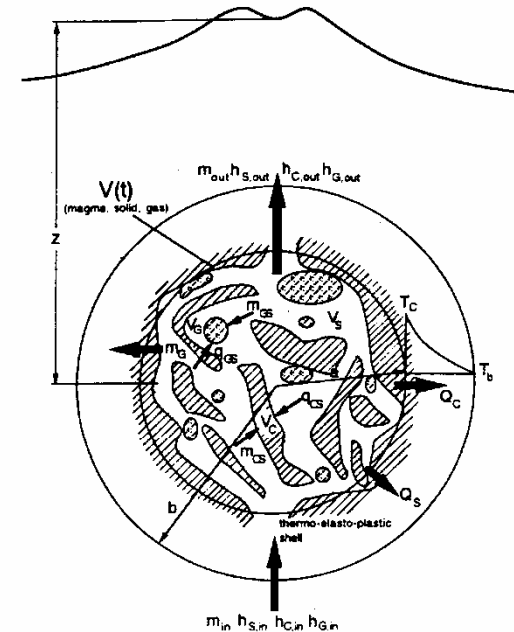
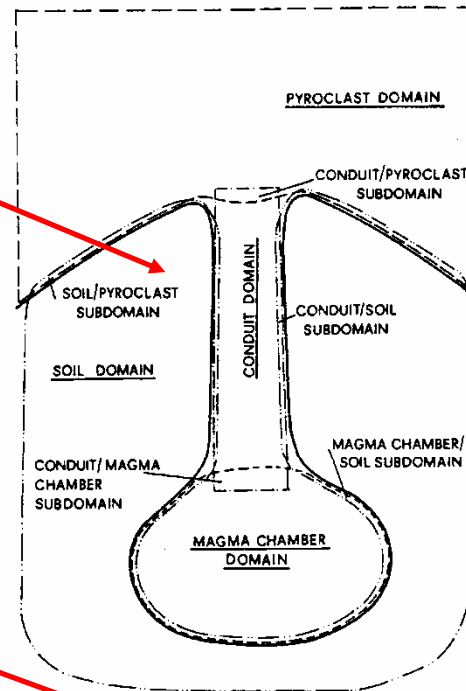
- camera magmatica
- condotto
- suolo e rocce
- atmosfera

• 3-dimensionale

- transiente
- multifase
- non equilibrio
- euleriano
- lagrangiano (balistica)

• Implementazione numerica

- implicito
- macchine parallele



Law	Mass	Linear Momentum	Angular Momentum	Energy	Entropy
$\Psi^{(\alpha\delta)}$	1	$\mathbf{v}^{(\alpha\delta)}$	$\mathbf{r} \times \mathbf{v}^{(\alpha\delta)}$	$\epsilon^{(\alpha\delta)} + \frac{1}{2} \mathbf{v}^{(\alpha\delta)} \cdot \mathbf{v}^{(\alpha\delta)}$	$g^{(\alpha\delta)}$
$\mathbf{J}^{(\alpha\delta)}$	0	$-\mathbf{T}^{(\alpha\delta)}$	$-\mathbf{r} \times \mathbf{T}^{(\alpha\delta)}$	$\mathbf{q}^{(\alpha\delta)} - \mathbf{T}^{(\alpha\delta)} \cdot \mathbf{v}^{(\alpha\delta)}$	$\mathbf{h}^{(\alpha\delta)}$
$\Phi^{(\alpha\delta)}$	0	$\mathbf{b}^{(\alpha\delta)}$	$\mathbf{r} \times \mathbf{b}^{(\alpha\delta)}$	$\mathbf{b}^{(\alpha\delta)} \cdot \mathbf{v}^{(\alpha\delta)}$	$R^{(\alpha\delta)}$
$\mathbf{B}^{(\alpha\delta)}$	0	0	0	$\tau^{(\alpha\delta)}$	$\zeta^{(\alpha\delta)}$
$\Delta^{(\alpha\delta)}$	0	$\Delta_m^{(\alpha\delta)}$	$\mathbf{r} \times \Delta_m^{(\alpha\delta)}$	$\Delta_i^{(\alpha\delta)}$	$\Delta_s^{(\alpha\delta)}$
$\Delta_m^{(\alpha\delta)} = (2H\nu\mathbf{n} + \nabla_s \nu)^{(\alpha\delta)}, \quad R^{(\alpha\delta)} = \tau^{(\alpha\delta)} / \theta^{(\alpha\delta)}, \quad \zeta^{(\alpha\delta)} \geq 0$ $\Delta_i^{(\alpha\delta)} = (2H\nu\mathbf{n} \cdot \mathbf{S} + \nabla_s \nu \mathbf{S} + \nu \nabla_s \cdot \mathbf{S})^{(\alpha\delta)}, \quad \Delta_s^{(\alpha\delta)} \geq 0$					

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho^{(\alpha\delta)} \Psi^{(\alpha\delta)}) + \nabla^\circ \cdot (\rho^{(\alpha\delta)} \Psi^{(\alpha\delta)} \mathbf{v}^{(\alpha\delta)}) + \nabla^\circ \cdot \mathbf{J}^{(\alpha\delta)} - \rho^{(\alpha\delta)} \Phi^{(\alpha\delta)} = \rho^{(\alpha\delta)} \mathbf{B}^{(\alpha\delta)}$$

$$(m^{(\alpha\delta)} \Psi^{(\alpha\delta)} + \mathbf{J}^{(\alpha\delta)} \mathbf{n}^{(\alpha\delta)}) + (m^{(\beta\eta)} \Psi^{(\beta\eta)} + \mathbf{J}^{(\beta\eta)} \mathbf{n}^{(\beta\eta)}) = \Delta^{(\alpha\delta)}$$

$$m^{(\alpha\delta)} = \rho^{(\alpha\delta)} (\mathbf{v}^{(\alpha\delta)} - \mathbf{S}^{(\alpha\delta)}) \cdot \mathbf{n}^{(\alpha\delta)}$$

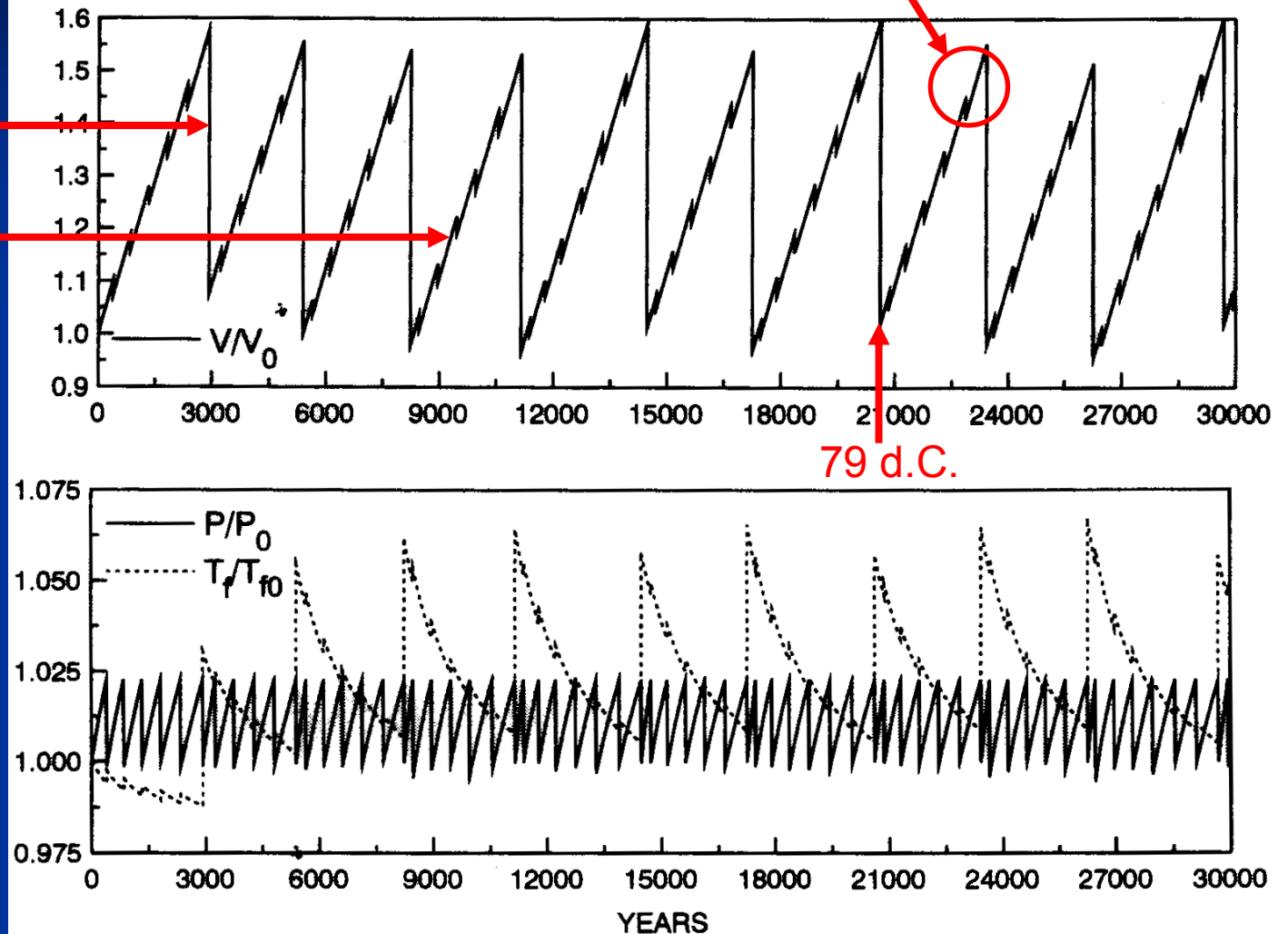
➤ Dinamica della camera magmatica

- ❑ Aumento della pressione e sussidio
 - rifornimento di magma
 - scioglimento e cristallizzazione di magma
 - differenziazione (cambiamento di composizione)
- ❑ Deformazione visco-plastica del serbatoio magmatico
- ❑ Deformazione termo-visco-elastico delle rocce circostanti
- ❑ Simulazione di 20.000 anni della attività vulcanica

Il Vesuvio si trova qui oggi

Eruzione
pliniana

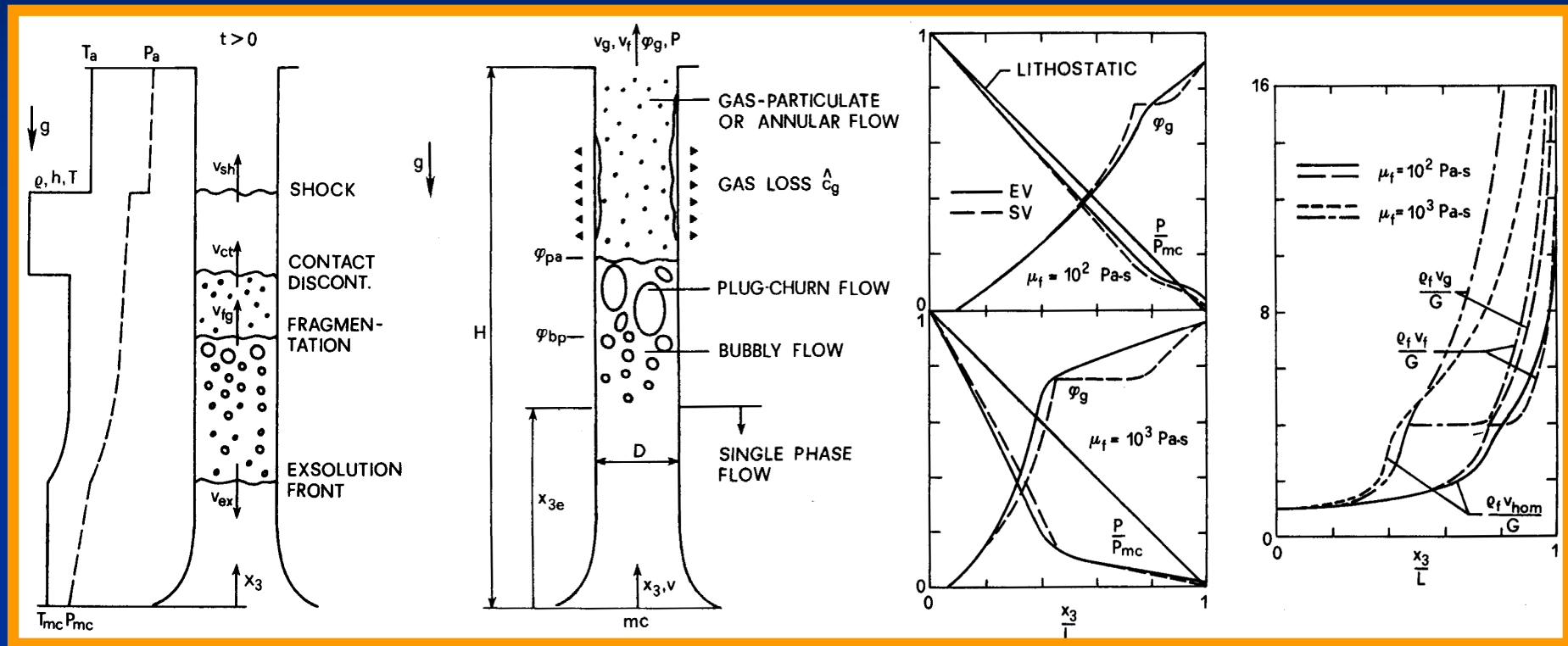
Eruzione
subpliniana



Prossima
eruzione:

Questo o prossimo secolo: pliniana o subpliniana

➤ Dinamica del condotto vulcanico



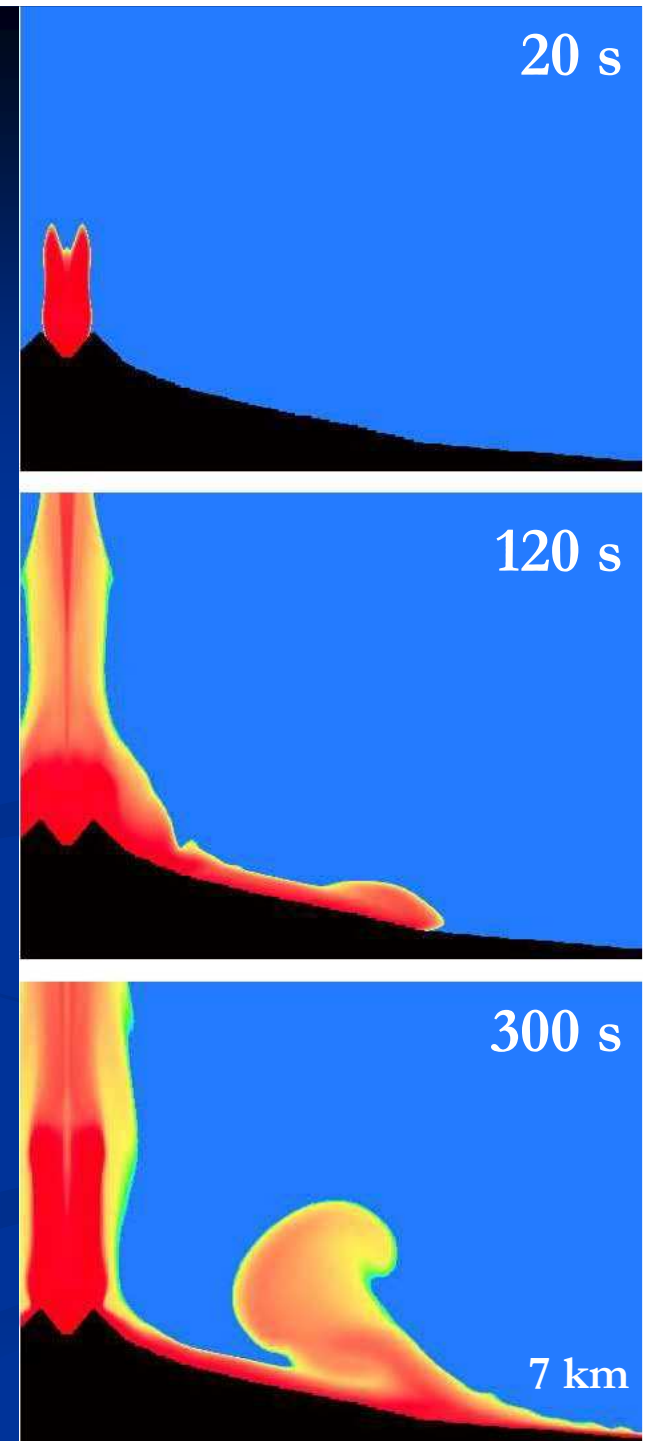
Condotto aperto

quasi-stazionario flusso

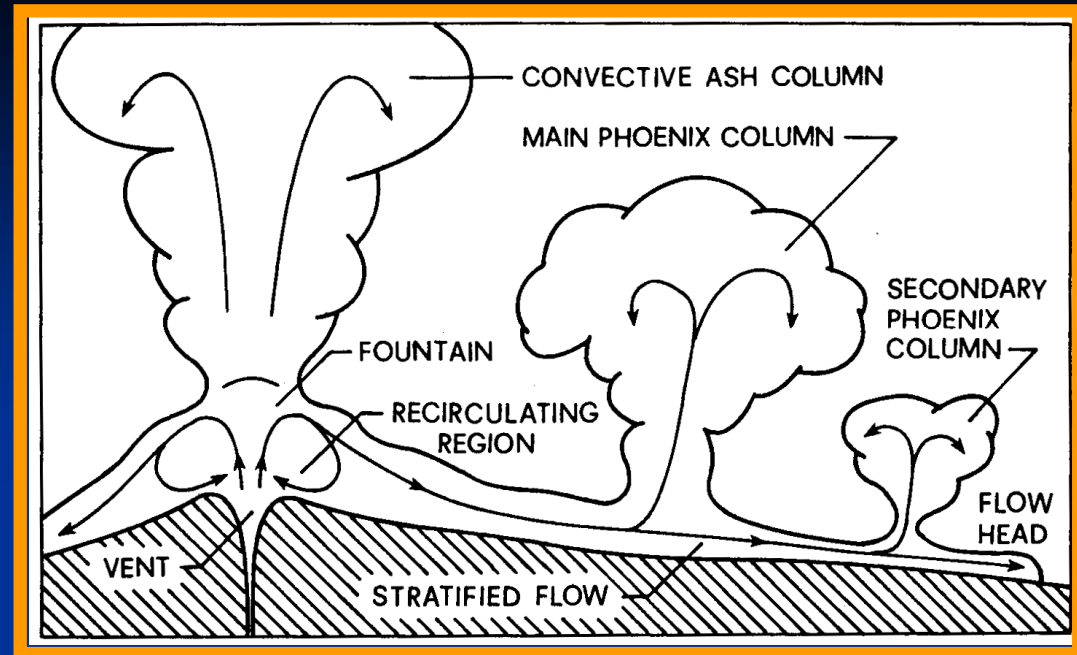
➤ **Dispersione piroclastica**

(modello bidimensionale di non equilibrio)

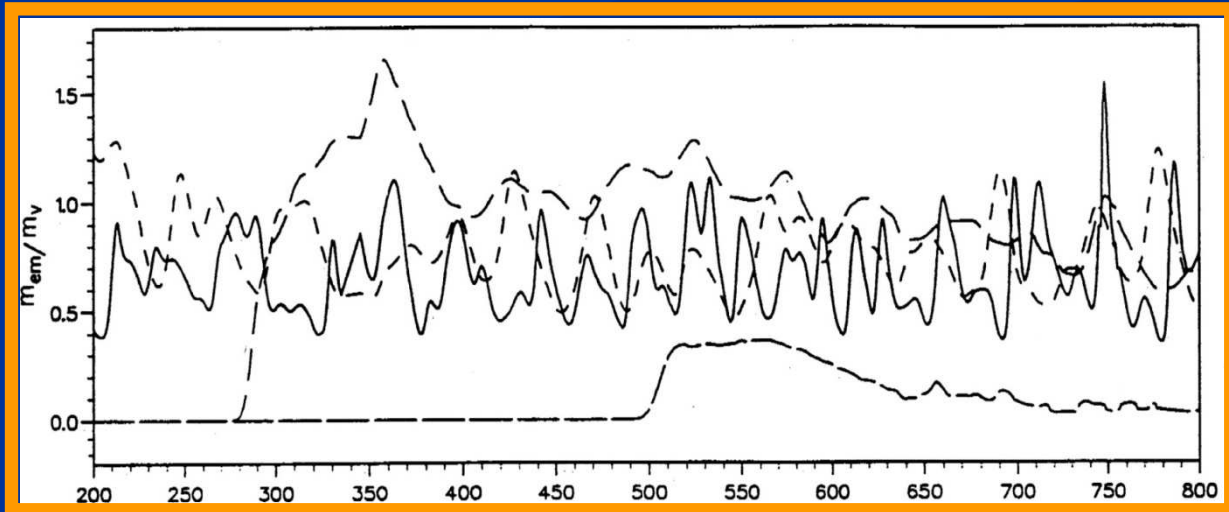
- Condizioni nella bocca: modellizzazione della camera magmatica e flusso nel condotto vulcanico
- Tasso della eruzione pliniana: 10^8 kg/s
- Flussi piroclastici raggiungono 7 km in 5 minuti
- 3-7 km³ di materiale erutta in 20 ore
- persone entro 10 km periranno
- persone entro 50 km saranno influenzate
- Napoli, la prossima Pompei?



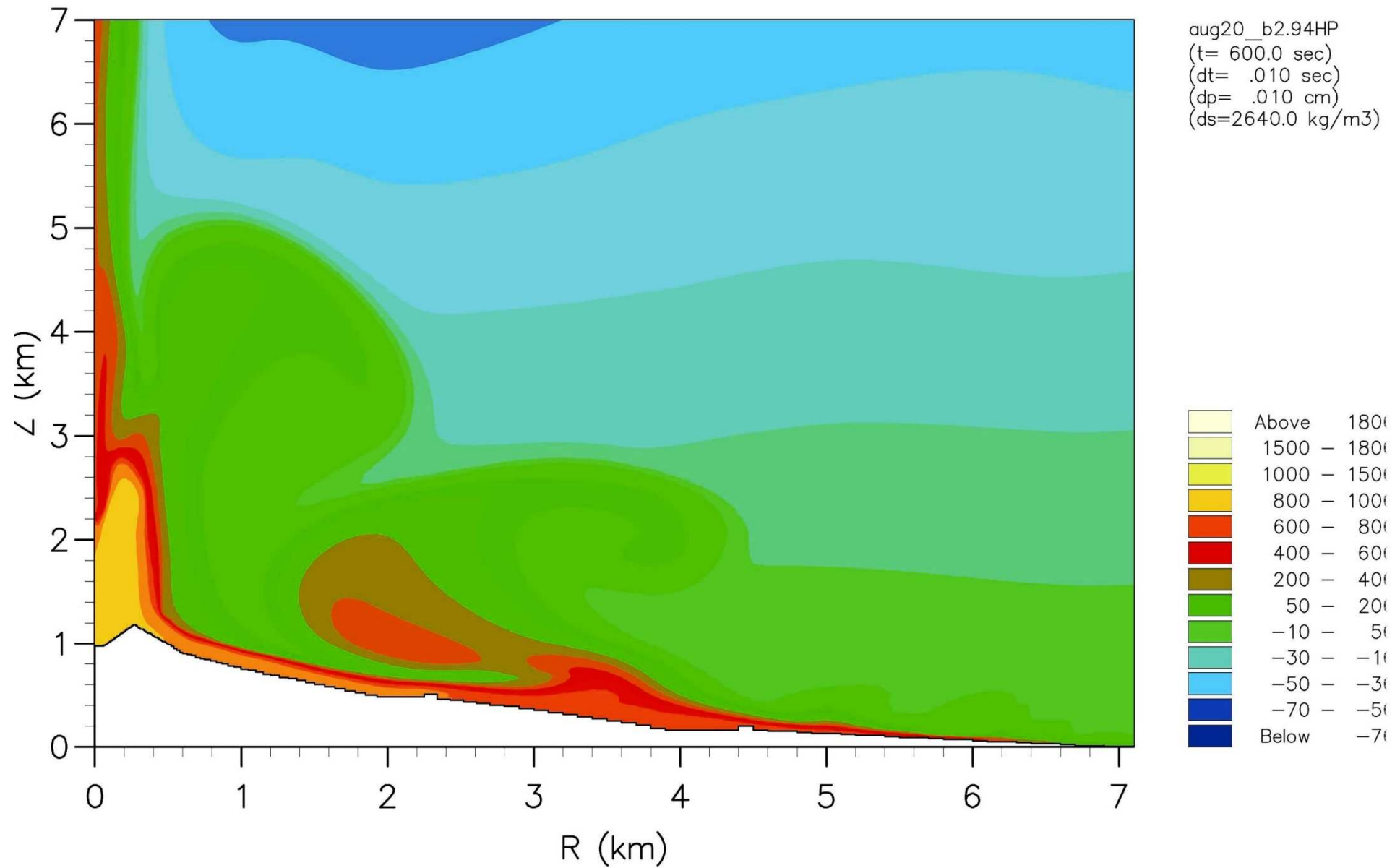
Regimi di flusso
vicino al cratere e il
flusso piroclastico



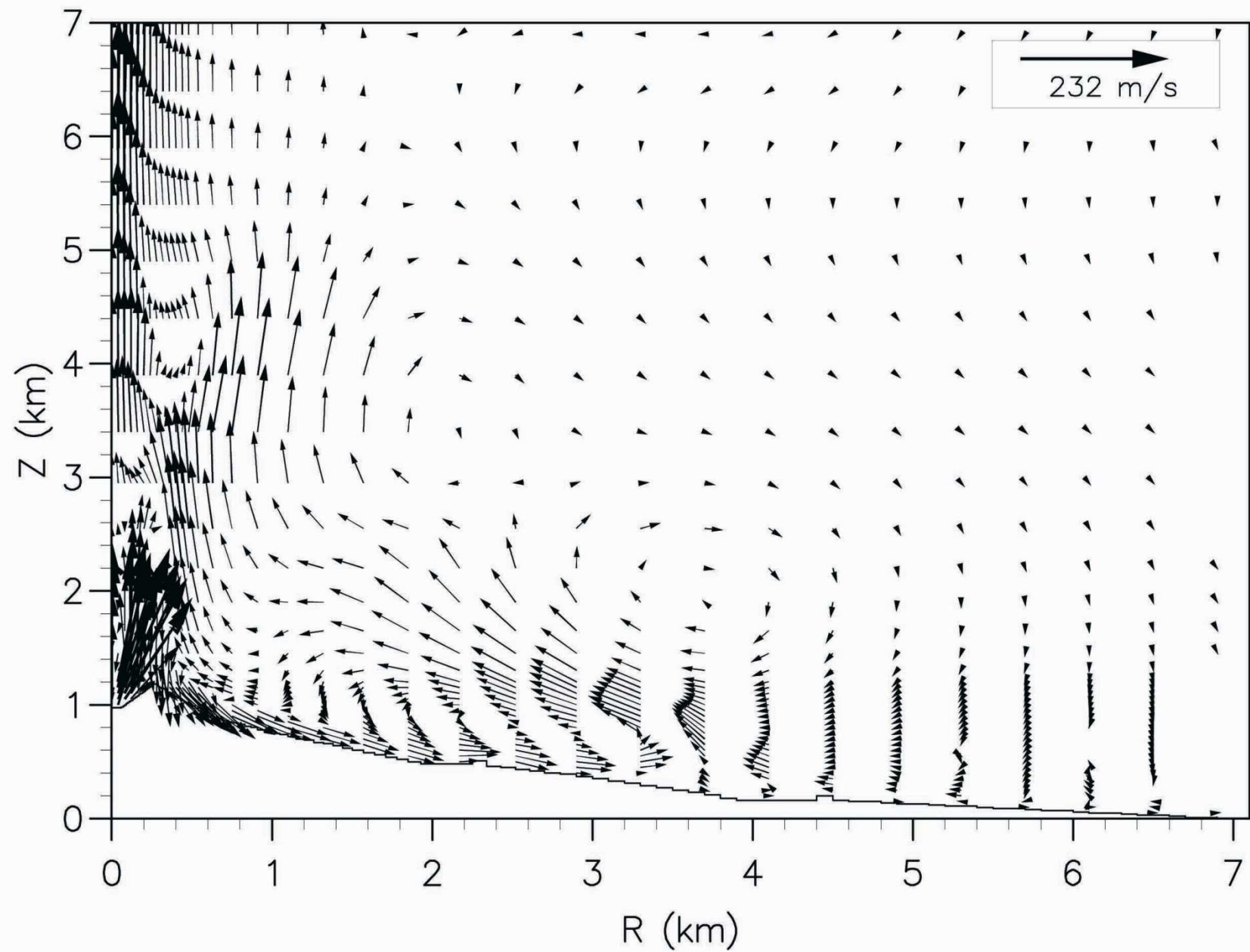
Oscillazioni di massa
del flusso
piroclastico a diverse
distanze dal cratere



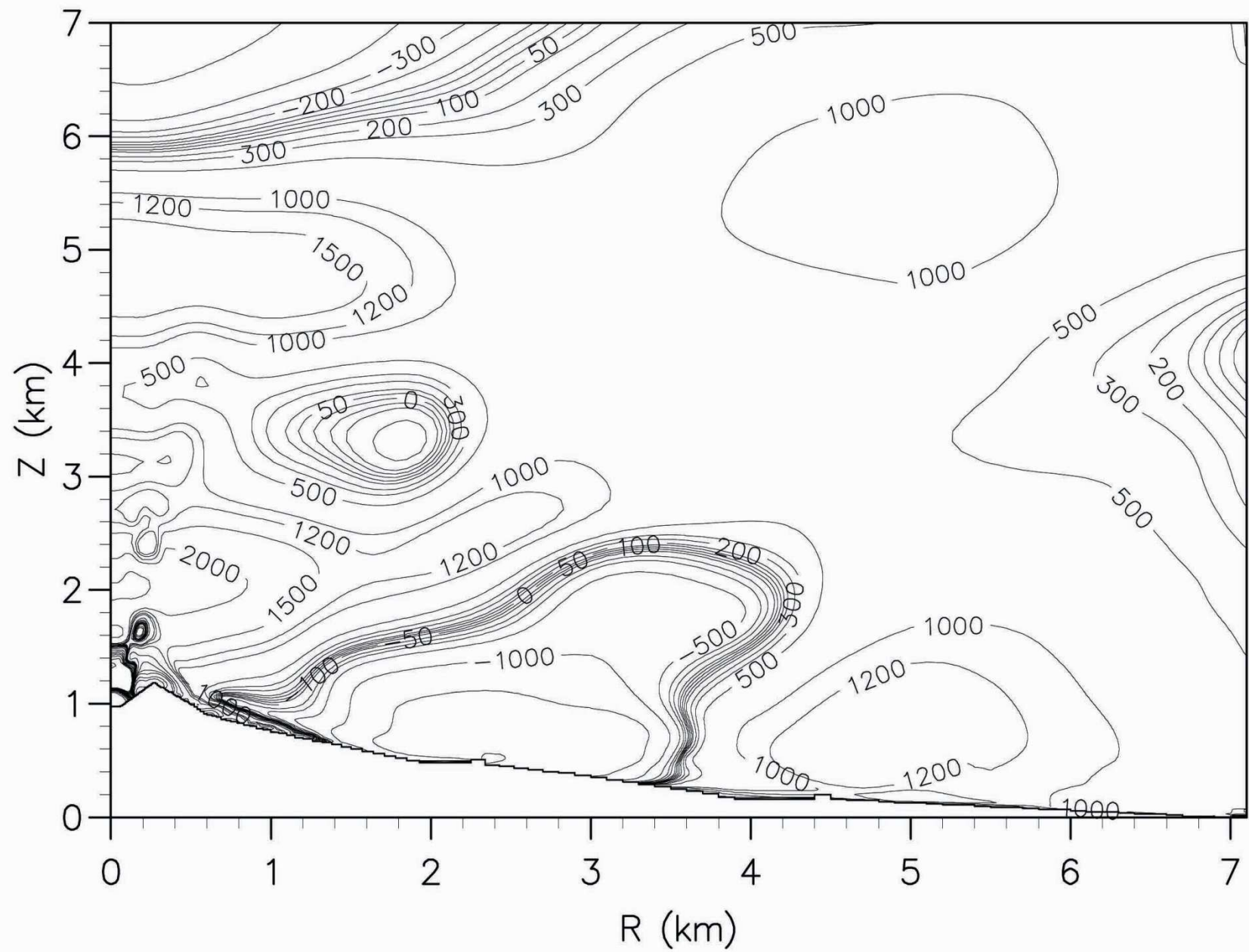
$T_{\text{gas}} - T_{\text{atm}}(z=0)$ (K)



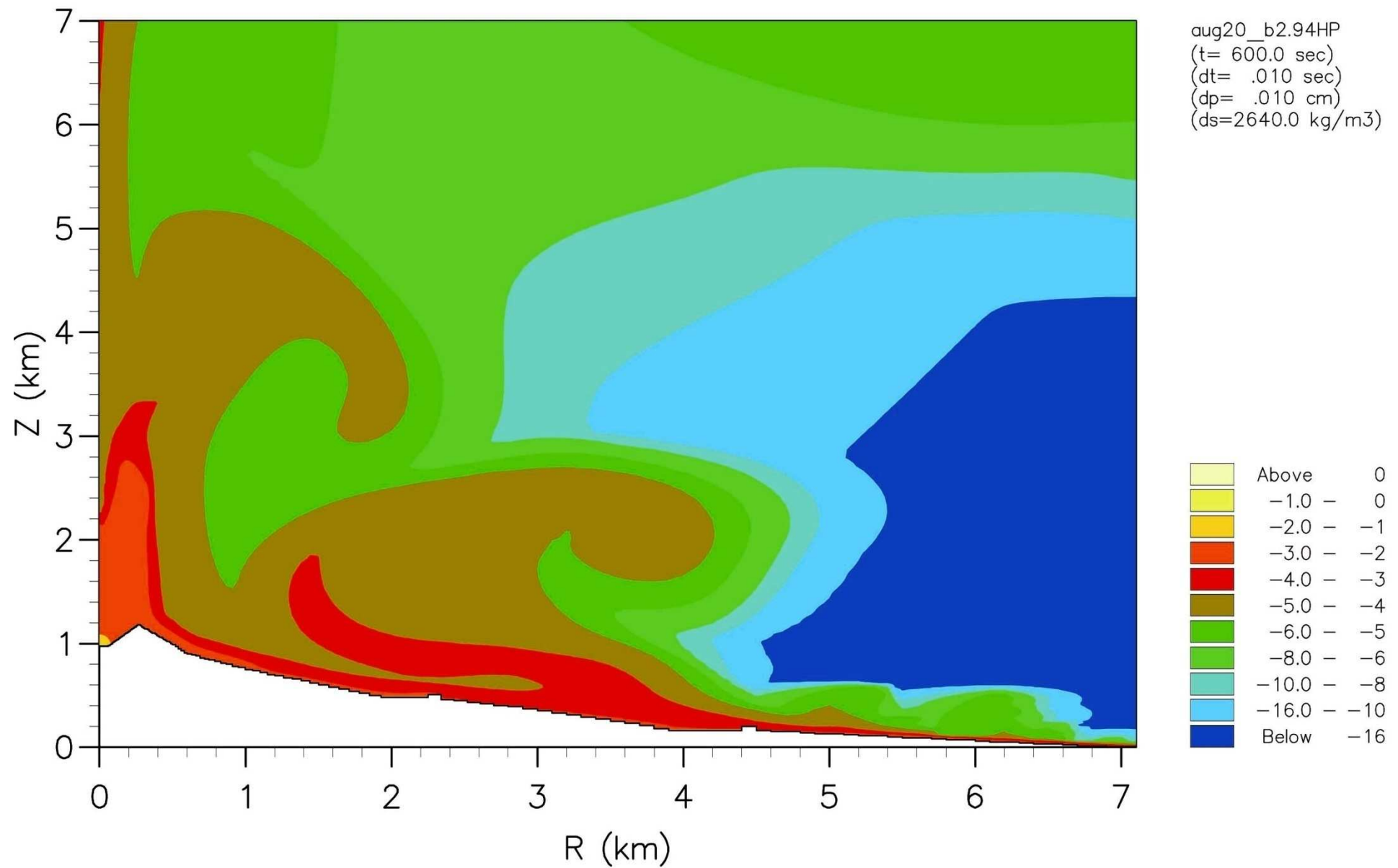
Gas Velocity



$P - P_{\text{atm}}(z)$ (Pa)



Log10 of Particle fraction

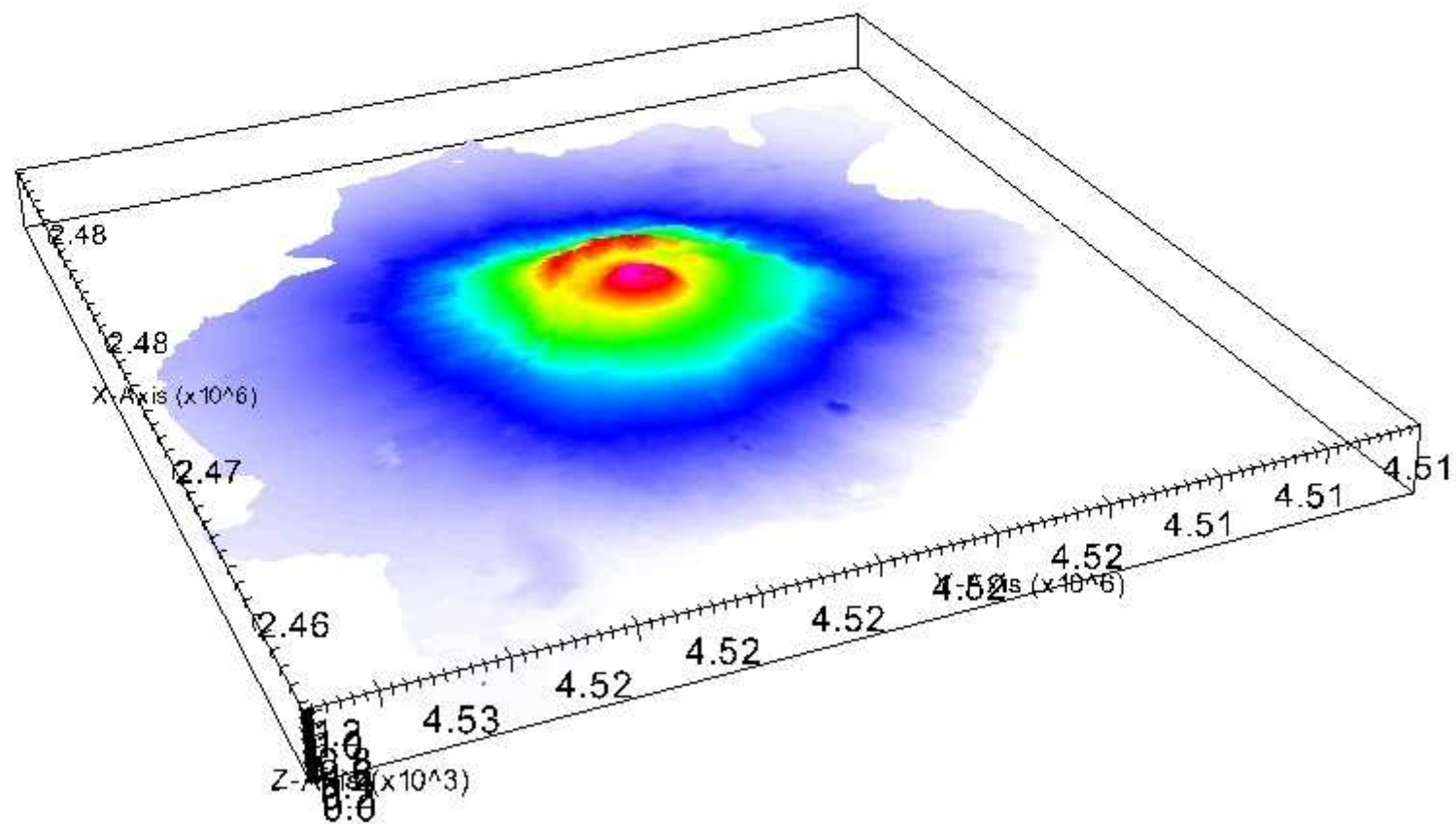
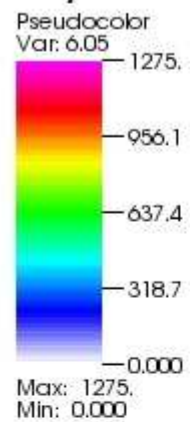


Sistema Geografico di Informazione

- Analizza la pianura campana per
 - ❖ dinamica della popolazione
 - ❖ proprietà (residenziale, commerciale, industriale)
 - ❖ servizi (energia, acqua, coltivazione)
 - ❖ infrastrutture
 - ❖ ambiente (ricreazione, rifiuti & disposizione)
 - ❖ identifica aree per habitats futuri
- Produci mappe topografiche per simulazioni
 - ❖ con importanti esistenti strutture sovrapposte
 - ❖ con importante strutture sovrapposte

DB: ves5m_xyz.3D

Cycle: 0





Problemi di Grande Sfida

- Quali sono i paradigmi del disegno sostenibile?
- Come i requisiti della sicurezza limitano opzioni in altri settori?
- La difesa dal vulcano richiede i nuovi paradigmi per infrastrutture urbane?
- È la difesa del paese effettuabile contro tutti gli scenari concepibili?
- Quali metodi di rifornimento di energia e di gestione dei rifiuti sono richiesti?

- Quale tipi di habitats (centralizzato o decentralizzato - clusters)?
- Come questi habitats interagiranno con Napoli e dintorni?
- Quali patrimoni culturali si potranno proteggere e come proteggerli?
- Cosa potrà rimanere entro la zona di esclusione?
- Come collaborare effettivamente con politici, professionisti e la popolazione?

Verso la sicurezza e la prosperità

VESUVIUS 2000



Lavori rilevanti:

Dobran, F., 1991. Theory of Structured Multiphase Mixtures. Springer-Verlag (Springer), New York.

Dobran, F., 1993. Global Volcanic Simulation of Vesuvius. Giardini, Pisa.

VESUVIUS 2000, 1994. GVES, Napoli.

Dobran, F. 1994. Prospects for the global volcanic simulation of Vesuvius. Accademia Nazionale dei Lincei, 112: 197-209.

Dobran, F., 2001. Volcanic Processes: Mechanisms in Material Transport. Kluwer Academic/Plenum Publishers (Springer), New York.

Dobran, F., 2006. VESUVIUS 2000: Toward security and prosperity under the shadow of Vesuvius. In F. Dobran ed. Vesuvius: Education, Security and Prosperity. Elsevier, Amsterdam, pp. 3-69.

Dobran, F. and Ramos, J.I., 2006. Global volcanic simulation: Physical modeling, numerics and computer implementation. In F. Dobran ed. Vesuvius: Education, Security and Prosperity. Elsevier, Amsterdam, pp. 311-372.

Klugel, J.,-U, Mualchin, L., Panza, G.F., 2006. A scenario-based procedure for seismic risk analysis. Engineering Geology 88: 1-22.

Mastrolorenzo, G., Petrone, P., Pappalardo, L., Sheridan, M.F., 2006. The Avellino 3780-yr-B.P. catastrophe as a worst-case scenario for a future eruption at Vesuvius. PNAS, 103: 4366-4370.

Panza, G.F., Romanelli, F., Vaccari, F., 2001. Seismic wave propagation in laterally heterogeneous anelastic media: Theory and applications to seismic zonation. Advances in Geophysics, 43: 1-95.

Peresan, A., Zuccolo, E., Vaccari, F., Panza, G.F., 2007. Neo-deterministic seismic hazard scenarios for north-eastern Italy. Submitted for publication.

Sigurdsson, Carey, S., Cornell, W., Pescatore, T., 1985. The eruption of Vesuvius in A.D. 79. National Geographic Research, 1: 332-387.