Il rischio vulcanico: un problema scientifico di rilevanza sociale

Pierfrancesco Dellino – Dipartimento di Scienze della Terra e Geoambientali, Università di Bari

Gli studi sul rischio vulcanico provano a rispondere alla domanda: che danni provocherà la prossima eruzione?

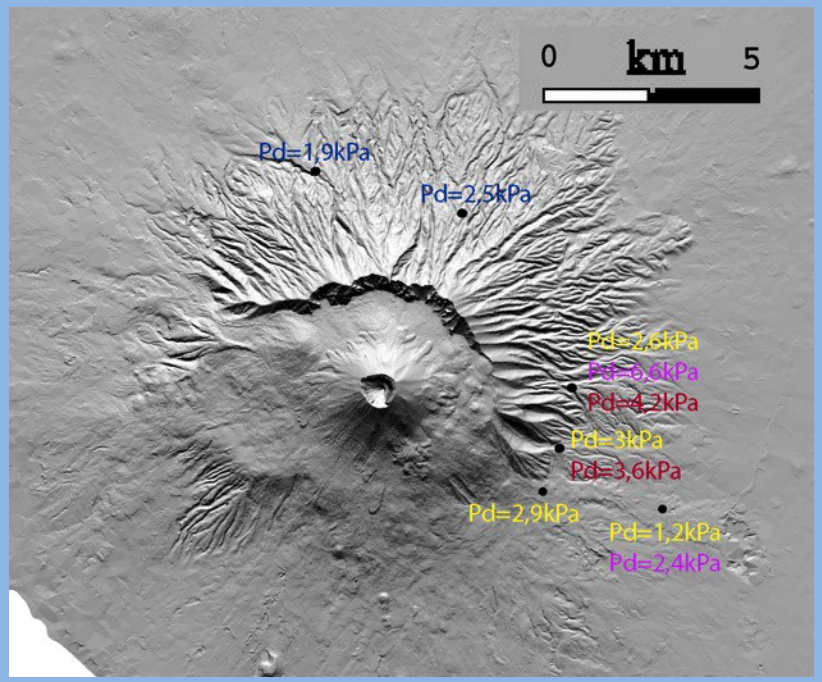
Il sistema di monitoraggio, attraverso l'individuazione dei precursori, prova a rispondere alla domanda: quando avverrà la prossima eruzione?

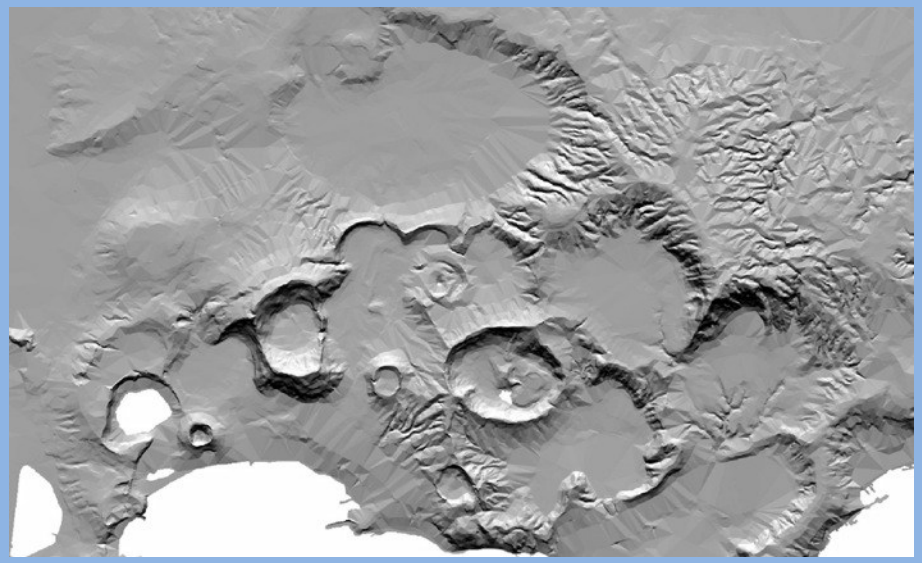
Questi due tipi di studio sono separati, ma complementari. Essi si basano su metodi empirici e devono fornire risposte utili e comprensibili, in modo da ridurre l'impatto sociale della prossima eruzione

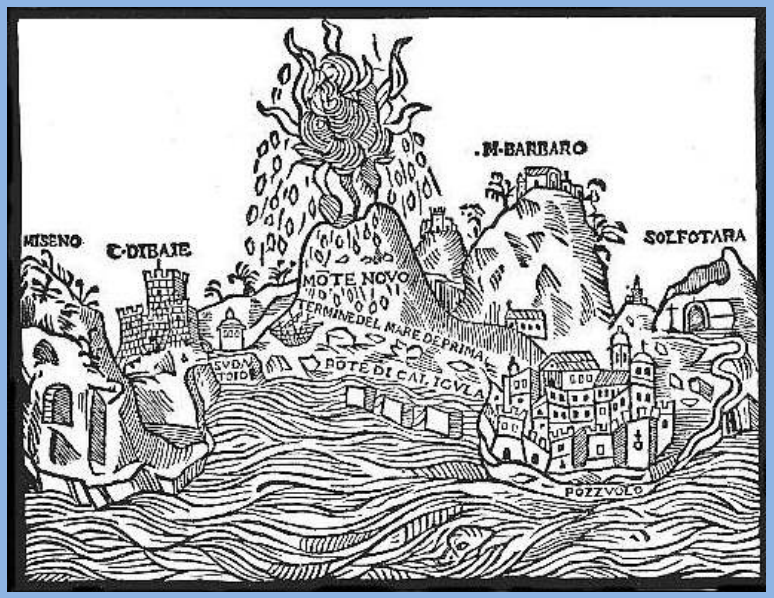
La mia esperienza dice che per affrontare questo tema, specialmente a Napoli, bisogna tenere presente 4 parole chiave

1) Memoria
2) Scienza
3) Incertezza
4) Onestà

Non solo Vesuvio ma anche Campi Flegrei







Memoria geologica: le colonne pliniane

Memoria geologica:
i flussi piroclastici

Convergenza fra memoria storica e geologica: Pompei - scavi di San Paolino

Ercolano: complesso della villa dei Papiri

Oplonti: villa di Poppea

Scienza sperimentale: come si sviluppa l'eruzione

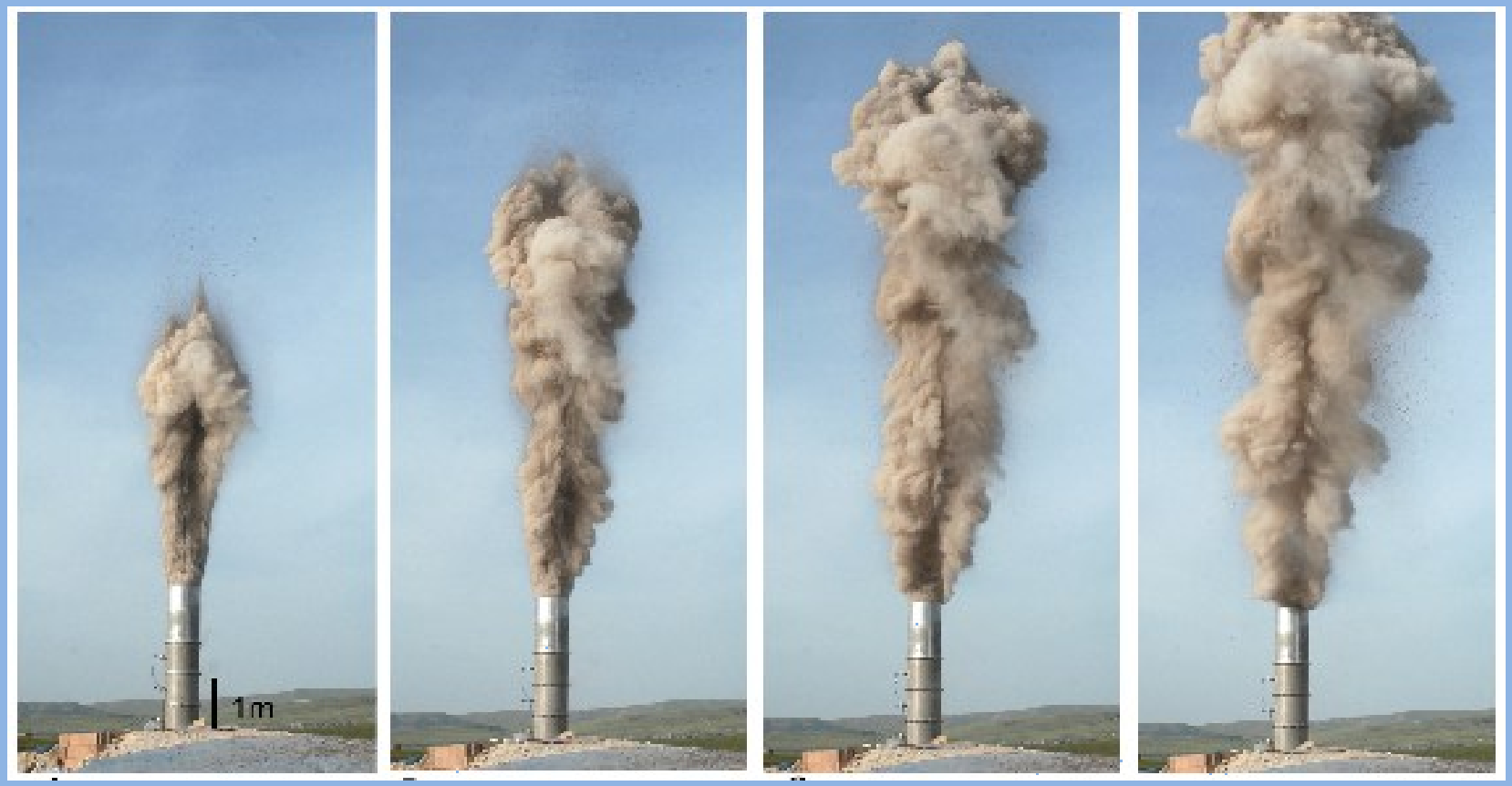
Eruption regime "criterion" based on the source densimetric Froude number, Fr0'

$$Fr_0' = \frac{U_0}{\sqrt{g_0' r_0}}$$

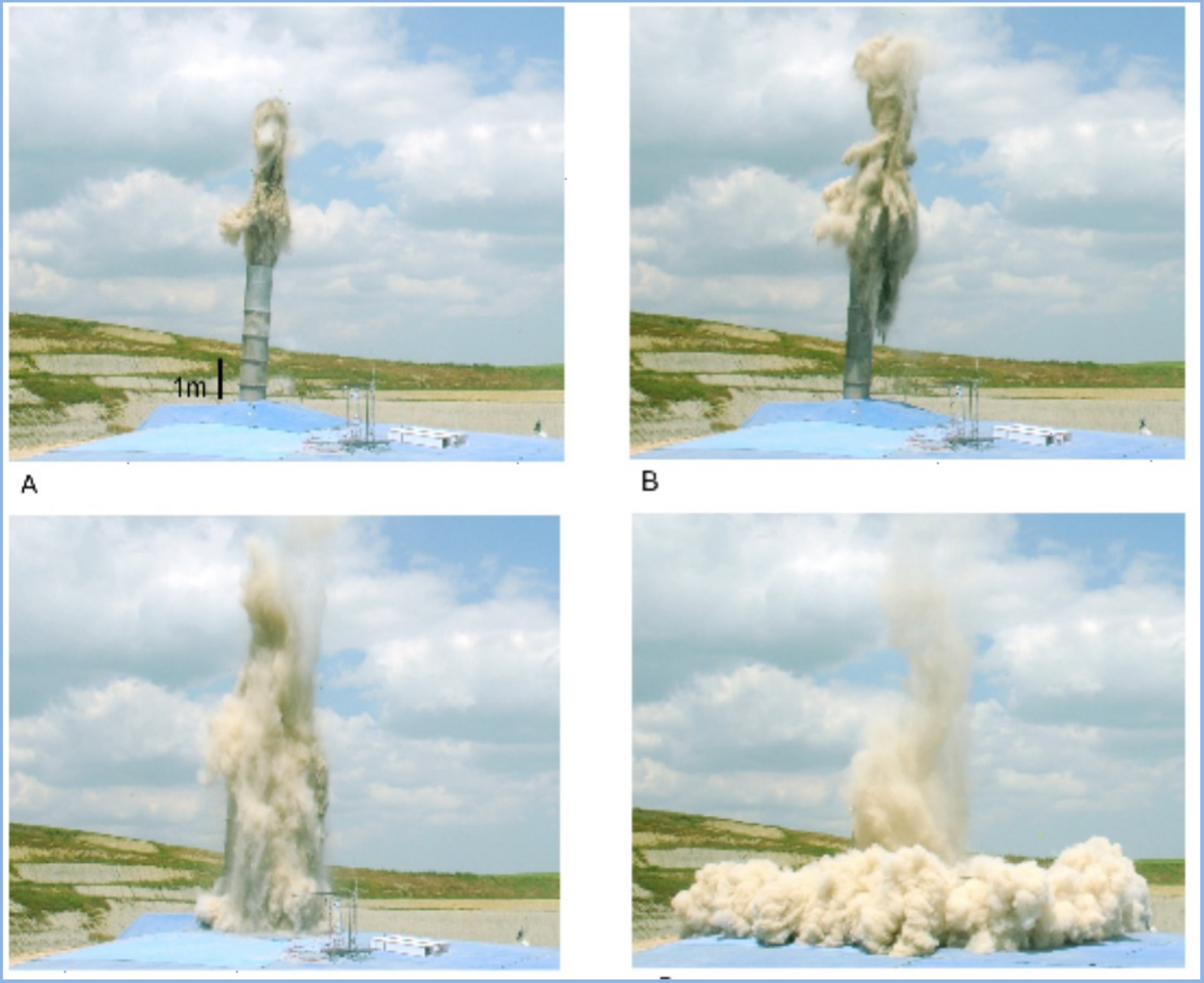
$$g_0' = g\frac{\rho_{j0} - \rho_a}{\rho_a}$$

U0 conduit exit velocity, ρj0 gas-particle mixture density at conduit exit, ρaatmosphere density

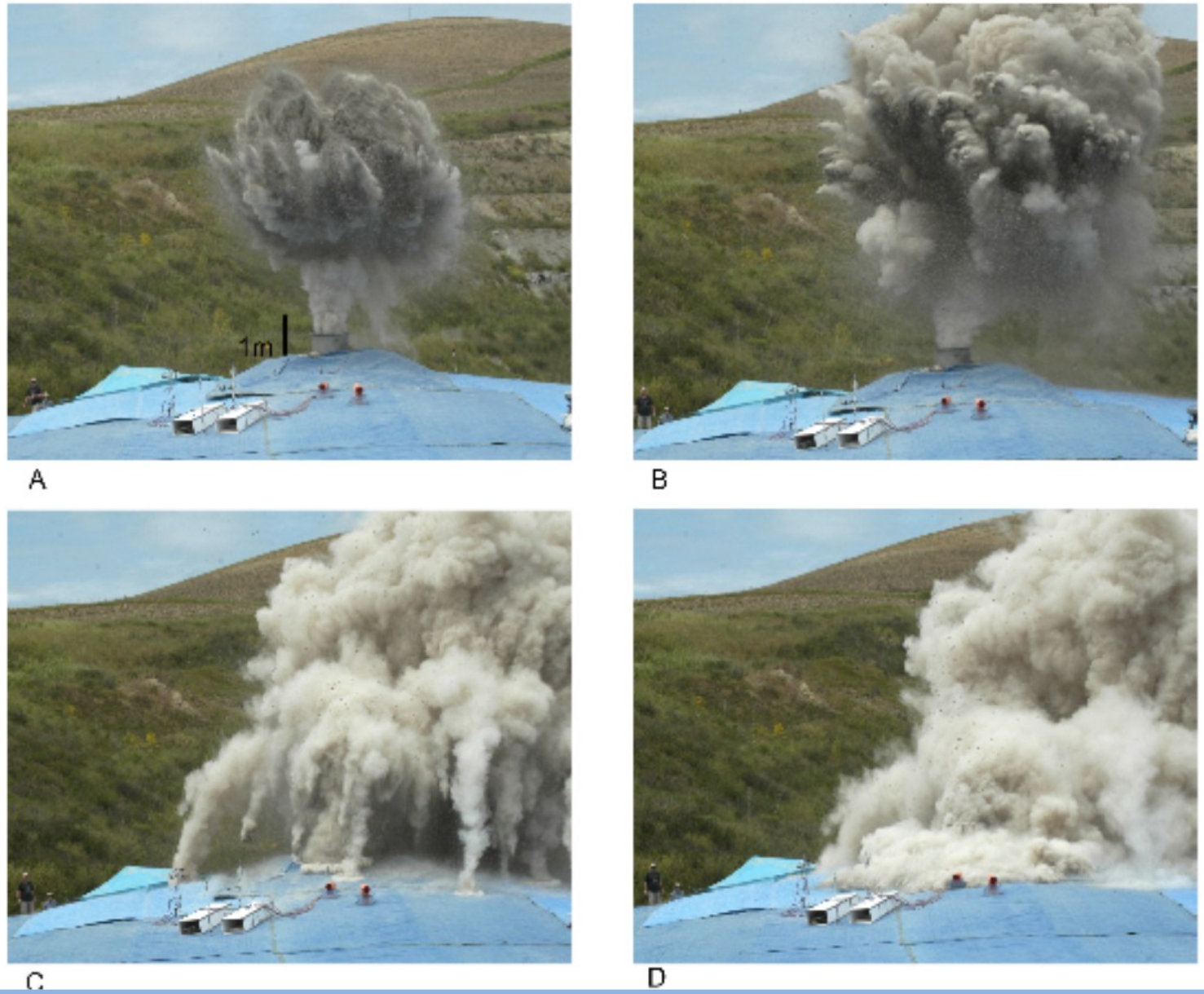
Convective columns form when Fr0'>3, no pyroclastic density currents, but simple particle fallout



Collapsing columns occur when Fr0’< 3, maintained PDCs are formed upon collapse



Overpressured jets occur when (Pexit-Patm)/0.5ρmixU02 > 0.3
impulsive, short lived base- surges like PDC form



Scienza Geologica: dalla meccanica dei sedimenti all'impatto

$$\frac{C_d}{d} = \frac{4(\rho_s - \rho_f)}{d\theta 3(\rho_{s1} - \rho_f)}$$

Model ratio of particle parameters as a function of flow density

$$\frac{C_d}{d} = \frac{(\rho_s - (\frac{\theta g d_1 \rho_{s1}}{u_*^2 + \theta g d_1}))}{3u_*^2(\frac{\theta g d_1 \rho_{s1}}{u_*^2 + \theta g d_1})}$$

Model ratio of particle parameters as a function of shear velocity

$$C_d avg = \frac{1}{100-2}\int_2^{100} \frac{0.69 g d^3 \rho_f(-1.33\rho_f + 1.33\rho_s)}{\mu^2\left(\frac{g\psi^{1.6} d^3 \rho_f(-\rho_f + \rho_s)}{\mu^2}\right)^{1.0412}} d\rho_f$$

Model Average drag coefficient in the density range

$$\frac{C_d}{d} avg = \frac{1}{u_*^2(2kg/m^3) - u_*^2(100kg/m^3)} \int_{u_*^2(100kg/m^3)}^{u_*^2(2kg/m^3)} \frac{(\rho_s - (\frac{\theta g d_1 \rho_{s1}}{u_*^2 + \theta g d_1}))}{3u_*^2(\frac{\theta g d_1 \rho_{s1}}{u_*^2 + \theta g d_1})} du_*^2$$

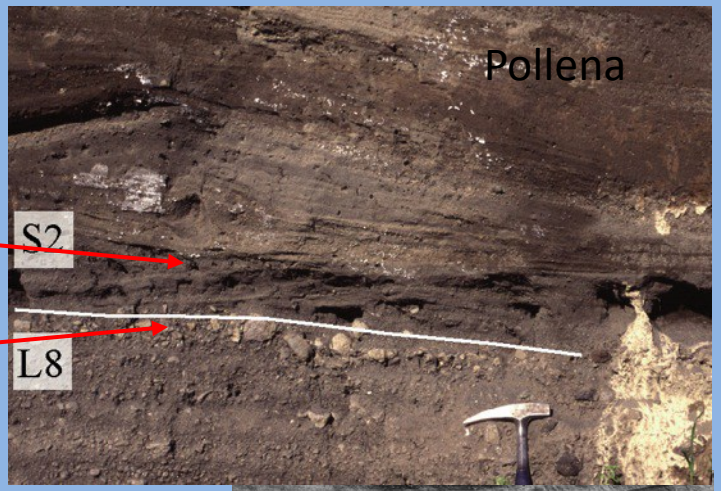
Model average solution of shear velocity

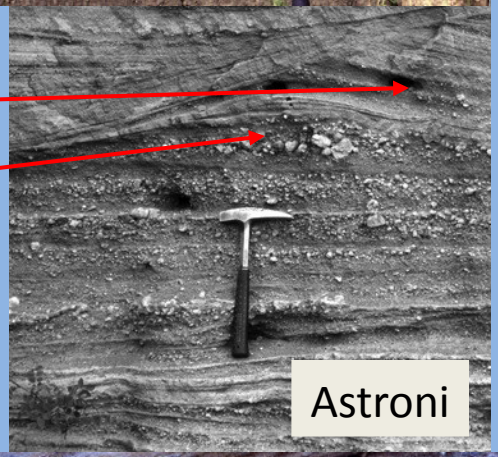
$$t = \frac{d - d_{\mathrm{mod}\,el}}{\sigma\sqrt{1/n}}$$

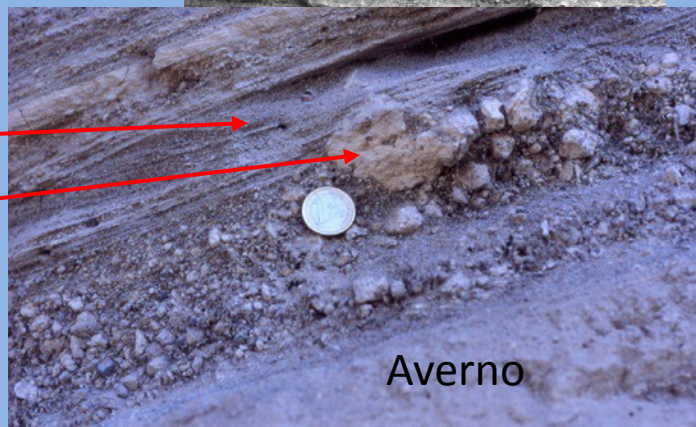
t-test between model median particle diameter and experimental median diameter

$$\frac{4gd(\rho_s - \rho_f)}{3C_d\rho_f} = \frac{4gd_{\mathrm{mod}}(\rho_s - \rho_{f\,\mathrm{mod}})}{3C\rho_f}$$

Average density normalized to experimental particle







Model of components aerodynamic equivalence in the suspension current

$$\frac{C_d}{d} = \frac{C_{dpx}(\rho_s - \rho_f)}{d_{px}(\rho_{px} - \rho_f)}$$

Model ratio of the juvemile component particle parameters

as a function of flow density

$$\frac{C_d}{d} = \frac{g\left(\frac{3C_{dpx}\rho_s}{gd_{px}} + \frac{4(-\rho_{px} + \rho_s)}{u_*^2}\right)}{3\rho_{px}}$$

Model ratio of the juvemile component particle parameters as a function of shear velocity

$$C_d avg = \frac{1}{100-2}\int_2^{100} \frac{0.69gd^3\rho_f(-1.33\rho_f + 1.33\rho_s)}{\mu^2\left(\frac{g\psi^{1.6}d^3\rho_f(-\rho_f + \rho_s)}{\mu^2}\right)^{1.0412}} d\rho_f$$

Model Average drag coefficient of the juvenile component in the density range

$$\frac{C_d}{d} avg = \frac{1}{u_*^2(2kg/m^3) - u_*^2(100kg/m^3)} \int_{u_*^2(100kg/m^3)}^{u_*^2(2kg/m^3)} \frac{g\left(\frac{3C_{dpx}\rho_s}{gd_{px}} + \frac{4(-\rho_{px} + \rho_s)}{u_*^2}\right)}{3\rho_{px}} du_*^2$$

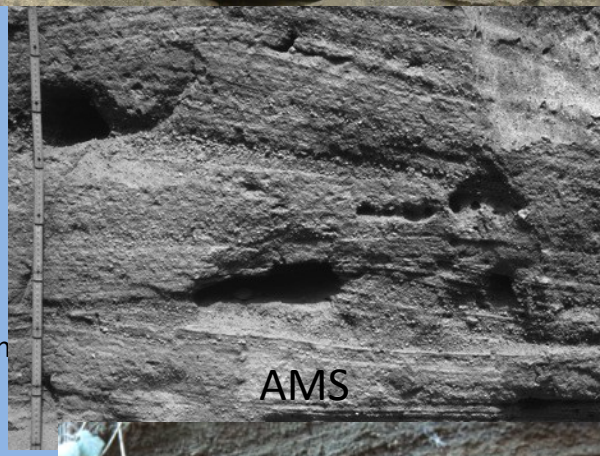
Model average solution of shear velocity

$$t = \frac{d - d_{\mathrm{mod}\,el}}{\sigma\sqrt{1/n}}$$

t-test between model median particle diameter and experimental median diameter

$$\frac{4gd(\rho_s - \rho_f)}{3C_d\rho_f} = \frac{4gd_{\mathrm{mod}}(\rho_s - \rho_{f\,\mathrm{mod}})}{3C\rho_f}$$

Average density normalized to experimental particle



Flow stratification model

$$\tau = (\rho_f - \rho_{atm}) g \sin\alpha H_{eff}$$

Shear stress down an inclined plane

$$\rho_f = (1-C)\rho_g + C\rho_s$$

Flow density as a function of particle concentration

$$C(y) = C_0 \left(\frac{y_0}{H_{tot} - y_0} \frac{H_{tot} - y}{y}\right)^{P_n}$$

Flow concentration profile

$$\rho_{atm} = \rho_s C_0 \left(\frac{y_0}{H_{tot} - y_0} \frac{H_{tot} - H_{eff}}{H_{eff}}\right)^{P_n} + \left(\rho_g \left(1 - \left(C_0 \left(\frac{y_0}{H_{tot} - y_0} \frac{H_{tot} - H_{eff}}{H_{eff}}\right)^{P_n}\right)\right)\right)$$

$$\rho_f = \frac{1}{H_{eff} - H_{lam}} \int_{H_{lam}}^{H_{eff}} \left(\rho_s C_0 \left(\frac{y_0}{H_{tot} - y_0} \frac{H_{tot} - y}{y}\right)^{P_n} + \left(\rho_g \left(1 - \left(C_0 \left(\frac{y_0}{H_{tot} - y_0} \frac{H_{tot} - y}{y}\right)^{P_n}\right)\right)\right)\right) dy$$

System of equations for calculating the Rouse number, Pn and reference level, y0. It is solved numerically by means of the secant method

$$\rho(y) = \rho_s C_0 \left(\frac{y_0}{H_{tot} - y_0} \frac{H_{tot} - y}{y}\right)^{P_n} + \left(\rho_g \left(1 - \left(C_0 \left(\frac{y_0}{H_{tot} - y_0} \frac{H_{tot} - y}{y}\right)^{P_n}\right)\right)\right)$$

Flow density profile

$$\frac{u(y)}{u_*} = \frac{1}{k} \ln \frac{y}{k_s} + 8.5$$

Flow velocity profile

Scienza fisica: dalla fluidodinamica alla sedimentazione

System of equations for flow initialization from column collapse

$$\rho_m \bar{v} \pi r_c^2 = \overline{\rho_{m,PDC}} \bar{u} 2\pi r_c h_{tot} - DM$$

$$w_{t,i} = \sqrt{\frac{4gd_i\left(\rho_{p,i} - \overline{\rho_{m,PDC}}\right)}{3C_{d,i}\overline{\rho_{m,PDC}}}}$$

$$\bar{u} = \frac{1}{h_{tot} - h_0}\int_{h_0}^{h_{tot}} u_*\left(2.5\ln\frac{h}{k_s} + 8.5\right)dh$$

$$\overline{\rho_{m,PDC}} = \rho_g\left(1 - \sum_{i=1}^{N}\overline{C_i}\right) + \sum_{i=1}^{N}\rho_{p,i}\overline{C_i}$$

$$\overline{C_i} = \frac{1}{h_{tot} - h_0}\int_{h_0}^{h_{tot}} C_0\left(\frac{h_0}{h_{tot} - h_0}\frac{h_{tot} - h}{h}\right)^{P_{n,i}} dh$$

$$P_{n,i} = \frac{w_{t,i}}{ku_*}$$

$$u_*^2 = \frac{2\rho_m g H h_{tot}}{\overline{\rho_{m,PDC}} r_c}$$

System of equations for flow simulation

$$\frac{d}{dr}\overline{\rho_{m,PDC}}\bar{u}rh_{tot} = \varepsilon\rho_{atm}\bar{u}r - \sum_{i=1}^{N}\left(w_{t,i} - u_*\right)\rho_{p,i}\frac{d}{dr}\overline{C_i}r^2$$

$$w_{t,i} = \sqrt{\frac{4gd_i\left(\rho_{p,i} - \overline{\rho_{m,PDC}}\right)}{3C_{d,i}\overline{\rho_{m,PDC}}}}$$

$$\overline{u(h_{tot})} = \frac{1}{h_{tot} - h_0}\int_{h_0}^{h_{tot}} u_*\left(2.5\ln\frac{h}{k_s} + 8.5\right)dh$$

$$\overline{\rho_{m,PDC}} = \rho_g\left(1 - \sum_{i=1}^{N}\overline{C_i}\right) + \sum_{i=1}^{N}\rho_{p,i}\overline{C_i}$$

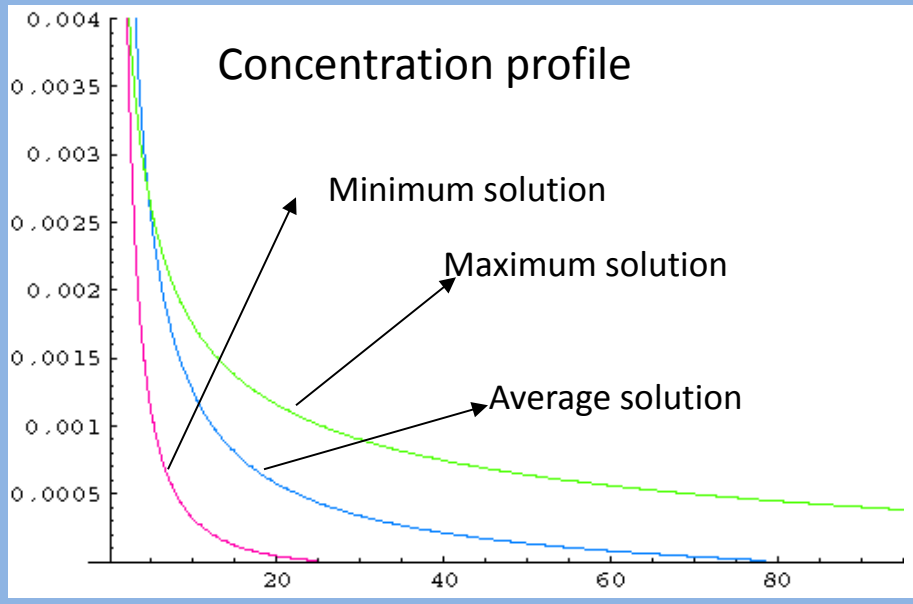
$$\overline{C_i} = \frac{1}{h_{tot} - h_0}\int_{h_0}^{h_{tot}} C_0\left(\frac{h_0}{h_{tot} - h_0}\frac{h_{tot} - h}{h}\right)^{P_{n,i}} dh$$

$$P_{n,i} = \frac{w_{t,i}}{ku_*}$$

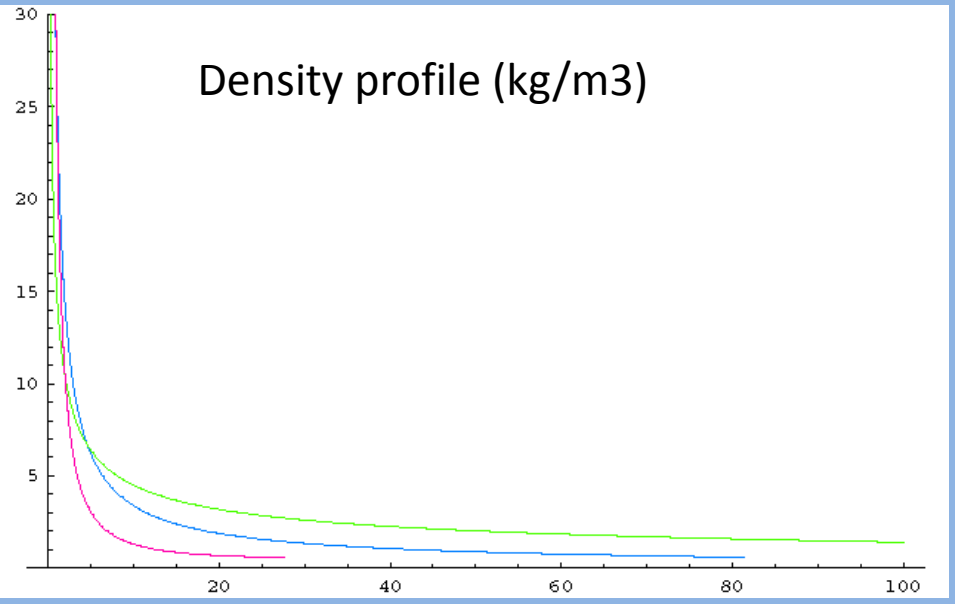
$$\frac{d}{dr}\overline{\rho_{m,PDC}}\bar{u}^2 rh_{tot} = g\left(\overline{\rho_{m,PDC}} - \rho_{atm}\right)rh_{tot}\left(-\frac{dh_{tot}}{dr}\cos\theta + \sin\theta\right) - gh_{tot}^2 r\frac{d\overline{\rho_{m,PDC}}}{dr} +$$
$$-2u_*^2 r\overline{\rho_{m,PDC}} - \sum_{i=1}^{N}\bar{u}\left(w_{t,i} - u_*\right)\rho_{p,i}\frac{d\overline{C_i}r^2}{dr}$$

$$\frac{d}{dr}\left(\overline{\rho_{m,PDC}}\overline{u(h_{tot})}h_{tot}r\left(c_{p,m}T + \frac{p}{\overline{\rho_{m,PDC}}} + \frac{1}{2}\overline{u(h_{tot})}^2\right)\right) = \varepsilon\rho_{atm}\overline{u(h_{tot})}r\left(c_{p,atm}T_{atm} + \frac{p}{\rho_{atm}}\right) +$$
$$-\sum_{i=1}^{N}2c_{p,p}T\overline{u(h_{tot})}\left(w_t - u_*\right)\rho_{p,i}\frac{d\overline{C_i}r^2}{dr}$$

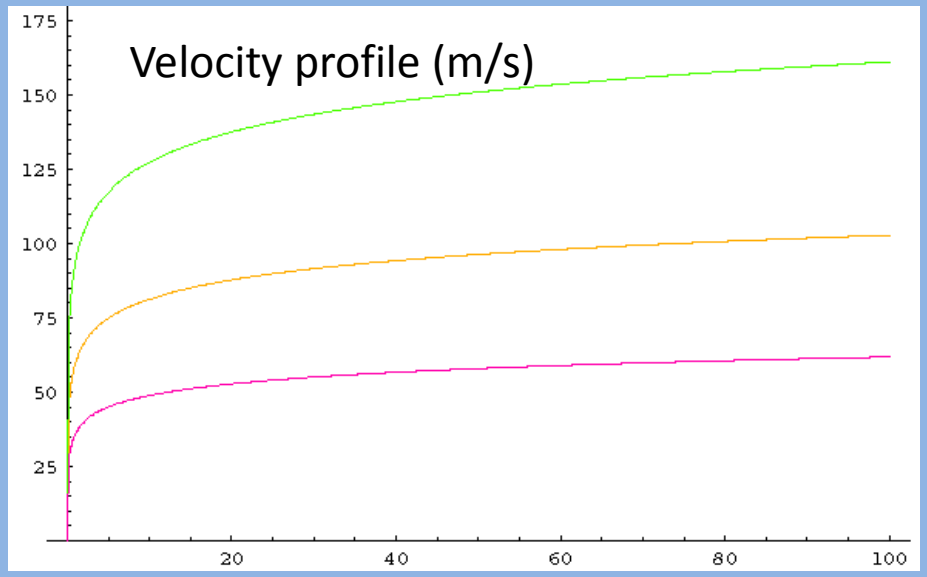
Esempio delle variabili di impatto nel caso di un'eruzione tipo Avellino (3680 BP)



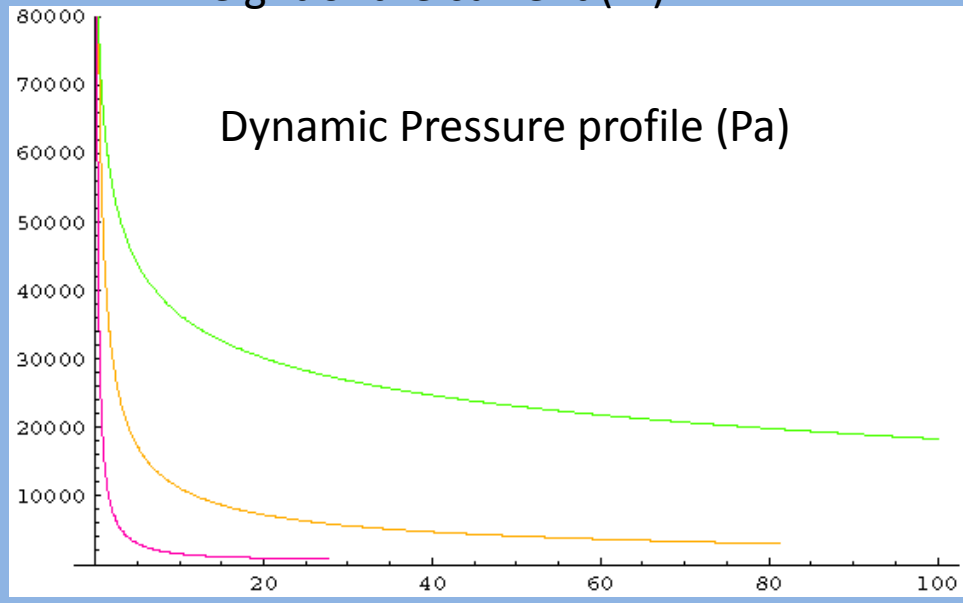
Height of the current (m)



Height of the current (m)



Height of the current (m)



Height of the current (m)

Danno atteso in funzione dei caratteri di resistenza del costruito

From Spence et al. 2004

Table 11
A hierarchy of resistances of buildings and elements for the Vesuvian area

Weak

Building Elements	This project	Valentine ('98)	Glasstone Dolan ('80)
Window glass of ordinary buildings	< 1.5	1-4	3.4-6.9
aluminium window in bad condition	1.5		
aluminium window in good condition	3.0	7-17	
old wooden door	3.5	4-9	2.8-9
Yellow tuff masonry wall	4.2-7.4	15-28	10.3-38
old wooden window	5.0	7-17	6.9-13.8
Weak non aseismic r.c. blds. (1 to 3 storeys)	4.5-8		
Terra cotta tile in-fill panel without window	5.5	10-40	
Strong non aseismic r.c. blds. (4 to 7 storeys)	5-9		
Yellow tuff masonry wall (length 4m; tickn. 40 cm)	6.8-9	15-28	10.3-38
Terra cotta tile in-fill panel with window	7.6-8.9	15-60	
Weak aseismic r.c. blds. (multi-storey)	5-10		
Yellow tuff masonry wall (length 4m; thickness. 60 cm)	10-13	15-28	10.3-38
Strong aseismic r.c. blds. (multi-storey)	6-14		
Volcanic masonry wall (length 4m; thickness. 60 cm)	20-26		10.3-38

Strong

Averno (CF)
Astroni (CF)
Palizzi (Vulc)

Pollena (Ves)

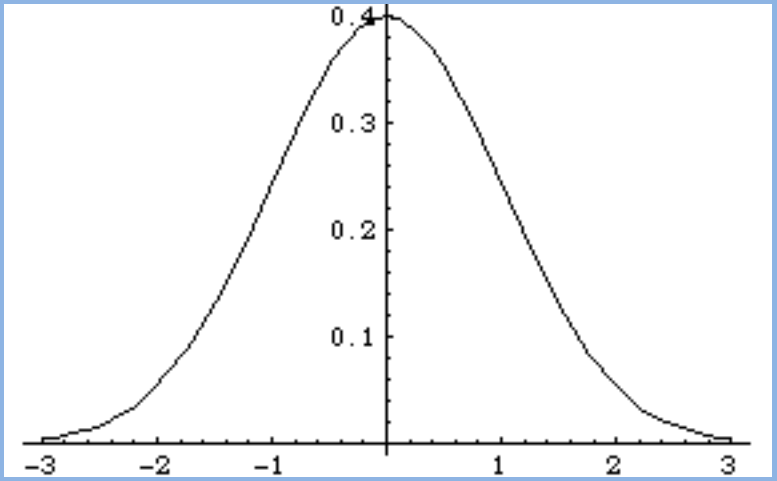
AMS (CF)

Avellino (VES)

Si può prevedere l'impatto della prossima eruzione?: sì, ma con un certo grado di incertezza, dove l'incertezza è un concetto statistico legato alla probabilità

Se riusciamo ad esprimere i valori dei parametri di impatto attraverso una funzione di probabilità è possibile stimare questa incertezza e definire il livello di rischio che un certo parametro superi una certa soglia di danno.

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp - \left[\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2} \right]$$



Infatti, questo è proprio quanto richiede un rigoroso studio sul rischio

Definizione di rischio (UNESCO, 1978)

Il rischio (R) è dato dalla probabilità che un certo evento avvenga in una certa area in un determinato intervallo di tempo per il danno (D) socio-economico

La pericolosità (P) è la probabilità che un certo evento avvenga in una certa area in un determinato intervallo di tempo

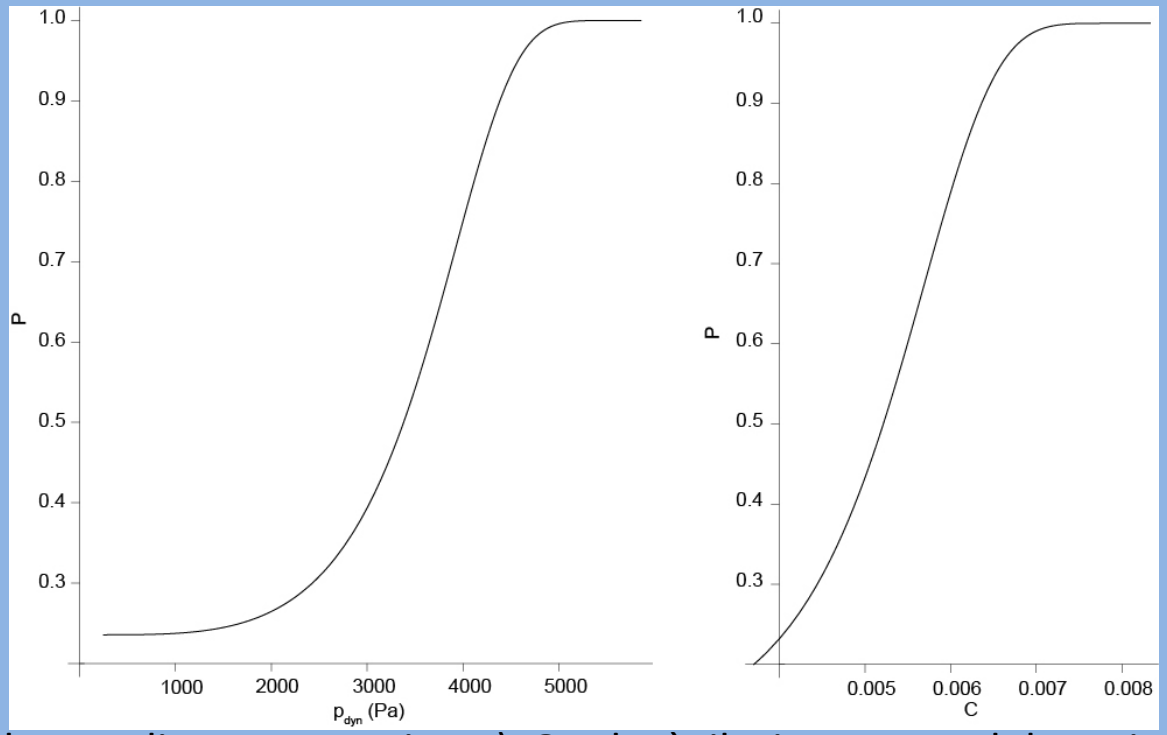
Quindi R=PxD

Il danno (D) è calcolabile solo se la pericolosità è espressa in funzione dell "impatto" che levento può avere sui manufatti e sulla popolazione (non comprendendo gli effetti sull'ambiente naturale)

Onestà nelle scelte che hanno ricadute sociali

La scelta del livello di rischio accettabile (probabilità di eccedenza), può aiutare nelle decisioni che hanno conseguenze dirette sulla società. I “numeri” possono indicare un metodo di lavoro…….

Funzione di probabilità dei parametri di impatto:
livello di rischio



Ma le decisioni più critiche quali per esempio: 1) Quale è il giusto uso del territorio attorno al vulcano? Quali sono le condizioni che portano verso l’evacuazione preventiva in caso di minaccia di ripresa dell’attività eruttiva? sono di rango “politico” e richiedono scelte difficili che vanno fatte comprendere e condividere da chi le deve subire, esponendo con onestà quello che sappiamo a quello che ancora non sappiamo.

Senza un coinvolgimento attivo e responsabile della popolazione, avere buoni numeri a disposizione potrebbe servire a poco…..