

Via Diocleziano, 328  
80124 NAPOLI - Italia  
Tel.: (39) 081.6108111  
Telefax: (39) 081.6100811  
email: info@ov.ingv.it



*80 26-6-12*

**Istituto Nazionale di  
Geofisica e Vulcanologia**  
Sezione di Napoli | Osservatorio Vesuviano

Al Capo Dipartimento della Protezione Civile  
Via Vitorchiano, 2  
00189 - Roma

e p.c. prof. Mauro Dolce  
Dipartimento della Protezione Civile  
Via Vitorchiano, 2  
00189 - Roma

**Istituto Nazionale di Geofisica  
e Vulcanologia**  
**Area Organizzativa Napoli**  
**Protocollo Generale - U**  
N. 0001417  
Napoli, 13/04/2012



OGGETTO: Trasmissione documento "Scenari eruttivi e livelli di allerta per il Vesuvio".

Con la presente, si trasmette il documento "Scenari eruttivi e livelli di allerta per il Vesuvio" prodotto dal Gruppo A (Scenari e livelli di allerta) della "Commissione nazionale incaricata di provvedere all'aggiornamento dei piani di emergenza dell'area vesuviana e flegrea per il rischio vulcanico", istituita con il decreto n. 1828 del 18 giugno 2002, i cui membri sono stati nominati con successivo decreto del Capo del Dipartimento della Protezione Civile n. 698 del 6 marzo 2003.

Il documento in oggetto è stato presentato ai Responsabili del Dipartimento di Protezione Civile in occasione della riunione del 31 marzo 2010, tenutasi presso il Dipartimento della Protezione Civile in Roma.

Nell'aprile del 2011, il Gruppo A, su richiesta del Dipartimento della Protezione Civile, ha meglio definito la delimitazione dell'area che potrebbe essere interessata da flussi piroclastici nell'ambito del Comune di Napoli.

La versione del documento allegata alla presente, comprende quest'ultima integrazione, al paragrafo 4.1 "Zona esposta a flussi piroclastici (zona rossa)".

Distinti saluti.

Dott. Giovanni Macedonio  
Responsabile Gruppo A

Dott. Marcello Martini  
Direttore Osservatorio Vesuviano

*Presidenza del Consiglio dei Ministri*  
**DIPARTIMENTO PROTEZIONE CIVILE**  
Prot n° 0029251  
del 30/04/2012  
----- ENTRATA -----

DIPARTIMENTO DELLA PROTEZIONE CIVILE

COMMISSIONE NAZIONALE INCARICATA DI PROVVEDERE ALL'AGGIORNAMENTO DEI  
PIANI DI EMERGENZA DELL'AREA VESUVIANA E FLEGREA PER IL RISCHIO  
VULCANICO

## Scenari Eruttivi e Livelli di Allerta per il Vesuvio

31 marzo 2010

# Capitolo 1

## 1.1 La Commissione Nazionale incaricata di provvedere all'aggiornamento dei Piani d'Emergenza dell'area vesuviana e dell'area flegrea

### 1.1.1 Attività precedenti

La prima Commissione "incaricata di stabilire le linee guida per la valutazione del rischio connesso ad un'eruzione nell'area vesuviana, finalizzata alla pianificazione dell'emergenza" fu istituita nel 1991, i cui lavori, arricchiti anche dagli studi sui possibili scenari eruttivi condotti dal GNV, furono continuati da una seconda Commissione istituita nel 1993. Oltre a tecnici del Dipartimento della Protezione Civile ed esperti del campo scientifico, facevano parte di questa Commissione anche rappresentanti degli Enti e delle Amministrazioni locali e la presidenza era affidata al Prefetto di Napoli.

Il rapporto finale della Commissione contenente il Piano nazionale di emergenza dell'area vesuviana, completo di 31 Allegati e 22 Documenti Funzione fu presentato nel settembre 1995. Già nell'anno seguente per aggiornare il Piano dell'area vesuviana, e dare inizio all'aggiornamento del Piano per l'area flegrea (di cui una versione era stata elaborata nel 1984 durante la crisi bradisismica dei primi anni '80), fu istituita una terza Commissione che era presieduta dal Sottosegretario alla Protezione Civile ed era stata organizzata in gruppi di lavoro.

Nel marzo 2001 la Commissione approvava i documenti di aggiornamento: "Aggiunte e varianti alle parti A3, B, C1 e C2 della pianificazione nazionale d'emergenza dell'area vesuviana" ed "Elementi di base per la pianificazione nazionale di emergenza dell'area flegrea".

Con il decreto n. 1828 del 18 giugno 2002 è stata ricostituita la Commissione e con un successivo decreto (n. 698 del 6 marzo 2003) il Capo del Dipartimento della Protezione Civile nominava i membri dell'attuale Commissione.

### 1.1.2 L'attuale Commissione Nazionale

La Commissione, tenendo in considerazione quanto già realizzato dalle precedenti commissioni, per l'area vesuviana dovrà aggiornare lo scenario e i dispositivi operativi del Piano, mentre per i Campi Flegrei dovrà realizzare il Piano d'emergenza completo.

Per entrambe le aree dovranno essere messi a punto i piani di emergenza a livello locale e inoltre dovrà essere migliorata l'attività di educazione e di diffusione delle conoscenze del rischio vulcanico.

La Commissione è stata suddivisa in quattro gruppi di lavoro formati non soltanto da membri della Commissione, ma anche da esperti di settore al fine di garantire un più efficace funzionamento. I gruppi di lavoro sono incaricati di perseguire gli obiettivi specifici di seguito sintetizzati.

#### Gruppi di lavoro:

##### Gruppo A: scenari e livelli d'allerta.

Si occupa dell'aggiornamento degli scenari eruttivi e dei limiti delle zone rossa, gialla e blu del Vesuvio, nonché della definizione del rischio vulcanico e da bradisisma ai Campi Flegrei e inoltre della ridefinizione dei livelli d'allerta per entrambi i vulcani.

##### Gruppo B: viabilità, trasporti e logistica.

Si occupa dell'aggiornamento dei piani di allontanamento della popolazione dalle zone da evacuare.

##### Gruppo C: informazione ed educazione.

Si occupa della progettazione e attuazione di campagne informative per la popolazione e della formazione degli operatori.

##### Gruppo D: Piani comunali-intercomunali d'emergenza.

Si occupa dell'elaborazione di piani comunali-intercomunali di emergenza in accordo con quanto previsto dalla strategia del Piano nazionale.

Enti coinvolti a vario titolo nei quattro gruppi di lavoro:

Dipartimento della Protezione Civile

Regione Campania

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - Osservatorio Vesuviano

Centro Studi Plinius -Università Federico II - Napoli

Ufficio Territoriale di Governo di Napoli, Avellino, Benevento, Caserta, Salerno

Province di Napoli, Avellino, Benevento, Caserta, Salerno

Ente Parco Nazionale del Vesuvio

Enti e società di gestione delle Reti ferroviarie

Società Autostrade

ANAS

ENAC

Comando generale Capitanerie di Porto

Ministero dell'Istruzione, Università e Ricerca scientifica

Ministero dell'Interno - Pubblica Sicurezza

Ministero dell'Interno - Vigili del Fuoco

Comuni della zona rossa vesuviana e flegrea

RAI-radio regionale

### **1.1.3 Gruppo A - Compiti e Strategie operative**

Il Gruppo A della Commissione Nazionale è costituito dal Direttore dell'Osservatorio Vesuviano: dott. Giovanni Macedonio (sostituito dal 2007, dal dott. Marcello Martini), da un rappresentante del Dipartimento della Protezione Civile: dott.ssa Chiara Cardaci, da un rappresentante della Regione Campania: prof. Franco Barberi e da tre esperti vulcanologi: proff. Lucia Civetta, Paolo Gasparini e Giuseppe Luongo. Alle attività del Gruppo A ha partecipato in maniera attiva e continuativa il prof. Giulio Zuccaro, quale esperto di vulnerabilità.

L'obiettivo principale del Gruppo A è l'aggiornamento degli scenari eruttivi e la ridefinizione dei livelli di allerta per l'area vesuviana e flegrea, nonché la definizione del rischio legato al bradisismo dei Campi Flegrei.

Il Gruppo A ha deciso di affrontare prioritariamente l'aggiornamento degli scenari eruttivi e ha ritenuto opportuno preliminarmente procedere alla ricognizione degli avanzamenti scientifici raggiunti dalla Comunità Scientifica negli ultimi 10 anni, ovvero dalla definizione dello scenario preso a riferimento nel precedente Piano per il Vesuvio (1995). A tale scopo è stato richiesto ai ricercatori impegnati negli studi di pericolosità e di rischio sul Vesuvio e Campi Flegrei, nell'ambito dei progetti GNV o esterni a questi, di esprimere una valutazione motivata sulle opportunità di procedere ad un eventuale aggiornamento del suddetto scenario.

In risposta a queste richieste il Gruppo A ha ricevuto i contributi di diversi ricercatori (A. Neri, W. Marzocchi, M.T. Pareschi, R. Santacroce, L. Lirer, G. Zuccaro, P. Papale, P. Dellino, G. Orsi, E. Del Pezzo, A. Zollo) e ha ritenuto utile organizzare dei *workshop* scientifici, in cui tutti gli studiosi impegnati in ricerche sul Vesuvio e sui Campi Flegrei sono stati chiamati a presentare e dibattere le questioni scientifiche più rilevanti.

Gli argomenti trattati durante questi incontri sono stati:

- Definizione dello stato attuale del vulcano
- Definizione degli scenari eruttivi
- Scorrimento dei flussi piroclastici
- Caduta di materiale piroclastico
- Scorrimento dei flussi fangosi
- Stime di vulnerabilità

I risultati presentati durante tali riunioni sono stati riassunti in due documenti di sintesi, redatti dai dott.ri Papale e Marzocchi, rispettivamente per Campi Flegrei e Vesuvio.

Un grande contributo alle attività svolte dal Gruppo A si è avuto dai ricercatori impegnati nel progetto europeo EXPLORIS, (valutazioni di pericolosità e vulnerabilità da eruzione al Vesuvio), che hanno fornito risultati rilevanti.

Il Gruppo A ha affrontato anche la vulnerabilità sismica connessa ai terremoti pre-eruttivi. A tal fine il Dipartimento della Protezione Civile ha costituito un Gruppo di lavoro dedicato allo studio di "Scenari di danno sismico nell'area

vesuviana e flegrea”, al quale hanno partecipato sismologi ed esperti di vulnerabilità sismica. I suddetti esperti, che hanno prodotto due rapporti, hanno fornito informazioni sul massimo terremoto atteso sia per l’area vesuviana che per quella flegrea, in caso di ripresa dell’attività eruttiva, utili a trasformare i dati sulla vulnerabilità sismica in scenari di danno. In seguito, il Gruppo A si è occupato dell’individuazione di possibili precursori dell’attività vulcanica, dei livelli di criticità e delle soglie di allerta, promuovendo altri incontri scientifici. Anche in questo caso, sono stati coinvolti tutti i ricercatori impegnati nello studio dei fenomeni precursori delle eruzioni.

Al termine di questa fase di indagine il Gruppo A ha acquisito i seguenti documenti:

1. **Relazione scientifica per la revisione del Piano di Emergenza del Vesuvio** redatta dal dott. Warner Marzocchi;
2. **Relazione per la predisposizione del Piano di Emergenza ai Campi Flegrei** redatta dal dott. Paolo Papale;
3. **Carta della propensione al dissesto per “debris flows sin-eruttivi” con indicazione delle aree di invasione e carta degli alluvionamenti sin-eruttivi per il Vesuvio** a cura della prof.ssa Maria Teresa Pareschi;
4. **Rapporto preliminare sul massimo evento sismico atteso al Vesuvio** redatto dai proff. Edoardo Del Pezzo e Aldo Zollo;
5. **Mappe di vulnerabilità sismica e di impatto da ricaduta di materiale piroclastico** redatte dal prof. Giulio Zuccaro.

## 1.2 Scenari e Livelli di Allerta nei precedenti Piani di Emergenza

### 1.2.1 Il Piano d’Emergenza del Vesuvio del 1995

Il Piano nazionale di emergenza dell’area vesuviana fu presentato nel settembre 1995, corredato di 31 Allegati e 22 Documenti Funzione. Il Piano d’emergenza era strutturato in due parti: un **Piano Generale** ed i **Piani Particolareggiati**, la cui stesura spettava ai singoli Comuni interessati dall’emergenza.

Il Piano Generale era articolato in tre parti fondamentali (*Metodo Augustus*): *i) parte generale*, che definiva lo scenario dell’evento massimo atteso e i livelli di allerta; *ii) lineamenti della pianificazione* che illustrava la strategia operativa; *iii) modello di intervento*, con l’individuazione delle diverse fasi operative in risposta ai differenti livelli di allerta e l’organizzazione della struttura in quattordici funzioni di supporto.

Nel Piano del 1995, basato sullo scenario predisposto dal GNV nel 1990, si introdusse il concetto di Evento Massimo Atteso (EMA) in caso di ripresa dell’attività del Vesuvio a breve-medio termine. L’EMA individuato era un’eruzione esplosiva di media intensità, definita dai vulcanologi “sub-Pliniana”, simile ma non identica, per energia, volume di magma emesso e fenomenologia eruttiva, a quella verificatasi nel 1631. Con le informazioni sull’EMA (velocità, altezza, densità, temperatura della colonna eruttiva, ecc.) e i dati sulle più frequenti velocità e direzioni del vento ad alta quota, erano state simulate varie fasi dell’eruzione, individuando le aree a diversa pericolosità sulla base del tipo e dell’entità dei fenomeni che sarebbero potuti avvenire. L’area a maggiore pericolosità (zona rossa), comprendeva 18 Comuni immediatamente circostanti al vulcano ed era quella potenzialmente soggetta a scorrimento di flussi piroclastici che, muovendosi ad elevata velocità, avrebbero potuto devastarla in pochissimo tempo dopo l’inizio dell’eruzione; la zona a minore pericolosità (zona gialla), comprendente 59 Comuni, corrispondeva a tutta l’area che poteva essere interessata dalla ricaduta di piroclastiti e cenere per spessori tali da poter causare il collasso delle coperture di un numero significativo di edifici.

Lo schema operativo di questo piano d’emergenza era basato su sette livelli di previsione dell’evento atteso (forniti dalla Comunità Scientifica), a cui corrispondevano sei fasi operative che si sarebbero articolate secondo procedure codificate. La strategia d’intervento prevedeva per l’area vesuviana ad alto rischio (zona rossa) l’evacuazione e l’accoglimento della popolazione ad di fuori della Regione Campania. Per la zona a minore pericolosità (zona gialla), di cui non sarebbe stato possibile conoscere l’estensione se non nell’imminenza dell’eruzione, si sarebbe adottata una strategia operativa variabile di evacuazione/ricezione della popolazione interessata, che comunque sarebbe stata ospitata nella stessa Regione Campania.

### 1.2.2 Il Piano d’Emergenza del Vesuvio del 2001

Nel febbraio 1998 la Comunità Scientifica presentò l’aggiornamento dello scenario eruttivo dell’eruzione massima attesa al Vesuvio in base al quale furono ridefinite le zone interessate dalla pianificazione nazionale. Le principali modifiche rispetto al piano del 1995 sono riportate nel documento “Aggiunte e varianti alle parti A3, B, C1 e C2 della pianificazione nazionale d’emergenza dell’area vesuviana” e possono essere così riassunte:

La zona gialla è stata ridefinita ed ampliata sino a comprendere 96 Comuni. All'interno della zona gialla la Comunità Scientifica ha circoscritto un'area ad elevato rischio idrogeologico, definita zona blu, che comprende 14 Comuni della provincia di Napoli.

In seguito al potenziamento del sistema di monitoraggio da parte dell'Osservatorio Vesuviano - INGV e in base a nuovi studi sono stati ridefiniti i livelli di allerta per l'attivazione del Piano di Emergenza.

Il Piano aggiornato del 2001 prevede 4 livelli di allerta, individuati dalla combinazione di fenomeni precursori di diverso tipo e 5 fasi operative, in cui vengono coinvolte progressivamente le diverse Strutture di Protezione Civile e la popolazione delle aree a rischio.

È stata stabilita una nuova strategia per l'accoglienza. Tramite un'Intesa Istituzionale di Programma, tra i 18 Comuni, la Regione Campania, le altre Regioni italiane e il Dipartimento della Protezione Civile, sono stati definiti i termini per il gemellaggio tra i Comuni della zona rossa vesuviana e le Regioni italiane che ospiteranno, in caso di emergenza, i circa 600.000 abitanti che verranno allontanati dal territorio vesuviano.

## Capitolo 2

# Struttura e storia eruttiva del Vesuvio

### 2.1 La morfologia

Il Somma-Vesuvio è uno stratovulcano di medie dimensioni che raggiunge un'altezza massima di 1.281 m s.l.m. Esso è costituito da un più vecchio stratovulcano, il Monte Somma, la cui parte sommitale è sprofondata ripetutamente durante le eruzioni Pliniane, generando una caldera complessa del diametro di circa 2 Km, e dal più recente cono del Vesuvio, cresciuto all'interno della caldera dopo l'eruzione di Pompei e, a sua volta, troncato da un cratere più o meno circolare, profondo oltre 200 metri. Le pareti interne della caldera del Monte Somma rappresentano uno spaccato dell'interno del vulcano, con le sue alternanze di rocce laviche e piroclastiche tagliate da dicchi e filoni più o meno verticali che testimoniano i ripetuti episodi di ascesa del magma verso la superficie. La Valle dell'Inferno, che separa il cono del Vesuvio dalle pareti interne della caldera, è stata il luogo preferenziale per lo scorrimento delle più recenti colate laviche emesse dal Vesuvio, comprese quelle della sua ultima eruzione del 1944. La presenza della cresta del Monte Somma ha inoltre agito in alcune eruzioni esplosive come valido ostacolo per i flussi piroclastici, impedendo lo scorrimento di queste nubi eruttive lungo le pendici settentrionali e orientali del vulcano.

### 2.2 La storia eruttiva

Il Monte Somma, costituito prevalentemente da lave e scorie basiche (basaltiche e tefritiche) ha un'età inferiore a 39.000 anni, ovvero è più giovane della grande eruzione esplosiva, quella dell'Ignimbrite Campana, avvenuta appunto 39.000 fa ai Campi Flegrei. I depositi di questa eruzione sono dispersi sull'intera Piana Campana con spessori anche di svariate decine di metri, e si rinvengono in perforazione immediatamente al di sotto delle lave del Monte Somma. L'attività vulcanica nell'area vesuviana inizia comunque molto tempo prima, circa 380.000 anni fa, con colate laviche sottomarine ritrovate nella stratigrafia di un pozzo geotermico perforato alla fine degli anni '70, sulle pendici meridionali del vulcano (pozzo di Trecase).

La storia eruttiva del Somma-Vesuvio può essere suddivisa in alcuni periodi, ciascuno caratterizzato da diversi stili di attività, e talvolta anche da variazioni nella composizione chimica dei prodotti. Il primo periodo di attività comprende i primi 20.000 anni di storia del vulcano (tra 39.000 e circa 19.000 anni fa) ed è caratterizzato da eruzioni prevalentemente effusive e subordinatamente esplosive, di bassa energia. Tale attività dura fino a circa 19.000 anni fa e determina la formazione dell'apparato vulcanico del Somma. La parte settentrionale di questo edificio più antico è ancora ben conservata ed è rappresentata dall'attuale Monte Somma. Un'importante variazione nello stile di attività del vulcano si verifica circa 19.000 anni fa, quando dall'attività prevalentemente effusiva con colate di lava si passa ad un'attività più che altro esplosiva. Da 19.000 anni fino ad ora avvengono nove grandi eruzioni esplosive, (Pliniane e sub-Pliniane), precedute da periodi di riposo della durata da migliaia a centinaia di anni, e decine di altre eruzioni di energia minore, a condotto aperto, per lo più concentrate negli ultimi 3.500 anni di attività, fino all'ultima eruzione avvenuta nel marzo del 1944 (vedi Figura 2.1).

Il periodo di attività, compreso tra 18.300 e 16.000 anni fa, è caratterizzato da attività fortemente esplosiva, con la più voluminosa eruzione Pliniana del vulcano, l'eruzione delle Pomice di Base (18.300 anni fa) e l'eruzione sub-Pliniana delle Pomice Verdoline (avvenuta 16.000 anni fa). Ai depositi di queste due eruzioni si intercalano lave prodotte da modeste eruzioni effusive. Con la prima eruzione Pliniana delle Pomice di Base inizia il collasso dell'apparato vulcanico del Monte Somma e la formazione della caldera. Questo evento coincide con una netta variazione nella composizione dei prodotti emessi, da composizioni prevalentemente basiche del Somma a composizioni più differenziate trachitiche delle Pomice di Base. Dopo un lungo periodo di quiescenza avvengono due nuove eruzioni Pliniane: quella delle Pomice di Mercato (avvenuta 8.000 anni fa) e quella delle Pomice di Avellino (avvenuta 3.800 anni fa). L'eruzione Pliniana delle Pomice di Mercato, segna un'altra variazione nella composizione dei prodotti, che divengono più alcalini ed estremamente evoluti (fonoliti). L'eruzione delle Pomice di Avellino ha un forte impatto sul territorio e sugli abitanti dell'area, e recentemente sono stati ritrovati alcuni siti archeologici dell'età del Bronzo sepolti da queste eruzione.

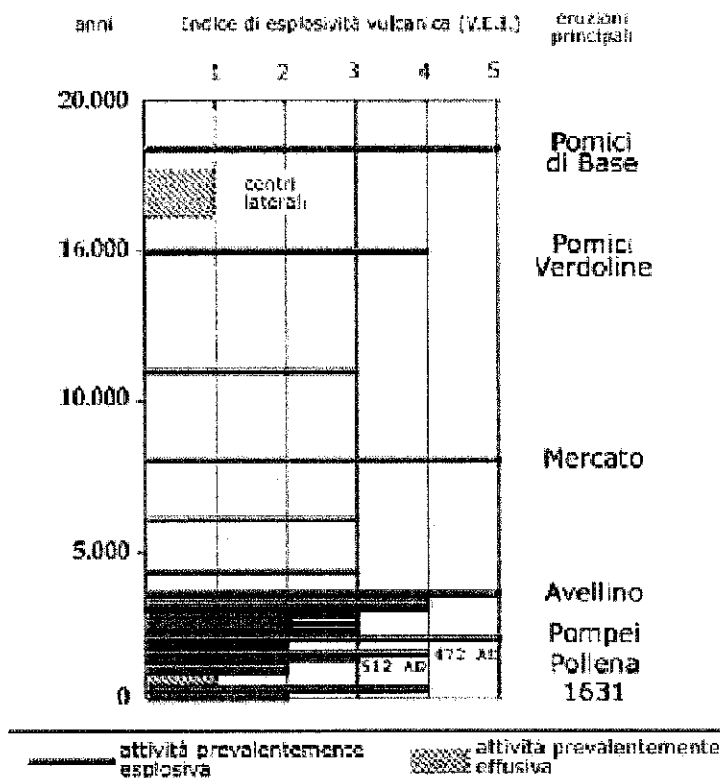


Figura 2.1- Diagramma della storia eruttiva del Vesuvio degli ultimi 20.000 anni. La lunghezza delle barre indica l'indice di esplosività delle eruzioni (Indice VEI). Sono indicate le principali eruzioni esplosive di tipo sub-Pliniano (VEI=4) e Pliniano (VEI=5).

Dopo l'eruzione delle Pomici di Avellino si verificano almeno sei eruzioni sub-Pliniane, di età compresa tra le eruzioni Pliniane di Avellino e di Pompei, anch'esse precedute da lunghi periodi di riposo.

Un periodo di attività molto intensa del vulcano, in termini di frequenza delle eruzioni e volumi eruttati, si verifica tra 3.500 anni fa e l'ultima grande eruzione del Vesuvio, quella del 1631. In questo periodo avvengono almeno 20 eruzioni i cui depositi sono ancora ben riconoscibili nelle sequenze esposte nelle numerose cave alle pendici del vulcano. Da un punto di vista composizionale, i prodotti emessi in questo periodo sono caratterizzati da una maggiore variabilità rispetto ai prodotti dei periodi precedenti, con una prevalenza di magmi a chimismo intermedio ed evoluto, ad elevata alcalinità. Di tutte le eruzioni di questo periodo le tre più importanti sono quella Pliniana delle Pomici di Pompei, avvenuta nel 79 d.C., la più famosa eruzione della storia della vulcanologia, e le eruzioni sub-Pliniane del 472 e del 1631. In particolare durante l'eruzione del 1631, il più modesto dei 7 eventi eruttivi sub-Pliniani della storia del Somma-Vesuvio, tutta la fascia di paesi compresi tra l'abitato di Pollena a nord, e quello di Torre Annunziata a sud-ovest, fu devastata dallo scorrimento di flussi piroclastici, che uccisero oltre 5.000 persone.

Queste tre ultime eruzioni Pliniane e sub-Pliniane sono state precedute da periodi di quiescenza più brevi rispetto a quelli che precedettero le eruzioni Pliniane più antiche, dell'ordine di alcuni secoli per le eruzioni del 79 d.C. e del 1631, e di non più di un paio di secoli per quella del 472.

Una frequente, anche se non molto intensa attività vulcanica caratterizza il Vesuvio nel periodo tra il 472 ed il XII secolo, con numerose piccole eruzioni classificabili da sub-Pliniane a stromboliane violente, ed una attività effusiva nell'area centrale, che porta alla formazione di un cono vulcanico simile a quello del Vesuvio attuale, poi largamente distrutto dall'eruzione del 1631.

Un'attività abbastanza simile a questa (a condotto aperto), inizia dopo l'eruzione del 1631 e perdura fino all'ultima eruzione avvenuta al Vesuvio nel 1944. Questo periodo è caratterizzato da un'attività effusiva dominante con colate di lava emesse sia dalla zona del cratere centrale che, più sporadicamente, da fratture laterali, che si aprono sui fianchi del vulcano, a ridosso delle aree densamente abitate del settore occidentale, come ad esempio durante le eruzioni del 1760 e del 1794. L'eruzione del 1944 chiude questo periodo di attività a condotto aperto, nel quale si verificano anche eruzioni



esplosive stromboliane o stromboliane violente, associate all'attività effusiva.

In definitiva l'attività storica del Vesuvio è caratterizzata dall'alternanza di periodi di attività prolungata a condotto aperto (es. 1631 - 1944) con eruzioni effusive o miste, con episodi esplosivi con  $VEI \leq 3$ , e di periodi di quiescenza di durata pluricentennale che vengono interrotti da eruzioni esplosive di energia maggiore, di tipo sub-Pliniano ( $VEI=4$ ) o Pliniano ( $VEI=5$ ). Il magma, di natura prevalentemente basica, tefritica o leucititica, nei periodi a condotto aperto, evolve da composizioni leucititiche a fonolitiche-tefritiche nelle eruzioni esplosive con  $VEI=4-5$ .

## 2.3 Il sistema di alimentazione del Vesuvio

Il funzionamento di un vulcano è fortemente dipendente dalla geometria, profondità e dimensioni del suo sistema di alimentazione, nonché da composizione chimica e contenuto in volatili del magma.

I dati geofisici, essenzialmente sismologici, e lo studio dell'evoluzione geochemica dei prodotti vulcanici emessi nel passato, hanno dato informazioni sul sistema di alimentazione magmatica del Vesuvio.

In generale, il sistema vulcanico del Vesuvio può essere considerato composto da una zona sorgente dei magmi, situata alla profondità di svariate decine di chilometri, nella porzione superiore del mantello terrestre, da zone di stazionamento (camere magmatiche) che si sono formate nella crosta terrestre, a profondità diversa, e da un sistema di condotti che ha messo in connessione la camera magmatica con la superficie attraversando la crosta e l'edificio vulcanico stesso. Le modalità di alimentazione profonda del vulcano, di risalita e stoccaggio dei magmi regolano la periodicità, l'intensità e la magnitudo dell'attività vulcanica.

### 2.3.1 Dati geochemici

Da un punto di vista geochemico, dati recenti sulla composizione e contenuto in sostanze volatili nelle inclusioni intrappolate all'interno di cristalli, suggeriscono l'esistenza, per lo meno nell'ultimo periodo di attività del vulcano, di un sistema magmatico profondo, intorno a 8-10 km di profondità. In questa zona i magmi di origine mantellica si differenziano e, in alcuni casi, alimentano direttamente l'attività effusiva o mista dei periodi a condotto aperto. In particolare, gli studi sulle inclusioni silicatiche nei minerali dei prodotti delle eruzioni vesuviane del 1794, 1822, 1872, 1906 e 1944 hanno evidenziato pressioni di cristallizzazione  $> 200$  MPa.

La distribuzione dei volatili nelle inclusioni silicatiche induce a credere che questa zona di accumulo fosse strutturata come un insieme di *tasche* di magma e condotti interconnessi che si sviluppavano in verticale a profondità maggiori di 8 Km. Questa zona di accumulo è la zona "sorgente" delle masse magmatiche più ricche in volatili che hanno controllato la dinamica delle eruzioni con  $VEI$  circa 3 del periodo recente (1631-1944).

Dati raccolti sui prodotti di alcune delle maggiori eruzioni Pliniane vesuviane evidenziano, inoltre, che il magma basico si è evoluto stazionando anche in serbatoi magmatici più superficiali, ad una profondità stimabile intorno ai 5-6 Km. Tutto questo permette di ipotizzare l'esistenza di un sistema complesso di serbatoi magmatici, probabilmente anche variabile nel tempo, costituito da un serbatoio profondo da cui risalgono verso la superficie magmi basici che alimentano direttamente l'attività vulcanica, e da serbatoi magmatici più superficiali dove i magmi basici, probabilmente, provenienti dal serbatoio profondo stazionano a lungo e si evolvono producendo liquidi più differenziati, di composizione per lo più fonolitica, che alimentano le eruzioni esplosive recenti con  $VEI \geq 4$ . Questi serbatoi superficiali vengono svuotati durante le eruzioni Pliniane o sub-Pliniane.

### 2.3.2 Dati geofisici

Importanti informazioni sulla struttura interna del Vesuvio sono fornite dai risultati delle tomografie sismiche (sia attive che passive) effettuate recentemente al Vesuvio. Questi studi hanno evidenziato una zona profonda con caratteristiche sismiche anomale interpretabile come indicativa della presenza di un serbatoio (sill) di fusi o fluidi magmatici in una matrice porosa, con dimensioni orizzontali di circa 20 Km per 20 Km, ad una profondità di circa 8-10 Km. Pur non esistendo ancora un'interpretazione rigorosa e precisa, si suppone che il volume totale sia dell'ordine di 200-800 Km<sup>3</sup>. Sopra questo serbatoio profondo non sono stati evidenziati, dalla tomografia sismica, altri corpi magmatici con volume superiore a circa 0.5 Km<sup>3</sup> (limite di risoluzione dell'indagine tomografica). Inoltre, la presenza di una sismicità di background localizzata nei primi 6 Km di profondità, sotto il cono vulcanico, indica un comportamento fragile in questo intervallo di profondità, che porterebbe a escludere la presenza di camere magmatiche poco profonde e di grosse dimensioni.

## Capitolo 3

### Scenari Eruttivi

Dopo un lungo periodo di intensa e frequente attività eruttiva a condotto aperto, durato oltre tre secoli, dal 1944 il Vesuvio è in una fase di quiescenza. Allo stato attuale delle conoscenze non è possibile stabilire, neanche approssimativamente, la presumibile durata del riposo attuale.

Tuttavia, oltre 60 anni sono già trascorsi dall'ultima eruzione e certamente il condotto del vulcano è attualmente ostruito. Ne consegue che è molto bassa la probabilità che la prossima eruzione possa avere le caratteristiche di uno degli eventi tipici dei periodi di attività a condotto aperto, in genere dominati dall'emissione di colate laviche. Vi è, inoltre, da considerare che la pericolosità delle colate laviche è molto inferiore a quella delle eruzioni esplosive. A causa dell'aumento di viscosità prodotto dal raffreddamento, la lava ha infatti una velocità di avanzamento bassa e se può causare ingenti danni economici, solo raramente rappresenta un pericolo per le persone.

Per questi motivi l'analisi degli scenari eruttivi da porre a base dell'aggiornamento del piano d'emergenza, ha volutamente trascurato l'attività effusiva, che produrrebbe comunque fenomeni di bassa pericolosità e si è concentrata sulle eruzioni esplosive del Vesuvio, delle quali si fornisce di seguito una sintetica descrizione.

#### 3.1 Principali Tipi di Eruzioni Esplosive

Gli studi vulcanologici condotti negli ultimi anni al Vesuvio hanno portato a individuare i seguenti stili di attività esplosiva (o tipi di eruzione esplosiva), elencati in ordine di energia decrescente:

- eruzioni Pliniane;
- eruzioni sub-Pliniane I tipo;
- eruzioni sub-Pliniane II tipo;
- eruzioni stromboliane violente;
- eruzioni caratterizzate da emissione continua di cenere;
- eruzioni stromboliane medie (strettamente associate con attività effusiva).

La Tabella 3.1 sintetizza alcuni dei parametri caratteristici di queste eruzioni, quali durata del periodo di riposo che le precede, volume di magma emesso, valore di picco del tasso di emissione di magma (MDR = magma discharge rate), altezza della colonna eruttiva e produzione o meno di colate piroclastiche.

Tabella 3.1 - Stili di attività eruttiva del Vesuvio

Stile eruttivo	Riposo (anni)	Volume (Km <sup>3</sup> )	Picco MDR (Kg/s)	Altezza colonna (Km)	Colate piroclastiche
Pliniane	10 <sup>2</sup> -10 <sup>3</sup>	1-10	10 <sup>7</sup> -10 <sup>8</sup>	>20	si
Sub-Pliniane I	10 <sup>2</sup>	10 <sup>-1</sup> - 1	10 <sup>7</sup>	15-20	si
Sub-Pliniane II	10 <sup>2</sup>	10 <sup>-2</sup> - 10 <sup>-1</sup>	10 <sup>6</sup> - 10 <sup>7</sup>	10-15	minori
Stromboliane violente	10-10 <sup>2</sup>	10 <sup>-3</sup> - 10 <sup>-2</sup>	10 <sup>5</sup> - 10 <sup>6</sup>	5-10	no
Continue emissione di cenere	10-10 <sup>2</sup>	Fino a 10 <sup>-2</sup> cumulativo			no
Stromboliane medie	1-10	10 <sup>-3</sup>			no

Si osservi come il fenomeno eruttivo più pericoloso, le colate piroclastiche, è generato solo dalle eruzioni di maggiore energia, Pliniane (indice di esplosività vulcanica VEI=5) e sub-Pliniane I (VEI=4), e in minor parte anche dalle sub-Pliniane II.

Associate alle stromboliane violente non vi sono vere e proprie colate piroclastiche, ma solo la possibilità di generare valanghe incandescenti per scorrimento di accumuli instabili di scorie sul pendio ripido della parte alta del vulcano. Ricaduta di materiale piroclastico è invece associata a tutti i tipi di eruzione.

Nella Tabella 3.2 sono indicati alcuni parametri caratteristici dei depositi di ricaduta dei diversi stili eruttivi, quali tassi di accumulo, durata, dispersione (area racchiusa dalla linea di eguale spessore, isopaca di 10 cm) e densità del deposito. Sono tralasciate le stromboliane medie e le emissioni di cenere continua per la loro modesta pericolosità.

Tabella 3.2 - Tipi di eruzioni e depositi di ricaduta

Stile eruttivo	Altezza colonna	Volume totale	Tasso di accumulo area prossimale	Durata	Area dell'isopaca 10 cm	Distanza sottovento 10 cm	Densità media deposito
	Km	m <sup>3</sup>	cm/ora		Km <sup>2</sup>	Km	Kg/m <sup>3</sup>
Pliniane	>20	10 <sup>9</sup>	10 - 20	Ore	>1500	100	500 - 1000
Sub-Pliniane I	15 - 20	10 <sup>8</sup>	5 - 15	Ore	300 - 1000	20 - 50	800 - 1500
Sub-Pliniane II	10 - 15	10 <sup>7</sup> - 10 <sup>8</sup>	5 - 15	Ore-giorni	200	15 - 25	800 - 1500
Stromboliane violente	5 - 10	< 10 <sup>8</sup>	2 - 10	Ore-giorni	50 - 250	<20	1100-1500
Continua emissione di cenere		< 10 <sup>8</sup>	mm/giorno	Anni	<250	<15	>1500

### 3.1.1 Eruzione stromboliana violenta

Le eruzioni stromboliane violente consistono in una espulsione esplosiva di gas e piroclasti (frammenti di magma e minori blocchi solidi di rocce preesistenti) che porta alla formazione di una colonna eruttiva di altezza variabile, da alcuni chilometri a una decina di chilometri e al lancio di grossi frammenti incandescenti fino a centinaia di metri di altezza. Questo tipo di eruzione è inoltre accompagnato dall'emissione di lava con formazione di colate laviche di grande volume ed estensione. In epoca storica al Vesuvio, questo tipo di eruzione ha avuto durata variabile da alcuni giorni ad alcune settimane e per eruzioni precedenti al 1631 è possibile una durata anche di mesi.

I depositi esplosivi di queste eruzioni consistono in strati di scorie, lapilli e ceneri. Possono formarsi anche uno o più coni piroclastici.

Negli ultimi tre secoli le eruzioni stromboliane violente avvenute al Vesuvio hanno avuto origine dal cratere centrale e sono state contrassegnate da due fasi: una fase caratterizzata dall'esplosività dei gas magmatici (fase magmatica) e una governata dall'esplosività prodotta dall'interazione del magma con acqua esterna sotterranea, geotermica o meno (fase freato-magmatica). In genere, nella prima fase, di durata variabile da ore a giorni, si sono avuti uno o più episodi di fontana di lava con sviluppo di nubi convettive di cenere di alcuni chilometri di altezza, che hanno prodotto un impatto rilevante sui comuni circumvesuviani. Le ceneri e i lapilli sottovento si sono accumulati al suolo raggiungendo spessori fino a oltre un metro nei centri abitati.

La fase freato-magmatica ha accompagnato la formazione di un grosso cratere ed è consistita nell'emissione di dense nubi di ceneri e vapore acqueo di qualche chilometro di altezza, la cui dispersione è avvenuta ad opera di venti di bassa quota (pochi chilometri).

Nell'eventualità di innesco di fasi freato-magmatiche, l'impatto includerebbe la deposizione di ceneri fini, umide e ricche di sostanze acide, sulle coperture degli edifici e sulle *life-lines* con accumuli particolarmente significativi entro pochi chilometri dalla bocca eruttiva. La deposizione delle ceneri sarebbe verosimilmente seguita dalla formazione di colate di fango (lahar). Oltre ai danni prodotti dall'accumulo di lapilli e ceneri, sono quindi attese distruzioni operate dalle colate di lava e dai lahar.

Le eruzioni stromboliane violente sono legate a condizioni di condotto aperto, e quindi attualmente sono poco probabili. Un'eventuale eruzione stromboliana violenta potrebbe assumere le caratteristiche di quelle avvenute recentemente all'Etna nel 2001 e nel 2002, caratterizzate dalla caduta di lapilli e cenere e dall'edificazione di coni di scorie, nonché dall'emissione di una o più colate di lava.

Per quanto riguarda la localizzazione della bocca eruttiva, oltre al cratere centrale, non si può escludere l'apertura di una bocca laterale, simile a quelle formatesi in epoca preistorica a Camaldoli della Torre, Pollena e vallone di Ottaviano, quando peraltro non si hanno evidenze di ceneri freato-magmatiche e di lahar associati.

### 3.1.2 Eruzione sub-Pliniana I

Le eruzioni sub-Pliniane I sono caratterizzate da fenomeni simili a quelle delle sub-Pliniane II, ma di maggiore intensità e pertanto la descrizione di queste ultime sarà compresa in quella delle sub-Pliniane I (di seguito indicate solo come eruzioni sub-Pliniane).

Lo scenario sub-Pliniano è caratterizzato da una fase di apertura, da una fase parossistica dell'eruzione della durata di diverse ore e da una fase finale che può anche durare giorni e durante la quale vengono per lo più disperse ceneri fini, in

genere confinate all'area vicina al vulcano.

Un esempio di eruzione sub-Pliniana è dato dall'evento del 1631. Durante questa eruzione, la fase di apertura durò un paio d'ore e fu caratterizzata da attività esplosiva freato-magmatica e vulcaniana di debole violenza generata da bocche eruttive apertesi sul fianco occidentale del cono vesuviano. Seguì la formazione di una colonna convettiva di altezza progressivamente crescente con ricaduta di ceneri nei settori posti sottovento.

Al raggiungimento del regime eruttivo sub-Pliniano la dinamica dell'eruzione del 1631 fu caratterizzata dallo spostamento dell'attività eruttiva nel cratere centrale e dallo sviluppo di una colonna eruttiva fino ad una altezza tra 12 e 22 Km, sormontata da una nube a forma di ombrello che si disperse secondo la direzione dei venti dominanti ad alta quota (che in quel caso soffiavano verso Est).

In generale, durante questa fase delle eruzioni sub-Pliniane il materiale eruttivo leggero (pomici di dimensioni centimetriche, lapilli e ceneri) che si separa dai margini della colonna e dalla regione dell'ombrello è trasportato dal vento e ricade su un'area ellittica. I tassi di accumulo di questo materiale possono essere di 5-15 cm/ora (Tabella 3.2) ai piedi del vulcano, mentre sono decrescenti via via che ci si allontana da questo. Il materiale pesante (bombe vulcaniche e blocchi di roccia) è scarsamente influenzato dal vento e ricade al suolo a velocità elevata. I frammenti di grandi dimensioni (di diametro più che decimetrico) ricadono entro 1-1.5 Km dalla bocca del vulcano seguendo traiettorie balistiche di 1-2 Km di altezza; quelli di dimensioni pluricentriche possono essere sollevati fino a grande altezza (diversi Km) ricadendo dai margini della colonna e dalla regione dell'ombrello.

L'evoluzione delle eruzioni Pliniane è caratterizzata da un graduale aumento dell'altezza della colonna e da un allargamento della regione dell'ombrello. Tali cambiamenti si riflettono in un incremento del tasso di accumulo sottovento e in un aumento di dimensione dei frammenti che si separano dai margini della colonna e dalla regione dell'ombrello. Il regime eruttivo sub-Pliniano è accompagnato da continuo tremore del suolo percepibile fino a distanza di decine di Km e nel caso del Vesuvio fino a Napoli; l'intensità del tremore aumenta con l'aumentare dell'altezza della colonna eruttiva.

La fase di colonna sostenuta è seguita da una seconda fase, detta di colonna collassante, che dura al massimo poche ore, durante la quale la colonna eruttiva collassa su sé stessa provocando lo scorrimento di nubi di gas caldi e particelle (le colate piroclastiche), che costituiscono l'elemento di maggiore pericolosità associato all'eruzione sub-Pliniana. Queste nubi hanno un'elevata mobilità e la pressione dinamica associata al loro scorrimento è tale da distruggere in alcuni casi anche costruzioni in muratura. L'impatto sull'uomo è devastante, oltre che per la velocità del flusso (50-100 Km/ora), anche a causa dell'elevata temperatura (350°-600° C) e per la presenza di particelle fini, tali da provocare difficoltà respiratorie e soffocamento. Modelli numerici dello scorrimento di colate di questo tipo al Vesuvio hanno messo in evidenza come la cintura dei paesi circumvesuviani potrebbe essere raggiunta da queste colate in pochi minuti dalla loro generazione. Queste colate piroclastiche, che nelle eruzioni passate sono state la causa principale di distruzione sulle pendici del vulcano, possono in alcuni casi risentire di un effetto di schermo da parte della parete del Monte Somma. È stato questo il caso dell'eruzione del 1631, quando le colate piroclastiche che seguirono la fase di colonna sostenuta si dispersero prevalentemente nel settore occidentale e meridionale del vulcano, non interessando la fascia dei centri abitati comprendente i paesi di Somma Vesuviana, Ottaviano, San Giuseppe Vesuviano e Terzigno. I depositi delle altre eruzioni di tipo sub-Pliniano del Somma-Vesuvio e di tutte le eruzioni Pliniane mostrano tuttavia che i flussi piroclastici sono riusciti a scavalcare anche la parete del Monte Somma, coprendo praticamente l'intero vulcano. Per questo motivo, nello scenario di riferimento, è stato ritenuto opportuno considerare ogni settore del vulcano a rischio di scorrimento di colate piroclastiche, cioè tutta la fascia dei comuni circumvesuviani (zona rossa) da evacuare completamente in caso di riattivazione del vulcano.

Nel corso della fase di formazione delle colate piroclastiche si può verificare uno sprofondamento della caldera. Tale sprofondamento è accompagnato da due fatti salienti: *i*) l'occorrenza di ripetuti eventi sismici di forte magnitudo; *ii*) l'emissione di colate piroclastiche alimentate con tassi eruttivi molto elevati e che hanno una forte capacità di devastazione.

L'attività sismica può causare danni particolarmente gravi su edifici già appesantiti dal carico dei lapilli emessi nella prima fase dell'eruzione.

A seguito di fenomeni di interazione esplosiva di acqua esterna con la camera magmatica all'atto del collasso della caldera, la dinamica eruttiva, che caratterizza le colate piroclastiche con elevato tasso eruttivo, può diventare molto più violenta mettendo in gioco ulteriore energia.

Si sottolinea che una volta formate e messe in posto, le colate piroclastiche divengono ostacoli insormontabili ovvero non possono essere attraversate per giorni. Durante l'eruzione del 1631 una parte dei superstiti della fascia costiera non poterono allontanarsi via terra per l'impossibilità di attraversare i depositi ancora caldi e fluidi che tagliavano loro la strada sia in direzione di Napoli sia in direzione di Torre Annunziata. Questo rafforza l'esigenza dell'evacuazione preventiva delle zone esposte al pericolo di scorrimento delle colate piroclastiche.

Lo scenario di un'eruzione sub-Pliniana evolve in una fase finale caratterizzata da emissione di ceneri fini e abbondanti quantità di vapore che formano dense colonne che si innalzano di pochi chilometri sopra la bocca del

vulcano. L'emissione della cenere è all'inizio molto abbondante e, in poche ore, porta ad accumuli considerevoli entro distanze di 10-15 Km dal vulcano. Possono generarsi anche flussi piroclastici diluiti, detti 'surges', molto pericolosi per le elevate pressioni e temperature.

Un fenomeno di elevata pericolosità associato a questa fase dell'eruzione viene dalla possibile generazione e scorrimento di colate di fango, sia lungo le pendici del vulcano sia sui rilievi pedeappenninici sottovento, prevalentemente nella zona ad Est del Vesuvio. Colate di fango di questo tipo, descritte con il termine indonesiano di "lahar", sono state osservate a seguito di tutte le maggiori eruzioni storiche vesuviane (anche di quelle stromboliane violente che hanno caratterizzato il periodo tra il 1631 ed il 1944). La pericolosità associata ai *lahar* è molto elevata, specie lungo i principali bacini di drenaggio e nelle aree soggette ad alluvionamento. I fenomeni di scorrimento delle colate di fango possono assumere caratteri particolarmente devastanti per effetto della sistematica distruzione, nei decenni passati, di opere di regimazione degli alvei, nonché per opere antropiche la cui costruzione non favorisce il deflusso delle acque provenienti dal vulcano e/o dai rilievi circostanti, anzi provoca effetti di contenimento delle stesse.

I fenomeni acuti di un evento sub-Pliniano si esauriscono di norma entro 3-4 giorni, dopo i quali si può avere una fase, che può durare settimane o mesi, in cui la dinamica eruttiva è caratterizzata da fenomeni attenuati, con emissioni di ceneri e vapori eventualmente associate ad attività sismica di media e bassa energia. A questa si accompagna, e segue, la mobilitazione di materiali eruttivi ad opera delle piogge (*lahar*) che può andare avanti per anni.

I tempi di recupero e di "normalizzazione" della vita e delle attività economiche potrebbero essere relativamente brevi nell'area interessata da caduta di cenere. Per quanto detto in proposito del carattere distruttivo delle colate piroclastiche, le zone che ne sono state investite, potranno avere un processo di recupero molto lungo. Per le aree interessate da *lahar* e da alluvionamenti il recupero è fortemente legato alla difficoltà di normalizzazione della rete idrica soprattutto in prossimità dei corsi d'acqua (*laghi*).

### 3.1.3 Eruzione Pliniana

L'eruzione di tipo Pliniano è quella di maggiore energia, e quindi la più distruttiva. In analogia a quanto detto per l'eruzione sub-Pliniana, quella Pliniana può essere suddivisa in quattro fasi: una *fase di apertura*, una *fase di colonna convettiva (sostenuta)*, una *fase di colonna collassante con formazione di colate piroclastiche* e una *fase finale* con prevalente emissione di ceneri fini, flussi piroclastici diluiti e ripetuta generazione di *lahar*.

La fase di apertura è generalmente di tipo freato-magmatico, anche se non va esclusa la possibilità di un'apertura caratterizzata da sola attività freatica (esplosioni di vapore pressurizzato senza diretto intervento di nuovo magma). La dinamica della fase di apertura può essere di tipo vulcaniano, con esplosioni di breve durata e formazione di colonne convettive cariche di ceneri, trasportate dai venti a bassa quota. Talvolta è possibile che si formino collassi parziali della colonna eruttiva, con formazione di piccole colate piroclastiche, confinate alla parte alta del vulcano. I danni, durante la *fase di apertura* di un'eruzione Pliniana non sono generalmente rilevanti e i depositi dei prodotti di caduta sono tipicamente limitati alle aree prossimali (10-15 Km al massimo), con spessori massimi di 10-15 cm, dispersi sottovento.

Durante la *fase di colonna sostenuta* si ha la formazione di una colonna con modalità e caratteristiche simili a quelle descritte per la sub-Pliniana I. Tuttavia, i fenomeni legati alla dinamica di un'eruzione Pliniana sono di maggiore intensità, durata ed energia, ponendosi a livelli più alti rispetto a quelli osservati per la sub-Pliniana. Nel caso di un'eruzione Pliniana si ha un'altezza della colonna maggiore di 20 Km e il tasso d'accumulo dei depositi ai piedi del vulcano è di 10-20 cm/ora. Anche la distanza massima raggiunta dai frammenti pesanti di dimensione pluricentrica risulta aumentata da un terzo a due volte quella prevista per gli eventi sub-Pliniani I. La maggiore energia dei prodotti dell'ombrello fa sì che frammenti di dimensioni pericolose per le persone possano cadere anche nei settori sopravvento al vulcano.

Alla fine di questa fase si può avere la migrazione verso condizioni di collasso della colonna. Il deposito è costituito da pomice di caduta di dimensioni grossolane nelle zone prossimali (fino a diversi metri di spessore), mentre la caduta di cenere può raggiungere distanze di centinaia di chilometri. Le colate piroclastiche associate a collassi di colonna parziali sono costituite da strati laminati ricchi in cenere fino a spessori di un metro. Alle fasi finali sono associati spessi depositi di flusso piroclastico. Più dell'80% del materiale totale viene eruttato in questa fase.

La fase *freato-magmatica*, che può durare per giorni, è caratterizzata dall'alternanza di brevi esplosioni magmatiche ed esplosioni freatomagmatiche, che producono colonne sostenute di breve durata fino ad altezze stratosferiche e generano colate piroclastiche sia dense che diluite disperse radialmente. Durante i primi stadi di questa fase sono possibili collassi calderici ai quali sono associati *lahar* e colate di detrito (*debris-flows*) controllati dalla topografia. Nelle aree prossimali e distali raggiunte dalle colate piroclastiche si ha la completa distruzione.

La *fase finale*, ancora a prevalente carattere freato-magmatico, può durare da qualche giorno ad alcune settimane, ed è caratterizzata da formazione di colonne di cenere sostenute nella zona troposferica (altezze minori di 10-12 Km). I depositi sono quelli tipici delle esplosioni freato-magmatiche, con strati di cenere e lapilli accrezionali. I danni agli edifici e alle strutture possono essere ingenti, anche nelle zone distali. Frequenti i fenomeni di *surges* piroclastici e quelli

di lahar generati da mobilitazione da pioggia dei depositi incoerenti su pendii ripidi.

### 3.2 La scelta dello scenario di riferimento

Uno degli obiettivi della ricerca vulcanologica è riuscire a stimare la probabilità che si verifichi un'eruzione in un determinato intervallo temporale e di valutarne la magnitudo e/o l'intensità. A tal fine, alcuni autori ipotizzano una distribuzione Poissoniana degli eventi, che sottintende l'ipotesi che l'intensità sia indipendente dal tempo di riposo e dall'intensità dell'eruzione che l'ha preceduta. Persiste, comunque, l'impossibilità di definire limiti massimi alla taglia dell'energia della prossima eruzione, come evidenziato in molti lavori scientifici. Recenti studi statistici suggeriscono che l'Eruzione Massima Attesa del Vesuvio (o EMA), considerata nel precedente Piano d'Emergenza (DPC 1995, DPC 2001), non è l'evento massimo che ci si può attendere in caso di riattivazione del Vesuvio e non escludono la possibilità che si possa avere un'eruzione significativamente maggiore dell'EMA, anche se con più bassa probabilità.

I risultati degli studi di Marzocchi et al.(2004) mostrano, inoltre, che la taglia dell'evento più probabile ha un VEI=3, cioè minore di quella dell'eruzione presa come riferimento nel precedente Piano d'Emergenza, di VEI=4. Questi studi sono basati sull'analisi dei cataloghi delle eruzioni di tutti i vulcani del mondo, di 17 vulcani "analoghi" al Vesuvio, e del Vesuvio stesso. Gli autori distinguono due diversi casi:

- eruzioni precedute da un tempo di riposo compreso tra 60 e 200 anni;
- eruzioni precedute da un tempo di riposo maggiore di 60 anni, ma senza limite superiore.

Entrambi i modelli, di fatto, si riferiscono a periodi di riposo a "condotto chiuso" (maggiori di 60 anni) ma, mentre il primo modello risulta più adatto per le previsioni a breve-medio termine, il secondo è preferibile per valutazioni a lungo termine.

La scelta dell'evento eruttivo di riferimento per la definizione dello scenario da porre a base della pianificazione d'emergenza, rappresenta ovviamente la scelta più delicata e difficile, ed è quella che più fortemente incide sull'intero Piano d'Emergenza.

Nel precedente Piano come EMA era stata scelta un'eruzione di tipo sub-Pliniano simile, ma non identica, all'eruzione del Vesuvio del 1631. Nel presente Piano, si supera il concetto di EMA, preferendo un approccio basato sulla valutazione della probabilità di accadimento dei diversi scenari, corrispondenti ai principali tipi di eruzione elencati in Tabella 3.1. Un modello probabilistico, basato sulla statistica Bayesiana, ha consentito di elaborare un cosiddetto "albero degli eventi" che applicato al Vesuvio, ha fornito i risultati mostrati in Tabella 3.3, che indicano, in caso di eruzione, la probabilità che si verifichi quella specifica tipologia eruttiva.

Tabella 3.3 - Probabilità condizionata di accadimento dei principali tipi di eruzioni  
da Marzocchi et al., 2004

	Stromboliane violente (VEI=3)	Sub-Pliniane I (VEI=4)	Pliniane (VEI=5)
Vesuvio: tempo di riposo tra 60 e 200 anni	72%	27%	1%
Vesuvio: tempo di riposo maggiore di 60 anni	65%	24%	11%

Questi risultati, la cui validità in assoluto risente delle scarse informazioni e dei pochi dati a disposizione per elaborare un modello probabilistico oggettivo, hanno comunque portato a ritenere che potesse esservi una probabilità non trascurabile (intorno al 10%) di avere uno scenario corrispondente all'evento massimo registrato nella storia eruttiva del Vesuvio (Pliniana con VEI=5). Occorre tuttavia osservare che questo risultato è fornito dagli eventi con periodo di riposo superiore a 60 anni, che comprende ovviamente anche quelli molto lunghi, di svariati secoli fino al millennio, che sembrano caratteristici di alcune eruzioni Pliniane del Vesuvio. La probabilità di un'eruzione Pliniana con VEI=5 scende a 1% se si considerano i periodi di riposo tra 60 e 200 anni (Tabella 3.3), periodo di riposo che corrisponde meglio a una valutazione a "medio termine" dell'evento possibile.

L'evento di minore energia (VEI=3) risulterebbe dalla Tabella 3.3 il più probabile. Si tratta di eventi (stromboliane violente) preceduti da periodi di riposo brevi, per lo più dell'ordine delle decine di anni, la cui pericolosità è sostanzialmente associata alla ricaduta di materiali piroclastici e alla formazione di lahar e senza colate piroclastiche.

Ciò premesso, si ritiene ragionevole che lo scenario di riferimento da utilizzare nel Piano d’Emergenza possa essere analogo a quello già assunto nel precedente piano e debba, quindi, essere un evento di tipo sub-Pliniano per le seguenti motivazioni:

- ha una probabilità condizionata di accadimento piuttosto elevata, di poco inferiore al 30%;
- corrisponde ad una scelta ragionevole di “*rischio accettabile*” considerato che la probabilità che questo evento venga ecceduto da un’eruzione Pliniana con VEI=5 è, nei prossimi 140 anni circa, di solo 1%;
- i dati geofisici non rivelano la presenza di una camera magmatica superficiale con volume sufficiente a generare un’eruzione di tipo Pliniano (vedi Tabella 3.1 e paragrafo 2.3.2).

Si fa notare, inoltre, che gli eventi più probabili (VEI=3), pur non producendo colate piroclastiche, possono dare origine a colate di fango che potrebbero invadere larga parte della zona esposta al pericolo di scorrimento di flussi piroclastici nell’evento di riferimento (VEI=4). Pertanto, la definizione della zona ad alto pericolo basata sull’evento di riferimento (VEI=4) copre anche l’area ad alta pericolosità per eventi indotti da eruzioni con VEI=3.

## Capitolo 4

# Pericolosità vulcanica e danni attesi per l’evento di riferimento

Sulla base dei fenomeni che caratterizzano l’eruzione di riferimento, si individuano tre zone a diversa pericolosità che si sovrappongono parzialmente: una zona esposta a flussi piroclastici, una esposta a ricaduta di materiale piroclastico e una esposta ad alluvionamenti e flussi di fango (lahar), di seguito descritte.

### 4.1 Zona esposta a flussi piroclastici (zona rossa)

I flussi piroclastici, a causa delle loro caratteristiche intrinseche e della loro velocità, rappresentano di gran lunga il fenomeno più pericoloso per le vite umane. I flussi prodotti nell’eruzione del 1631 interessarono tutti i versanti del Vesuvio risparmiando solamente le falde settentrionali del Somma. È comunque opportuno, ai fini della stesura del Piano di protezione civile, non considerare la parete calderica del Monte Somma una barriera insormontabile. Sarebbero infatti, sufficienti leggere modifiche nella posizione della bocca eruttiva e dei parametri dell’eruzione per produrre uno scavalco di detta barriera ed il conseguente scorrimento delle colate piroclastiche in direzione anche degli abitati di Ottaviano, Somma Vesuviana e Sant’Anastasia. È opportuno ricordare che la modellizzazione fisica-numerica di colate piroclastiche con caratteristiche simili a quelle eventualmente producibili per collasso di una colonna Pliniana di tipo 1631 ha confermato che lo scavalco della parete calderica del Monte Somma è possibile. La stessa modellizzazione ha inoltre indicato che il tempo di propagazione delle colate tra il cratere e le zone abitate della costa è di soli 10 minuti. Questo dato conferma l’assoluta necessità di una evacuazione preventiva delle aree esposte a pericolo.

I risultati delle ricerche recenti (Progetto Exploris) indicano come probabile che vi sia un livello di danneggiamento decrescente nelle zone abitate procedendo dalle parti più vicine al cratere a quelle più lontane, anche a causa dell’attenuazione della pressione dinamica dei flussi piroclastici determinata dall’impatto con le barriere dei primi edifici incontrati. Lo studio degli effetti causati dalle colate piroclastiche di eruzioni recenti indica inoltre, che il danno potrebbe essere considerevolmente ridotto, almeno nelle zone periferiche, se le aperture delle case (porte e finestre) venissero adeguatamente protette e rafforzate. Tuttavia, la pericolosità connessa alle elevate temperature e alla presenza di “polveri” in sospensione, nonché di gas tossici, impone di mantenere nel Piano l’evacuazione totale preventiva della zona rossa.

Il Gruppo di lavoro ha attentamente valutato l’opportunità o meno di modificare i limiti della zona esposta al pericolo di scorrimento di colate piroclastiche del precedente Piano d’Emergenza (zona rossa).

Nella figura 4.1 sono riportate tutte le informazioni utilizzabili a questo scopo: i) i limiti raggiunti dalle colate piroclastiche del 1631 e del 472 (peraltro questi ultimi con informazioni frammentarie); ii) i risultati delle più recenti simulazioni 3D del Progetto Exploris, relativi ad un evento assimilabile a quello di riferimento (VEI= 4, tasso di eruzione pari a  $5 \times 10^7$  Kg/s, contenuto in acqua = 2% in peso, diametro condotto = 350 m, velocità = 90 m/s, massa collassata = 90 %).

Nella maggior parte dei casi non si supera il limite della zona rossa del precedente Piano, tranne alcune eccezioni e in tal caso si tratta di depositi di *ash cloud*, di possibile origine co-ignimbritica, cioè dovuti alla dispersione convettiva e del vento della parte superficiale, meno densa, della colata piroclastica. Si tratta di fenomeni di pericolosità più bassa rispetto alla colata principale, più densa, che genera i depositi massivi, per la consistente diminuzione della pressione dinamica e della temperatura. Di contro i depositi massivi delle colate piroclastiche vere e proprie del 472, finora ritrovati, sono tutti ben confinati all'interno della zona rossa.

I limiti della zona rossa del precedente Piano erano stati scelti su base amministrativa, cioè coincidevano con i limiti dei comuni il cui territorio cadeva del tutto o in buona parte nell'area esposta al pericolo di scorrimento delle colate piroclastiche di un'eruzione sub-Pliniana. Ne risultava un contorno irregolare con alcune anomalie, anche di segno opposto, le più evidenti delle quali sono i comuni di Torre Annunziata e soprattutto di Pompei, le cui parti esterne sud-orientali potrebbero essere escluse dalla zona rossa, e il comune di Nola, la cui parte sud-occidentale vi andrebbe invece ricompresa così come la parte più orientale del Comune di Napoli, che comprende le circoscrizioni di Ponticelli, Barra e S. Giovanni a Tedduccio. Nella consapevolezza della delicatezza della questione e delle rilevanti implicazioni di ogni modifica dei confini della zona rossa, il Gruppo di lavoro suggerisce al Dipartimento della Protezione Civile di operare la scelta ritenuta più idonea per la salvaguardia della popolazione.



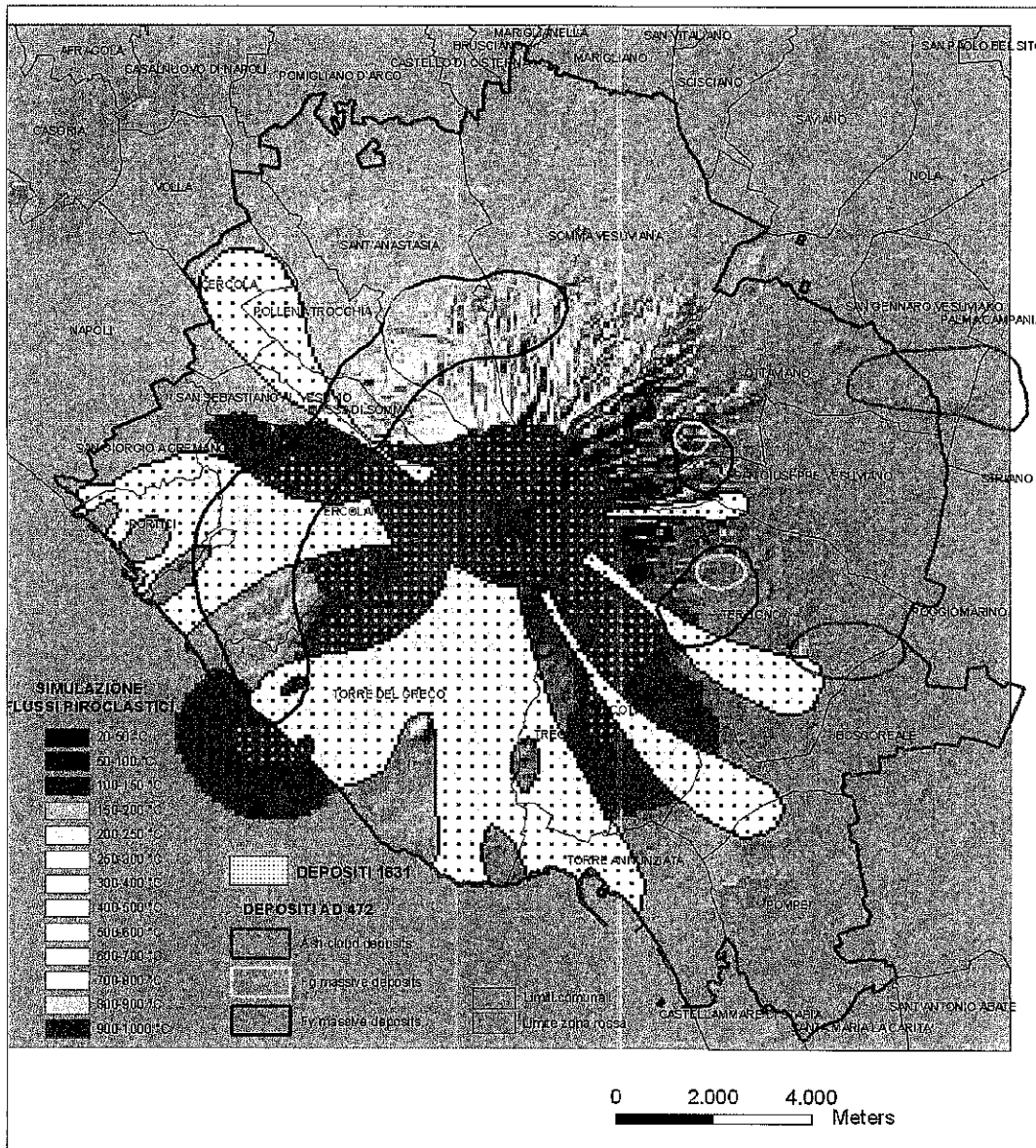


Figura 4.1 - Confronto depositi eruzioni del 1631 (Rosi et al., 1993) e del 472 (Sulpizio et al., 2005) con simulazione numerica 3D flussi piroclastici (T°)

L'unica variante che si suggerisce è che nella zona rossa venga ricompresa l'enclave appartenente al comune di Pomigliano d'Arco, ubicata fisicamente dentro i limiti di Sant'Anastasia.

## 4.2 Zona esposta a ricaduta di lapilli e cenere (zona gialla)

La ricaduta sottovento di lapilli e ceneri da una colonna sub-Pliniana causa disagi di varia natura e comprende la possibilità di accumulo del materiale disperso dal vento fino al possibile collasso delle coperture degli edifici. Spessori di deposito maggiori di 10 cm possono coprire aree di 300-1000 Km<sup>2</sup> a distanze di 20-50 Km dal vulcano (Tabella 3.2). Fino a distanze di alcuni chilometri la ricaduta di frammenti pesanti rappresenta un pericolo concreto per le persone che si trovano all'aperto, nonché per le coperture che possono essere seriamente danneggiate dalla caduta ad alta velocità di blocchi rocciosi.

È opportuno ricordare che, oltre al problema del collasso dei tetti, le condizioni in queste zone, pur non

immediatamente pericolose per la vita umana, saranno molto pesanti (oscurità, atmosfera irrespirabile, intasamento delle fognature, inquinamento delle acque, avvelenamento dei pascoli, difficoltà di circolazione, interruzione di linee elettriche e di comunicazione, possibilità di arresto di motori, ecc.) per cui potrà essere necessario provvedere all'allontanamento delle persone almeno dalle zone più pesantemente colpite. Nella Tabella 4.1 sono indicati i problemi principali che possono essere causati da depositi di cenere vulcanica di diverso spessore.

Nel precedente Piano di emergenza il limite della zona gialla era stato fissato ad un carico del materiale piroclastico di ricaduta di 300 Kg/m<sup>2</sup> e la forma della zona era stata rappresentata in modo da tener conto della direzione prevalente del vento ad alta quota. Tale rappresentazione si prestava a equivoci, pur essendo chiaramente detto nel Piano che solo una parte della zona stinata, attorno al 10%-15% del totale, sarebbe stata effettivamente colpita in caso di eruzione.

Il Gruppo di lavoro si è molto impegnato su questo tema, giungendo a produrre nuove mappe e dati originali che vengono qui presentati per la prima volta, avvalendosi dei risultati dei Progetti Exploris e Speed, nonché della collaborazione del prof. Giulio Zuccaro.

I nuovi risultati riguardano i seguenti temi:

- Vulnerabilità delle coperture
- Simulazioni dei depositi di ricaduta di cenere da eruzione sub-Pliniana, per diverse direzioni del vento
- Stima dei probabili collassi delle coperture
- Elaborazione di una mappa di rischio.

#### 4.2.1 Vulnerabilità delle coperture al carico di materiale piroclastico

Rispetto alle valutazioni di vulnerabilità contenute nel precedente Piano, grazie a studi recenti si sono meglio definite le tipologie strutturali più diffuse delle coperture presenti nell'area esposta al pericolo di ricaduta di materiale piroclastico. Il territorio è stato discretizzato mediante una griglia radiale con centro nel cratere; ciascuna cella ha superficie costante pari a 50.000 m<sup>2</sup> sino ad una distanza di circa 12 Km dal cratere (corrispondente approssimativamente alla zona rossa) per poi assumere la dimensione di 200.000 m<sup>2</sup> per la zona più esterna (Figura 4.2). Alla cella vengono associati i dati relativi agli elementi a rischio che ricadono in quell'area (cioè caratteristiche tipologico-strutturali, popolazione etc.); ciò consente di eseguire analisi di impatto mediando i risultati sull'insieme degli elementi a rischio della cella.

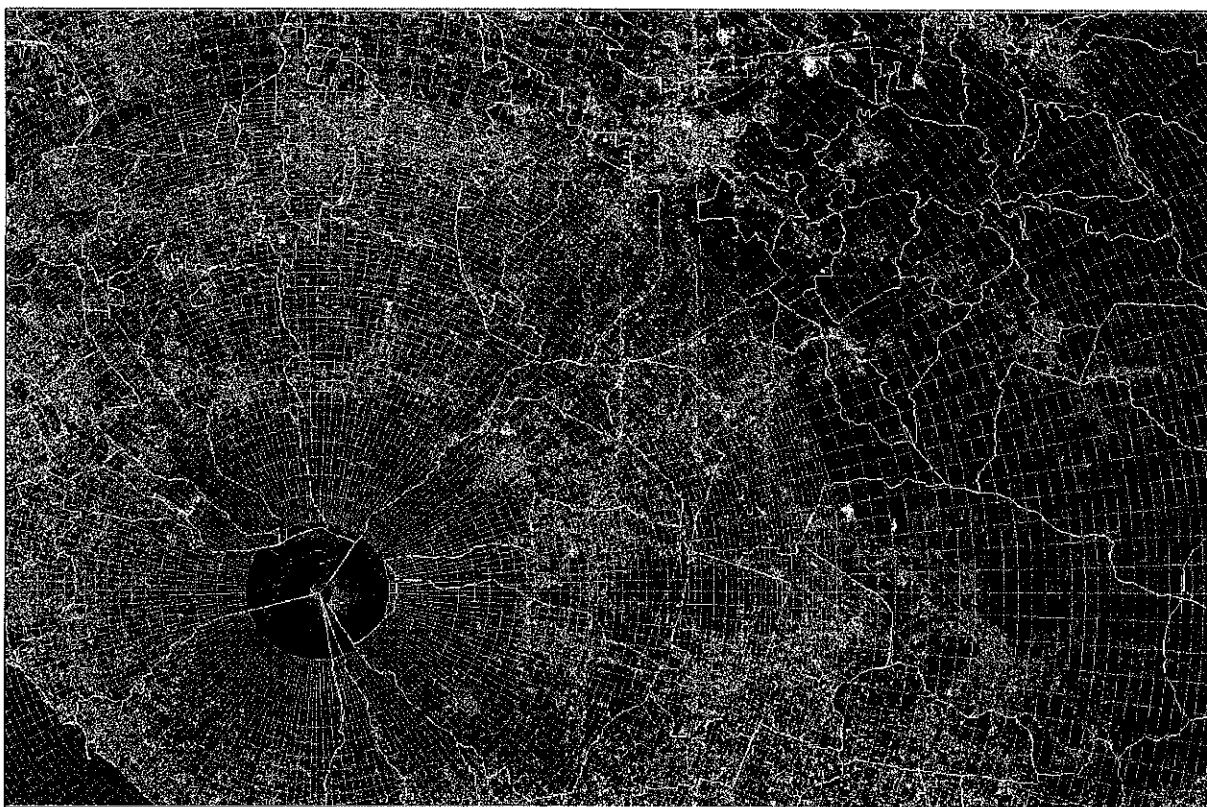


Figura 4.2 - Esempio di suddivisione del territorio in celle.

### Definizione delle classi di vulnerabilità delle coperture

La Tabella 4.2 riporta le classi tipologiche delle coperture per quali sono state stimate le funzioni di vulnerabilità, attraverso analisi numeriche agli stati limite e dati sperimentali (progetto Exploris - Figura 4.3).

Tabella 4.2 – Tipologie strutturali delle coperture considerate

TIPOLOGIA	DESCRIZIONE	Carico di collasso (probabilità 50%)	C: (p)
A_cop	Copertura a falde in legno di scarsa resistenza		
B_cop	Coperture piane in legno di fattura standard	300	
	Coperture piane in latero-cemento tipo "SAP"		
	Coperture piane in ferro e voltine (povere)		
C1_cop	Coperture piane in c.a. o latero-cemento non recenti (età > 20 anni)		
C2_cop	Coperture piane in c.a. o latero-cemento recenti (età < 20 anni)	700	
	Coperture piane in acciaio di moderna concezione (con soletta armata)		
D_cop	Coperture a falda in c.a. recenti	1200	
	Coperture a falda in acciaio recenti e di buona resistenza		

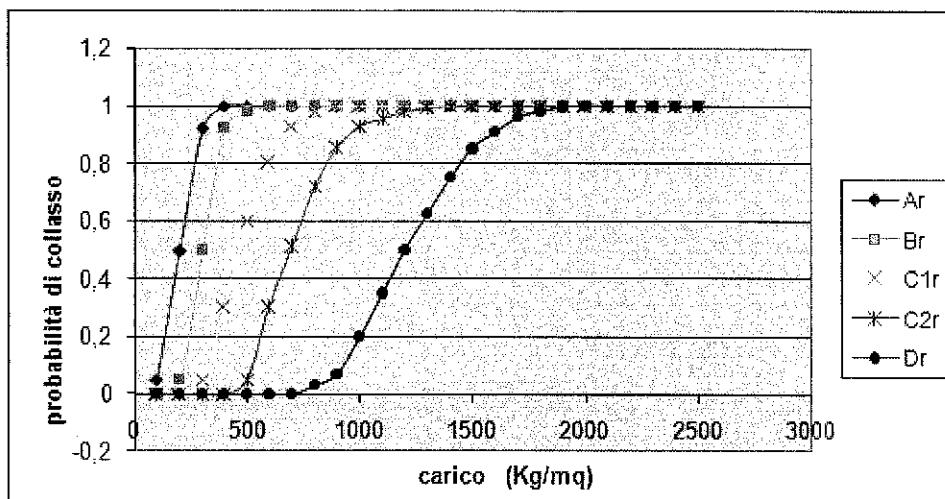


Figura 4.3 - Funzioni di vulnerabilità delle coperture

### 4.2.2 Simulazione dei depositi di ricaduta e stima dei collassi delle coperture

L'Osservatorio Vesuviano ha fornito 16 simulazioni della distribuzione a terra del materiale piroclastico prodotto da un'eruzione sub-Pliniana, assunta come evento di riferimento, avente le stesse caratteristiche (altezza della colonna = 18 Km, massa totale eruttata =  $5 \times 10^{11}$  Kg) ma con direzione variabile del vento. Per ognuno dei 16 settori considerati è indicata la probabilità (desunta dai dati NOAA per il decennio 1991-2000), che la direzione del vento porti il centro di massa del deposito di ricaduta all'interno del settore. I dati confermano che le probabilità più alte si hanno per i settori ad Est del vulcano, in accordo con la direzione di dispersione dei depositi di ricaduta delle eruzioni storiche del Vesuvio (Figura 4.4). La probabilità che il vento soffia verso Ovest, portando le ceneri di ricaduta ad investire la città di Napoli, è molto bassa, risultando sempre inferiore all'1% (Figura 4.5). Per ciascuna simulazione è stato adottato il profilo reale di velocità del vento più vicino alla media del settore.

Rispetto alla rappresentazione della zona gialla contenuta nel precedente Piano, l'attuale è preferibile perché consente di valutare gli effetti per uno specifico scenario eruttivo, per il quale viene anche fornita la probabilità di accadimento. Vi

sono alcune discrepanze rispetto alle curve di carico utilizzate per il Piano precedente. Queste discrepanze dipendono dal fatto che le simulazioni attuali sono basate su una nuova e più attendibile legge di caduta delle particelle, che utilizza anche una migliore stima della loro distribuzione granulometrica.

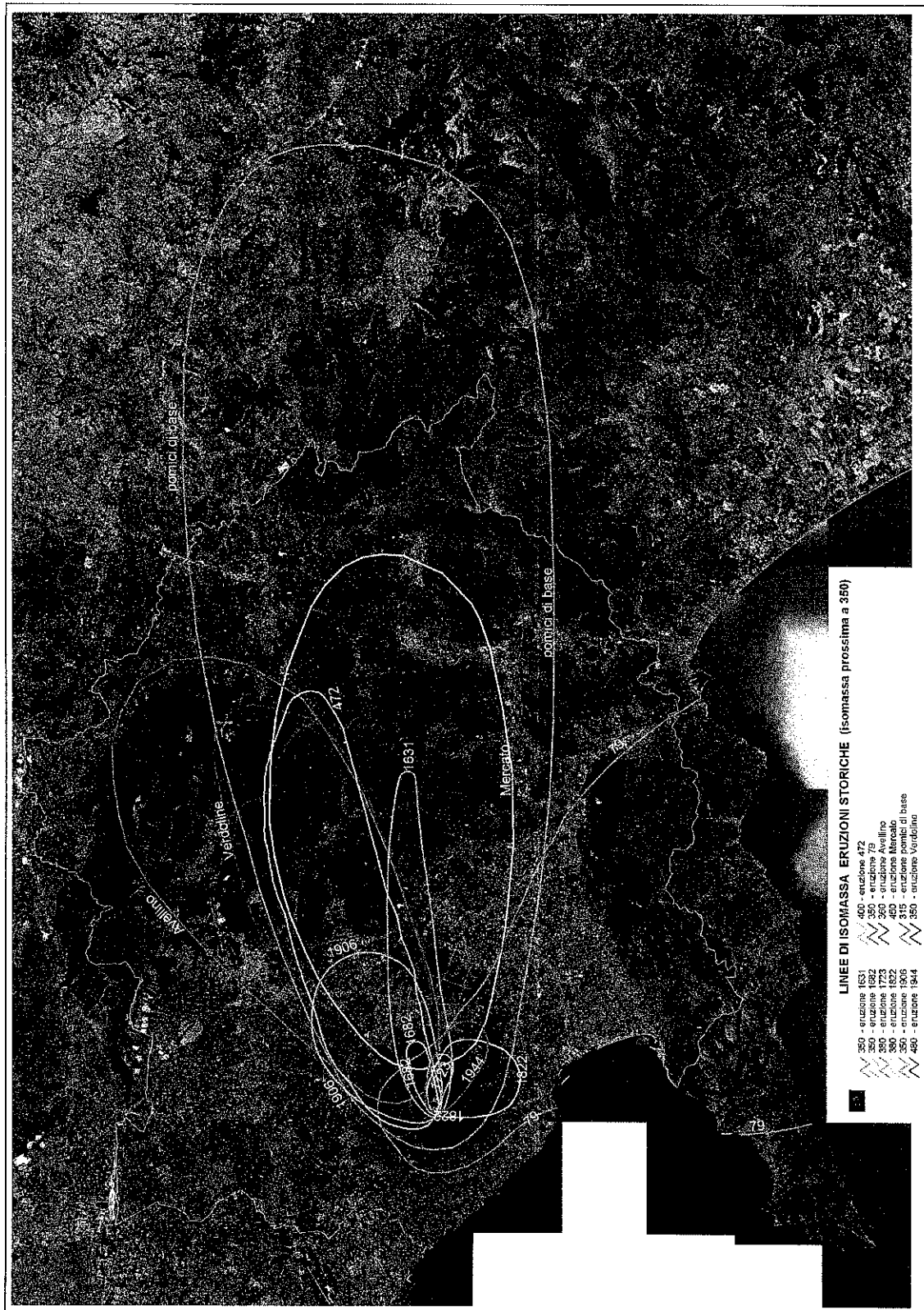


Figura 4.4 - Isopache dei carichi al suolo da caduta di cenere (tra i 300 ed i 450 Kg/m<sup>2</sup>) stimati dai depositi rilevati in campagna relativi ad eruzioni storiche, (modificata da Cioni et al. 2003)

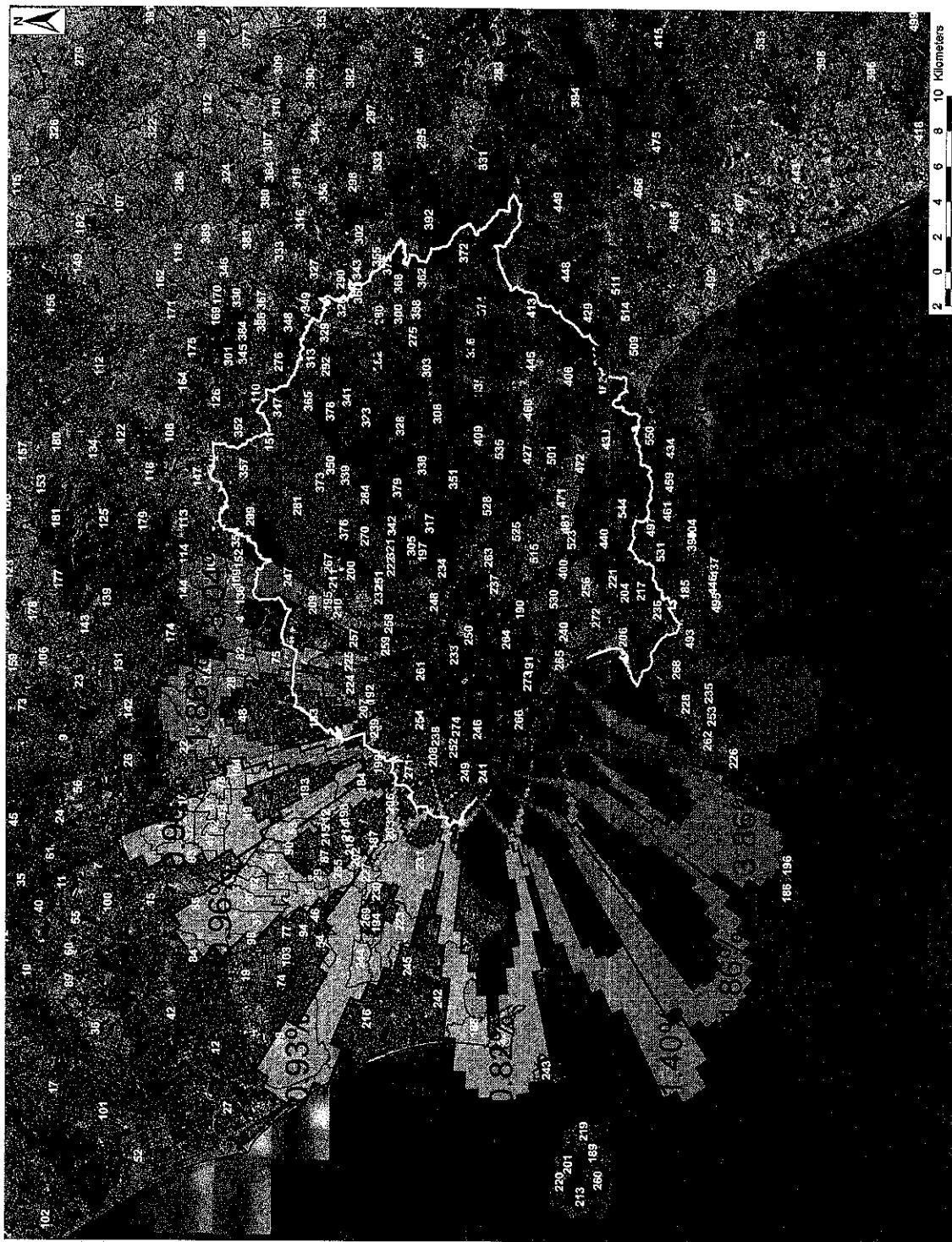


Figura 4.5 - Inviluppo delle isopache con carico da tenere compreso tra 300-400 Kg/m<sup>2</sup> per direzione del vento variabile e per rispettive probabilità di occorrenza

## Mappe Tematiche

I risultati delle simulazioni e delle valutazioni dei danni sono riportati nelle Mappe Tematiche dell'album di Tavole allegato. Per ogni settore viene mostrata una prima mappa che descrive le linee di eguale spessore (isopache) del deposito di ricaduta fino a 1 mm. Queste mappe individuano le zone esterne, a distanza anche di molte decine o centinaia di chilometri dal vulcano, che possono essere interessate (con diversa probabilità) da caduta di cenere i cui spessori, se sono troppo ridotti per causare crolli delle coperture, possono comunque creare seri problemi ai pascoli, agli animali, alle vie di comunicazione, ai motori, alle linee elettriche e telefoniche, agli acquedotti e alle fogne. Le persone residenti in quelle zone (anche in quelle più esterne) dovranno essere educate a proteggere le vie respiratorie e gli occhi (Tabella 4.1). E' possibile, comunque, che le condizioni di vita anche all'interno di questa fascia esterna, almeno di quella più vicina alla zona rossa, divengano impossibili e che sia necessario allontanarvi almeno le persone più esposte al pericolo (anziani e bambini).

La seconda mappa riportata per ogni settore (nelle tavole allegate) indica i collassi attesi delle coperture degli edifici in ciascuna delle celle di discretizzazione del territorio prima descritte. Queste mappe sono state ottenute sovrapponendo le curve di carico del deposito di ricaduta (pure indicate nelle mappe) fornite dalle simulazioni, con i dati di vulnerabilità delle coperture (paragrafo 4.2.1).

In ciascuna Tavola è riportata anche una Tabella che riepiloga i danni attesi, in termini di numero di collassi e di senzateo, per ogni Comune del Settore interessato dalla ricaduta di cenere. Viene anche indicato se il Comune è compreso nella zona rossa o è esterno ad essa (zona gialla).

Per facilitarne l'identificazione sulle mappe ad ogni Comune è stato assegnato un numero. Ovviamente ogni Comune può essere investito da ricaduta di cenere per venti che la disperdono in settori vicini. A tale scopo in allegato è riportata la Tabella A che elenca in ordine alfabetico tutti i Comuni dove potrebbe aversi almeno un collasso delle coperture da carico di cenere. Per ogni Comune sono indicati i settori che potrebbero interessarlo, la probabilità di accadimento e il numero dei collassi che potrebbero prodursi per ricaduta piroclastica in quel settore. Sono questi i dati che ogni Comune deve considerare per valutare gli effetti più pericolosi (collassi delle coperture), che un'eruzione sub-Pliniana del Vesuvio può produrre sul proprio territorio, senza trascurare quelli indicati nella Tabella 4.1.

### *Mappa di rischio*

L'indice relativo di rischio per collasso delle coperture, nelle celle al di fuori della zona rossa, è riportato nella Figura 4.6, rapportato al valore 1 assunto per la cella con il maggiore numero di collassi. Questa mappa tiene ovviamente conto sia della probabilità che il vento provochi la ricaduta di cenere in un determinato settore, sia del numero degli edifici vulnerabili presenti in ogni cella di quel settore. Questo spiega perché nella zona di Napoli, pur con probabilità di accadimento inferiore all'1%, il numero elevato di edifici con coperture ad alta vulnerabilità determini valori di rischio non trascurabili. A scanso di equivoci, si precisa che in caso di eruzione solo una piccola parte dell'area intorno al vulcano, corrispondente ad un settore analogo a quelli indicati nelle Tavole allegate, verrà investita dalla ricaduta di cenere. La mappa di Figura 4.6 può servire invece per pianificare interventi di lungo termine per la riduzione della vulnerabilità.

### *Scenari di danno*

Le mappe delle Tavole allegate e le Tabelle riassuntive sui collassi delle coperture, indicano che nelle zone esterne, ma vicine al limite della zona rossa, si può avere un numero elevato di crolli delle coperture. Per questi motivi si è presa in considerazione la possibilità di disporre anche per queste zone, come per la zona rossa, un'evacuazione almeno degli edifici più vulnerabili al momento della dichiarazione dello stato di allarme per eruzione imminente. Un'analisi fornita dall'Osservatorio Vesuviano (Figura 4.7) indica tuttavia che la probabilità che il vento mantenga la stessa direzione, diminuisce rapidamente con il passare del tempo e al terzo giorno è già solo di circa il 10%. Si conferma pertanto che misure di prevenzione per queste zone sono possibili solo ad eruzione iniziata, quando si conoscerà l'effettiva direzione del vento e quindi il settore interessato. Come già positivamente sperimentato durante l'esercitazione Mesimex sul Vesuvio dell'ottobre 2006, la comunità scientifica è in grado di aggiornare continuamente, durante le fasi di preallarme e di allarme, le mappe di ricaduta dei materiali piroclastici, tenendo conto dei parametri reali del vento. Sarà quindi possibile mantenere continuamente allertati i Comuni interessati, fino all'allarme per ricaduta di cenere che coinciderà con l'inizio dell'eruzione.

Il Gruppo di lavoro suggerisce le seguenti due linee di azione:

- per l'immediato, cioè ai fini dell'attuale Piano, che i Comuni interessati individuino i loro quartieri più vulnerabili (numero di crolli superiore a 10) e che questi siano oggetto di evacuazione all'inizio dell'eruzione;
- per il futuro, cioè per una prossima revisione del Piano, occorre che le valutazioni di vulnerabilità scendano al dettaglio dell'edificio in modo da disporre di dati particolareggiati che consentano una pianificazione di emergenza più mirata a scala locale.



Come si evince dalle mappe allegate, non solo tutto il territorio della Regione Campania è interessato, pur con diverse probabilità di accadimento, ma anche le Regioni vicine (Abruzzo, Basilicata, Calabria, Lazio, Molise, Puglia) possono essere investite da ricaduta di cenere emessa dal Vesuvio, anch'esse con diversa probabilità di accadimento, indicata nel settore che le riguarda.

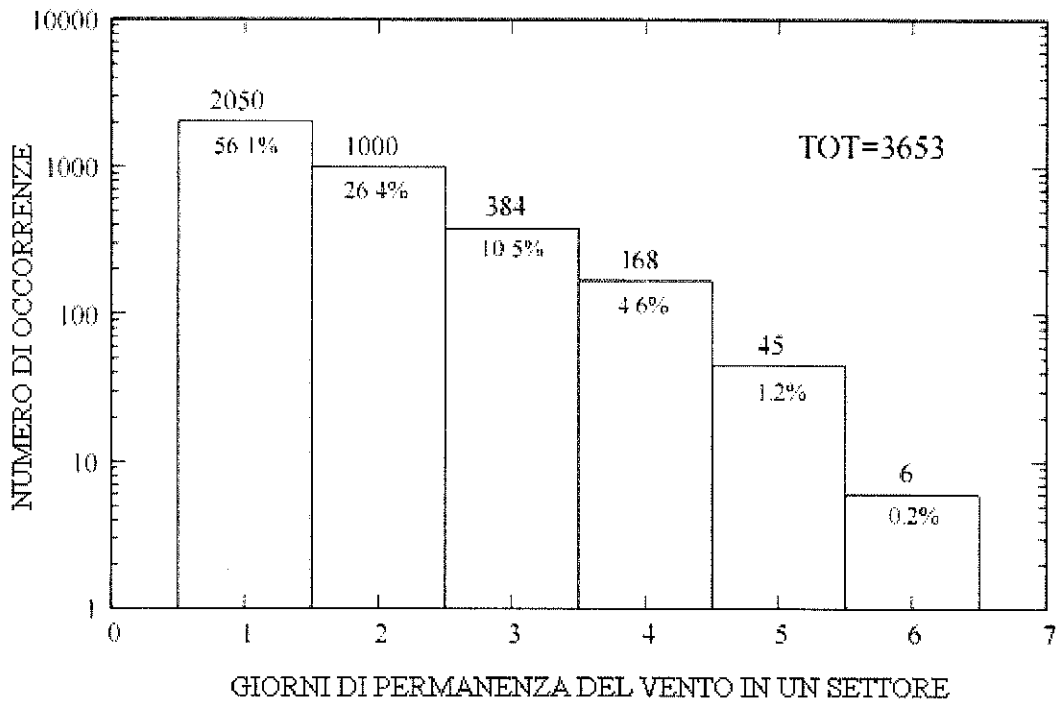


Figura 4.7 – Stima della probabilità di permanenza della stessa direzione del vento verso un settore. Per ogni periodo di tempo (da 1 a 6 giorni) è indicato il numero di casi riscontrati (su un totale di 3653 dati) e la probabilità relativa di permanenza del vento con la stessa direzione (da Osservatorio Vesuviano).

Tabella 4.1 – Probabili danni sulle infrastrutture prodotti da ricaduta di ceneri vulcaniche (tratto da Auckland Engineering Lifelines Project, Final Report, 1999).

<b>Infrastrutture</b>	<b>Spessore delle ceneri &lt; 1mm</b>	<b>Spessore delle ceneri 1-5 mm</b>	<b>Spessore delle ceneri 5-100 mm</b>	<b>Spessore delle ceneri &gt;100 mm</b>
<b>CONDUTTURE</b> Sistemi aperti (es. acque meteoriche)	Bassa probabilità	Alta probabilità	Alta probabilità	Alta probabilità
Sistemi chiusi	Trascurabile	Trascurabile	Trascurabile	Trascurabile
<b>EDIFICI</b> Tetto a terrazza	Bassa probabilità	Moderata probabilità	Alta probabilità	Alta probabilità
Tetto a falda (>20°)	Bassa probabilità	Moderata probabilità	Alta probabilità	Alta probabilità
<b>SERVIZI PER GLI EDIFICI</b> Aria condizionata	Bassa probabilità	Moderata probabilità	Alta probabilità	Alta probabilità
Grondaie	Bassa probabilità	Moderata probabilità	Alta probabilità	Alta probabilità
<b>RETE ELETTRICA</b> Linee di alta tensione	Trascurabile	Bassa probabilità	Moderata probabilità	Alta probabilità
Linee isolate - bassa tensione - alta tensione	Trascurabile Trascurabile	Moderata probabilità Bassa probabilità	Alta probabilità Moderata probabilità	Alta probabilità Alta probabilità
Linee sotterranee	Trascurabile	Moderata probabilità	Alta probabilità	Alta probabilità
<b>STRUTTURE CIVILI</b> Strade	Bassa probabilità	Alta probabilità	Alta probabilità	Alta probabilità
Ferrovie	Trascurabile	Moderata probabilità	Alta probabilità	Alta probabilità
<b>ACQUE REFLUE</b> Liquami	Bassa probabilità	Alta probabilità	Alta probabilità	Alta probabilità
<b>SISTEMI IDRICI</b> Fiumi/Ruscelli	Bassa probabilità	Alta probabilità	Alta probabilità	Alta probabilità
Riserve prive di copertura	Bassa probabilità	Moderata probabilità	Alta probabilità	Alta probabilità
Riserve con copertura/Falde	Trascurabile	Trascurabile	Trascurabile	Trascurabile
Serbatoi sui tetti	Bassa probabilità	Alta probabilità	Alta probabilità	Alta probabilità
<b>TELECOMUNICAZIONI</b> Dispositivi di scambio	Bassa probabilità	Alta probabilità	Alta probabilità	Alta probabilità
Linee	Trascurabile	Bassa probabilità	Moderata probabilità	Alta probabilità
Ponti radio a microne	Bassa probabilità	Moderata probabilità	Moderata probabilità	Alta probabilità
<b>INFRASTRUTTURE SPECIFICHE</b> Porti	Bassa probabilità	Alta probabilità	Alta probabilità	Alta probabilità
Aeroporti -trasporto aereo	Moderata probabilità	Alta probabilità	Alta probabilità	Alta probabilità

### 4.3 Zona esposta ad alluvionamenti e flussi di fango (lahar)

Questa zona è esposta al pericolo di alluvionamenti e di colate di fango e detrito (*lahar*) sin-eruttivi. Gli alluvionamenti sono causati, oltre che da piogge intense, dalla riduzione della permeabilità del suolo dovuta alla messa in posto di ceneri fini emesse durante l'eruzione (l'acqua meteorica, non infiltrandosi nel terreno, scorre prevalentemente in superficie e si accumula nelle zone morfologicamente depresse), mentre i lahar sono dovuti alla rimobilizzazione, causata dalle piogge, di piroclastiti sciolte (materiale di ricaduta) depositate su pendii ripidi.

Per quanto riguarda la pericolosità da lahar e da alluvionamenti sin-eruttivi, recenti studi permettono di identificare con maggiore dettaglio le aree esposte rispetto a quanto definito nei Piani precedenti. In particolare, tre aree distinte sono esposte a questi rischi:

- area Vesuviana;
- area Appenninica;
- area della Piana di Acerra-Nola.

#### Area Vesuviana

È costituita dalle zone circumvesuviane potenzialmente interessate dallo scorrimento di colate rapide di fango originate direttamente sulle pendici del vulcano (*lahar* s.s.). Quest'area coincide in larga misura con la zona rossa, anche se sono stati individuati alcuni depositi di lahar al di fuori di tale area, in concordanza con evidenze morfologiche che vedono un *apron* del vulcano leggermente più esteso (Figura 4.8). L'*apron* è un'area a bassa pendenza che raccorda le pendici del vulcano con le piane alluvionali circostanti. Questa fascia, grossolanamente circolare, è la zona di recapito dei materiali vulcanici risedimentati dalle colate di fango. L'*apron*, quindi, definisce, su basi geologiche e morfologiche, il limite estremo entro il quale è lecito attendersi l'invasione di colate rapide di fango (*lahar*) provenienti dal cono vulcanico. Nella carta di pericolosità (susceptibilità) da lahar della Figura 4.8 è riportato il limite dell'*apron* come risulta dal modello del terreno. L'area del cono a più elevata pendenza ha un'estensione di 75 Km<sup>2</sup>. I 6° corrispondono ad una rottura di pendenza e limitano approssimativamente l'area caratterizzata dalla presenza dei bacini sorgente. La zona compresa fra 0.5° e 6° delinea l'*apron* e ha un'estensione di 179 Km<sup>2</sup>.

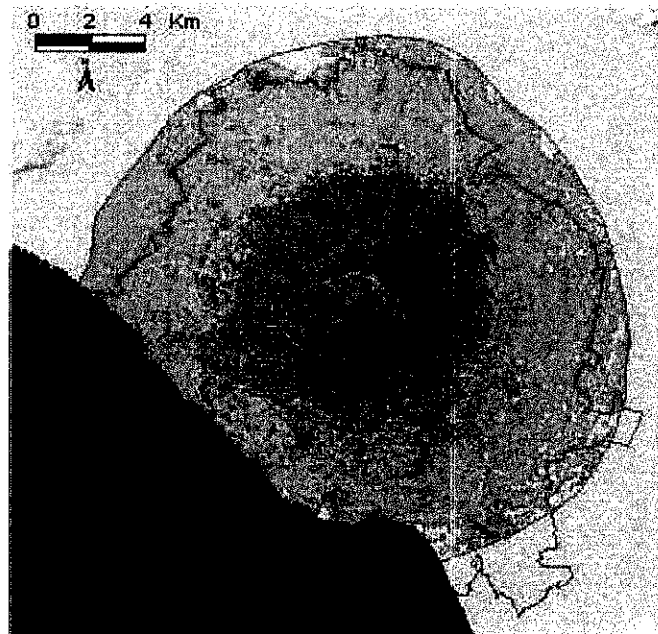


Figura 4.8 - Zona dell'*apron*, in celestino, con pendenza tra 0.5° (il limite di pendio ben identificabile dal modello del terreno) e 6°; in violetto le zone a pendenza maggiore di 6°. Sono anche riportati in blu i limiti dei bacini sorgente per i lahar e in rosso il limite della zona rossa.

L'area corrispondente all'*apron* include oltre ai 18 Comuni Vesuviani della zona rossa, anche parte del Comune di Napoli, in particolare porzioni delle circoscrizioni di San Giovanni, Barra e Ponticelli, e ancora porzioni marginali dei Comuni che si trovano a Nord del vulcano. Si fa presente, tuttavia, che l'energia delle colate di fango è fortemente

smorzata nelle parti marginali dell'apron e che occorrerebbe uno studio geomorfologico accurato per individuare le zone più esposte al pericolo che corrispondono a zone depresse e valli.

## **Aree Appenniniche**

La deposizione per ricaduta di piroclastiti sciolte in aree ad elevata pendenza è una situazione estremamente favorevole per la generazione di colate di fango e detrito (lahar) sia durante un evento eruttivo che nei periodi immediatamente successivi. Questo è certamente un pericolo da non sottovalutare nelle aree appenniniche sottovento nel caso di un'eruzione esplosiva. È lecito infatti, attendersi che il materiale piroclastico incoerente appena depositato, sia facilmente erodibile e divenga instabile su alte pendenze qualora diventi saturo in acqua ad opera della pioggia. Questo può avvenire per periodi anche relativamente distanti in termini temporali dall'evento eruttivo, da mesi ad anni. Tuttavia, la stabilizzazione dei depositi piroclastici non esaurisce i fattori di rischio nel medio e lungo periodo come dimostrano i numerosi tragici eventi di Sarno e della Penisola Sorrentina.

La mappa preliminare della pericolosità per lahar sin-eruttivi della Figura 4.9 è stata ottenuta sulla base:

- a) della zonazione morfometrica dei bacini sorgente;
- b) della definizione con criteri geomorfologici delle aree di invasione delle colate di fango sin-eruttive.

Sono stati distinti bacini con propensione al dissesto molto alta, alta, media, bassa. Anche le zone di versante (con forte pendenza) in cui non sono presenti bacini elementari, hanno una probabilità non nulla di formazione di lahar.

In caso di eruzione saranno ovviamente interessati solo i bacini acclivi ricoperti dai prodotti vulcanici di ricaduta (e quindi sottovento rispetto al Vesuvio in quei particolari giorni). Si stima che le aree a maggior pericolosità sono quelle racchiuse dall'isopaca di 40 cm; tuttavia, per ragioni prudenziali, conviene non trascurare le zone fortemente acclivi comprese tra le isopache di 40 e di 30 cm.

Per quanto riguarda le aree di invasione sono state considerate come potenzialmente invadibili tutte quelle aree che:

1. hanno rivelato la presenza di depositi da lahar sin-eruttivi negli ultimi 18.000 anni;
2. sono state invase da colate di fango recenti o comunque esistono informazioni storiche al riguardo;
3. sono rilevabili conoidi di deiezione contenenti depositi da colate di fango;
4. sono presenti depositi colluviali di versante che contengono o possono contenere depositi di colate di fango.

La mappa della Figura 4.9 indica le aree suscettibili a produrre lahar e le relative aree d'invasione. È anche indicata la probabilità che il vento produca ricaduta di piroclastiti in ogni settore dei rilievi Appenninici. Questa mappa deve considerarsi preliminare, in quanto dovrà essere completata estendendo gli studi a tutta l'area racchiusa dall'isopaca di 30 cm.

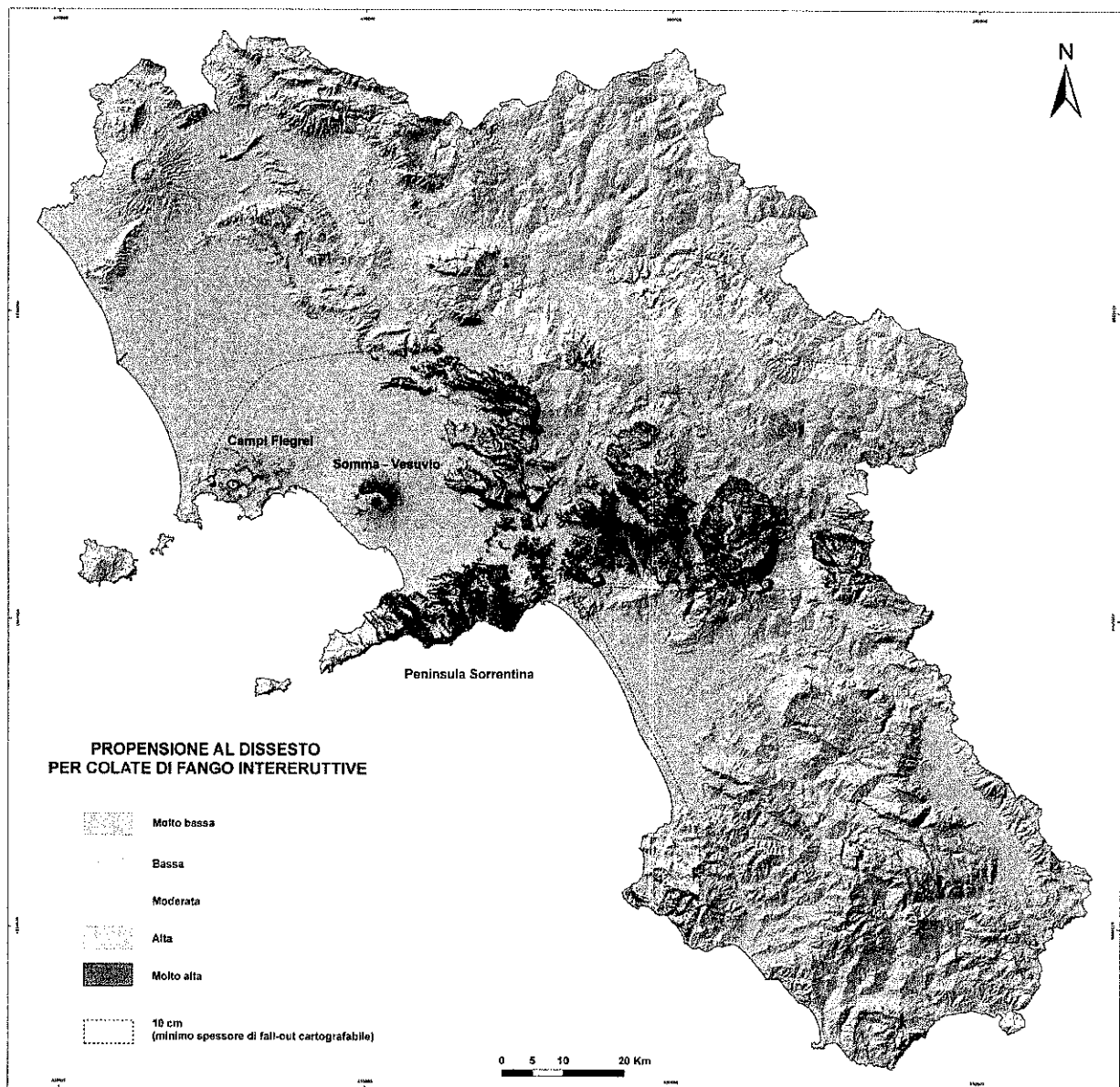


Figura 4.9 – Mappa preliminare della pericolosità da colate di fango sin-eruttive. Sono indicate le isopache di 30 e 40 cm del materiale piroclastico di ricaduta e le probabilità che il vento porti i depositi nei vari settori (vedi Figura 4.5).

## Pericolosità da alluvionamenti nella Piana di Acerra-Nola

Come conseguenza di un'eruzione sub-Pliniana tipo quella assunta come riferimento per il presente Piano, è probabile che si possano verificare fenomeni di alluvionamento diffuso. Sulla base di indagini storiche e morfologiche, la Piana di Acerra-Nola risulta essere quella potenzialmente più soggetta a fenomeni di alluvionamento sin-eruttivi. Questa conca manca infatti, di un naturale deflusso verso il mare, per la presenza proprio del Vesuvio. Il punto di deflusso della conca è ad Ovest, a circa 27 m s.l.m., lungo un alto morfologico che da Acerra va verso il cono del Vesuvio.

Partendo da queste considerazioni sono state effettuate (da ricercatori INGV-Pisa) diverse simulazioni utilizzando un modello numerico di afflusso-deflusso opportunamente tarato per il caso vesuviano e considerando un evento pluviometrico, con periodo di ritorno di 200 anni, della durata massima di tre ore (corrispondente al tempo di corrivazione per il bacino considerato). La quantità di pioggia che si è ipotizzata cadere in queste tre ore è di 143 mm, con un'intensità massima di 216 mm/h.

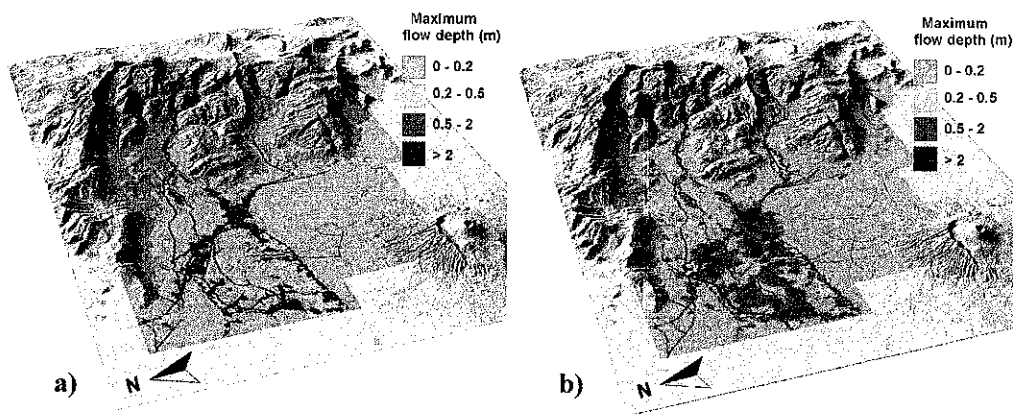


Figura 4.10 - Spessori massimi di acqua raggiunti in seguito ad un evento di pioggia con tempo di ritorno di 200 anni: a) permeabilità media del suolo di  $10^{-4}$  m/s in assenza di eruzione; b) considerando una zona a bassa permeabilità legata ad un evento eruttivo sub-Pliniano e dispersione delle ceneri verso Est, (probabilità di accadimento 17.16%), permeabilità del suolo  $10^{-5}$  m/s e permeabilità delle ceneri di  $10^{-6}$  m/s.

Le simulazioni effettuate permettono una migliore definizione delle aree potenzialmente soggette ad alluvionamento (Figure 4.10 e 4.11). Da esse risulta che almeno 30.000 persone vivono in aree che possono essere interessate da lame d'acqua di almeno 1 m; nella simulazione "peggiore" diventano 40.000. Sempre nella simulazione "peggiore" le aree con altezza massima d'acqua  $>1$  m hanno un'estensione di 33 Km<sup>2</sup>; 42 Km<sup>2</sup> quelle con altezze massime  $>0.2$  m e 3 Km<sup>2</sup> quelle con altezze  $>4$  m.

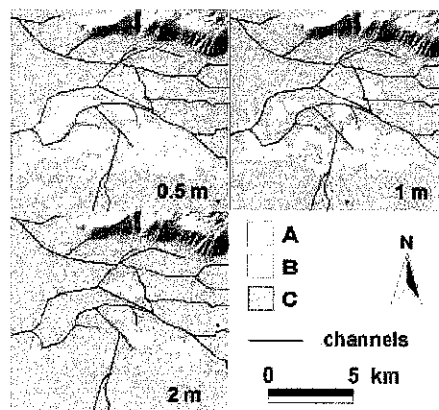


Figura 4.11 - Zonazione della pericolosità da alluvionamento per la piana di Acerra-Nola, per profondità massime di flusso sono considerate di 0.5, 1 e 2 m. Classe A: aree dove la profondità di flusso non è mai stata raggiunta in nessuna simulazione; Classe B:

aree dove la profondità di flusso è stata raggiunta almeno una volta; Classe C: aree dove la profondità selezionata è raggiunta in tutte le simulazioni (massima pericolosità).

### 4.3.1 Conclusioni e raccomandazioni sulla zona soggetta a flussi di fango

Le mappe delle Figure da 4.8 a 4.11, definiscono un primo nuovo limite (da estendere e completare) della “zona blu” che comprende le aree esposte al pericolo di scorrimento di colate rapide di detrito e fango (lahar) e quelle esposte al pericolo di alluvionamenti. Si tratta di fenomeni che possono avvenire nel corso dell'eruzione o subito dopo (sin-eruttivi) e che sono connessi alla ricaduta di piroclastiti disperse dal vento e alle forti piogge generate dalla condensazione delle grandi masse di vapore d'acqua emesse dall'eruzione.

La zona esposta al pericolo di scorrimento di lahar nel cono vesuviano coincide all'incirca con quella esposta al pericolo di scorrimento di colate piroclastiche (zona rossa).

La Figura 4.9 indica alcune delle zone esposte al pericolo di colate di detrito e fango sin-eruttive nei versanti appenninici situati sottovento rispetto al vulcano. I vari colori della mappa indicano la diversa propensione dei vari bacini a generare flussi di detrito e fango (diversa pericolosità) e delimitano le aree esposte al pericolo di scorrimento-invasione di fango.

Il Piano d'Emergenza deve prevedere l'immediato allertamento, ad eruzione iniziata, della popolazione residente nelle zone a rischio investite dalla ricaduta di cenere. La popolazione dovrà essere evacuata al raggiungimento, nei bacini sorgente, delle soglie pluviometriche previste dalla Regione Campania per le colate rapide di fango.

Per quanto riguarda la zona blu a rischio di alluvionamento si noti che la mappa della Figura 4.10 a) è in realtà la mappa di pericolosità da alluvionamento nella zona di Acerra – Nola in assenza di eruzione vulcanica e per un evento di pioggia con tempo di ritorno di 200 anni. La Figura 4.10 b) è la mappa di pericolosità per lo stesso evento di precipitazione, ma con il terreno ricoperto di cenere appena emessa dal vulcano. Si suggerisce che questi due diversi scenari vengano acquisiti dai Centri Funzionali della Protezione Civile Nazionale e della Regione Campania. Il primo deve essere utilizzato per l'allertamento di quelle zone quando la piovosità si avvicina al valore indicato. Il secondo è lo scenario di allertamento sin-eruttivo se il settore in questione sarà investito dalla ricaduta di piroclastiti, sempre con lo stesso livello di precipitazione. In altre parole la Protezione Civile deve adottare uno scenario che comporti l'evacuazione delle zone esposte nel caso che le precipitazioni si avvicinino ai valori indicati.

## 4.4 Pericolosità sismica

Si affronta qui un problema che era stato appena accennato nel precedente Piano, e cioè quello dei danni che potrebbero essere prodotti dai terremoti che di solito precedono e accompagnano l'attività eruttiva (si veda Del Pezzo & Zollo 2004, 2005).

L'area vesuviana è classificata in seconda categoria nella nuova zonazione sismica del territorio nazionale (OPCM 3274/2003 e sue modifiche e integrazioni successive). Ciò comporta una PGA di riferimento di 0.15-0.25 g con probabilità del 10% di essere superata in 50 anni.

Nel considerare però l'attività sismica del Vesuvio, bisogna tener conto che nelle strutture vulcaniche la distribuzione temporale e spaziale del rilascio di energia sismica è fortemente condizionato dalle alte temperature crostali, dalla bassa rigidità delle rocce legata alla elevata fratturazione del mezzo e dalla dinamica intracrostale del magma. Pertanto i terremoti vulcanici si generano in volumi contenuti, superficiali e sono associati a faglie di piccole dimensioni; la distribuzione caratteristica degli eventi è a sciami costituiti da moltissimi eventi di magnitudo moderata. In particolare l'attività sismica recente del Vesuvio (post 1972) è limitata ad una profondità non superiore a 5-6 Km con una concentrazione tra 2 e 3 Km. Il limite è legato alla presenza di temperature elevate che rendono il mezzo a comportamento duttile. La massima magnitudo registrata nell'attuale periodo di riposo del Vesuvio è stata di 3.6.

Per quanto riguarda l'attività sismica che ha accompagnato le grosse eruzioni del passato si hanno solamente scarse informazioni storiche. L'evento storico di maggiore energia è avvenuto nel 62 d.C. (17 anni prima dell'eruzione del 79) con intensità massima dell'VIII-IX grado MCS, magnitudo di  $5.0 \pm 0.5$ , profondità di circa 3-4 Km e ubicazione epicentrale non ben definita.

Le notizie storiche indicano che l'eruzione del 79 e quella del 1631 sono state precedute e accompagnate da un'attività sismica frequente e di moderata intensità.

Sulla base di quanto esposto, considerazioni ragionevoli portano a ritenere che il volume ipocentrale responsabile dell'attività sismica che accompagnerà una futura eruzione, sarà centrato al di sotto dell'area sommitale contenente il cratere del Vesuvio. Basandosi sulla distribuzione attuale della sismicità strumentale si può pensare ad un'area approssimativamente circolare avente un diametro di circa 5 Km e centrata sul cratere.

Considerando inoltre che per *stress-drop* dell'ordine di 50 bar il diametro di frattura di un terremoto di  $M=5.5$  varia tra

6.5–8.0 Km, si conferma l'ipotesi di localizzazione ipocentrale ad una profondità di 3–4 Km, in quanto profondità inferiori produrrebbero fratture che dislocherebbero in modo irrealistico la superficie terrestre.

Una quantificazione accettabile dei suddetti ragionamenti, porta a considerare due scenari possibili per il massimo terremoto atteso al Vesuvio.

Il primo si basa sull'ipotesi "plausibile" che la magnitudo del massimo terremoto atteso sia data da una stima "conservativa" della massima magnitudo dedotta dalle Intensità riportate dalle cronache storiche, maggiorata dell'incertezza associabile. In questa ipotesi si ottiene un valore di  $M_{max}=5.5$ . Il secondo scenario si basa sull'ipotesi che la massima magnitudo attesa si derivi dalle statistiche su scala mondiale riferite ad eventi sismici pre-eruttivi verificatisi in aree vulcaniche confrontabili con l'area Vesuviana per caratteristiche eruttive. Si precisa tuttavia che tale ipotesi, che prevede una  $M_{max} = 7.0$ , risulta sovrastimata in considerazione delle dimensioni fisiche del vulcano (Del Pezzo e Zollo, 2005).

E' da notare comunque che anche in questo caso la magnitudo media derivabile è compresa tra 5 e 6.

Nella Figura 4.12 è riportata la legge di attenuazione calibrata per un evento con epicentro nel cratere e intensità epicentrale pari all' VIII grado MCS.

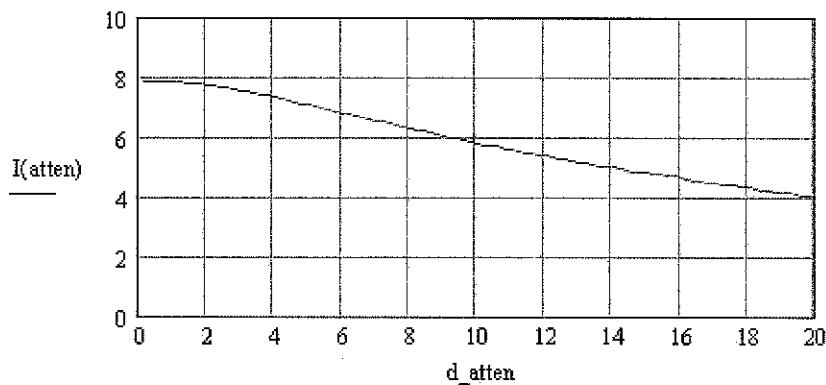


Figura 4.12 Legge di attenuazione in Intensità (I) utilizzata al Vesuvio; d = distanza dell'epicentro

## 4.5 Vulnerabilità sismica

### Vulnerabilità degli edifici e scenari di danno

Le valutazioni di vulnerabilità ed impatto sul costruito in area vesuviana conseguenti ad eventi sismici associati ad un'eruzione sub-Pliniana sono state derivate con l'ausilio di recenti ricerche sviluppate in ambito Europeo (Progetto Exploris).

Per valutare il danno sismico sono state elaborate funzioni di vulnerabilità in grado di restituire le distribuzioni di danno atteso in determinate strutture edilizie. Successivamente, attraverso elaborazioni numeriche, si sono definite funzioni di vulnerabilità che tenessero in conto la combinazione dei fenomeni attesi. Si sono, ovvero, determinate delle relazioni preliminari tra tipologia costruttiva, intensità e danno per sequenze di eventi o per coincidenza di eventi. Nello specifico si sono determinate funzioni in grado di valutare il danno alle strutture sia per eventi singoli sia quello cumulato in seguito ad una sequenza di eventi sismici in fase pre-eruttiva, oppure il danno alle strutture da coincidenza di un evento sismico in presenza di carico da cenere sulle coperture.

Una possibile sequenza di eventi per un'eruzione sub-Pliniana, tipo 1631 è sintetizzata nello schema che segue (Progetto Exploris).

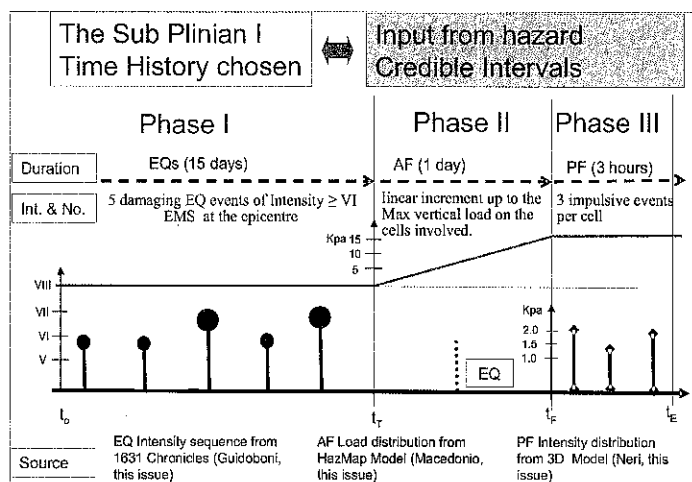




Figura 4.13 - Possibile sequenza temporale di fenomeni distruttivi per una eruzione sub-Pliniana, tipo 1631.

Il Gruppo di lavoro ha deciso di prendere in esame uno scenario di danneggiamento sismico pre-eruttivo conseguente al verificarsi di un solo evento di massima intensità attesa e ad una sequenza simile a quella del 1631. In merito alla massima intensità epicentrale attesa, si è deciso di considerare alternativamente i valori dell'VIII e del IX grado MCS. Si osservi che l'assunzione del IX grado di intensità epicentrale nell'area del cratere produce, a causa del decadimento con la distanza dell'energia, un'intensità dell'VIII grado per buona parte dell'edificato; ciò concorda con il massimo valore di intensità storicamente registrato in occasione di eventi eruttivi del Vesuvio e recupera anche l'ipotesi, meno probabile, ma storicamente verificata, di epicentri esterni all'area del cratere e collocati in aree urbanizzate con grado di danneggiamento dell'VIII grado. E' ovvio che questi casi creano un'area di danneggiamento limitata alle vicinanze dell'epicentro.

In merito, invece, alla sequenza sismica pre-eruttiva, dall'interpretazione delle cronache dell'eruzione sub-Pliniana del 1631, recentemente arricchitesi grazie alla traduzione dal latino antico di alcuni importanti trattati (Progetto Exploris), si è desunta una sequenza sismica VI-VI-VII, che è stata utilizzata per la stima del danno cumulato.

Si è considerato che durante la fase di caduta delle ceneri si possa verificare un ulteriore evento sismico di bassa intensità (VI). Tale evento che di per sé non produrrebbe importanti danni alle strutture, potrebbe procurare effetti non trascurabili in quanto il danno sismico viene considerevolmente amplificato dalla presenza del carico da cenere sulle coperture.

### Definizione delle classi di vulnerabilità sismica delle strutture

Le classi tipologiche di vulnerabilità sismica sono state definite a partire dalla classificazione della scala EMS, essenzialmente basata sulle caratteristiche delle strutture verticali, cui sono state poi combinate altre caratteristiche strutturali importanti per la risposta degli edifici soggetti a sisma, quali: le strutture orizzontali, la presenza di catene, l'irregolarità in pianta, etc. L'importanza di ciascun fattore nell'assegnazione dell'edificio alla classe di vulnerabilità è stato valutato nel corso del progetto SAVE (INGV-GNDT 2004) sulla base del database sul danno agli edifici raccolto in occasione di eventi sismici del passato (Zuccaro 2005).

Gli edifici residenziali presenti nella zona rossa sono circa 83.000; riguardo le caratteristiche di questi edifici si conoscono:

- per circa 25.000 le caratteristiche tipologico-strutturali sensibili ad una valutazione di vulnerabilità sismica, rilevate con una schedatura specifica
- per circa 28.000 la classe tipologica di vulnerabilità sismica (da studio aerofotogrammetrico)
- per i restanti 30.000 la classe tipologica viene stimata sulla scorta della distribuzione delle classi tipologiche note nella cella di appartenenza e della distribuzione media delle altre 8 celle limitrofe ad essa, ancorate ai dati ISTAT.

Si riportano in Figura 4.14 le funzioni relative ad intensità sismiche di VIII e IX grado e in Figura 4.15, a titolo di esempio, la vulnerabilità sismica del centro storico di Torre del Greco (Zuccaro et al. 2008).

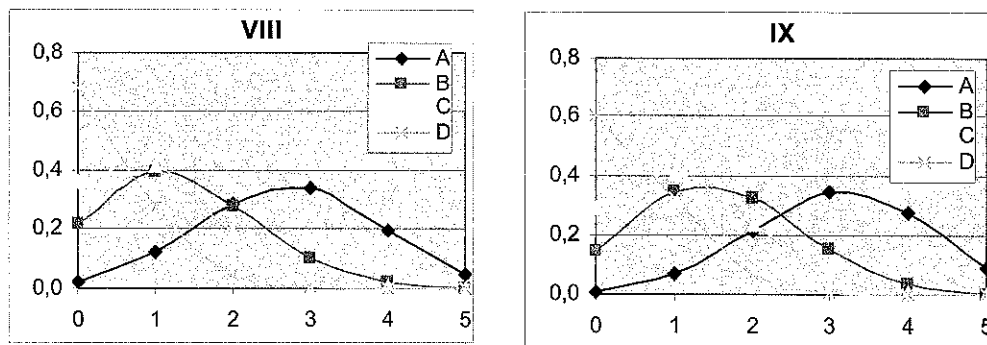


Figura 4.14 - Funzioni di vulnerabilità sismica – Distribuzioni del danno probabile per intensità sismica dell’VIII e del IX grado

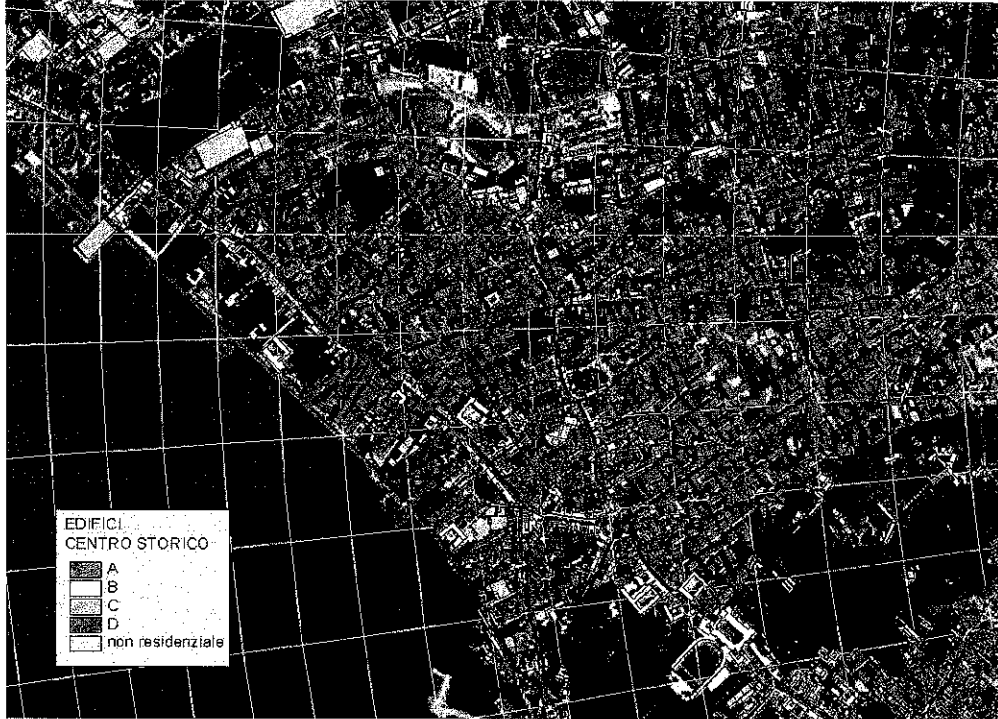


Figura 4.15 - Distribuzione classi di vulnerabilità sismica discretizzate per maglie della griglia (centro storico di Torre del Greco)

### Vulnerabilità Combinata

Le funzioni di vulnerabilità per valutare il danno cumulato prodotto da eventi sismici in sequenza e/o in coincidenza (carico da cenere, sisma) sono state valutate nell’ambito del Progetto Exploris.

### Esposizione e Vulnerabilità della popolazione

Per una valutazione di massima del danno atteso alla popolazione si è reso necessario avanzare una ipotesi sulla percentuale di residenti ( $W$ ); al riguardo ci si è riferiti ad una distribuzione plausibile di occupazione degli edifici da parte della popolazione nell’arco di una giornata per edifici a destinazione residenziale. Questa è stata desunta dai dati inseriti nella Banca Dati del Centro PLINIVS-UNINA.

Tabella 4.2 . - Distribuzione di presenza nell’arco di una giornata per edificio a destinazione residenziale

Orario	0 = 24	4	8	11	14,30	18	21
% Presenti	85 %	95 %	65 %	28 %	60 %	45 %	80 %
Media	0.65						
Dev. Standard	0.24						

Nell’analisi si è assunta una presenza effettiva media del 65% dei residenti ( $W = 0.65$ ).

Si ipotizza inoltre che il sisma maggiormente danneggiante avvenga ad evacuazione già in corso, pertanto si è assunto che solo il 65 % della media degli occupanti ( $W=0.65$ ) sia ancora nell’area.

Da cui la popolazione presente risulta dalla relazione:

$$W_s = 0.65 \times 0.65 = 0.4225$$

Il numero stimato di vittime dipende dal livello di danneggiamento degli edifici coinvolti, secondo le matrici riportate in Tabella 4.3 (Zuccaro 2005).

Tabella 4.3 . – Matrice di danno alle persone per tipologia di edificio e livello di danno  $D_L$

$D_L$	0	1	2	3	4	5	
$Q_{Vj}$	0	0	0	0	0.03	0.14	Muratura
$Q_{Vj}$	0	0	0	0	0.06	0.28	c.a.
$Q_{Fj}$	0	0	0	0	0.12	0.56	Muratura
$Q_{Fj}$	0	0	0	0	0.10	0.42	c.a.

Dove  $Q_{Vj}$  e  $Q_{Fj}$  indicano rispettivamente la percentuale di morti e feriti fra gli occupanti dell'edificio che abbia subito danno  $D_j$  con  $j = (0, 1, 2, 3, 4, 5)$  secondo la classificazione del danno prevista dalla Scala Macrosismica EMS '98.

## Risultati

### Singolo evento con I=IX grado

I crolli totali o parziali attesi per singole celle sono indicati nella Figura 4.17. Il danneggiamento atteso è mediamente elevato per tutti i Comuni circumvesuviani. Emergono celle (ad esempio nei Centri Storici di Torre del Greco, Ercolano, Boscotrecase, Terzigno, Ottaviano, Somma Vesuviana, Sant'Anastasia) con vulnerabilità sismica elevata. Da osservare che danni sono attesi anche al di fuori della zona rossa in particolare nei quartieri orientali di Napoli. Oltre alla pericolosità per le persone, sono da attendersi problemi seri alla viabilità a causa della potenziale ostruzione delle strade da macerie di crolli totali o parziali; questo specifico problema è trattato più avanti.

### Singolo evento con I=VIII grado

Più probabile del precedente, un evento di questo tipo causa ovviamente un danneggiamento minore. Persistono tuttavia numerosi crolli nei Centri Storici in precedenza indicati con potenziale pericolo per le persone (Figura 4.18).

### Sequenza tipo 1631: eventi con I= VI, VI, VII

Viene riportato il danno cumulato delle tre scosse. Il danno atteso è lieve, a parte alcune celle nei Centri Storici, ma molto diffuso. Pertanto sono da attendersi come molto probabili difficoltà nelle vie di comunicazioni (Figura 4.19).

### Sisma con I=VI successivo alla caduta di cenere (e a una sequenza sismica tipo 1631)

Viene considerato il danno in tre settori (n. 3, n. 4 e n. 5 vedi Album Tavole allegato) che hanno probabilità di essere investiti dalla ricaduta di cenere rispettivamente di 7.94% 13, 25 e 17.16%.

I danni attesi sono il risultato del danneggiamento complessivo dovuto alla sequenza sismica tipo 1631 e degli effetti prodotti da un terremoto con I=VI su edifici già danneggiati e gravati da un carico piroclastico pari a quello della simulazione in quel settore (Figure da 4.20 a 4.22). Nella zona rossa, che però dovrebbe essere stata già completamente evacuata, sono attesi un numero elevato di crolli, così come in alcune celle contigue alla zona rossa. Da sottolineare che compaiono alcune zone ad alta pericolosità che non figuravano per sola caduta di cenere. Se ne deduce che per motivi prudenziali, anche queste nuove aree ad elevata pericolosità sismica dovrebbero essere evacuate immediatamente dopo l'inizio dell'eruzione, quando sarà noto il settore investito dalla ricaduta di cenere.

## Considerazioni sul rischio sismico nell'area vesuviana

I dati presentati indicano che molti edifici della zona rossa hanno un grado di vulnerabilità sismica elevato e che pertanto sono da attendersi ingenti danni causati dai terremoti che con ogni probabilità si verificheranno nella fase pre-eruttiva di riattivazione del vulcano. Nella Tabella B riportata in allegato è indicato il numero dei crolli totali e parziali e dei senzatetto che potrebbero verificarsi in ogni Comune della zona rossa (e nei quartieri orientali di Napoli) come conseguenza di un sisma, con epicentro nel cratere del Vesuvio, e con intensità rispettivamente del IX e VIII grado MCS. Ne risulta un quadro preoccupante sotto due aspetti:

- è molto probabile che eventi sismici di questo tipo si verifichino prima che la zona rossa sia stata evacuata, perché una sismicità anomala fa parte dei fenomeni precursori che possono portare alla dichiarazione

dello stato di allarme; ne consegue che la vita di molti cittadini è a rischio essendo impossibile prevedere l'accadimento temporale delle scosse sismiche e che la Protezione Civile può trovarsi a dover fronteggiare una seria emergenza, compreso un probabile panico tra gli abitanti, ancora prima che venga dichiarato l'allarme per eruzione imminente;

le macerie risultanti dai crolli totali o parziali di edifici prospicienti le vie di fuga da utilizzare per l'evacuazione della zona rossa, possono comprometterne l'utilizzo, aggravando una situazione già compromessa per l'inadeguatezza ordinaria di questa viabilità.

Il Gruppo di lavoro suggerisce che questo problema venga seriamente affrontato dalla Protezione Civile, a livello sia nazionale che regionale. Il primo passo dovrebbe essere di promuovere un piano di prevenzione per la riduzione della vulnerabilità sismica in queste zone, dando priorità agli edifici il cui collasso potrebbe influenzare l'agibilità delle vie di fuga. Si riporta di seguito una prima valutazione della vulnerabilità sismica delle vie di fuga della zona rossa vesuviana ottenute dal Centro Studi PLINIVS nell'ambito del progetto Speed, anche grazie ad una collaborazione con l'Università di Roma 3.

## Scenario di Impatto Sismico sulle Vie di Fuga della Zona Rossa Vesuviana

La valutazione dello scenario di danno sismico potenziale lungo i percorsi individuati dal Piano di Protezione Civile per il Vesuvio rappresenta un'informazione utile alla pianificazione della messa in sicurezza di tali percorsi ed alla individuazione di percorsi alternativi nel caso in cui si rendesse necessario evacuare la popolazione dei diciotto comuni della zona rossa. Lo studio è stato effettuato utilizzando la banca dati sviluppata al Centro PLINIVS con indicazione della distribuzione in classi di vulnerabilità per ciascuna cella della griglia in cui è stato discretizzato il territorio vesuviano e le funzioni di vulnerabilità di danno calcolate in precedenti attività di ricerca per ciascuna classe di vulnerabilità. Si riportano nella prossima tabella le funzioni di vulnerabilità del danno utilizzate, che sono espresse nella figura 4.14 per le intensità VIII e IX.

Tabella 4.4 . – Matrice di probabilità del danno alle strutture per tipologia di edificio

INTE	classe	D0	D1	D2	D3	D4	D5
	A	0,492927	0,374565	0,11385	0,017302	0,001315	4E-05
	B	0,6701	0,279291	0,046562	0,003881	0,000162	2,7E-06
	C	0,740328	0,229417	0,028437	0,001762	5,46E-05	6,77E-07
	D	0,916884	0,080256	0,00281	4,92E-05	4,31E-07	1,51E-09
	A	0,238582	0,39593	0,26282	0,087231	0,014476	0,000961
	B	0,406203	0,40099	0,158338	0,031261	0,003086	0,000122
	C	0,470251	0,382967	0,124754	0,02032	0,001655	5,39E-05
	D	0,839389	0,149564	0,01066	0,00038	6,77E-06	4,82E-08
	A	0,062803	0,232187	0,343368	0,253893	0,093867	0,013881
	B	0,269218	0,403971	0,242469	0,072767	0,010919	0,000655
	C	0,409796	0,40022	0,156347	0,030539	0,002983	0,000117
	D	0,767225	0,208779	0,022725	0,001237	3,37E-05	3,66E-07
	A	0,020073	0,118944	0,281931	0,334128	0,197994	0,04693
	B	0,216249	0,387456	0,277683	0,099506	0,017829	0,001278
	C	0,355724	0,408439	0,187586	0,043077	0,004946	0,000227
	D	0,678817	0,273433	0,044056	0,003549	0,000143	2,3E-06
	A	0,008387	0,067172	0,215197	0,344711	0,276085	0,088449
	B	0,146715	0,343261	0,321244	0,15032	0,03517	0,003291
	C	0,285459	0,406729	0,231807	0,066057	0,009412	0,000536
	D	0,598752	0,323409	0,069874	0,007548	0,000408	8,81E-06
	A	4,51E-05	0,001443	0,018464	0,118156	0,37805	0,483843
	B	0,080578	0,26383	0,345534	0,22627	0,074086	0,009703
	C	0,245138	0,397983	0,258451	0,083919	0,013624	0,000885
	D	0,526427	0,360409	0,098699	0,013514	0,000925	2,53E-05

### Descrizione della procedura

La procedura utilizzata per la definizione degli scenari di danno al grafo stradale delle vie di esodo ha seguito i seguenti passi:

- Sul grafo della rete stradale dei Comuni Vesuviani si sono individuati i singoli tratti stradali (link) oggetto di studio aventi dimensioni variabili e compresi fra due nodi.
- Ad ogni link stradale è stato attribuito un codice univoco chiamato Objectid.
- Dopo aver creato un buffer di 15 metri su entrambi i lati della carreggiata della rete stradale in esame, sono stati selezionati gli edifici ricadenti all'interno di quest'area o che semplicemente la intersecano.
- Per ogni link stradale si sono contati gli edifici di pertinenza, che sono stati successivamente raggruppati per classi di vulnerabilità sismica (A,B,C,D,X). La classe X include gli edifici non riconosciuti nelle classi di vulnerabilità previste cui è stata attribuita una vulnerabilità media.
- Successivamente si è calcolata la probabilità di interruzione di ognuno dei link, rispettivamente nell'ipotesi di un evento con intensità epicentrale IX o con intensità epicentrale VIII e localizzato nel cratere.

Questo calcolo è stato condotto con i passaggi descritti di seguito:

- A partire dall'intensità epicentrale, attraverso l'applicazione della legge di attenuazione, riportata in Fig. 4.12, è calcolata l'intensità in corrispondenza di ciascun link.
- Applicando le curve di vulnerabilità alla popolazione degli edifici rilevata per ciascun link, (con la corrispondente distribuzione di vulnerabilità), si è calcolata la distribuzione di danno attesa lungo il tratto stradale in esame.
- La probabilità di interruzione del link viene stimata in funzione del numero atteso  $N_c$  di edifici con collasso parziale o totale attraverso la seguente relazione

$$P_c = 1 - \frac{1}{N_c} \quad (1)$$

In Fig. 4.16 si riporta la funzione di probabilità rappresentata dall'eq. (1)

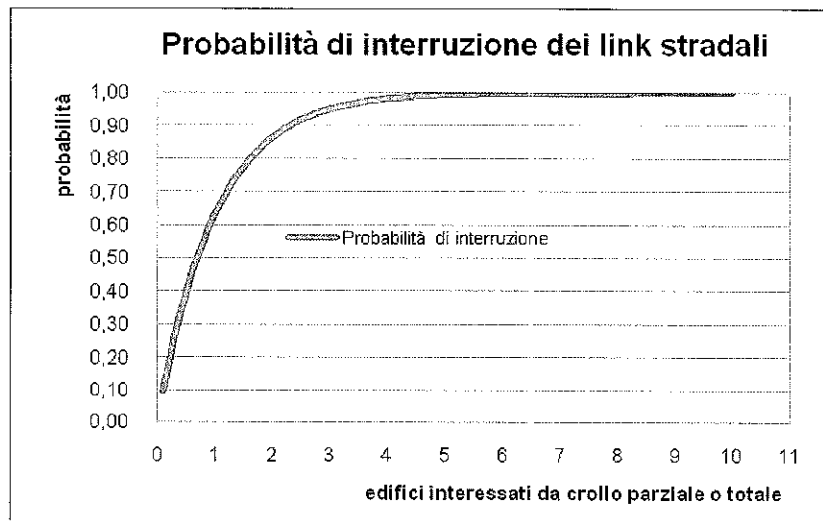


Fig. 4.16 Funzione di probabilità di interruzione dei link

I risultati presentati sia in forma tabellare che su mappa sono allegati alla presente relazione.



Figura 4.17 - Scenario di Danno (crolli totali D5 e parziali D4) per un evento sismico di Intensità pari al IX grado EMS con epicentro nel cratere



Figura 4.18 - Scenario di Danno (crolli totali D5 e parziali D4) per un evento sismico di Intensità pari al VIII grado EMS con epicentro nel cratere



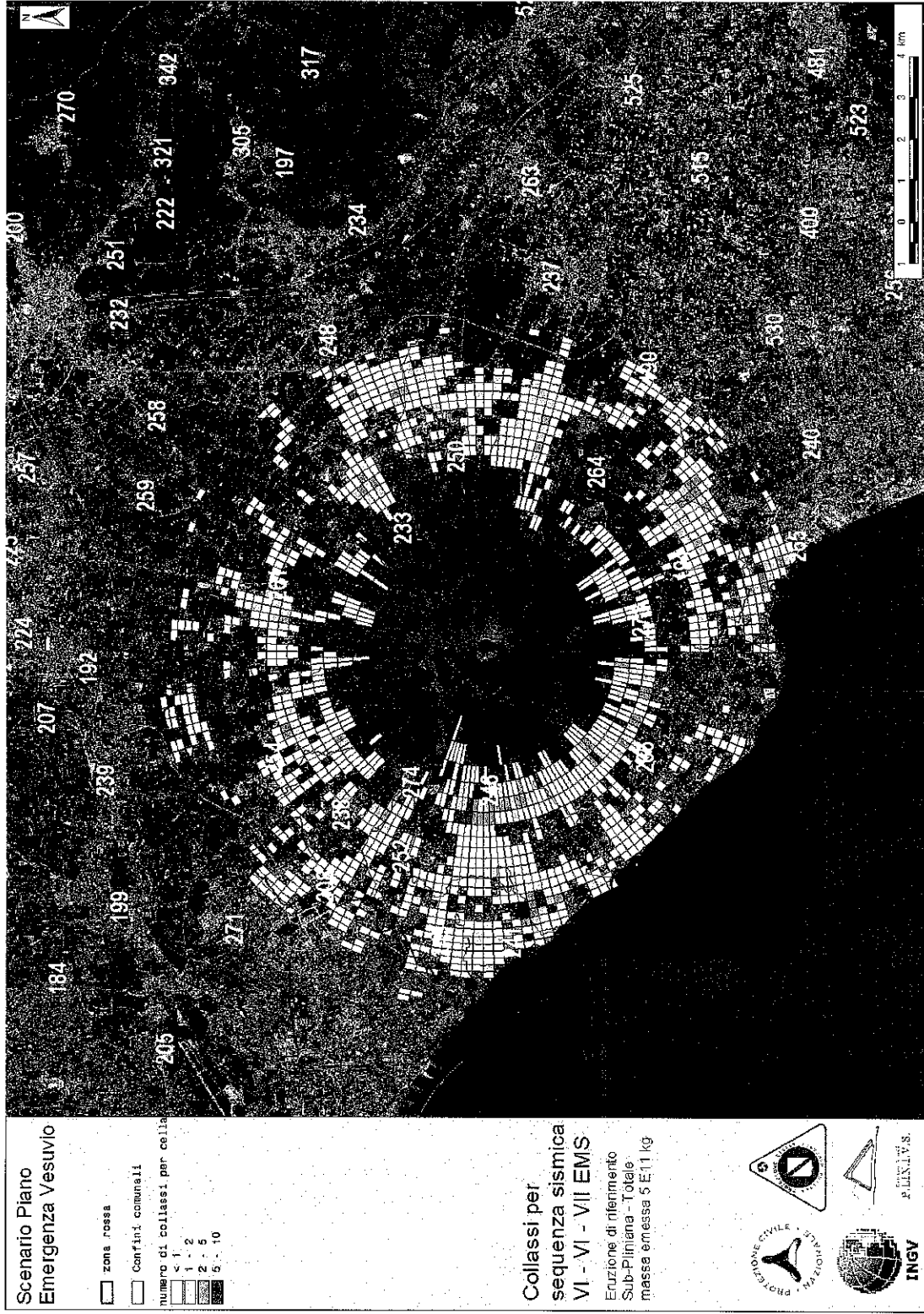


Figura 4.19 - Scenario di Danno (crolli totali e parziali) per una sequenza di eventi sismici di Intensità VI - VI - VII grado EMS con epicentro nel cratere



Figura 4.20 - Scenario di danno (crolli totali e parziali) dovuto ad una sequenza di eventi sismici pre-eruttivi di Intensità VI - VII grado EMS con epicentro nel cratere, alla caduta di cenere nel settore Est (probabilità 17.16%) e infine ad un ulteriore evento sismico di Intensità VI al 75% della fase di caduta di cenere.



Figura 4.21 - Scenario di Danno (crolli totali e parziali) dovuto ad una sequenza di eventi sismici di Intensità VI - VI - VII grado EMS con epicentro nel cratere, alla caduta di cenere nel settore Sud-Est (probabilità 13.25%) e infine ad un ulteriore evento sismico di Intensità VI al 75% della fase di caduta di cenere



Figura 4.22- Scenario di Damno (crolli totali e parziali) dovuto ad una sequenza di eventi sismici di Intensità VI - VI - VII grado EMS con epicentro nel cratere, alla caduta di cenere nel settore Nord (probabilità 7,94%) e inoltre ad un ulteriore evento sismico di Intensità VI al 75% della fase di caduta di cenere.

# Capitolo 5

## Livelli di Allerta

### 5.1 Descrizione

Il Gruppo di lavoro ritiene che vadano mantenuti gli stessi livelli di allerta già previsti nel precedente Piano di Emergenza, e precisamente:

- BASE (VERDE)
- ATTENZIONE (GIALLO)
- PREALLARME (ARANCIONE)
- ALLARME (ROSSO)

I livelli di attenzione, preallarme e allarme corrispondono ad un aumento progressivo delle probabilità di riattivazione eruttiva del vulcano e implicano una risposta crescente del sistema di Protezione Civile, che culmina (livello di allarme) con l'evacuazione della popolazione presente nella zona rossa, esposta allo scorrimento di colate piroclastiche e di lahar. Il sistema di monitoraggio, gestito dall'INGV-Osservatorio Vesuviano, consiste nel controllo dei seguenti parametri principali, che verranno di seguito descritti:

- Sismicità (distribuzione spazio-temporale delle scosse, energia, meccanismi focali, caratteristiche spettrali);
- Deformazioni del suolo (movimenti verticali e orizzontali) monitorati con tecniche varie (livellazioni, geodimetria, clinometria, GPS, mareometria, Interferometria SAR);
- Variazioni geochemiche (flusso di CO<sub>2</sub> e di calore, variazioni di temperatura e della composizione chimica e isotopica delle fumarole e delle acque termali);
- Altre informazioni utili possono inoltre venire da variazioni nei campi gravimetrici, magnetici ed elettrici, nonché da osservazioni geologiche e vulcanologiche (per esempio, aperture di nuove fratture, variazione del livello delle falde e della portata di sorgenti, comparsa di nuove fumarole).

L'obiettivo del sistema di monitoraggio è di riconoscere i primi segnali associabili al processo di risalita del magma verso la superficie e di seguirne l'evoluzione. La variazione di un solo parametro non può essere considerata determinante, ma la diagnosi attendibile scaturisce dalla interpretazione congiunta, multiparametrica e multidisciplinare, di tutte le informazioni che dovranno confluire in un modello di interpretazione del processo in corso.

Le variazioni nei principali parametri (sismicità, deformazione del suolo, geochemica) da tenere in considerazione ai fini del sistema di monitoraggio sono le seguenti:

Sismicità:

- comparsa di eventi a lungo periodo (VLP) e/o di tremore sismico;
- anomalie nelle caratteristiche di accadimento degli sciame sismici;
- superamento della magnitudo massima dei terremoti vesuviani, osservata nell'attuale fase di quiescenza.

Deformazioni del suolo:

- superamento del tasso medio annuale di deformazione;
- comparsa di fratture al suolo.

Geochemica:

- Superamento della temperatura di 100-105° C alle fumarole;
- Aumento del flusso di CO<sub>2</sub> dal suolo in area craterica;
- Aumento del flusso di vapore e gas in superficie;
- Aumento della radianza termica misurata in continuo dell'area craterica;
- Variazioni chimiche e isotopiche nei gas fumarolici, nelle sorgenti e nei pozzi d'acqua indicative di un forte aumento dell'input di fluidi magmatici.

È necessario precisare che, allo stato attuale delle conoscenze, non è possibile stabilire i tempi della dinamica di

riattivazione. Infatti, la risalita del magma potrebbe essere associata ad un terremoto di grossa magnitudo, oppure a numerosi terremoti di magnitudo minore. Analogamente, per le deformazioni, potrebbe essere osservata una dinamica rapida così come una lenta.

La definizione delle soglie di criticità, il cui superamento comporta l'attivazione dei vari livelli di allertamento, è operazione complessa e delicata. Si ritiene che solo per il passaggio dal livello base al livello di attenzione sia possibile stabilire un criterio basato sul superamento dei valori di fondo (*background*) dei parametri monitorati (ad es: basati sui dati registrati nei decenni in cui ha operato il sistema di monitoraggio nell'attuale fase di quiescenza). La variazione di un parametro viene considerata significativa quando essa supera il livello di fondo di almeno due volte il valore della sua deviazione standard ( $\sigma$ ). In particolare, si stabilisce che il passaggio al livello di attenzione si ha quando almeno due dei parametri monitorati (sismicità, deformazioni del suolo, geochimica) abbiano fatto registrare variazioni significative. Se la suddetta variazione si verifica per un solo parametro, questo non implica il passaggio allo stato di attenzione, ma attiva per l'intero sistema di sorveglianza, nonché per il Centro Funzionale Centrale del Dipartimento della Protezione Civile, una fase di vigilanza straordinaria. Durante tale fase si procederà ad un'analisi di dettaglio dei parametri che hanno mostrato delle variazioni, anche con l'ausilio di strumentazioni aggiuntive e campagne di misura dedicate.

Per i livelli di allerta superiori, si ritiene che la definizione di soglie di criticità prestabilite comporti un'alta probabilità di falsi e di mancati allarmi; pertanto, la valutazione dell'evoluzione del processo durante un'eventuale crisi vulcanica dovrà essere basata sull'analisi in tempo reale dei parametri monitorati da parte di esperti.

È opportuno ricordare che risultati confortanti sono venuti dall'esercitazione Mesimex dell'ottobre 2006, nel corso della quale è stata simulata una crisi del Vesuvio e si è potuta verificare la capacità della comunità scientifica nazionale di fornire in tempi brevissimi una mole notevole di dati, raccolti sia dalle reti di monitoraggio permanenti gestite dall'INGV-Osservatorio Vesuviano, sia da numerose squadre di specialisti intervenute sul vulcano.

Infine, il Gruppo di lavoro sottolinea che:

- un obiettivo operativo da perseguire nella pianificazione d'emergenza è la riduzione al minimo indispensabile del tempo necessario per l'evacuazione della popolazione: più breve è questo tempo, più bassa è la probabilità di falso allarme;
- potrà essere necessario affrontare un lungo periodo di attesa tra l'evacuazione e l'eruzione; questo periodo potrebbe essere caratterizzato da grandi polemiche e da forti spinte al rientro, cui occorrerà far fronte;
- è di vitale importanza che di queste difficoltà e di questi problemi siano consapevoli le Autorità di Protezione Civile nazionali, regionali e comunali, e che venga informata adeguatamente la popolazione interessata.

## Lavori consultati

- Andronico D., Calderoni G., Cioni R., Sbrana A., Sulpizio R. e Santacroce R., Geological map of Somma-Vesuvius volcano, *Per. Mineral.*, 64, 77–78, 1995.
- Arrighi S., Principe C. e Rosi M., Violent Strombolian and subplinian eruptions at Vesuvius during post-1631 activity, *Bull. Volcanol.*, 63, 126–150, 2001.
- Auger E., Virieux J. e Zollo A., Locating and quantifying the seismic discontinuities in a complex medium through the migration and AVA analysis of reflected and converted waves: an application to the Mt Vesuvius volcano, *Geophys. J. Int.*, 152, 486–496, 2003.
- Barberi F., Macedonio G., Pareschi M. e Santacroce R., Mapping the tephra fallout risk: an example from Vesuvius (Italy), *Nature*, 344, 142–144, 1990.
- Baxter P., Neri A. e Todesco M., Physical modeling and health impact of pyroclastic flows, in *Volcanoes in Town*, vol. 64, pp. 95–97, Per. Mineral., extended abstracts, 1995.
- Baxter P., Neri A. e Todesco M., Physical modelling and human survival in pyroclastic flows, *Natural Hazards*, 17, 163–176, 1998.
- Baxter P.J., Spence R.J.S., Zuccaro G. "Building vulnerability and human casualty estimation for a pyroclastic flow: a model and its application to Vesuvius" *Journal of Volcanological and Geothermal Research* (2004).
- Bertagnini A., Landi P., Rosi M. e Vigliargio A., The Pomice di Base plinian eruption of Somma-Vesuvius, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 83, 219–239, 1998.
- Bisson M., Cosimi G., Favalli M., Leoni F., Mazzarini F., Pareschi M., Santacroce R., Sgrò S., Sulpizio R. e Zanchetta G., Gis database for the assessment of debris flow hazard in two areas of the Campania region (southern Italy), *Il Nuovo Cimento*, 25, 1–15, 2002.
- Capuano P., Gasparini P., Zollo A., Virieux J., Casale R. e Yeroyanni M., (Editori), *The internal structure of Mt. Vesuvius*, Officine Grafiche Liguori, Napoli, 2003.
- Cascini L., Guida D., Romanzi G., Nocera N. e Sorbino G., A preliminary model for the landslide of May 1998 in Campania region, in *The Geotechnics of Hard Soil-Soft Rocks*, edito da Evangelista e Picarelli, pp. 1623–1648, Balkema, Rotterdam, 2000.
- Cioni R., Civetta L., Marianelli P., Métrich N., Santacroce R. e Sbrana A., Compositional layering and syn-eruptive mixing of a periodically refilled shallow magma chamber: the AD 79 Plinian eruption of Vesuvius, *J. Petrol.*, 36, 739–776, 1995.
- Cioni R., Marianelli P. e Santacroce R., Thermal and compositional evolution of the shallow magma chambers of Vesuvius: Evidence from pyroxene phenocrysts and melt inclusions, *J. Geophys. Res.*, 103, 18,277–18,294, 1998.
- Cioni R., Santacroce R. e Sbrana A., Pyroclastic deposits as a guide for reconstructing the multi-stage evolution of the Somma-Vesuvius caldera, *Bull. Volcanol.*, 60, 207–222, 1999.
- Cioni R., Longo A., Macedonio G., Santacroce R., Sbrana A., Sulpizio D. e Andronico D., Assessing pyroclastic fall hazard through field data and numerical simulations: Example from Vesuvius, *J. Geophys. Res.*, 108, 2063–2073, 2003.
- Del Pezzo E. e Zollo A., Gruppo di lavoro "Scenari di danno sismico nell'area vesuviana e flegrea". Rapporto preliminare n.1 sul massimo terremoto atteso, 2004.
- Del Pezzo E. e Zollo A., Gruppo di lavoro "Scenari di danno sismico nell'area vesuviana e flegrea". Massimo terremoto atteso al Vesuvio e ai Campi Flegrei, 2005.
- Di Stefano R. e Chiarabba C., Active source tomography at Mt. Vesuvius: Constraints for the magmatic system, *J. Geophys. Res.*, 107, 2278, doi:10.1029/2001JB000792, 2002.
- Dobran F., Neri A. e Todesco M., Pyroclastic flow hazard at Vesuvius, *Nature*, 367, 551–554, 1994.
- DPC 1995, Pianificazione Nazionale d'Emergenza dell'Area Vesuviana, Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 1995.
- DPC 2001, Aggiunte e varianti alle parti A3, B, C1 e C2 della Pianificazione Nazionale d'Emergenza dell'Area Vesuviana. Proposta di Aggiornamento, Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 2001.

- Esposti Ongaro T., Neri A., Todesco M. e Macedonio G., Pyroclastic flow hazard at Vesuvius from numerical modeling. II. Analysis of local flow variables, *Bull. Volcanol.*, 64, 178–191, 2002.
- Favalli M., Pareschi M. e Zanchetta G., Simulation of syn-eruptive floods in the circumvesuvian plain (southern Italy), *Bull. Volcanol.*, in stampa, 2005.
- Fulignati P., Marianelli P., Metrich N., Santacroce R. e Sbrana A., Towards a reconstruction of the magmatic feeding system of the 1944 eruption of Mt. Vesuvius, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 133, 13–22, 2004.
- Lirer L., Petrosino P., Alberico I. e Postiglione I., Long-term volcanic hazard forecasts on Somma-Vesuvio past eruptive activity, *Bull. Volcanol.*, 63, 45–60, doi:10.1007/s00440000121, 2001.
- Marianelli P., Metrich N. e Sbrana A., Shallow and deep reservoirs involved in magma supply of the 1944 eruption of Vesuvius, *Bull. Volcanol.*, 61, 48–63, 1999.
- Marianelli P., Metrich N., Sbrana A. e Cecchetti A., The deep feeding system of Mt. Vesuvius: its role in recent violent strombolian eruptions, *Geophys. Res. Lett.*, 32, doi:10.1029/2004GL021667, 2005.
- Marzocchi W., Relazione scientifica per la revisione del Piano di Emergenza del Vesuvio, sintesi dei lavori del Workshop tenutosi a Roma l'11 Febbraio 2004, 2004.
- Marzocchi W., Sandri L., Gasparini P., Newhall C. e Boschi E., Quantifying probabilities of volcanic events: The example of volcanic hazard at Mount Vesuvius, *J. Geophys. Res.*, 109, 18 pp., doi:10.1029/2004JB003155, 2004.
- Onorati G., Braca G. e Iritano G., Evento idrogeologico del 4, 5 e 6 Maggio 1998 in Campania. Monitoraggio ed analisi idrologica, in *Il rischio idrogeologico e la difesa del suolo*, vol. 154 di *Atti dei Convegni Lincei*, Accademia dei Lincei, Roma, 1999.
- Pareschi M., Nuova cartografia dei comuni vesuviani, Documento per il Gruppo A della Commissione Nazionale Incaricata di Provvedere all'Aggiornamento dei Piani di Emergenza dell'Area Vesuviana e Flegrea per il Rischio Vulcanico, (con allegati 2 CD), 2004.
- Pareschi M., Santacroce R., Cavarra L., Favalli M., Giannini F., Sulpizio R. e Zanchetta G., Analisi dei bacini della zona Sarno-Quindici-Siano-Bracigliano interessati da flussi di fango il 5-5-1998, Rischio idrogeologico nelle aree della Campania, Unità Operativa Valle del Clanio, professional paper, 20 pp., 1998.
- Pareschi M., Favalli M., Giannini F., Sulpizio R., Zanchetta G. e Santacroce R., May 5, 1998, debris flows in circum-Vesuvian areas (southern Italy): insight for hazard assessment, *Geology*, 28, 639–642, 2000.
- Pareschi M., Santacroce R., Sulpizio R. e Zanchetta G., Volcaniclastic debris flows in the Clanio Valley (Campania, Italy): insights for the assessment of hazard potential, *Geomorfology*, 43, 219–231, 2002.
- Rosi M., Principe C. e Vecci R., The 1631 Vesuvian eruption: A reconstruction based on historical and stratigraphical data, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 58, 151–182, 1993.
- Santacroce R., ed., *Somma-Vesuvius*, vol. Monografia CNR n. 114(8) di *Quaderni de La Ricerca Scientifica*, Arti Grafiche, Roma, 230 pp., 1987.
- Santacroce R., Bertagnini A., Civetta L., Landi P. e Sbrana A., Eruptive dynamics and petrogenetic processes in a very shallow magma reservoir: the 1906 eruption of Vesuvius, *J. Petrol.*, 34, 1993.
- Scandone R., Giacomelli L. e Gasparini P., Mount Vesuvius: 2000 years of volcanological observations, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 58, 263–271, 1993.
- Scarpa R., Tronca F., Bianco F. e Del Pezzo E., High resolution velocity structure beneath Mount Vesuvius from seismic array data, *Geophys. Res. Lett.*, 29, 2040–2043, doi:10.1029/2002GL015576, 2002.
- Simkin T. e Siebert L., *Volcanoes of the World*, Geosciences, Tucson, Arizona, 1994.
- Takahashi T., *Debris Flow*, IAHR-AIRH Monograph, Balkema, Rotterdam, 165 pp., 1991.
- R. J. S. Spence, I. Kelman, G. Zuccaro, P. J. Baxter, and S. Petrazzuoli “Residential building and occupant vulnerability to tephra fall” – *Journal of Natural Hazards and Earth System Sciences*, 5, 1–18, 2005 S Ref-ID: 1684-9981/nhess/2005-5-1 - Received: 8 December 2004 – Revised: 5 April 2005 – Accepted: 25 April 2005.
- Sulpizio R., Mele D., Dellino P., La Volpe L. “A complex, Subplinian-type eruption from low- viscosity, phonolitic to tephri-phonolitic magma: the AD 472 (Pollena) eruption of Somma-Vesuvius, Italy”, *Bull. Volcanol.*, 67, 743-767, 2005.
- Todesco M., Neri A., Esposti Ongaro T., Papale P., Macedonio G., Santacroce R. e Longo A., Pyroclastic flow hazard at Vesuvius from numerical modeling. I. Large-scale dynamics, *Bull. Volcanol.*, 64, 155–177, 2002.



- Zanchetta G., Sulpizio R., Santacroce R., Cosimi G., Sgrò S., Pareschi M., Bisson M. e Favalli M., Volcaniclastic debris flows in the Clanio Valley (Campania, Italy), in *Fast slope movement prediction and prevention for risk mitigation, Naples 2003*, edito da P. Picarelli, pp. 537-541, Patron Editore, Bologna, Napoli, 2003.
- Zanchetta G., Sulpizio R., Pareschi M., Leoni F. e Santacroce R., Characteristic of May 5-6, 1998 volcaniclastic debris flows in the Sarno areas (Campania, southern Italy): relationships to structural damage and hazard zonation, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 133, 377-393, 2004.
- Zuccaro G., Valutazioni preliminari di scenario di danno agli edifici conseguente ad un evento di tipo Sub-Pliniano I, Rapporto tecnico, progetto europeo "exploris", Centro di Ricerca LUPT, Università di Napoli "Federico II", Napoli, 2006.
- Zuccaro G., Petrazzuoli S.M. "Structural Resistance of RC Buildings under Pyroclastic Flows: A Study on the Vesuvian Area", *Journal of Volcanological and Geothermal Research* (2004).
- Zuccaro G., Ianniello D., "Interaction between pyroclastic flow and the building structures of an urban settlement. A fluid-dynamic simulation impact model" *Journal of Volcanological and Geothermal Research* (2004).
- Zuccaro G., Baratta A., Binetti A., "Strength capacity of No Tension portal arch-frame under combined seismic and ash loads" *Journal of Volcanological and Geothermal Research* (2004)
- Zuccaro G., Spence R.J.S., Baxter P.J., Petrazzuoli S.M. "The resistance of Buildings to Pyroclastic Flows: Analytical and Experimental Studies and their Application to Vesuvius" *ASCE's Natural Hazard Review* (2004).
- Zuccaro G., - Rapporto Finale Progetto SAVE, Task 1 - Inventario e vulnerabilità del patrimonio edilizio residenziale del territorio nazionale mappe di rischio e perdite socio economiche. GNDT, Roma (2005).
- Zuccaro G., Cacace F. Spence R.J.S., Baxter P.J. "Impact of explosive eruption scenarios at Vesuvius" *J. Volcanol. Geoth. Res.* (2008) in stampa.

# Indice

<b>Capitolo 1</b>	<b>2</b>
<b>1.1 La Commissione Nazionale incaricata di provvedere all'aggiornamento dei Piani d'Emergenza dell'area vesuviana e dell'area flegrea</b>	<b>2</b>
<b>1.2 Scenari e Livelli di Allerta nei precedenti Piani di Emergenza</b>	<b>4</b>
<b>Struttura e storia eruttiva del Vesuvio</b>	<b>6</b>
<b>2.1 La morfologia</b>	<b>6</b>
<b>2.2 La storia eruttiva</b>	<b>6</b>
<b>2.3 Il sistema di alimentazione del Vesuvio</b>	<b>8</b>
<b>Scenari Eruttivi</b>	<b>9</b>
<b>3.1 Principali Tipi di Eruzioni Esplosive</b>	<b>9</b>
<b>3.2 La scelta dello scenario di riferimento</b>	<b>13</b>
<b>Pericolosità vulcanica e danni attesi per l'evento di riferimento</b>	<b>14</b>
<b>4.1 Zona esposta a flussi piroclastici (zona rossa)</b>	<b>14</b>
<b>4.2 Zona esposta a ricaduta di lapilli e cenere (zona gialla)</b>	<b>16</b>
<b>4.3 Zona esposta ad alluvionamenti e flussi di fango (lahar)</b>	<b>26</b>
<b>4.4 Pericolosità sismica</b>	<b>30</b>
<b>4.5 Vulnerabilità sismica</b>	<b>31</b>
<b>Capitolo 5</b>	<b>44</b>
<b>Livelli di Allerta</b>	<b>44</b>
<b>5.1 Descrizione</b>	<b>44</b>
<b>Lavori consultati</b>	<b>46</b>

Via Diocleziano, 328  
80124 NAPOLI - Italia  
Tel.: (39) 081.6108111  
Telefax: (39) 081.6100811  
email: info@ov.ingv.it



**Istituto Nazionale di  
Geofisica e Vulcanologia**  
Sezione di Napoli | Osservatorio Vesuviano

*Presidenza del Consiglio dei Ministri*  
DIPARTIMENTO PROTEZIONE CIVILE

Prot n° 0029251

del 30/04/2012

----- ENTRATA -----

**Istituto Nazionale di Geofisica  
e Vulcanologia**  
Area Organizzativa Napoli  
Protocollo Generale - U  
N. 0001417  
Napoli, 13/04/2012



**RACCOMANDATA A/R**

Al Capo Dipartimento della Protezione Civile  
Via Vitorchiano, 2  
00189 - Roma

e p.c. prof. Mauro Dolce  
Dipartimento della Protezione Civile  
Via Vitorchiano, 2  
00189 - Roma



OGGETTO: Trasmissione documento "Scenari eruttivi e livelli di allerta per il Vesuvio".

Con la presente, si trasmette il documento "Scenari eruttivi e livelli di allerta per il Vesuvio" prodotto dal Gruppo A (Scenari e livelli di allerta) della "Commissione nazionale incaricata di provvedere all'aggiornamento dei piani di emergenza dell'area vesuviana e flegrea per il rischio vulcanico", istituita con il decreto n. 1828 del 18 giugno 2002, i cui membri sono stati nominati con successivo decreto del Capo del Dipartimento della Protezione Civile n. 698 del 6 marzo 2003.

Il documento in oggetto è stato presentato ai Responsabili del Dipartimento di Protezione Civile in occasione della riunione del 31 marzo 2010, tenutasi presso il Dipartimento della Protezione Civile in Roma.

Nell'aprile del 2011, il Gruppo A, su richiesta del Dipartimento della Protezione Civile, ha meglio definito la delimitazione dell'area che potrebbe essere interessata da flussi piroclastici nell'ambito del Comune di Napoli.

La versione del documento allegata alla presente, comprende quest'ultima integrazione, al paragrafo 4.1 "Zona esposta a flussi piroclastici (zona rossa)".

Distinti saluti.

Dott. Giovanni Macedonio  
Responsabile Gruppo A

Dott. Marcello Martini  
Direttore Osservatorio Vesuviano

DIPARTIMENTO DELLA PROTEZIONE CIVILE

COMMISSIONE NAZIONALE INCARICATA DI PROVVEDERE ALL'AGGIORNAMENTO DEI  
PIANI DI EMERGENZA DELL'AREA VESUVIANA E FLEGREA PER IL RISCHIO  
VULCANICO

## Scenari Eruttivi e Livelli di Allerta per il Vesuvio

31 marzo 2010

# Capitolo 1

## 1.1 La Commissione Nazionale incaricata di provvedere all'aggiornamento dei Piani d'Emergenza dell'area vesuviana e dell'area flegrea

### 1.1.1 Attività precedenti

La prima Commissione "incaricata di stabilire le linee guida per la valutazione del rischio connesso ad un'eruzione nell'area vesuviana, finalizzata alla pianificazione dell'emergenza" fu istituita nel 1991, i cui lavori, arricchiti anche dagli studi sui possibili scenari eruttivi condotti dal GNV, furono continuati da una seconda Commissione istituita nel 1993. Oltre a tecnici del Dipartimento della Protezione Civile ed esperti del campo scientifico, facevano parte di questa Commissione anche rappresentanti degli Enti e delle Amministrazioni locali e la presidenza era affidata al Prefetto di Napoli.

Il rapporto finale della Commissione contenente il Piano nazionale di emergenza dell'area vesuviana, completo di 31 Allegati e 22 Documenti Funzione fu presentato nel settembre 1995. Già nell'anno seguente per aggiornare il Piano dell'area vesuviana, e dare inizio all'aggiornamento del Piano per l'area flegrea (di cui una versione era stata elaborata nel 1984 durante la crisi bradisismica dei primi anni '80), fu istituita una terza Commissione che era presieduta dal Sottosegretario alla Protezione Civile ed era stata organizzata in gruppi di lavoro.

Nel marzo 2001 la Commissione approvava i documenti di aggiornamento: "Aggiunte e varianti alle parti A3, B, C1 e C2 della pianificazione nazionale d'emergenza dell'area vesuviana" ed "Elementi di base per la pianificazione nazionale di emergenza dell'area flegrea".

Con il decreto n. 1828 del 18 giugno 2002 è stata ricostituita la Commissione e con un successivo decreto (n. 698 del 6 marzo 2003) il Capo del Dipartimento della Protezione Civile nominava i membri dell'attuale Commissione.

### 1.1.2 L'attuale Commissione Nazionale

La Commissione, tenendo in considerazione quanto già realizzato dalle precedenti commissioni, per l'area vesuviana dovrà aggiornare lo scenario e i dispositivi operativi del Piano, mentre per i Campi Flegrei dovrà realizzare il Piano d'emergenza completo.

Per entrambe le aree dovranno essere messi a punto i piani di emergenza a livello locale e inoltre dovrà essere migliorata l'attività di educazione e di diffusione delle conoscenze del rischio vulcanico.

La Commissione è stata suddivisa in quattro gruppi di lavoro formati non soltanto da membri della Commissione, ma anche da esperti di settore al fine di garantire un più efficace funzionamento. I gruppi di lavoro sono incaricati di perseguire gli obiettivi specifici di seguito sintetizzati.

#### Gruppi di lavoro:

##### Gruppo A: scenari e livelli d'allerta.

Si occupa dell'aggiornamento degli scenari eruttivi e dei limiti delle zone rossa, gialla e blu del Vesuvio, nonché della definizione del rischio vulcanico e da bradisisma ai Campi Flegrei e inoltre della ridefinizione dei livelli d'allerta per entrambi i vulcani.

##### Gruppo B: viabilità, trasporti e logistica.

Si occupa dell'aggiornamento dei piani di allontanamento della popolazione dalle zone da evacuare.

##### Gruppo C: informazione ed educazione.

Si occupa della progettazione e attuazione di campagne informative per la popolazione e della formazione degli operatori.

##### Gruppo D: Piani comunali-intercomunali d'emergenza.

Si occupa dell'elaborazione di piani comunali-intercomunali di emergenza in accordo con quanto previsto dalla strategia del Piano nazionale.

Enti coinvolti a vario titolo nei quattro gruppi di lavoro:

Dipartimento della Protezione Civile

Regione Campania

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - Osservatorio Vesuviano

Centro Studi Plinius -Università Federico II - Napoli

Ufficio Territoriale di Governo di Napoli, Avellino, Benevento, Caserta, Salerno

Province di Napoli, Avellino, Benevento, Caserta, Salerno

Ente Parco Nazionale del Vesuvio

Enti e società di gestione delle Reti ferroviarie

Società Autostrade

ANAS

ENAC

Comando generale Capitanerie di Porto

Ministero dell'Istruzione, Università e Ricerca scientifica

Ministero dell'Interno - Pubblica Sicurezza

Ministero dell'Interno - Vigili del Fuoco

Comuni della zona rossa vesuviana e flegrea

RAI-radio regionale

### 1.1.3 Gruppo A - Compiti e Strategie operative

Il Gruppo A della Commissione Nazionale è costituito dal Direttore dell'Osservatorio Vesuviano: dott. Giovanni Macedonio (sostituito dal 2007, dal dott. Marcello Martini), da un rappresentante del Dipartimento della Protezione Civile: dott.ssa Chiara Cardaci, da un rappresentante della Regione Campania: prof. Franco Barberi e da tre esperti vulcanologi: prof. Lucia Civetta, Paolo Gasparini e Giuseppe Luongo. Alle attività del Gruppo A ha partecipato in maniera attiva e continuativa il prof. Giulio Zuccaro, quale esperto di vulnerabilità.

L'obiettivo principale del Gruppo A è l'aggiornamento degli scenari eruttivi e la ridefinizione dei livelli di allerta per l'area vesuviana e flegrea, nonché la definizione del rischio legato al bradisismo dei Campi Flegrei.

Il Gruppo A ha deciso di affrontare prioritariamente l'aggiornamento degli scenari eruttivi e ha ritenuto opportuno preliminarmente procedere alla ricognizione degli avanzamenti scientifici raggiunti dalla Comunità Scientifica negli ultimi 10 anni, ovvero dalla definizione dello scenario preso a riferimento nel precedente Piano per il Vesuvio (1995). A tale scopo è stato richiesto ai ricercatori impegnati negli studi di pericolosità e di rischio sul Vesuvio e Campi Flegrei, nell'ambito dei progetti GNV o esterni a questi, di esprimere una valutazione motivata sulle opportunità di procedere ad un eventuale aggiornamento del suddetto scenario.

In risposta a queste richieste il Gruppo A ha ricevuto i contributi di diversi ricercatori (A. Neri, W. Marzocchi, M.T. Pareschi, R. Santacroce, L. Lirer, G. Zuccaro, P. Papale, P. Dellino, G. Orsi, E. Del Pezzo, A. Zollo) e ha ritenuto utile organizzare dei *workshop* scientifici, in cui tutti gli studiosi impegnati in ricerche sul Vesuvio e sui Campi Flegrei sono stati chiamati a presentare e dibattere le questioni scientifiche più rilevanti.

Gli argomenti trattati durante questi incontri sono stati:

- Definizione dello stato attuale del vulcano
- Definizione degli scenari eruttivi
- Scorrimento dei flussi piroclastici
- Caduta di materiale piroclastico
- Scorrimento dei flussi fangosi
- Stime di vulnerabilità

I risultati presentati durante tali riunioni sono stati riassunti in due documenti di sintesi, redatti dai dott.ri Papale e Marzocchi, rispettivamente per Campi Flegrei e Vesuvio.

Un grande contributo alle attività svolte dal Gruppo A si è avuto dai ricercatori impegnati nel progetto europeo EXPLORIS, (valutazioni di pericolosità e vulnerabilità da eruzione al Vesuvio), che hanno fornito risultati rilevanti.

Il Gruppo A ha affrontato anche la vulnerabilità sismica connessa ai terremoti pre-eruttivi. A tal fine il Dipartimento della Protezione Civile ha costituito un Gruppo di lavoro dedicato allo studio di "Scenari di danno sismico nell'area

vesuviana e flegrea”, al quale hanno partecipato sismologi ed esperti di vulnerabilità sismica. I suddetti esperti, che hanno prodotto due rapporti, hanno fornito informazioni sul massimo terremoto atteso sia per l’area vesuviana che per quella flegrea, in caso di ripresa dell’attività eruttiva, utili a trasformare i dati sulla vulnerabilità sismica in scenari di danno. In seguito, il Gruppo A si è occupato dell’individuazione di possibili precursori dell’attività vulcanica, dei livelli di criticità e delle soglie di allerta, promuovendo altri incontri scientifici. Anche in questo caso, sono stati coinvolti tutti i ricercatori impegnati nello studio dei fenomeni precursori delle eruzioni.

Al termine di questa fase di indagine il Gruppo A ha acquisito i seguenti documenti:

1. **Relazione scientifica per la revisione del Piano di Emergenza del Vesuvio** redatta dal dott. Warner Marzocchi;
2. **Relazione per la predisposizione del Piano di Emergenza ai Campi Flegrei** redatta dal dott. Paolo Papale;
3. **Carta della propensione al dissesto per “debris flows sin-eruttivi” con indicazione delle aree di invasione e carta degli alluvionamenti sin-eruttivi per il Vesuvio** a cura della prof.ssa Maria Teresa Pareschi;
4. **Rapporto preliminare sul massimo evento sismico atteso al Vesuvio** redatto dai proff. Edoardo Del Pezzo e Aldo Zollo;
5. **Mappe di vulnerabilità sismica e di impatto da ricaduta di materiale piroclastico** redatte dal prof. Giulio Zuccaro.

## 1.2 Scenari e Livelli di Allerta nei precedenti Piani di Emergenza

### 1.2.1 Il Piano d’Emergenza del Vesuvio del 1995

Il Piano nazionale di emergenza dell’area vesuviana fu presentato nel settembre 1995, corredato di 31 Allegati e 22 Documenti Funzione. Il Piano d’emergenza era strutturato in due parti: un **Piano Generale** ed i **Piani Particolareggiati**, la cui stesura spettava ai singoli Comuni interessati dall’emergenza.

Il Piano Generale era articolato in tre parti fondamentali (*Metodo Augustus*): *i) parte generale*, che definiva lo scenario dell’evento massimo atteso e i livelli di allerta; *ii) lineamenti della pianificazione* che illustrava la strategia operativa; *iii) modello di intervento*, con l’individuazione delle diverse fasi operative in risposta ai differenti livelli di allerta e l’organizzazione della struttura in quattordici funzioni di supporto.

Nel Piano del 1995, basato sullo scenario predisposto dal GNV nel 1990, si introdusse il concetto di Evento Massimo Atteso (EMA) in caso di ripresa dell’attività del Vesuvio a breve-medio termine. L’EMA individuato era un’eruzione esplosiva di media intensità, definita dai vulcanologi “sub-Pliniana”, simile ma non identica, per energia, volume di magma emesso e fenomenologia eruttiva, a quella verificatasi nel 1631. Con le informazioni sull’EMA (velocità, altezza, densità, temperatura della colonna eruttiva, ecc.) e i dati sulle più frequenti velocità e direzioni del vento ad alta quota, erano state simulate varie fasi dell’eruzione, individuando le aree a diversa pericolosità sulla base del tipo e dell’entità dei fenomeni che sarebbero potuti avvenire. L’area a maggiore pericolosità (zona rossa), comprendeva 18 Comuni immediatamente circostanti al vulcano ed era quella potenzialmente soggetta a scorrimento di flussi piroclastici che, muovendosi ad elevata velocità, avrebbero potuto devastarla in pochissimo tempo dopo l’inizio dell’eruzione; la zona a minore pericolosità (zona gialla), comprendente 59 Comuni, corrispondeva a tutta l’area che poteva essere interessata dalla ricaduta di piroclastiti e cenere per spessori tali da poter causare il collasso delle coperture di un numero significativo di edifici.

Lo schema operativo di questo piano d’emergenza era basato su sette livelli di previsione dell’evento atteso (forniti dalla Comunità Scientifica), a cui corrispondevano sei fasi operative che si sarebbero articolate secondo procedure codificate. La strategia d’intervento prevedeva per l’area vesuviana ad alto rischio (zona rossa) l’evacuazione e l’accoglimento della popolazione ad di fuori della Regione Campania. Per la zona a minore pericolosità (zona gialla), di cui non sarebbe stato possibile conoscere l’estensione se non nell’imminenza dell’eruzione, si sarebbe adottata una strategia operativa variabile di evacuazione/ricezione della popolazione interessata, che comunque sarebbe stata ospitata nella stessa Regione Campania.

### 1.2.2 Il Piano d’Emergenza del Vesuvio del 2001

Nel febbraio 1998 la Comunità Scientifica presentò l’aggiornamento dello scenario eruttivo dell’eruzione massima attesa al Vesuvio in base al quale furono ridefinite le zone interessate dalla pianificazione nazionale. Le principali modifiche rispetto al piano del 1995 sono riportate nel documento “Aggiunte e varianti alle parti A3, B, C1 e C2 della pianificazione nazionale d’emergenza dell’area vesuviana” e possono essere così riassunte:

La zona gialla è stata ridefinita ed ampliata sino a comprendere 96 Comuni. All'interno della zona gialla la Comunità Scientifica ha circoscritto un'area ad elevato rischio idrogeologico, definita zona blu, che comprende 14 Comuni della provincia di Napoli.

In seguito al potenziamento del sistema di monitoraggio da parte dell'Osservatorio Vesuviano - INGV e in base a nuovi studi sono stati ridefiniti i livelli di allerta per l'attivazione del Piano di Emergenza.

Il Piano aggiornato del 2001 prevede 4 livelli di allerta, individuati dalla combinazione di fenomeni precursori di diverso tipo e 5 fasi operative, in cui vengono coinvolte progressivamente le diverse Strutture di Protezione Civile e la popolazione delle aree a rischio.

È stata stabilita una nuova strategia per l'accoglienza. Tramite un'Intesa Istituzionale di Programma, tra i 18 Comuni, la Regione Campania, le altre Regioni italiane e il Dipartimento della Protezione Civile, sono stati definiti i termini per il gemellaggio tra i Comuni della zona rossa vesuviana e le Regioni italiane che ospiteranno, in caso di emergenza, i circa 600.000 abitanti che verranno allontanati dal territorio vesuviano.



## Capitolo 2

# Struttura e storia eruttiva del Vesuvio

### 2.1 La morfologia

Il Somma-Vesuvio è uno stratovulcano di medie dimensioni che raggiunge un'altezza massima di 1.281 m s.l.m. Esso è costituito da un più vecchio stratovulcano, il Monte Somma, la cui parte sommitale è sprofondata ripetutamente durante le eruzioni Pliniane, generando una caldera complessa del diametro di circa 2 Km, e dal più recente cono del Vesuvio, cresciuto all'interno della caldera dopo l'eruzione di Pompei e, a sua volta, troncato da un cratere più o meno circolare, profondo oltre 200 metri. Le pareti interne della caldera del Monte Somma rappresentano uno spaccato dell'interno del vulcano, con le sue alternanze di rocce laviche e piroclastiche tagliate da dicchi e filoni più o meno verticali che testimoniano i ripetuti episodi di ascesa del magma verso la superficie. La Valle dell'Inferno, che separa il cono del Vesuvio dalle pareti interne della caldera, è stata il luogo preferenziale per lo scorrimento delle più recenti colate laviche emesse dal Vesuvio, comprese quelle della sua ultima eruzione del 1944. La presenza della cresta del Monte Somma ha inoltre agito in alcune eruzioni esplosive come valido ostacolo per i flussi piroclastici, impedendo lo scorrimento di queste nubi eruttive lungo le pendici settentrionali e orientali del vulcano.

### 2.2 La storia eruttiva

Il Monte Somma, costituito prevalentemente da lave e scorie basiche (basaltiche e tefritiche) ha un'età inferiore a 39.000 anni, ovvero è più giovane della grande eruzione esplosiva, quella dell'Ignimbrite Campana, avvenuta appunto 39.000 fa ai Campi Flegrei. I depositi di questa eruzione sono dispersi sull'intera Piana Campana con spessori anche di svariate decine di metri, e si rinvengono in perforazione immediatamente al di sotto delle lave del Monte Somma. L'attività vulcanica nell'area vesuviana inizia comunque molto tempo prima, circa 380.000 anni fa, con colate laviche sottomarine ritrovate nella stratigrafia di un pozzo geotermico perforato alla fine degli anni '70, sulle pendici meridionali del vulcano (pozzo di Trecase).

La storia eruttiva del Somma-Vesuvio può essere suddivisa in alcuni periodi, ciascuno caratterizzato da diversi stili di attività, e talvolta anche da variazioni nella composizione chimica dei prodotti. Il primo periodo di attività comprende i primi 20.000 anni di storia del vulcano (tra 39.000 e circa 19.000 anni fa) ed è caratterizzato da eruzioni prevalentemente effusive e subordinatamente esplosive, di bassa energia. Tale attività dura fino a circa 19.000 anni fa e determina la formazione dell'apparato vulcanico del Somma. La parte settentrionale di questo edificio più antico è ancora ben conservata ed è rappresentata dall'attuale Monte Somma. Un'importante variazione nello stile di attività del vulcano si verifica circa 19.000 anni fa, quando dall'attività prevalentemente effusiva con colate di lava si passa ad un'attività più che altro esplosiva. Da 19.000 anni fino ad ora avvengono nove grandi eruzioni esplosive, (Pliniane e sub-Pliniane), precedute da periodi di riposo della durata da migliaia a centinaia di anni, e decine di altre eruzioni di energia minore, a condotto aperto, per lo più concentrate negli ultimi 3.500 anni di attività, fino all'ultima eruzione avvenuta nel marzo del 1944 (vedi Figura 2.1).

Il periodo di attività, compreso tra 18.300 e 16.000 anni fa, è caratterizzato da attività fortemente esplosiva, con la più voluminosa eruzione Pliniana del vulcano, l'eruzione delle Pomici di Base (18.300 anni fa) e l'eruzione sub-Pliniana delle Pomici Verdoline (avvenuta 16.000 anni fa). Ai depositi di queste due eruzioni si intercalano lave prodotte da modeste eruzioni effusive. Con la prima eruzione Pliniana delle Pomici di Base inizia il collasso dell'apparato vulcanico del Monte Somma e la formazione della caldera. Questo evento coincide con una netta variazione nella composizione dei prodotti emessi, da composizioni prevalentemente basiche del Somma a composizioni più differenziate trachitiche delle Pomici di Base. Dopo un lungo periodo di quiescenza avvengono due nuove eruzioni Pliniane: quella delle Pomici di Mercato (avvenuta 8.000 anni fa) e quella delle Pomici di Avellino (avvenuta 3.800 anni fa). L'eruzione Pliniana delle Pomici di Mercato, segna un'altra variazione nella composizione dei prodotti, che divengono più alcalini ed estremamente evoluti (fonoliti). L'eruzione delle Pomici di Avellino ha un forte impatto sul territorio e sugli abitanti dell'area, e recentemente sono stati ritrovati alcuni siti archeologici dell'età del Bronzo sepolti da queste eruzione.

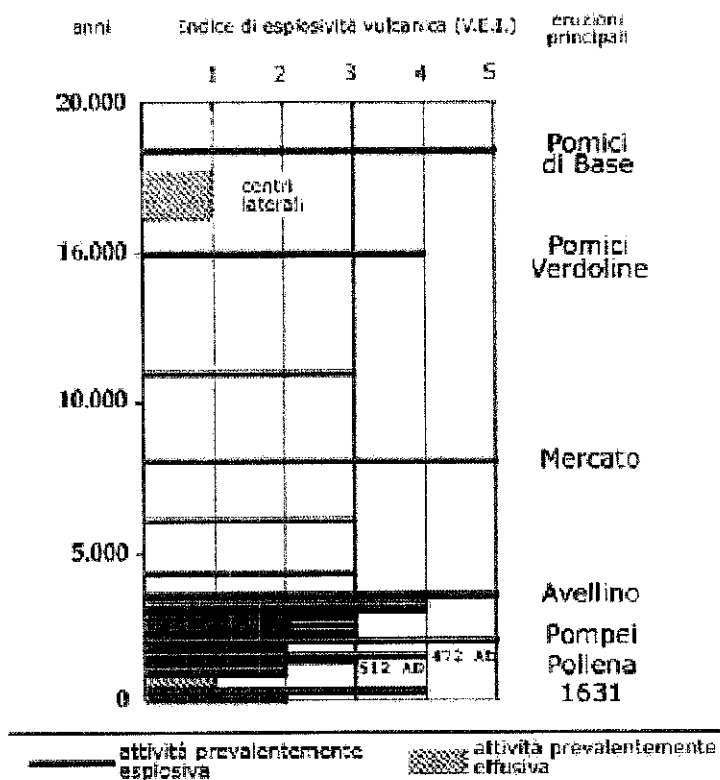


Figura 2.1- Diagramma della storia eruttiva del Vesuvio degli ultimi 20.000 anni. La lunghezza delle barre indica l'indice di esplosività delle eruzioni (Indice VEI). Sono indicate le principali eruzioni esplosive di tipo sub-Pliniano (VEI=4) e Pliniano (VEI=5).

Dopo l'eruzione delle Pomici di Avellino si verificano almeno sei eruzioni sub-Pliniane, di età compresa tra le eruzioni Pliniane di Avellino e di Pompei, anch'esse precedute da lunghi periodi di riposo.

Un periodo di attività molto intensa del vulcano, in termini di frequenza delle eruzioni e volumi eruttati, si verifica tra 3.500 anni fa e l'ultima grande eruzione del Vesuvio, quella del 1631. In questo periodo avvengono almeno 20 eruzioni i cui depositi sono ancora ben riconoscibili nelle sequenze esposte nelle numerose cave alle pendici del vulcano. Da un punto di vista composizionale, i prodotti emessi in questo periodo sono caratterizzati da una maggiore variabilità rispetto ai prodotti dei periodi precedenti, con una prevalenza di magni a chimismo intermedio ed evoluto, ad elevata alcalinità. Di tutte le eruzioni di questo periodo le tre più importanti sono quella Pliniana delle Pomici di Pompei, avvenuta nel 79 d.C., la più famosa eruzione della storia della vulcanologia, e le eruzioni sub-Pliniane del 472 e del 1631. In particolare durante l'eruzione del 1631, il più modesto dei 7 eventi eruttivi sub-Pliniani della storia del Somma-Vesuvio, tutta la fascia di paesi compresi tra l'abitato di Pollena a nord, e quello di Torre Annunziata a sud-ovest, fu devastata dallo scorrimento di flussi piroclastici, che uccisero oltre 5.000 persone.

Queste tre ultime eruzioni Pliniane e sub-Pliniane sono state precedute da periodi di quiescenza più brevi rispetto a quelli che precedettero le eruzioni Pliniane più antiche, dell'ordine di alcuni secoli per le eruzioni del 79 d.C. e del 1631, e di non più di un paio di secoli per quella del 472.

Una frequente, anche se non molto intensa attività vulcanica caratterizza il Vesuvio nel periodo tra il 472 ed il XII secolo, con numerose piccole eruzioni classificabili da sub-Pliniane a stromboliane violente, ed una attività effusiva nell'area centrale, che porta alla formazione di un cono vulcanico simile a quello del Vesuvio attuale, poi largamente distrutto dall'eruzione del 1631.

Un'attività abbastanza simile a questa (a condotto aperto), inizia dopo l'eruzione del 1631 e perdura fino all'ultima eruzione avvenuta al Vesuvio nel 1944. Questo periodo è caratterizzato da un'attività effusiva dominante con colate di lava emesse sia dalla zona del cratere centrale che, più sporadicamente, da fratture laterali, che si aprono sui fianchi del vulcano, a ridosso delle aree densamente abitate del settore occidentale, come ad esempio durante le eruzioni del 1760 e del 1794. L'eruzione del 1944 chiude questo periodo di attività a condotto aperto, nel quale si verificano anche eruzioni

esplosive stromboliane o stromboliane violente, associate all'attività effusiva.

In definitiva l'attività storica del Vesuvio è caratterizzata dall'alternanza di periodi di attività prolungata a condotto aperto (es. 1631 - 1944) con eruzioni effusive o miste, con episodi esplosivi con  $VEI \leq 3$ , e di periodi di quiescenza di durata pluricentennale che vengono interrotti da eruzioni esplosive di energia maggiore, di tipo sub-Pliniano ( $VEI=4$ ) o Pliniano ( $VEI=5$ ). Il magma, di natura prevalentemente basica, tefritica o leucitica, nei periodi a condotto aperto, evolve da composizioni leucitiche a fonolitiche-tefritiche nelle eruzioni esplosive con  $VEI=4-5$ .

## 2.3 Il sistema di alimentazione del Vesuvio

Il funzionamento di un vulcano è fortemente dipendente dalla geometria, profondità e dimensioni del suo sistema di alimentazione, nonché da composizione chimica e contenuto in volatili del magma.

I dati geofisici, essenzialmente sismologici, e lo studio dell'evoluzione geochimica dei prodotti vulcanici emessi nel passato, hanno dato informazioni sul sistema di alimentazione magmatica del Vesuvio.

In generale, il sistema vulcanico del Vesuvio può essere considerato composto da una zona sorgente dei magmi, situata alla profondità di svariate decine di chilometri, nella porzione superiore del mantello terrestre, da zone di stazionamento (camere magmatiche) che si sono formate nella crosta terrestre, a profondità diversa, e da un sistema di condotti che ha messo in connessione la camera magmatica con la superficie attraversando la crosta e l'edificio vulcanico stesso. Le modalità di alimentazione profonda del vulcano, di risalita e stoccaggio dei magmi regolano la periodicità, l'intensità e la magnitudo dell'attività vulcanica.

### 2.3.1 Dati geochimici

Da un punto di vista geochimico, dati recenti sulla composizione e contenuto in sostanze volatili nelle inclusioni intrappolate all'interno di cristalli, suggeriscono l'esistenza, per lo meno nell'ultimo periodo di attività del vulcano, di un sistema magmatico profondo, intorno a 8-10 km di profondità. In questa zona i magmi di origine mantellica si differenziano e, in alcuni casi, alimentano direttamente l'attività effusiva o mista dei periodi a condotto aperto. In particolare, gli studi sulle inclusioni silicatiche nei minerali dei prodotti delle eruzioni vesuviane del 1794, 1822, 1872, 1906 e 1944 hanno evidenziato pressioni di cristallizzazione  $> 200$  MPa.

La distribuzione dei volatili nelle inclusioni silicatiche induce a credere che questa zona di accumulo fosse strutturata come un insieme di *tasche* di magma e condotti interconnessi che si sviluppavano in verticale a profondità maggiori di 8 Km. Questa zona di accumulo è la zona "sorgente" delle masse magmatiche più ricche in volatili che hanno controllato la dinamica delle eruzioni con  $VEI$  circa 3 del periodo recente (1631-1944).

Dati raccolti sui prodotti di alcune delle maggiori eruzioni Pliniane vesuviane evidenziano, inoltre, che il magma basico si è evoluto stazionando anche in serbatoi magmatici più superficiali, ad una profondità stimabile intorno ai 5-6 Km. Tutto questo permette di ipotizzare l'esistenza di un sistema complesso di serbatoi magmatici, probabilmente anche variabile nel tempo, costituito da un serbatoio profondo da cui risalgono verso la superficie magmi basici che alimentano direttamente l'attività vulcanica, e da serbatoi magmatici più superficiali dove i magmi basici, probabilmente, provenienti dal serbatoio profondo stazionano a lungo e si evolvono producendo liquidi più differenziati, di composizione per lo più fonolitica, che alimentano le eruzioni esplosive recenti con  $VEI \geq 4$ . Questi serbatoi superficiali vengono svuotati durante le eruzioni Pliniane o sub-Pliniane.

### 2.3.2 Dati geofisici

Importanti informazioni sulla struttura interna del Vesuvio sono fornite dai risultati delle tomografie sismiche (sia attive che passive) effettuate recentemente al Vesuvio. Questi studi hanno evidenziato una zona profonda con caratteristiche sismiche anomale interpretabile come indicativa della presenza di un serbatoio (sill) di fusi o fluidi magmatici in una matrice porosa, con dimensioni orizzontali di circa 20 Km per 20 Km, ad una profondità di circa 8-10 Km. Pur non esistendo ancora un'interpretazione rigorosa e precisa, si suppone che il volume totale sia dell'ordine di 200-800 Km<sup>3</sup>. Sopra questo serbatoio profondo non sono stati evidenziati, dalla tomografia sismica, altri corpi magmatici con volume superiore a circa 0.5 Km<sup>3</sup> (limite di risoluzione dell'indagine tomografica). Inoltre, la presenza di una sismicità di background localizzata nei primi 6 Km di profondità, sotto il cono vulcanico, indica un comportamento fragile in questo intervallo di profondità, che porterebbe a escludere la presenza di camere magmatiche poco profonde e di grosse dimensioni.

## Capitolo 3

### Scenari Eruttivi

Dopo un lungo periodo di intensa e frequente attività eruttiva a condotto aperto, durato oltre tre secoli, dal 1944 il Vesuvio è in una fase di quiescenza. Allo stato attuale delle conoscenze non è possibile stabilire, neanche approssimativamente, la presumibile durata del riposo attuale.

Tuttavia, oltre 60 anni sono già trascorsi dall'ultima eruzione e certamente il condotto del vulcano è attualmente ostruito. Ne consegue che è molto bassa la probabilità che la prossima eruzione possa avere le caratteristiche di uno degli eventi tipici dei periodi di attività a condotto aperto, in genere dominati dall'emissione di colate laviche. Vi è, inoltre, da considerare che la pericolosità delle colate laviche è molto inferiore a quella delle eruzioni esplosive. A causa dell'aumento di viscosità prodotto dal raffreddamento, la lava ha infatti una velocità di avanzamento bassa e se può causare ingenti danni economici, solo raramente rappresenta un pericolo per le persone.

Per questi motivi l'analisi degli scenari eruttivi da porre a base dell'aggiornamento del piano d'emergenza, ha volutamente trascurato l'attività effusiva, che produrrebbe comunque fenomeni di bassa pericolosità e si è concentrata sulle eruzioni esplosive del Vesuvio, delle quali si fornisce di seguito una sintetica descrizione.

#### 3.1 Principali Tipi di Eruzioni Esplosive

Gli studi vulcanologici condotti negli ultimi anni al Vesuvio hanno portato a individuare i seguenti stili di attività esplosiva (o tipi di eruzione esplosiva), elencati in ordine di energia decrescente:

- eruzioni Pliniane;
- eruzioni sub-Pliniane I tipo;
- eruzioni sub-Pliniane II tipo;
- eruzioni stromboliane violente;
- eruzioni caratterizzate da emissione continua di cenere;
- eruzioni stromboliane medie (strettamente associate con attività effusiva).

La Tabella 3.1 sintetizza alcuni dei parametri caratteristici di queste eruzioni, quali durata del periodo di riposo che le precede, volume di magma emesso, valore di picco del tasso di emissione di magma (MDR = magma discharge rate), altezza della colonna eruttiva e produzione o meno di colate piroclastiche.

Tabella 3.1 - Stili di attività eruttiva del Vesuvio

Stile eruttivo	Riposo (anni)	Volume (Km <sup>3</sup> )	Picco MDR (Kg/s)	Altezza colonna (Km)	Colate piroclastiche
Pliniane	10 <sup>2</sup> -10 <sup>3</sup>	1-10	10 <sup>7</sup> -10 <sup>8</sup>	>20	si
Sub-Pliniane I	10 <sup>2</sup>	10 <sup>-1</sup> - 1	10 <sup>7</sup>	15-20	si
Sub-Pliniane II	10 <sup>2</sup>	10 <sup>-2</sup> - 10 <sup>-1</sup>	10 <sup>6</sup> - 10 <sup>7</sup>	10-15	minori
Stromboliane violente	10-10 <sup>2</sup>	10 <sup>-3</sup> - 10 <sup>-2</sup>	10 <sup>5</sup> - 10 <sup>6</sup>	5-10	no
Continue emissione di cenere	10-10 <sup>2</sup>	Fino a 10 <sup>-2</sup> cumulativo			no
Stromboliane medie	1-10	10 <sup>-3</sup>			no

Si osservi come il fenomeno eruttivo più pericoloso, le colate piroclastiche, è generato solo dalle eruzioni di maggiore energia, Pliniane (indice di esplosività vulcanica VEI=5) e sub-Pliniane I (VEI=4), e in minor parte anche dalle sub-Pliniane II.

Associate alle stromboliane violente non vi sono vere e proprie colate piroclastiche, ma solo la possibilità di generare valanghe incandescenti per scorrimento di accumuli instabili di scorie sul pendio ripido della parte alta del vulcano. Ricaduta di materiale piroclastico è invece associata a tutti i tipi di eruzione.

Nella Tabella 3.2 sono indicati alcuni parametri caratteristici dei depositi di ricaduta dei diversi stili eruttivi, quali tassi di accumulo, durata, dispersione (area racchiusa dalla linea di eguale spessore, isopaca di 10 cm) e densità del deposito. Sono trascurate le stromboliane medie e le emissioni di cenere continua per la loro modesta pericolosità.

Tabella 3.2 - Tipi di eruzioni e depositi di ricaduta

Stile eruttivo	Altezza colonna	Volume totale	Tasso di accumulo area prossimale	Durata	Area dell'isopaca 10 cm	Distanza sottovento 10 cm	Densità media deposito
	Km	m <sup>3</sup>	cm/ora		Km <sup>2</sup>	Km	Kg/m <sup>3</sup>
Pliniane	>20	10 <sup>9</sup>	10 - 20	Ore	>1500	100	500 - 1000
Sub-Pliniane I	15 - 20	10 <sup>8</sup>	5 - 15	Ore	300 - 1000	20 - 50	800 - 1500
Sub-Pliniane II	10 - 15	10 <sup>7</sup> - 10 <sup>8</sup>	5 - 15	Ore-giorni	200	15 - 25	800 - 1500
Stromboliane violente	5 - 10	< 10 <sup>8</sup>	2 - 10	Ore-giorni	50 - 250	<20	1100-1500
Continua emissione di cenere		< 10 <sup>8</sup>	mm/giorno	Anni	<250	<15	>1500

### 3.1.1 Eruzione stromboliana violenta

Le eruzioni stromboliane violente consistono in una espulsione esplosiva di gas e piroclasti (frammenti di magma e minori blocchi solidi di rocce preesistenti) che porta alla formazione di una colonna eruttiva di altezza variabile, da alcuni chilometri a una decina di chilometri e al lancio di grossi frammenti incandescenti fino a centinaia di metri di altezza. Questo tipo di eruzione è inoltre accompagnato dall'emissione di lava con formazione di colate laviche di grande volume ed estensione. In epoca storica al Vesuvio, questo tipo di eruzione ha avuto durata variabile da alcuni giorni ad alcune settimane e per eruzioni precedenti al 1631 è possibile una durata anche di mesi.

I depositi esplosivi di queste eruzioni consistono in strati di scorie, lapilli e ceneri. Possono formarsi anche uno o più coni piroclastici.

Negli ultimi tre secoli le eruzioni stromboliane violente avvenute al Vesuvio hanno avuto origine dal cratere centrale e sono state contrassegnate da due fasi: una fase caratterizzata dall'esplosività dei gas magmatici (fase magmatica) e una governata dall'esplosività prodotta dall'interazione del magma con acqua esterna sotterranea, geotermica o meno (fase freato-magmatica). In genere, nella prima fase, di durata variabile da ore a giorni, si sono avuti uno o più episodi di fontana di lava con sviluppo di nubi convettive di cenere di alcuni chilometri di altezza, che hanno prodotto un impatto rilevante sui comuni circumvesuviani. Le ceneri e i lapilli sottovento si sono accumulati al suolo raggiungendo spessori fino a oltre un metro nei centri abitati.

La fase freato-magmatica ha accompagnato la formazione di un grosso cratere ed è consistita nell'emissione di dense nubi di ceneri e vapore acqueo di qualche chilometro di altezza, la cui dispersione è avvenuta ad opera di venti di bassa quota (pochi chilometri).

Nell'eventualità di innesco di fasi freato-magmatiche, l'impatto includerebbe la deposizione di ceneri fini, umide e ricche di sostanze acide, sulle coperture degli edifici e sulle *life-lines* con accumuli particolarmente significativi entro pochi chilometri dalla bocca eruttiva. La deposizione delle ceneri sarebbe verosimilmente seguita dalla formazione di colate di fango (lahar). Oltre ai danni prodotti dall'accumulo di lapilli e ceneri, sono quindi attese distruzioni operate dalle colate di lava e dai lahar.

Le eruzioni stromboliane violente sono legate a condizioni di condotto aperto, e quindi attualmente sono poco probabili. Un'eventuale eruzione stromboliana violenta potrebbe assumere le caratteristiche di quelle avvenute recentemente all'Etna nel 2001 e nel 2002, caratterizzate dalla caduta di lapilli e cenere e dall'edificazione di coni di scorie, nonché dall'emissione di una o più colate di lava.

Per quanto riguarda la localizzazione della bocca eruttiva, oltre al cratere centrale, non si può escludere l'apertura di una bocca laterale, simile a quelle formatesi in epoca preistorica a Camaldoli della Torre, Pollena e vallone di Ottaviano, quando peraltro non si hanno evidenze di ceneri freato-magmatiche e di lahar associati.

### 3.1.2 Eruzione sub-Pliniana I

Le eruzioni sub-Pliniane I sono caratterizzate da fenomeni simili a quelle delle sub-Pliniane II, ma di maggiore intensità e pertanto la descrizione di queste ultime sarà compresa in quella delle sub-Pliniane I (di seguito indicate solo come eruzioni sub-Pliniane).

Lo scenario sub-Pliniano è caratterizzato da una fase di apertura, da una fase parossistica dell'eruzione della durata di diverse ore e da una fase finale che può anche durare giorni e durante la quale vengono per lo più disperse ceneri fini, in

genere confinate all'area vicina al vulcano.

Un esempio di eruzione sub-Pliniana è dato dall'evento del 1631. Durante questa eruzione, la fase di apertura durò un paio d'ore e fu caratterizzata da attività esplosiva freato-magmatica e vulcaniana di debole violenza generata da bocche eruttive apertesesi sul fianco occidentale del cono vesuviano. Seguì la formazione di una colonna convettiva di altezza progressivamente crescente con ricaduta di ceneri nei settori posti sottovento.

Al raggiungimento del regime eruttivo sub-Pliniano la dinamica dell'eruzione del 1631 fu caratterizzata dallo spostamento dell'attività eruttiva nel cratere centrale e dallo sviluppo di una colonna eruttiva fino ad una altezza tra 12 e 22 Km, sormontata da una nube a forma di ombrello che si disperse secondo la direzione dei venti dominanti ad alta quota (che in quel caso soffiavano verso Est).

In generale, durante questa fase delle eruzioni sub-Pliniane il materiale eruttivo leggero (pomice di dimensioni centimetriche, lapilli e ceneri) che si separa dai margini della colonna e dalla regione dell'ombrello è trasportato dal vento e ricade su un'area ellittica. I tassi di accumulo di questo materiale possono essere di 5-15 cm/ora (Tabella 3.2) ai piedi del vulcano, mentre sono decrescenti via via che ci si allontana da questo. Il materiale pesante (bombe vulcaniche e blocchi di roccia) è scarsamente influenzato dal vento e ricade al suolo a velocità elevata. I frammenti di grandi dimensioni (di diametro più che decimetrico) ricadono entro 1-1.5 Km dalla bocca del vulcano seguendo traiettorie balistiche di 1-2 Km di altezza; quelli di dimensioni pluricentriche possono essere sollevati fino a grande altezza (diversi Km) ricadendo dai margini della colonna e dalla regione dell'ombrello.

L'evoluzione delle eruzioni Pliniane è caratterizzata da un graduale aumento dell'altezza della colonna e da un allargamento della regione dell'ombrello. Tali cambiamenti si riflettono in un incremento del tasso di accumulo sottovento e in un aumento di dimensione dei frammenti che si separano dai margini della colonna e dalla regione dell'ombrello. Il regime eruttivo sub-Pliniano è accompagnato da continuo tremore del suolo percepibile fino a distanza di decine di Km e nel caso del Vesuvio fino a Napoli; l'intensità del tremore aumenta con l'aumentare dell'altezza della colonna eruttiva.

La fase di colonna sostenuta è seguita da una seconda fase, detta di colonna collassante, che dura al massimo poche ore, durante la quale la colonna eruttiva collassa su sé stessa provocando lo scorrimento di nubi di gas caldi e particelle (le colate piroclastiche), che costituiscono l'elemento di maggiore pericolosità associato all'eruzione sub-Pliniana. Queste nubi hanno un'elevata mobilità e la pressione dinamica associata al loro scorrimento è tale da distruggere in alcuni casi anche costruzioni in muratura. L'impatto sull'uomo è devastante, oltre che per la velocità del flusso (50-100 Km/ora), anche a causa dell'elevata temperatura (350°-600° C) e per la presenza di particelle fini, tali da provocare difficoltà respiratorie e soffocamento. Modelli numerici dello scorrimento di colate di questo tipo al Vesuvio hanno messo in evidenza come la cintura dei paesi circumvesuviani potrebbe essere raggiunta da queste colate in pochi minuti dalla loro generazione. Queste colate piroclastiche, che nelle eruzioni passate sono state la causa principale di distruzione sulle pendici del vulcano, possono in alcuni casi risentire di un effetto di schermo da parte della parete del Monte Somma. È stato questo il caso dell'eruzione del 1631, quando le colate piroclastiche che seguirono la fase di colonna sostenuta si dispersero prevalentemente nel settore occidentale e meridionale del vulcano, non interessando la fascia dei centri abitati comprendente i paesi di Somma Vesuviana, Ottaviano, San Giuseppe Vesuviano e Terzigno. I depositi delle altre eruzioni di tipo sub-Pliniano del Somma-Vesuvio e di tutte le eruzioni Pliniane mostrano tuttavia che i flussi piroclastici sono riusciti a scavalcare anche la parete del Monte Somma, coprendo praticamente l'intero vulcano. Per questo motivo, nello scenario di riferimento, è stato ritenuto opportuno considerare ogni settore del vulcano a rischio di scorrimento di colate piroclastiche, cioè tutta la fascia dei comuni circumvesuviani (zona rossa) da evacuare completamente in caso di riattivazione del vulcano.

Nel corso della fase di formazione delle colate piroclastiche si può verificare uno sprofondamento della caldera. Tale sprofondamento è accompagnato da due fatti salienti: *i)* l'occorrenza di ripetuti eventi sismici di forte magnitudo; *ii)* l'emissione di colate piroclastiche alimentate con tassi eruttivi molto elevati e che hanno una forte capacità di devastazione.

L'attività sismica può causare danni particolarmente gravi su edifici già appesantiti dal carico dei lapilli emessi nella prima fase dell'eruzione.

A seguito di fenomeni di interazione esplosiva di acqua esterna con la camera magmatica all'atto del collasso della caldera, la dinamica eruttiva, che caratterizza le colate piroclastiche con elevato tasso eruttivo, può diventare molto più violenta mettendo in gioco ulteriore energia.

Si sottolinea che una volta formate e messe in posto, le colate piroclastiche divengono ostacoli insormontabili ovvero non possono essere attraversate per giorni. Durante l'eruzione del 1631 una parte dei superstiti della fascia costiera non poterono allontanarsi via terra per l'impossibilità di attraversare i depositi ancora caldi e fluidi che tagliavano loro la strada sia in direzione di Napoli sia in direzione di Torre Annunziata. Questo rafforza l'esigenza dell'evacuazione preventiva delle zone esposte al pericolo di scorrimento delle colate piroclastiche.

Lo scenario di un'eruzione sub-Pliniana evolve in una fase finale caratterizzata da emissione di ceneri fini e abbondanti quantità di vapore che formano dense colonne che si innalzano di pochi chilometri sopra la bocca del

vulcano. L'emissione della cenere è all'inizio molto abbondante e, in poche ore, porta ad accumuli considerevoli entro distanze di 10-15 Km dal vulcano. Possono generarsi anche flussi piroclastici diluiti, detti 'surges', molto pericolosi per le elevate pressioni e temperature.

Un fenomeno di elevata pericolosità associato a questa fase dell'eruzione viene dalla possibile generazione e scorrimento di colate di fango, sia lungo le pendici del vulcano sia sui rilievi pedepenninici sottovento, prevalentemente nella zona ad Est del Vesuvio. Colate di fango di questo tipo, descritte con il termine indonesiano di "lahar", sono state osservate a seguito di tutte le maggiori eruzioni storiche vesuviane (anche di quelle stromboliane violente che hanno caratterizzato il periodo tra il 1631 ed il 1944). La pericolosità associata ai *lahar* è molto elevata, specie lungo i principali bacini di drenaggio e nelle aree soggette ad alluvionamento. I fenomeni di scorrimento delle colate di fango possono assumere caratteri particolarmente devastanti per effetto della sistematica distruzione, nei decenni passati, di opere di regimazione degli alvei, nonché per opere antropiche la cui costruzione non favorisce il deflusso delle acque provenienti dal vulcano e/o dai rilievi circostanti, anzi provoca effetti di contenimento delle stesse.

I fenomeni acuti di un evento sub-Pliniano si esauriscono di norma entro 3-4 giorni, dopo i quali si può avere una fase, che può durare settimane o mesi, in cui la dinamica eruttiva è caratterizzata da fenomeni attenuati, con emissioni di ceneri e vapori eventualmente associate ad attività sismica di media e bassa energia. A questa si accompagna, e segue, la mobilitazione di materiali eruttivi ad opera delle piogge (*lahar*) che può andare avanti per anni.

I tempi di recupero e di "normalizzazione" della vita e delle attività economiche potrebbero essere relativamente brevi nell'area interessata da caduta di cenere. Per quanto detto in proposito del carattere distruttivo delle colate piroclastiche, le zone che ne sono state investite, potranno avere un processo di recupero molto lungo. Per le aree interessate da *lahar* e da alluvionamenti il recupero è fortemente legato alla difficoltà di normalizzazione della rete idrica soprattutto in prossimità dei corsi d'acqua (*laghi*).

### 3.1.3 Eruzione Pliniana

L'eruzione di tipo Pliniano è quella di maggiore energia, e quindi la più distruttiva. In analogia a quanto detto per l'eruzione sub-Pliniana, quella Pliniana può essere suddivisa in quattro fasi: una *fase di apertura*, una *fase di colonna convettiva (sostenuta)*, una *fase di colonna collassante con formazione di colate piroclastiche* e una *fase finale* con prevalente emissione di ceneri fini, flussi piroclastici diluiti e ripetuta generazione di *lahar*.

La fase di apertura è generalmente di tipo freato-magmatico, anche se non va esclusa la possibilità di un'apertura caratterizzata da sola attività freatica (esplosioni di vapore pressurizzato senza diretto intervento di nuovo magma). La dinamica della fase di apertura può essere di tipo vulcaniano, con esplosioni di breve durata e formazione di colonne convettive cariche di ceneri, trasportate dai venti a bassa quota. Talvolta è possibile che si formino collassi parziali della colonna eruttiva, con formazione di piccole colate piroclastiche, confinate alla parte alta del vulcano. I danni, durante la *fase di apertura* di un'eruzione Pliniana non sono generalmente rilevanti e i depositi dei prodotti di caduta sono tipicamente limitati alle aree prossimali (10-15 Km al massimo), con spessori massimi di 10-15 cm, dispersi sottovento.

Durante la *fase di colonna sostenuta* si ha la formazione di una colonna con modalità e caratteristiche simili a quelle descritte per la sub-Pliniana I. Tuttavia, i fenomeni legati alla dinamica di un'eruzione Pliniana sono di maggiore intensità, durata ed energia, ponendosi a livelli più alti rispetto a quelli osservati per la sub-Pliniana. Nel caso di un'eruzione Pliniana si ha un'altezza della colonna maggiore di 20 Km e il tasso d'accumulo dei depositi ai piedi del vulcano è di 10-20 cm/ora. Anche la distanza massima raggiunta dai frammenti pesanti di dimensione pluricentrica risulta aumentata da un terzo a due volte quella prevista per gli eventi sub-Pliniani I. La maggiore energia dei prodotti dell'ombrello fa sì che frammenti di dimensioni pericolose per le persone possano cadere anche nei settori sopravvento al vulcano.

Alla fine di questa fase si può avere la migrazione verso condizioni di collasso della colonna. Il deposito è costituito da pomice di caduta di dimensioni grossolane nelle zone prossimali (fino a diversi metri di spessore), mentre la caduta di cenere può raggiungere distanze di centinaia di chilometri. Le colate piroclastiche associate a collassi di colonna parziali sono costituite da strati laminati ricchi in cenere fino a spessori di un metro. Alle fasi finali sono associati spessi depositi di flusso piroclastico. Più dell'80% del materiale totale viene eruttato in questa fase.

La fase *freato-magmatica*, che può durare per giorni, è caratterizzata dall'alternanza di brevi esplosioni magmatiche ed esplosioni freatomagmatiche, che producono colonne sostenute di breve durata fino ad altezze stratosferiche e generano colate piroclastiche sia dense che diluite disperse radialmente. Durante i primi stadi di questa fase sono possibili collassi calderici ai quali sono associati *lahar* e colate di detrito (*debris-flows*) controllati dalla topografia. Nelle aree prossimali e distali raggiunte dalle colate piroclastiche si ha la completa distruzione.

La *fase finale*, ancora a prevalente carattere freato-magmatico, può durare da qualche giorno ad alcune settimane, ed è caratterizzata da formazione di colonne di cenere sostenute nella zona troposferica (altezze minori di 10-12 Km). I depositi sono quelli tipici delle esplosioni freato-magmatiche, con strati di cenere e lapilli accrezionali. I danni agli edifici e alle strutture possono essere ingenti, anche nelle zone distali. Frequenti i fenomeni di *surges* piroclastici e quelli

di lahar generati da mobilitazione da pioggia dei depositi incoerenti su pendii ripidi.

### 3.2 La scelta dello scenario di riferimento

Uno degli obiettivi della ricerca vulcanologica è riuscire a stimare la probabilità che si verifichi un'eruzione in un determinato intervallo temporale e di valutarne la magnitudo e/o l'intensità. A tal fine, alcuni autori ipotizzano una distribuzione Poissoniana degli eventi, che sottintende l'ipotesi che l'intensità sia indipendente dal tempo di riposo e dall'intensità dell'eruzione che l'ha preceduta. Persiste, comunque, l'impossibilità di definire limiti massimi alla taglia dell'energia della prossima eruzione, come evidenziato in molti lavori scientifici. Recenti studi statistici suggeriscono che l'Eruzione Massima Attesa del Vesuvio (o EMA), considerata nel precedente Piano d'Emergenza (DPC 1995, DPC 2001), non è l'evento massimo che ci si può attendere in caso di riattivazione del Vesuvio e non escludono la possibilità che si possa avere un'eruzione significativamente maggiore dell'EMA, anche se con più bassa probabilità.

I risultati degli studi di Marzocchi et al. (2004) mostrano, inoltre, che la taglia dell'evento più probabile ha un VEI=3, cioè minore di quella dell'eruzione presa come riferimento nel precedente Piano d'Emergenza, di VEI=4. Questi studi sono basati sull'analisi dei cataloghi delle eruzioni di tutti i vulcani del mondo, di 17 vulcani "analoghi" al Vesuvio, e del Vesuvio stesso. Gli autori distinguono due diversi casi:

- eruzioni precedute da un tempo di riposo compreso tra 60 e 200 anni;
- eruzioni precedute da un tempo di riposo maggiore di 60 anni, ma senza limite superiore.

Entrambi i modelli, di fatto, si riferiscono a periodi di riposo a "condotto chiuso" (maggiori di 60 anni) ma, mentre il primo modello risulta più adatto per le previsioni a breve-medio termine, il secondo è preferibile per valutazioni a lungo termine.

La scelta dell'evento eruttivo di riferimento per la definizione dello scenario da porre a base della pianificazione d'emergenza, rappresenta ovviamente la scelta più delicata e difficile, ed è quella che più fortemente incide sull'intero Piano d'Emergenza.

Nel precedente Piano come EMA era stata scelta un'eruzione di tipo sub-Pliniano simile, ma non identica, all'eruzione del Vesuvio del 1631. Nel presente Piano, si supera il concetto di EMA, preferendo un approccio basato sulla valutazione della probabilità di accadimento dei diversi scenari, corrispondenti ai principali tipi di eruzione elencati in Tabella 3.1. Un modello probabilistico, basato sulla statistica Bayesiana, ha consentito di elaborare un cosiddetto "albero degli eventi" che applicato al Vesuvio, ha fornito i risultati mostrati in Tabella 3.3, che indicano, in caso di eruzione, la probabilità che si verifichi quella specifica tipologia eruttiva.

Tabella 3.3 - Probabilità condizionata di accadimento dei principali tipi di eruzioni  
da Marzocchi et al., 2004

	Stromboliane violente (VEI=3)	Sub-Pliniane I (VEI=4)	Pliniane (VEI=5)
Vesuvio: tempo di riposo tra 60 e 200 anni	72%	27%	1%
Vesuvio: tempo di riposo maggiore di 60 anni	65%	24%	11%

Questi risultati, la cui validità in assoluto risente delle scarse informazioni e dei pochi dati a disposizione per elaborare un modello probabilistico oggettivo, hanno comunque portato a ritenere che potesse esservi una probabilità non trascurabile (intorno al 10%) di avere uno scenario corrispondente all'evento massimo registrato nella storia eruttiva del Vesuvio (Pliniana con VEI=5). Occorre tuttavia osservare che questo risultato è fornito dagli eventi con periodo di riposo superiore a 60 anni, che comprende ovviamente anche quelli molto lunghi, di svariati secoli fino al millennio, che sembrano caratteristici di alcune eruzioni Pliniane del Vesuvio. La probabilità di un'eruzione Pliniana con VEI=5 scende a 1% se si considerano i periodi di riposo tra 60 e 200 anni (Tabella 3.3), periodo di riposo che corrisponde meglio a una valutazione a "medio termine" dell'evento possibile.

L'evento di minore energia (VEI=3) risulterebbe dalla Tabella 3.3 il più probabile. Si tratta di eventi (stromboliane violente) preceduti da periodi di riposo brevi, per lo più dell'ordine delle decine di anni, la cui pericolosità è sostanzialmente associata alla ricaduta di materiali piroclastici e alla formazione di lahar e senza colate piroclastiche.



Ciò premesso, si ritiene ragionevole che lo scenario di riferimento da utilizzare nel Piano d’Emergenza possa essere analogo a quello già assunto nel precedente piano e debba, quindi, essere un evento di tipo sub-Pliniano per le seguenti motivazioni:

- ha una probabilità condizionata di accadimento piuttosto elevata, di poco inferiore al 30%;
- corrisponde ad una scelta ragionevole di “*rischio accettabile*” considerato che la probabilità che questo evento venga ecceduto da un’eruzione Pliniana con VEI=5 è, nei prossimi 140 anni circa, di solo 1%;
- i dati geofisici non rivelano la presenza di una camera magmatica superficiale con volume sufficiente a generare un’eruzione di tipo Pliniano (vedi Tabella 3.1 e paragrafo 2.3.2).

Si fa notare, inoltre, che gli eventi più probabili (VEI=3), pur non producendo colate piroclastiche, possono dare origine a colate di fango che potrebbero invadere larga parte della zona esposta al pericolo di scorrimento di flussi piroclastici nell’evento di riferimento (VEI=4). Pertanto, la definizione della zona ad alto pericolo basata sull’evento di riferimento (VEI=4) copre anche l’area ad alta pericolosità per eventi indotti da eruzioni con VEI=3.

## Capitolo 4

# Pericolosità vulcanica e danni attesi per l’evento di riferimento

Sulla base dei fenomeni che caratterizzano l’eruzione di riferimento, si individuano tre zone a diversa pericolosità che si sovrappongono parzialmente: una zona esposta a flussi piroclastici, una esposta a ricaduta di materiale piroclastico e una esposta ad alluvionamenti e flussi di fango (lahar), di seguito descritte.

### 4.1 Zona esposta a flussi piroclastici (zona rossa)

I flussi piroclastici, a causa delle loro caratteristiche intrinseche e della loro velocità, rappresentano di gran lunga il fenomeno più pericoloso per le vite umane. I flussi prodotti nell’eruzione del 1631 interessarono tutti i versanti del Vesuvio risparmiando solamente le falde settentrionali del Somma. È comunque opportuno, ai fini della stesura del Piano di protezione civile, non considerare la parete calderica del Monte Somma una barriera insormontabile. Sarebbero infatti, sufficienti leggere modifiche nella posizione della bocca eruttiva e dei parametri dell’eruzione per produrre uno scavalamento di detta barriera ed il conseguente scorrimento delle colate piroclastiche in direzione anche degli abitati di Ottaviano, Somma Vesuviana e Sant’Anastasia. È opportuno ricordare che la modellizzazione fisica-numerica di colate piroclastiche con caratteristiche simili a quelle eventualmente producibili per collasso di una colonna Pliniana di tipo 1631 ha confermato che lo scavalamento della parete calderica del Monte Somma è possibile. La stessa modellizzazione ha inoltre indicato che il tempo di propagazione delle colate tra il cratere e le zone abitate della costa è di soli 10 minuti. Questo dato conferma l’assoluta necessità di una evacuazione preventiva delle aree esposte a pericolo.

I risultati delle ricerche recenti (Progetto Exploris) indicano come probabile che vi sia un livello di danneggiamento decrescente nelle zone abitate procedendo dalle parti più vicine al cratere a quelle più lontane, anche a causa dell’attenuazione della pressione dinamica dei flussi piroclastici determinata dall’impatto con le barriere dei primi edifici incontrati. Lo studio degli effetti causati dalle colate piroclastiche di eruzioni recenti indica inoltre, che il danno potrebbe essere considerevolmente ridotto, almeno nelle zone periferiche, se le aperture delle case (porte e finestre) venissero adeguatamente protette e rafforzate. Tuttavia, la pericolosità connessa alle elevate temperature e alla presenza di “polveri” in sospensione, nonché di gas tossici, impone di mantenere nel Piano l’evacuazione totale preventiva della zona rossa.

Il Gruppo di lavoro ha attentamente valutato l’opportunità o meno di modificare i limiti della zona esposta al pericolo di scorrimento di colate piroclastiche del precedente Piano d’Emergenza (zona rossa).

Nella figura 4.1 sono riportate tutte le informazioni utilizzabili a questo scopo: i) i limiti raggiunti dalle colate piroclastiche del 1631 e del 472 (peraltro questi ultimi con informazioni frammentarie); ii) i risultati delle più recenti simulazioni 3D del Progetto Exploris, relativi ad un evento assimilabile a quello di riferimento (VEI= 4, tasso di eruzione pari a  $5 \times 10^7$  Kg/s, contenuto in acqua = 2% in peso, diametro condotto = 350 m, velocità = 90 m/s, massa collassata = 90 %).

Nella maggior parte dei casi non si supera il limite della zona rossa del precedente Piano, tranne alcune eccezioni e in tal caso si tratta di depositi di *ash cloud*, di possibile origine co-ignimbritica, cioè dovuti alla dispersione convettiva e del vento della parte superficiale, meno densa, della colata piroclastica. Si tratta di fenomeni di pericolosità più bassa rispetto alla colata principale, più densa, che genera i depositi massivi, per la consistente diminuzione della pressione dinamica e della temperatura. Di contro i depositi massivi delle colate piroclastiche vere e proprie del 472, finora ritrovati, sono tutti ben confinati all'interno della zona rossa.

I limiti della zona rossa del precedente Piano erano stati scelti su base amministrativa, cioè coincidevano con i limiti dei comuni il cui territorio cadeva del tutto o in buona parte nell'area esposta al pericolo di scorrimento delle colate piroclastiche di un'eruzione sub-Pliniana. Ne risultava un contorno irregolare con alcune anomalie, anche di segno opposto, le più evidenti delle quali sono i comuni di Torre Annunziata e soprattutto di Pompei, le cui parti esterne sud-orientali potrebbero essere escluse dalla zona rossa, e il comune di Nola, la cui parte sud-occidentale vi andrebbe invece ricompresa così come la parte più orientale del Comune di Napoli, che comprende le circoscrizioni di Ponticelli, Barra e S. Giovanni a Tedduccio. Nella consapevolezza della delicatezza della questione e delle rilevanti implicazioni di ogni modifica dei confini della zona rossa, il Gruppo di lavoro suggerisce al Dipartimento della Protezione Civile di operare la scelta ritenuta più idonea per la salvaguardia della popolazione.

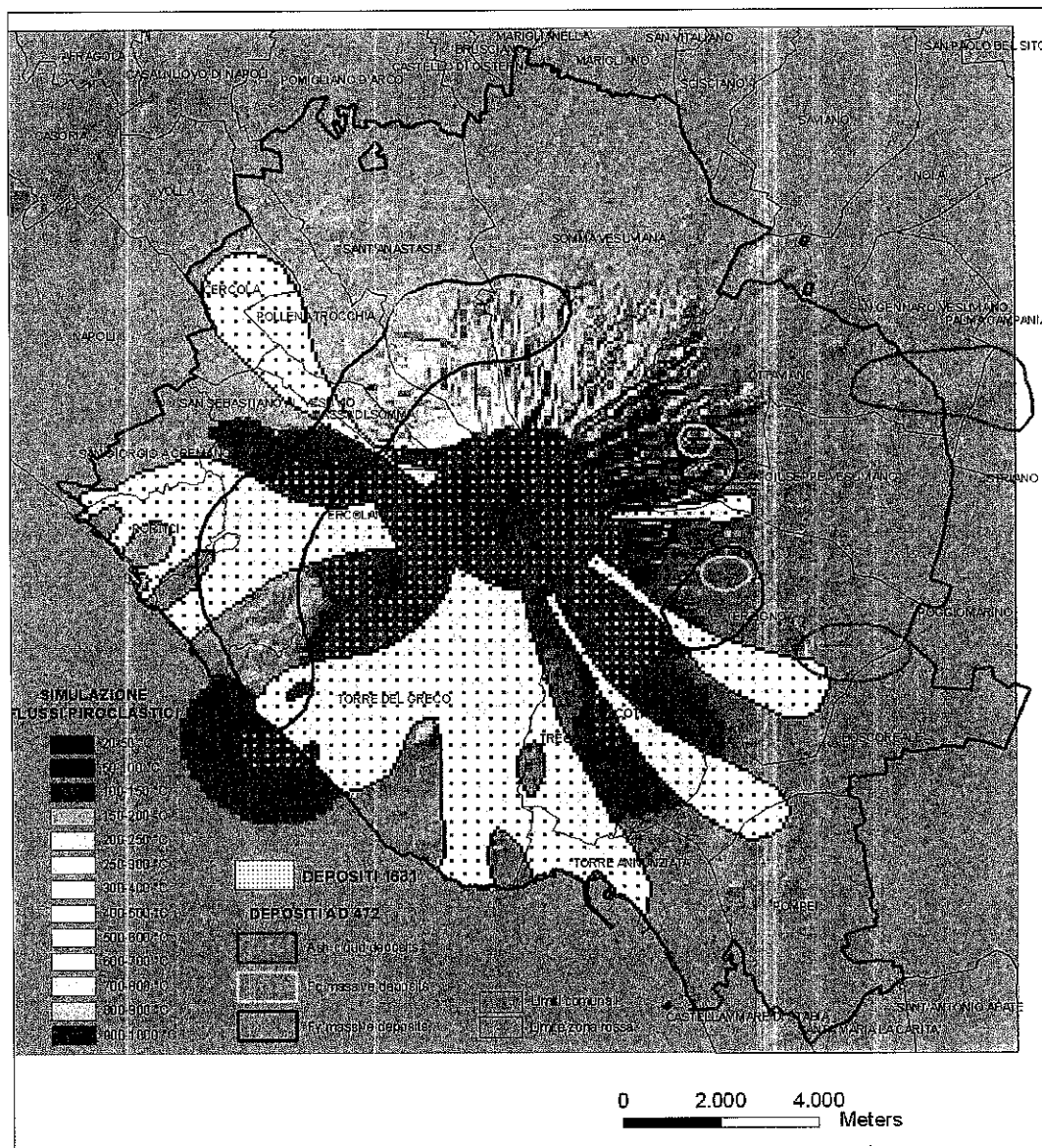


Figura 4.1 - Confronto depositi eruzioni del 1631 (Rosi et al., 1993) e del 472 (Sulpizio et al., 2005) con simulazione numerica 3D flussi piroclastici (T°)

L'unica variante che si suggerisce è che nella zona rossa venga ricompresa l'enclave appartenente al comune di Pomigliano d'Arco, ubicata fisicamente dentro i limiti di Sant'Anastasia.

## 4.2 Zona esposta a ricaduta di lapilli e cenere (zona gialla)

La ricaduta sottovento di lapilli e ceneri da una colonna sub-Pliniana causa disagi di varia natura e comprende la possibilità di accumulo del materiale disperso dal vento fino al possibile collasso delle coperture degli edifici. Spessori di deposito maggiori di 10 cm possono coprire aree di 300-1000 Km<sup>2</sup> a distanze di 20-50 Km dal vulcano (Tabella 3.2). Fino a distanze di alcuni chilometri la ricaduta di frammenti pesanti rappresenta un pericolo concreto per le persone che si trovano all'aperto, nonché per le coperture che possono essere seriamente danneggiate dalla caduta ad alta velocità di blocchi rocciosi.

È opportuno ricordare che, oltre al problema del collasso dei tetti, le condizioni in queste zone, pur non

immediatamente pericolose per la vita umana, saranno molto pesanti (oscurità, atmosfera irrespirabile, intasamento delle fognature, inquinamento delle acque, avvelenamento dei pascoli, difficoltà di circolazione, interruzione di linee elettriche e di comunicazione, possibilità di arresto di motori, ecc.) per cui potrà essere necessario provvedere all'allontanamento delle persone almeno dalle zone più pesantemente colpite. Nella Tabella 4.1 sono indicati i problemi principali che possono essere causati da depositi di cenere vulcanica di diverso spessore.

Nel precedente Piano di emergenza il limite della zona gialla era stato fissato ad un carico del materiale piroclastico di ricaduta di  $300 \text{ Kg/m}^2$  e la forma della zona era stata rappresentata in modo da tener conto della direzione prevalente del vento ad alta quota. Tale rappresentazione si prestava a equivoci, pur essendo chiaramente detto nel Piano che solo una parte della zona stimata, attorno al 10%-15% del totale, sarebbe stata effettivamente colpita in caso di eruzione.

Il Gruppo di lavoro si è molto impegnato su questo tema, giungendo a produrre nuove mappe e dati originali che vengono qui presentati per la prima volta, avvalendosi dei risultati dei Progetti Exploris e Speed, nonché della collaborazione del prof. Giulio Zuccaro.

I nuovi risultati riguardano i seguenti temi:

- Vulnerabilità delle coperture
- Simulazioni dei depositi di ricaduta di cenere da eruzione sub-Pliniana, per diverse direzioni del vento
- Stima dei probabili collassi delle coperture
- Elaborazione di una mappa di rischio.

#### 4.2.1 Vulnerabilità delle coperture al carico di materiale piroclastico

Rispetto alle valutazioni di vulnerabilità contenute nel precedente Piano, grazie a studi recenti si sono meglio definite le tipologie strutturali più diffuse delle coperture presenti nell'area esposta al pericolo di ricaduta di materiale piroclastico. Il territorio è stato discretizzato mediante una griglia radiale con centro nel cratere; ciascuna cella ha superficie costante pari a  $50.000 \text{ m}^2$  sino ad una distanza di circa 12 Km dal cratere (corrispondente approssimativamente alla zona rossa) per poi assumere la dimensione di  $200.000 \text{ m}^2$  per la zona più esterna (Figura 4.2). Alla cella vengono associati i dati relativi agli elementi a rischio che ricadono in quell'area (cioè caratteristiche tipologico-strutturali, popolazione etc.); ciò consente di eseguire analisi di impatto mediando i risultati sull'insieme degli elementi a rischio della cella.

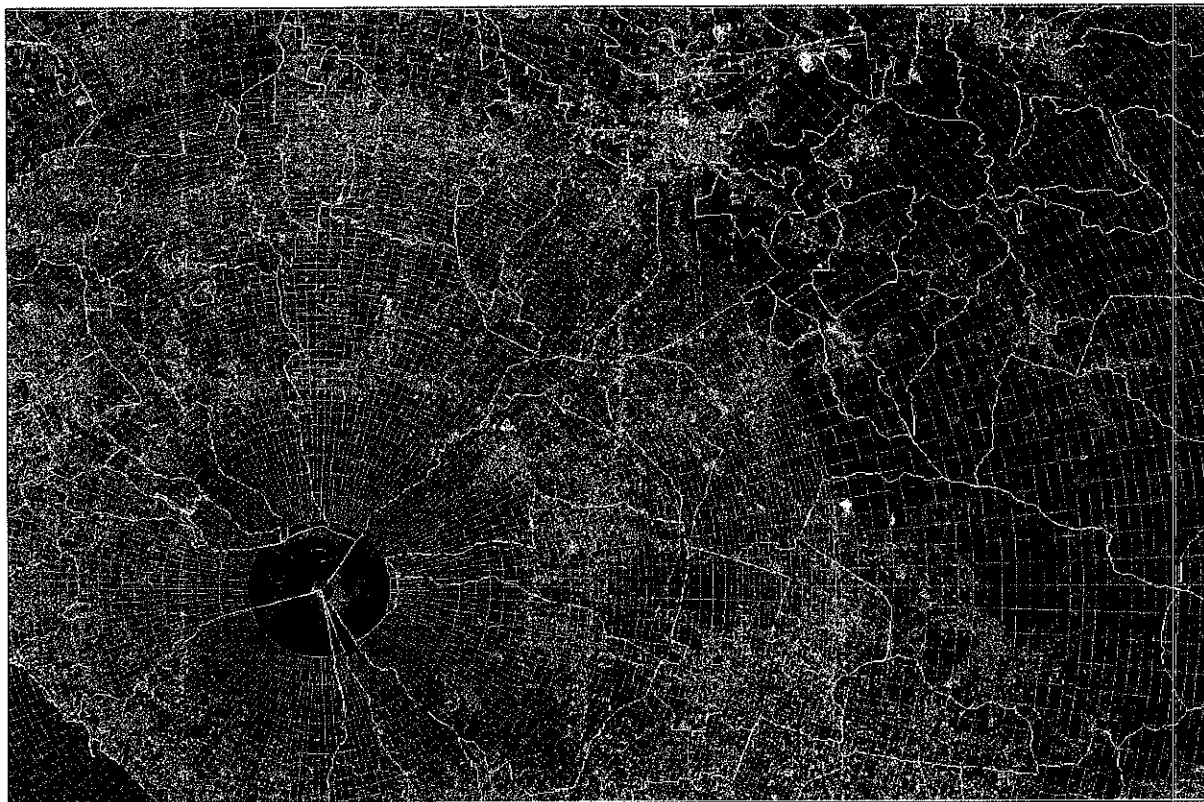


Figura 4.2 - Esempio di suddivisione del territorio in celle.

### Definizione delle classi di vulnerabilità delle coperture

La Tabella 4.2 riporta le classi tipologiche delle coperture per quali sono state stimate le funzioni di vulnerabilità, attraverso analisi numeriche agli stati limite e dati sperimentali (progetto Exploris - Figura 4.3).

Tabella 4.2 – Tipologie strutturali delle coperture considerate

TIPOLOGIA	DESCRIZIONE	Carico di collasso (probabilità 50%)	C: (p)
	Copertura a falde in legno di scarsa resistenza		
B_cop	Coperture piane in legno di fattura standard Coperture piane in latero-cemento tipo "SAP" Coperture piane in ferro e voltine (povere)	300	
C1_cop	Coperture piane in c.a. o latero-cemento non recenti (età > 20 anni)		
C2_cop	Coperture piane in c.a. o latero-cemento recenti (età < 20 anni) Coperture piane in acciaio di moderna concezione (con soletta armata)	700	
D_cop	Coperture a falda in c.a. recenti Coperture a falda in acciaio recenti e di buona resistenza	1200	

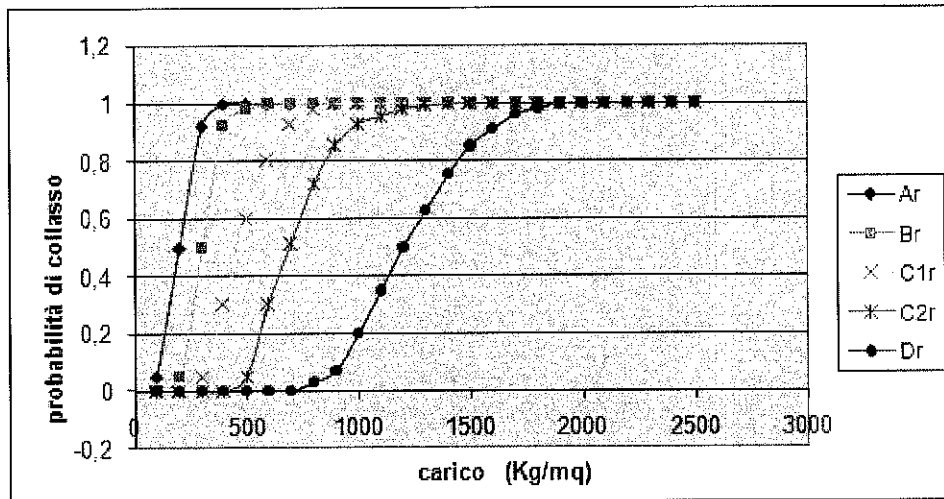


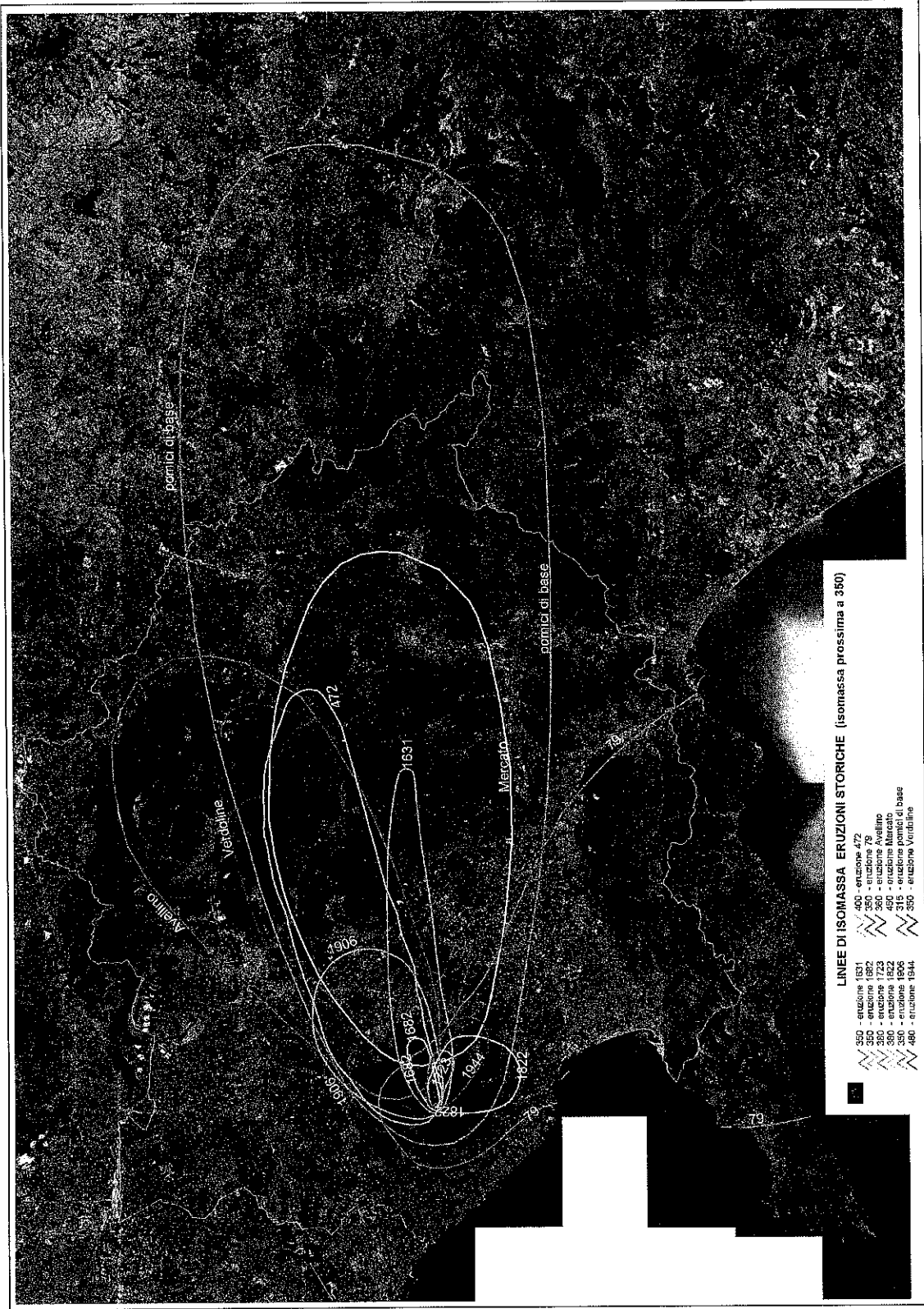
Figura 4.3 - Funzioni di vulnerabilità delle coperture

### 4.2.2 Simulazione dei depositi di ricaduta e stima dei collassi delle coperture

L'Osservatorio Vesuviano ha fornito 16 simulazioni della distribuzione a terra del materiale piroclastico prodotto da un'eruzione sub-Pliniana, assunta come evento di riferimento, avente le stesse caratteristiche (altezza della colonna = 18 Km, massa totale eruttata =  $5 \times 10^{11}$  Kg) ma con direzione variabile del vento. Per ognuno dei 16 settori considerati è indicata la probabilità (desunta dai dati NOAA per il decennio 1991-2000), che la direzione del vento porti il centro di massa del deposito di ricaduta all'interno del settore. I dati confermano che le probabilità più alte si hanno per i settori ad Est del vulcano, in accordo con la direzione di dispersione dei depositi di ricaduta delle eruzioni storiche del Vesuvio (Figura 4.4). La probabilità che il vento soffi verso Ovest, portando le ceneri di ricaduta ad investire la città di Napoli, è molto bassa, risultando sempre inferiore all'1% (Figura 4.5). Per ciascuna simulazione è stato adottato il profilo reale di velocità del vento più vicino alla media del settore.

Rispetto alla rappresentazione della zona gialla contenuta nel precedente Piano, l'attuale è preferibile perché consente di valutare gli effetti per uno specifico scenario eruttivo, per il quale viene anche fornita la probabilità di accadimento. Vi

sono alcune discrepanze rispetto alle curve di carico utilizzate per il Piano precedente. Queste discrepanze dipendono dal fatto che le simulazioni attuali sono basate su una nuova e più attendibile legge di caduta delle particelle, che utilizza anche una migliore stima della loro distribuzione granulometrica.



**LINEE DI ISOMASSA ERUZIONI STORICHE (isomassa prossima a 380)**

—	350 - eruzione 1831	—	400 - eruzione 472
—	350 - eruzione 1822	—	350 - eruzione 79
—	350 - eruzione 1723	—	350 - eruzione Avellino
—	350 - eruzione 1822	—	480 - eruzione Mercato
—	350 - eruzione 1806	—	315 - eruzione pomici di base
—	480 - eruzione 1844	—	380 - eruzione Verdoline

Figura 4.4 - Isopache dei carichi al suolo da caduta di cenere (tra i 300 ed i 450 Kg/m<sup>2</sup>) stimati dai depositi rilevati in campagna relativi ad eruzioni storiche, (modificata da Cioni et al. 2003)



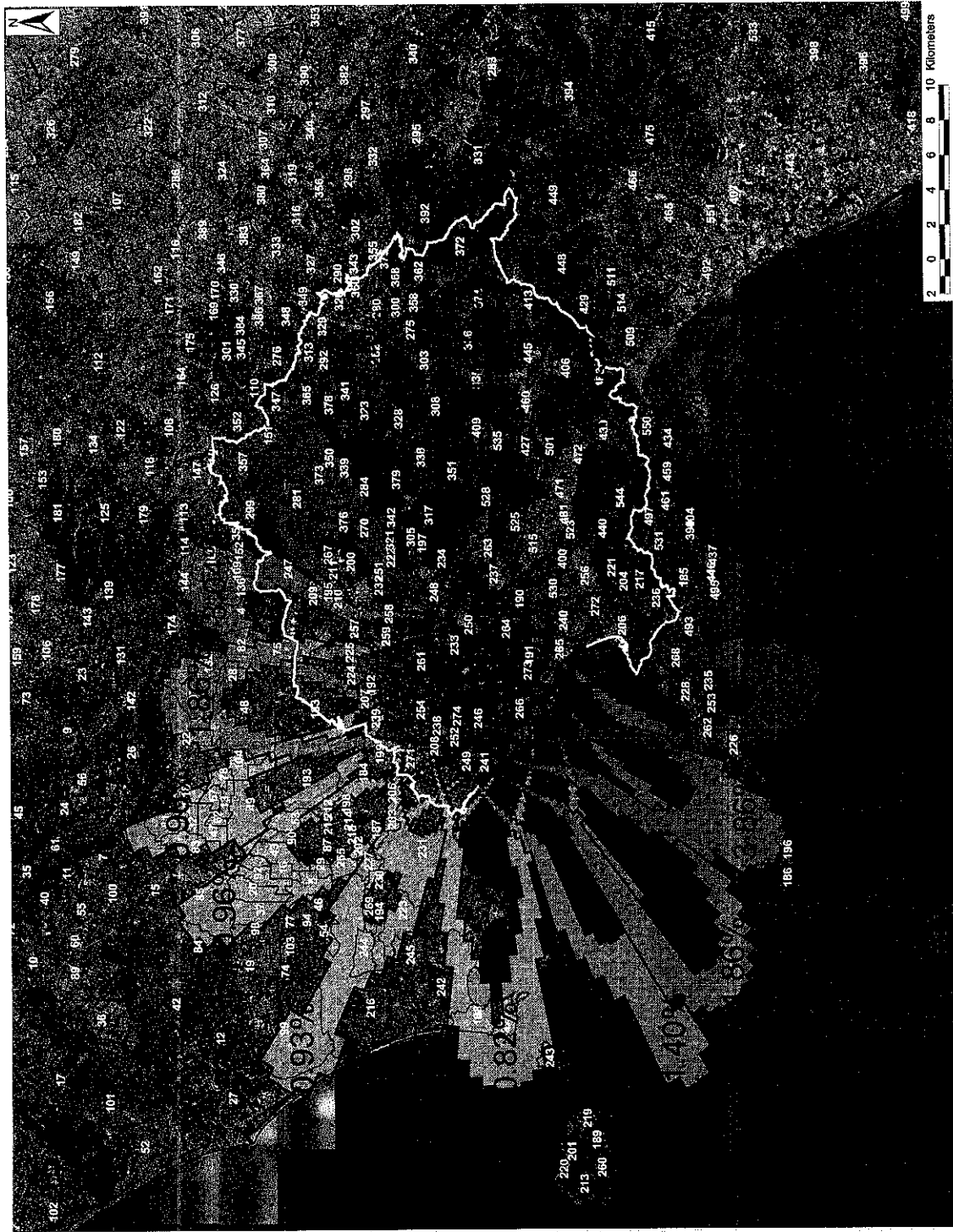


Figura 4.5 - Involuppo delle isopache con carico da cenere compreso tra 300-400 Kg/m<sup>2</sup> per direzione del vento variabile e per rispettive probabilità di occorrenza

## Mappe Tematiche

I risultati delle simulazioni e delle valutazioni dei danni sono riportati nelle Mappe Tematiche dell'album di Tavole allegato. Per ogni settore viene mostrata una prima mappa che descrive le linee di eguale spessore (isopache) del deposito di ricaduta fino a 1 mm. Queste mappe individuano le zone esterne, a distanza anche di molte decine o centinaia di chilometri dal vulcano, che possono essere interessate (con diversa probabilità) da caduta di cenere i cui spessori, se sono troppo ridotti per causare crolli delle coperture, possono comunque creare seri problemi ai pascoli, agli animali, alle vie di comunicazione, ai motori, alle linee elettriche e telefoniche, agli acquedotti e alle fogne. Le persone residenti in quelle zone (anche in quelle più esterne) dovranno essere educate a proteggere le vie respiratorie e gli occhi (Tabella 4.1). E' possibile, comunque, che le condizioni di vita anche all'interno di questa fascia esterna, almeno di quella più vicina alla zona rossa, divengano impossibili e che sia necessario allontanarvi almeno le persone più esposte al pericolo (anziani e bambini).

La seconda mappa riportata per ogni settore (nelle tavole allegate) indica i collassi attesi delle coperture degli edifici in ciascuna delle celle di discretizzazione del territorio prima descritte. Queste mappe sono state ottenute sovrapponendo le curve di carico del deposito di ricaduta (pure indicate nelle mappe) fornite dalle simulazioni, con i dati di vulnerabilità delle coperture (paragrafo 4.2.1).

In ciascuna Tavola è riportata anche una Tabella che riepiloga i danni attesi, in termini di numero di collassi e di senzateo, per ogni Comune del Settore interessato dalla ricaduta di cenere. Viene anche indicato se il Comune è compreso nella zona rossa o è esterno ad essa (zona gialla).

Per facilitarne l'identificazione sulle mappe ad ogni Comune è stato assegnato un numero. Ovviamente ogni Comune può essere investito da ricaduta di cenere per venti che la disperdono in settori vicini. A tale scopo in allegato è riportata la Tabella A che elenca in ordine alfabetico tutti i Comuni dove potrebbe aversi almeno un collasso delle coperture da carico di cenere. Per ogni Comune sono indicati i settori che potrebbero interessarlo, la probabilità di accadimento e il numero dei collassi che potrebbero prodursi per ricaduta piroclastica in quel settore. Sono questi i dati che ogni Comune deve considerare per valutare gli effetti più pericolosi (collassi delle coperture), che un'eruzione sub-Pliniana del Vesuvio può produrre sul proprio territorio, senza trascurare quelli indicati nella Tabella 4.1.

### *Mappa di rischio*

L'indice relativo di rischio per collasso delle coperture, nelle celle al di fuori della zona rossa, è riportato nella Figura 4.6, rapportato al valore 1 assunto per la cella con il maggiore numero di collassi. Questa mappa tiene ovviamente conto sia della probabilità che il vento provochi la ricaduta di cenere in un determinato settore, sia del numero degli edifici vulnerabili presenti in ogni cella di quel settore. Questo spiega perché nella zona di Napoli, pur con probabilità di accadimento inferiore all'1%, il numero elevato di edifici con coperture ad alta vulnerabilità determini valori di rischio non trascurabili. A scanso di equivoci, si precisa che in caso di eruzione solo una piccola parte dell'area intorno al vulcano, corrispondente ad un settore analogo a quelli indicati nelle Tavole allegate, verrà investita dalla ricaduta di cenere. La mappa di Figura 4.6 può servire invece per pianificare interventi di lungo termine per la riduzione della vulnerabilità.

### *Scenari di danno*

Le mappe delle Tavole allegate e le Tabelle riassuntive sui collassi delle coperture, indicano che nelle zone esterne, ma vicine al limite della zona rossa, si può avere un numero elevato di crolli delle coperture. Per questi motivi si è presa in considerazione la possibilità di disporre anche per queste zone, come per la zona rossa, un'evacuazione almeno degli edifici più vulnerabili al momento della dichiarazione dello stato di allarme per eruzione imminente. Un'analisi fornita dall'Osservatorio Vesuviano (Figura 4.7) indica tuttavia che la probabilità che il vento mantenga la stessa direzione, diminuisce rapidamente con il passare del tempo e al terzo giorno è già solo di circa il 10%. Si conferma pertanto che misure di prevenzione per queste zone sono possibili solo ad eruzione iniziata, quando si conoscerà l'effettiva direzione del vento e quindi il settore interessato. Come già positivamente sperimentato durante l'esercitazione Mesimex sul Vesuvio dell'ottobre 2006, la comunità scientifica è in grado di aggiornare continuamente, durante le fasi di preallarme e di allarme, le mappe di ricaduta dei materiali piroclastici, tenendo conto dei parametri reali del vento. Sarà quindi possibile mantenere continuamente allertati i Comuni interessati, fino all'allarme per ricaduta di cenere che coinciderà con l'inizio dell'eruzione.

Il Gruppo di lavoro suggerisce le seguenti due linee di azione:

- per l'immediato, cioè ai fini dell'attuale Piano, che i Comuni interessati individuino i loro quartieri più vulnerabili (numero di crolli superiore a 10) e che questi siano oggetto di evacuazione all'inizio dell'eruzione;
- per il futuro, cioè per una prossima revisione del Piano, occorre che le valutazioni di vulnerabilità scendano al dettaglio dell'edificio in modo da disporre di dati particolareggiati che consentano una pianificazione di emergenza più mirata a scala locale.

Come si evince dalle mappe allegate, non solo tutto il territorio della Regione Campania è interessato, pur con diverse probabilità di accadimento, ma anche le Regioni vicine (Abruzzo, Basilicata, Calabria, Lazio, Molise, Puglia) possono essere investite da ricaduta di cenere emessa dal Vesuvio, anch'esse con diversa probabilità di accadimento, indicata nel settore che le riguarda.

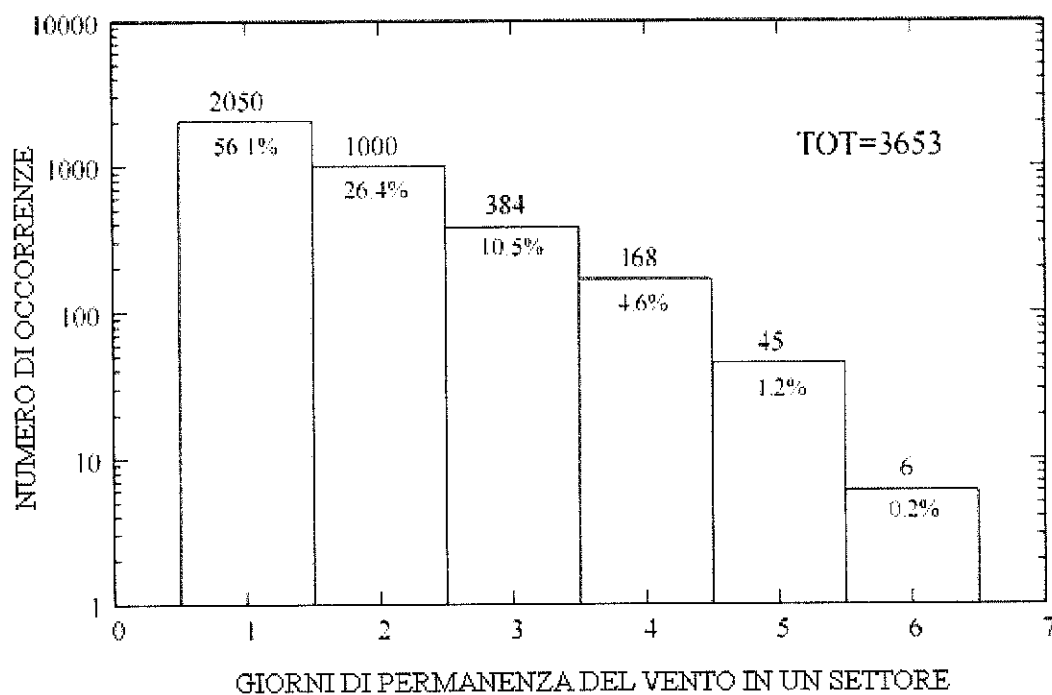


Figura 4.7 – Stima della probabilità di permanenza della stessa direzione del vento verso un settore. Per ogni periodo di tempo (da 1 a 6 giorni) è indicato il numero di casi riscontrati (su un totale di 3653 dati) e la probabilità relativa di permanenza del vento con la stessa direzione (da Osservatorio Vesuviano).

Tabella 4.1 – Probabili danni sulle infrastrutture prodotti da ricaduta di ceneri vulcaniche (tratto da Auckland Engineering Lifelines Project, Final Report, 1999).

<b>Infrastrutture</b>	<b>Spessore delle ceneri &lt; 1mm</b>	<b>Spessore delle ceneri 1-5 mm</b>	<b>Spessore delle ceneri 5-100 mm</b>	<b>Spessore delle ceneri &gt;100 mm</b>
<b>CONDUTTURE</b> Sistemi aperti (es. acque meteoriche)	Bassa probabilità	Alta probabilità	Alta probabilità	Alta probabilità
Sistemi chiusi	Trascurabile	Trascurabile	Trascurabile	Trascurabile
<b>EDIFICI</b> Tetto a terrazza	Bassa probabilità	Moderata probabilità	Alta probabilità	Alta probabilità
Tetto a falda (>20°)	Bassa probabilità	Moderata probabilità	Alta probabilità	Alta probabilità
<b>SERVIZI PER GLI EDIFICI</b> Aria condizionata	Bassa probabilità	Moderata probabilità	Alta probabilità	Alta probabilità
Grondaie	Bassa probabilità	Moderata probabilità	Alta probabilità	Alta probabilità
<b>RETE ELETTRICA</b> Linee di alta tensione	Trascurabile	Bassa probabilità	Moderata probabilità	Alta probabilità
Linee isolate - bassa tensione - alta tensione	Trascurabile Trascurabile	Moderata probabilità Bassa probabilità	Alta probabilità Moderata probabilità	Alta probabilità Alta probabilità
Linee sotterranee	Trascurabile	Moderata probabilità	Alta probabilità	Alta probabilità
<b>STRUTTURE CIVILI</b> Strade	Bassa probabilità	Alta probabilità	Alta probabilità	Alta probabilità
Ferrovie	Trascurabile	Moderata probabilità	Alta probabilità	Alta probabilità
<b>ACQUE REFLUE</b> Liquami	Bassa probabilità	Alta probabilità	Alta probabilità	Alta probabilità
<b>SISTEMI IDRICI</b> Fiumi/Ruscelli	Bassa probabilità	Alta probabilità	Alta probabilità	Alta probabilità
Riserve prive di copertura	Bassa probabilità	Moderata probabilità	Alta probabilità	Alta probabilità
Riserve con copertura/Falde	Trascurabile	Trascurabile	Trascurabile	Trascurabile
Serbatoi sui tetti	Bassa probabilità	Alta probabilità	Alta probabilità	Alta probabilità
<b>TELECOMUNICAZIONI</b> Dispositivi di scambio	Bassa probabilità	Alta probabilità	Alta probabilità	Alta probabilità
Linee	Trascurabile	Bassa probabilità	Moderata probabilità	Alta probabilità
Ponti radio a microne	Bassa probabilità	Moderata probabilità	Moderata probabilità	Alta probabilità
<b>INFRASTRUTTURE SPECIFICHE</b> Porti	Bassa probabilità	Alta probabilità	Alta probabilità	Alta probabilità
Aeroporti -trasporto aereo	Moderata probabilità	Alta probabilità	Alta probabilità	Alta probabilità

### 4.3 Zona esposta ad alluvionamenti e flussi di fango (lahar)

Questa zona è esposta al pericolo di alluvionamenti e di colate di fango e detrito (*lahar*) sin-eruttivi. Gli alluvionamenti sono causati, oltre che da piogge intense, dalla riduzione della permeabilità del suolo dovuta alla messa in posto di ceneri fini emesse durante l'eruzione (l'acqua meteorica, non infiltrandosi nel terreno, scorre prevalentemente in superficie e si accumula nelle zone morfologicamente depresse), mentre i lahar sono dovuti alla rimobilizzazione, causata dalle piogge, di piroclastiti sciolte (materiale di ricaduta) depositate su pendii ripidi.

Per quanto riguarda la pericolosità da lahar e da alluvionamenti sin-eruttivi, recenti studi permettono di identificare con maggiore dettaglio le aree esposte rispetto a quanto definito nei Piani precedenti. In particolare, tre aree distinte sono esposte a questi rischi:

- area Vesuviana;
- area Appenninica;
- area della Piana di Acerra-Nola.

#### Area Vesuviana

È costituita dalle zone circumvesuviane potenzialmente interessate dallo scorrimento di colate rapide di fango originate direttamente sulle pendici del vulcano (*lahar* s.s.). Quest'area coincide in larga misura con la zona rossa, anche se sono stati individuati alcuni depositi di lahar al di fuori di tale area, in concordanza con evidenze morfologiche che vedono un *apron* del vulcano leggermente più esteso (Figura 4.8). L'*apron* è un'area a bassa pendenza che raccorda le pendici del vulcano con le piane alluvionali circostanti. Questa fascia, grossolanamente circolare, è la zona di recapito dei materiali vulcanici risedimentati dalle colate di fango. L'*apron*, quindi, definisce, su basi geologiche e morfologiche, il limite estremo entro il quale è lecito attendersi l'invasione di colate rapide di fango (*lahar*) provenienti dal cono vulcanico. Nella carta di pericolosità (susceptibilità) da lahar della Figura 4.8 è riportato il limite dell'*apron* come risulta dal modello del terreno. L'area del cono a più elevata pendenza ha un'estensione di 75 Km<sup>2</sup>. I 6° corrispondono ad una rottura di pendenza e limitano approssimativamente l'area caratterizzata dalla presenza dei bacini sorgente. La zona compresa fra 0.5° e 6° delinea l'*apron* e ha un'estensione di 179 Km<sup>2</sup>.

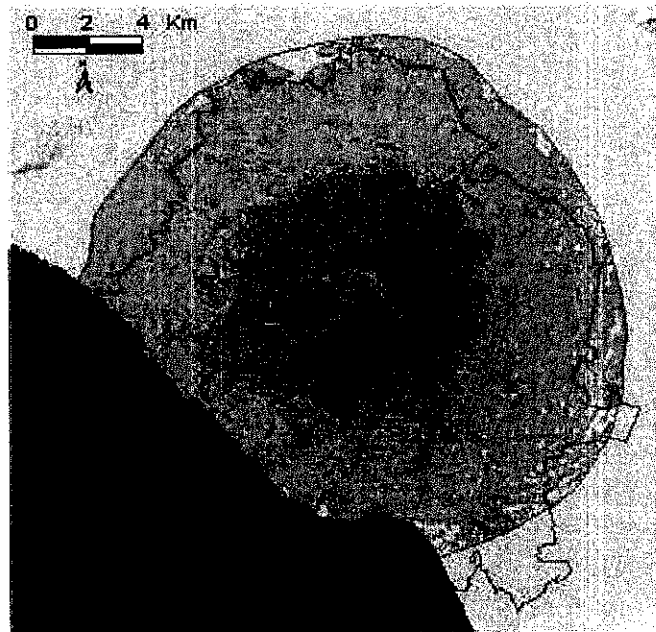


Figura 4.8 - Zona dell'*apron*, in celestino, con pendenza tra 0.5° (il limite di pendio ben identificabile dal modello del terreno) e 6°; in violetto le zone a pendenza maggiore di 6°. Sono anche riportati in blu i limiti dei bacini sorgente per i lahar e in rosso il limite della zona rossa.

L'area corrispondente all'*apron* include oltre ai 18 Comuni Vesuviani della zona rossa, anche parte del Comune di Napoli, in particolare porzioni delle circoscrizioni di San Giovanni, Barra e Ponticelli, e ancora porzioni marginali dei Comuni che si trovano a Nord del vulcano. Si fa presente, tuttavia, che l'energia delle colate di fango è fortemente

smorzata nelle parti marginali dell'apron e che occorrerebbe uno studio geomorfologico accurato per individuare le zone più esposte al pericolo che corrispondono a zone depresse e valli.

## **Aree Appenniniche**

La deposizione per ricaduta di piroclastiti sciolte in aree ad elevata pendenza è una situazione estremamente favorevole per la generazione di colate di fango e detrito (lahar) sia durante un evento eruttivo che nei periodi immediatamente successivi. Questo è certamente un pericolo da non sottovalutare nelle aree appenniniche sottovento nel caso di un'eruzione esplosiva. È lecito infatti, attendersi che il materiale piroclastico incoerente appena depositato, sia facilmente erodibile e divenga instabile su alte pendenze qualora diventi saturo in acqua ad opera della pioggia. Questo può avvenire per periodi anche relativamente distanti in termini temporali dall'evento eruttivo, da mesi ad anni. Tuttavia, la stabilizzazione dei depositi piroclastici non esaurisce i fattori di rischio nel medio e lungo periodo come dimostrano i numerosi tragici eventi di Sarno e della Penisola Sorrentina.

La mappa preliminare della pericolosità per lahar sin-eruttivi della Figura 4.9 è stata ottenuta sulla base:

- a) della zonazione morfometrica dei bacini sorgente;
- b) della definizione con criteri geomorfologici delle aree di invasione delle colate di fango sin-eruttive.

Sono stati distinti bacini con propensione al dissesto molto alta, alta, media, bassa. Anche le zone di versante (con forte pendenza) in cui non sono presenti bacini elementari, hanno una probabilità non nulla di formazione di lahar.

In caso di eruzione saranno ovviamente interessati solo i bacini acclivi ricoperti dai prodotti vulcanici di ricaduta (e quindi sottovento rispetto al Vesuvio in quei particolari giorni). Si stima che le aree a maggior pericolosità sono quelle racchiuse dall'isopaca di 40 cm; tuttavia, per ragioni prudenziali, conviene non trascurare le zone fortemente acclivi comprese tra le isopache di 40 e di 30 cm.

Per quanto riguarda le aree di invasione sono state considerate come potenzialmente invadibili tutte quelle aree che:

1. hanno rivelato la presenza di depositi da lahar sin-eruttivi negli ultimi 18.000 anni;
2. sono state invase da colate di fango recenti o comunque esistono informazioni storiche al riguardo;
3. sono rilevabili conoidi di deiezione contenenti depositi da colate di fango;
4. sono presenti depositi colluviali di versante che contengono o possono contenere depositi di colate di fango.

La mappa della Figura 4.9 indica le aree suscettibili a produrre lahar e le relative aree d'invasione. È anche indicata la probabilità che il vento produca ricaduta di piroclastiti in ogni settore dei rilievi Appenninici. Questa mappa deve considerarsi preliminare, in quanto dovrà essere completata estendendo gli studi a tutta l'area racchiusa dall'isopaca di 30 cm.

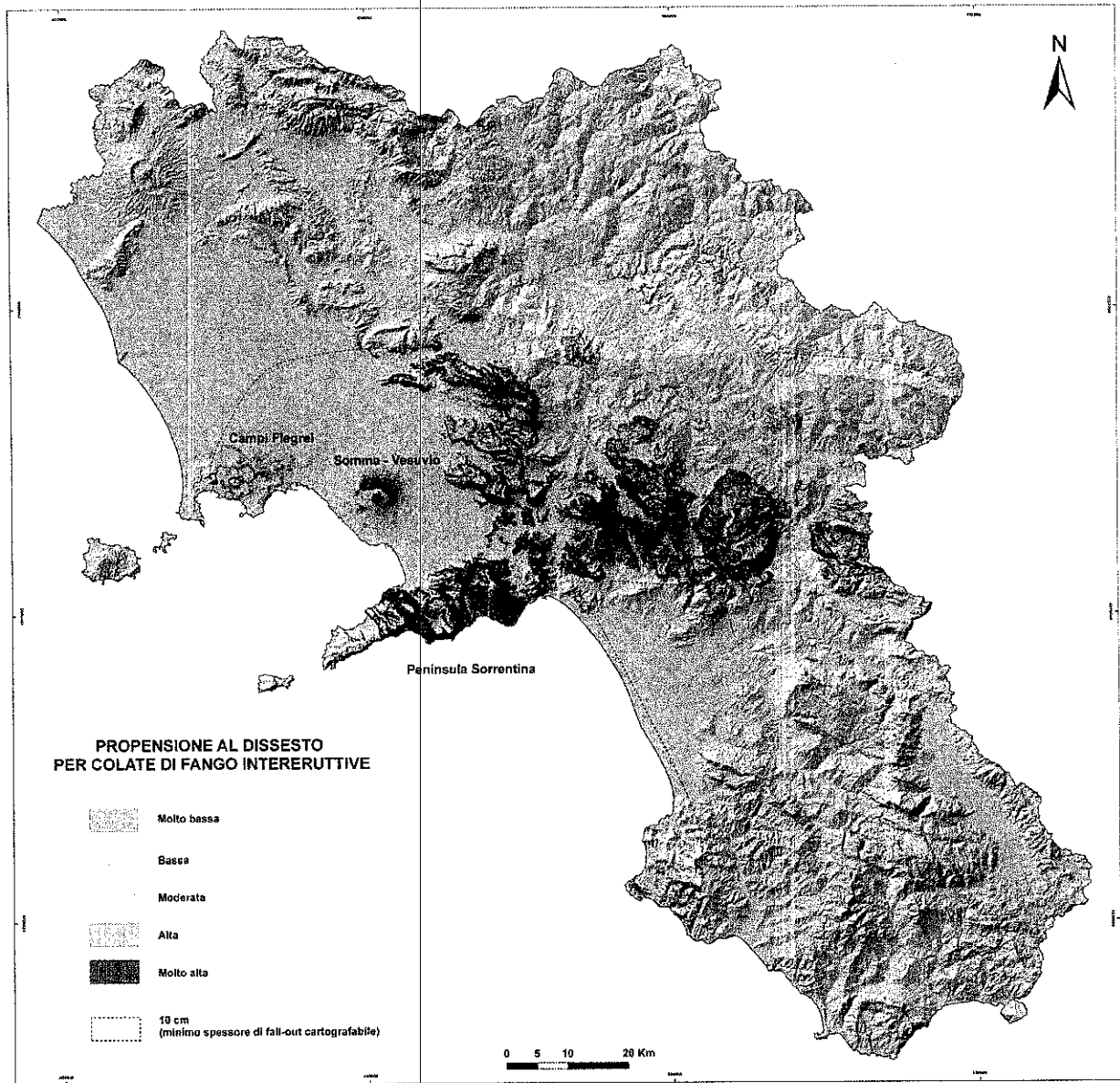


Figura 4.9 – Mappa preliminare della pericolosità da colate di fango sin-eruttive. Sono indicate le isopache di 30 e 40 cm del materiale piroclastico di ricaduta e le probabilità che il vento porti i depositi nei vari settori (vedi Figura 4.5).

## Pericolosità da alluvionamenti nella Piana di Acerra-Nola

Come conseguenza di un'eruzione sub-Pliniana tipo quella assunta come riferimento per il presente Piano, è probabile che si possano verificare fenomeni di alluvionamento diffuso. Sulla base di indagini storiche e morfologiche, la Piana di Acerra-Nola risulta essere quella potenzialmente più soggetta a fenomeni di alluvionamento sin-eruttivi. Questa conca manca infatti, di un naturale deflusso verso il mare, per la presenza proprio del Vesuvio. Il punto di deflusso della conca è ad Ovest, a circa 27 m s.l.m., lungo un alto morfologico che da Acerra va verso il cono del Vesuvio.

Partendo da queste considerazioni sono state effettuate (da ricercatori INGV-Pisa) diverse simulazioni utilizzando un modello numerico di afflusso-deflusso opportunamente tarato per il caso vesuviano e considerando un evento pluviometrico, con periodo di ritorno di 200 anni, della durata massima di tre ore (corrispondente al tempo di corrivazione per il bacino considerato). La quantità di pioggia che si è ipotizzata cadere in queste tre ore è di 143 mm, con un'intensità massima di 216 mm/h.

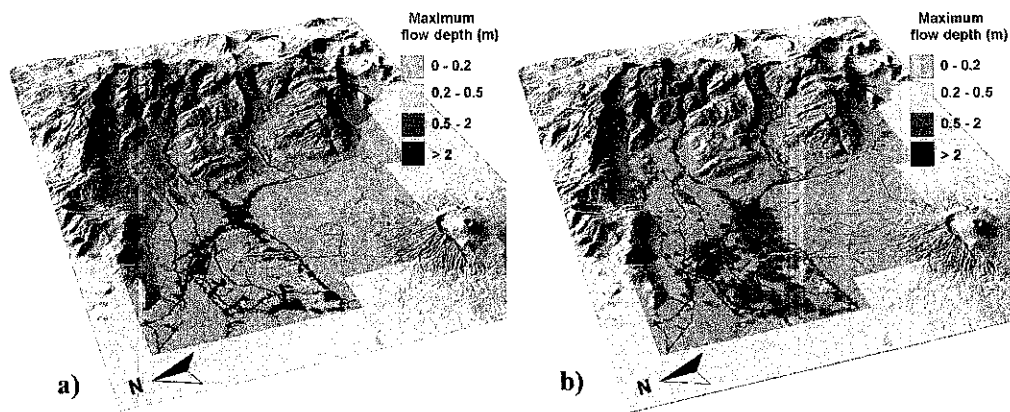


Figura 4.10 - Spessori massimi di acqua raggiunti in seguito ad un evento di pioggia con tempo di ritorno di 200 anni: a) permeabilità media del suolo di  $10^{-4}$  m/s in assenza di eruzione; b) considerando una zona a bassa permeabilità legata ad un evento eruttivo sub-Pliniano e dispersione delle ceneri verso Est, (probabilità di accadimento 17.16%), permeabilità del suolo  $10^{-5}$  m/s e permeabilità delle ceneri di  $10^{-6}$  m/s.

Le simulazioni effettuate permettono una migliore definizione delle aree potenzialmente soggette ad alluvionamento (Figure 4.10 e 4.11). Da esse risulta che almeno 30.000 persone vivono in aree che possono essere interessate da lame d'acqua di almeno 1 m; nella simulazione "peggiore" diventano 40.000. Sempre nella simulazione "peggiore" le aree con altezza massima d'acqua  $>1$  m hanno un'estensione di 33 Km<sup>2</sup>; 42 Km<sup>2</sup> quelle con altezze massime  $>0.2$  m e 3 Km<sup>2</sup> quelle con altezze  $>4$  m.

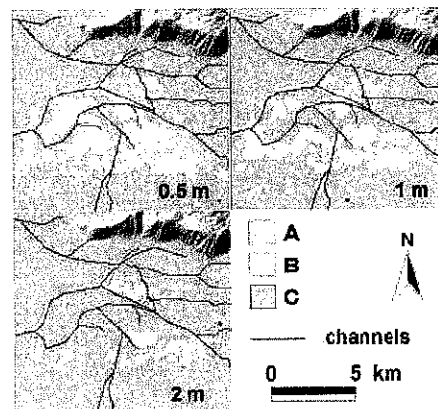


Figura 4.11 - Zonazione della pericolosità da alluvionamento per la piana di Acerra-Nola, per profondità massime di flusso sono considerate di 0.5, 1 e 2 m. Classe A: aree dove la profondità di flusso non è mai stata raggiunta in nessuna simulazione; Classe B:



aree dove la profondità di flusso è stata raggiunta almeno una volta; Classe C: aree dove la profondità selezionata è raggiunta in tutte le simulazioni (massima pericolosità).

### 4.3.1 Conclusioni e raccomandazioni sulla zona soggetta a flussi di fango

Le mappe delle Figure da 4.8 a 4.11, definiscono un primo nuovo limite (da estendere e completare) della “zona blu” che comprende le aree esposte al pericolo di scorrimento di colate rapide di detrito e fango (lahar) e quelle esposte al pericolo di alluvionamenti. Si tratta di fenomeni che possono avvenire nel corso dell'eruzione o subito dopo (sin-eruttivi) e che sono connessi alla ricaduta di piroclastiti disperse dal vento e alle forti piogge generate dalla condensazione delle grandi masse di vapore d'acqua emesse dall'eruzione.

La zona esposta al pericolo di scorrimento di lahar nel cono vesuviano coincide all'incirca con quella esposta al pericolo di scorrimento di colate piroclastiche (zona rossa).

La Figura 4.9 indica alcune delle zone esposte al pericolo di colate di detrito e fango sin-eruttive nei versanti appenninici situati sottovento rispetto al vulcano. I vari colori della mappa indicano la diversa propensione dei vari bacini a generare flussi di detrito e fango (diversa pericolosità) e delimitano le aree esposte al pericolo di scorrimento-invasione di fango.

Il Piano d'Emergenza deve prevedere l'immediato allertamento, ad eruzione iniziata, della popolazione residente nelle zone a rischio investite dalla ricaduta di cenere. La popolazione dovrà essere evacuata al raggiungimento, nei bacini sorgente, delle soglie pluviometriche previste dalla Regione Campania per le colate rapide di fango.

Per quanto riguarda la zona blu a rischio di alluvionamento si noti che la mappa della Figura 4.10 a) è in realtà la mappa di pericolosità da alluvionamento nella zona di Acerra – Nola in assenza di eruzione vulcanica e per un evento di pioggia con tempo di ritorno di 200 anni. La Figura 4.10 b) è la mappa di pericolosità per lo stesso evento di precipitazione, ma con il terreno ricoperto di cenere appena emessa dal vulcano. Si suggerisce che questi due diversi scenari vengano acquisiti dai Centri Funzionali della Protezione Civile Nazionale e della Regione Campania. Il primo deve essere utilizzato per l'allertamento di quelle zone quando la piovosità si avvicina al valore indicato. Il secondo è lo scenario di allertamento sin-eruttivo se il settore in questione sarà investito dalla ricaduta di piroclastiti, sempre con lo stesso livello di precipitazione. In altre parole la Protezione Civile deve adottare uno scenario che comporti l'evacuazione delle zone esposte nel caso che le precipitazioni si avvicinino ai valori indicati.

## 4.4 Pericolosità sismica

Si affronta qui un problema che era stato appena accennato nel precedente Piano, e cioè quello dei danni che potrebbero essere prodotti dai terremoti che di solito precedono e accompagnano l'attività eruttiva (si veda Del Pezzo & Zollo 2004, 2005).

L'area vesuviana è classificata in seconda categoria nella nuova zonazione sismica del territorio nazionale (OPCM 3274/2003 e sue modifiche e integrazioni successive). Ciò comporta una PGA di riferimento di 0.15-0.25 g con probabilità del 10% di essere superata in 50 anni.

Nel considerare però l'attività sismica del Vesuvio, bisogna tener conto che nelle strutture vulcaniche la distribuzione temporale e spaziale del rilascio di energia sismica è fortemente condizionato dalle alte temperature crostali, dalla bassa rigidità delle rocce legata alla elevata fratturazione del mezzo e dalla dinamica intracrostale del magma. Pertanto i terremoti vulcanici si generano in volumi contenuti, superficiali e sono associati a faglie di piccole dimensioni; la distribuzione caratteristica degli eventi è a sciami costituiti da moltissimi eventi di magnitudo moderata. In particolare l'attività sismica recente del Vesuvio (post 1972) è limitata ad una profondità non superiore a 5-6 Km con una concentrazione tra 2 e 3 Km. Il limite è legato alla presenza di temperature elevate che rendono il mezzo a comportamento duttile. La massima magnitudo registrata nell'attuale periodo di riposo del Vesuvio è stata di 3.6.

Per quanto riguarda l'attività sismica che ha accompagnato le grosse eruzioni del passato si hanno solamente scarse informazioni storiche. L'evento storico di maggiore energia è avvenuto nel 62 d.C. (17 anni prima dell'eruzione del 79) con intensità massima dell'VIII-IX grado MCS, magnitudo di  $5.0 \pm 0.5$ , profondità di circa 3-4 Km e ubicazione epicentrale non ben definita.

Le notizie storiche indicano che l'eruzione del 79 e quella del 1631 sono state precedute e accompagnate da un'attività sismica frequente e di moderata intensità.

Sulla base di quanto esposto, considerazioni ragionevoli portano a ritenere che il volume ipocentrale responsabile dell'attività sismica che accompagnerà una futura eruzione, sarà centrato al di sotto dell'area sommitale contenente il cratere del Vesuvio. Basandosi sulla distribuzione attuale della sismicità strumentale si può pensare ad un'area approssimativamente circolare avente un diametro di circa 5 Km e centrata sul cratere.

Considerando inoltre che per *stress-drop* dell'ordine di 50 bar il diametro di frattura di un terremoto di  $M=5.5$  varia tra

6.5–8.0 Km, si conferma l'ipotesi di localizzazione ipocentrale ad una profondità di 3–4 Km, in quanto profondità inferiori produrrebbero fratture che dislocerebbero in modo irrealistico la superficie terrestre. Una quantificazione accettabile dei suddetti ragionamenti, porta a considerare due scenari possibili per il massimo terremoto atteso al Vesuvio.

Il primo si basa sull'ipotesi "plausibile" che la magnitudo del massimo terremoto atteso sia data da una stima "conservativa" della massima magnitudo dedotta dalle Intensità riportate dalle cronache storiche, maggiorata dell'incertezza associabile. In questa ipotesi si ottiene un valore di  $M_{max}=5.5$ . Il secondo scenario si basa sull'ipotesi che la massima magnitudo attesa si derivi dalle statistiche su scala mondiale riferite ad eventi sismici pre-eruttivi verificatisi in aree vulcaniche confrontabili con l'area Vesuviana per caratteristiche eruttive. Si precisa tuttavia che tale ipotesi, che prevede una  $M_{max} = 7.0$ , risulta sovrastimata in considerazione delle dimensioni fisiche del vulcano (Del Pezzo e Zollo, 2005).

E' da notare comunque che anche in questo caso la magnitudo media derivabile è compresa tra 5 e 6.

Nella Figura 4.12 è riportata la legge di attenuazione calibrata per un evento con epicentro nel cratere e intensità epicentrale pari all' VIII grado MCS.

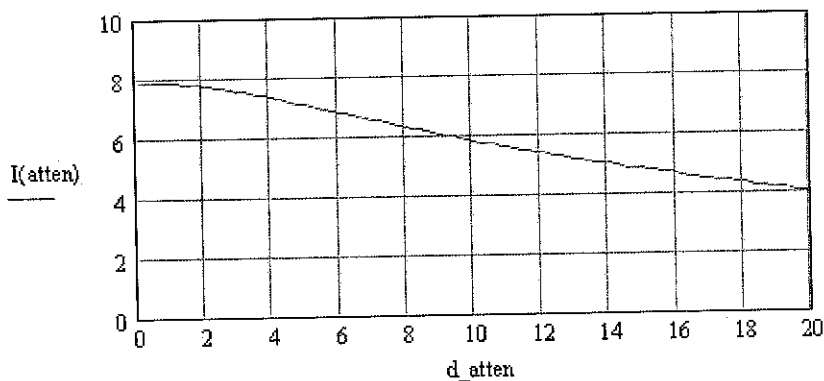


Figura 4.12 Legge di attenuazione in Intensità (I) utilizzata al Vesuvio; d = distanza dell'epicentro

## 4.5 Vulnerabilità sismica

### Vulnerabilità degli edifici e scenari di danno

Le valutazioni di vulnerabilità ed impatto sul costruito in area vesuviana conseguenti ad eventi sismici associati ad un'eruzione sub-Pliniana sono state derivate con l'ausilio di recenti ricerche sviluppate in ambito Europeo (Progetto Exploris).

Per valutare il danno sismico sono state elaborate funzioni di vulnerabilità in grado di restituire le distribuzioni di danno atteso in determinate strutture edilizie. Successivamente, attraverso elaborazioni numeriche, si sono definite funzioni di vulnerabilità che tenessero in conto la combinazione dei fenomeni attesi. Si sono, ovvero, determinate delle relazioni preliminari tra tipologia costruttiva, intensità e danno per sequenze di eventi o per coincidenza di eventi. Nello specifico si sono determinate funzioni in grado di valutare il danno alle strutture sia per eventi singoli sia quello cumulato in seguito ad una sequenza di eventi sismici in fase pre-eruttiva, oppure il danno alle strutture da coincidenza di un evento sismico in presenza di carico da cenere sulle coperture.

Una possibile sequenza di eventi per un'eruzione sub-Pliniana, tipo 1631 è sintetizzata nello schema che segue (Progetto Exploris).

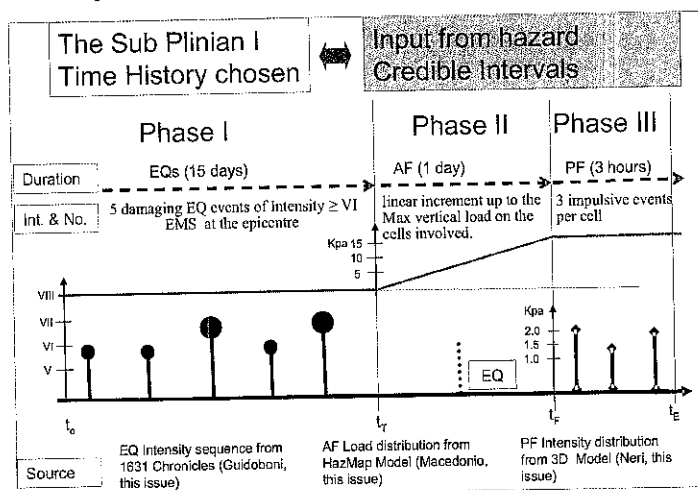


Figura 4.13 - Possibile sequenza temporale di fenomeni distruttivi per una eruzione sub-Pliniana, tipo 1631.

Il Gruppo di lavoro ha deciso di prendere in esame uno scenario di danneggiamento sismico pre-eruttivo conseguente al verificarsi di un solo evento di massima intensità attesa e ad una sequenza simile a quella del 1631. In merito alla massima intensità epicentrale attesa, si è deciso di considerare alternativamente i valori dell'VIII e del IX grado MCS. Si osserva che l'assunzione del IX grado di intensità epicentrale nell'area del cratere produce, a causa del decadimento con la distanza dell'energia, un'intensità dell'VIII grado per buona parte dell'edificato; ciò concorda con il massimo valore di intensità storicamente registrato in occasione di eventi eruttivi del Vesuvio e recupera anche l'ipotesi, meno probabile, ma storicamente verificata, di epicentri esterni all'area del cratere e collocati in aree urbanizzate con grado di danneggiamento dell'VIII grado. E' ovvio che questi casi creano un'area di danneggiamento limitata alle vicinanze dell'epicentro.

In merito, invece, alla sequenza sismica pre-eruttiva, dall'interpretazione delle cronache dell'eruzione sub-Pliniana del 1631, recentemente arricchitesi grazie alla traduzione dal latino antico di alcuni importanti trattati (Progetto Exploris), si è desunta una sequenza sismica VI-VI-VII, che è stata utilizzata per la stima del danno cumulato.

Si è considerato che durante la fase di caduta delle ceneri si possa verificare un ulteriore evento sismico di bassa intensità (VI). Tale evento che di per sé non produrrebbe importanti danni alle strutture, potrebbe procurare effetti non trascurabili in quanto il danno sismico viene considerevolmente amplificato dalla presenza del carico da cenere sulle coperture.

### Definizione delle classi di vulnerabilità sismica delle strutture

Le classi tipologiche di vulnerabilità sismica sono state definite a partire dalla classificazione della scala EMS, essenzialmente basata sulle caratteristiche delle strutture verticali, cui sono state poi combinate altre caratteristiche strutturali importanti per la risposta degli edifici soggetti a sisma, quali: le strutture orizzontali, la presenza di catene, l'irregolarità in pianta, etc. L'importanza di ciascun fattore nell'assegnazione dell'edificio alla classe di vulnerabilità è stato valutato nel corso del progetto SAVE (INGV-GNDT 2004) sulla base del database sul danno agli edifici raccolto in occasione di eventi sismici del passato (Zuccaro 2005).

Gli edifici residenziali presenti nella zona rossa sono circa 83.000; riguardo le caratteristiche di questi edifici si conoscono:

- per circa 25.000 le caratteristiche tipologico-strutturali sensibili ad una valutazione di vulnerabilità sismica, rilevate con una schedatura specifica
- per circa 28.000 la classe tipologica di vulnerabilità sismica (da studio aerofotogrammetrico)
- per i restanti 30.000 la classe tipologica viene stimata sulla scorta della distribuzione delle classi tipologiche note nella cella di appartenenza e della distribuzione media delle altre 8 celle limitrofe ad essa, ancorate ai dati ISTAT.

Si riportano in Figura 4.14 le funzioni relative ad intensità sismiche di VIII e IX grado e in Figura 4.15, a titolo di esempio, la vulnerabilità sismica del centro storico di Torre del Greco (Zuccaro et al. 2008).

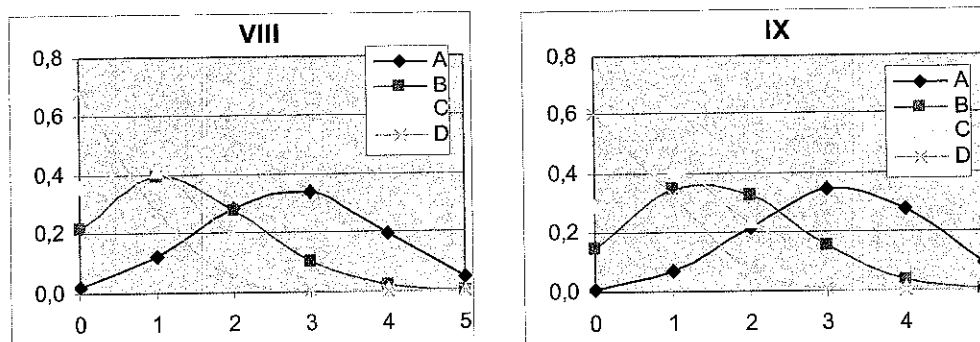


Figura 4.14 - Funzioni di vulnerabilità sismica – Distribuzioni del danno probabile per intensità sismica dell’VIII e del IX grado

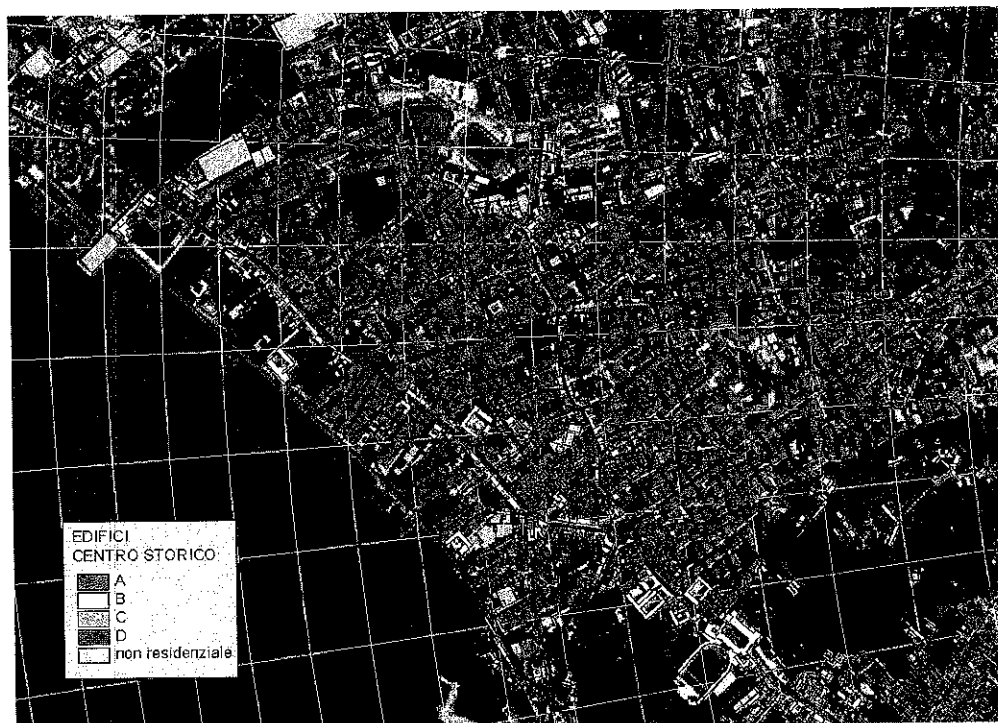


Figura 4.15 - Distribuzione classi di vulnerabilità sismica discretizzate per maglie della griglia (centro storico di Torre del Greco)

### Vulnerabilità Combinata

Le funzioni di vulnerabilità per valutare il danno cumulato prodotto da eventi sismici in sequenza e/o in coincidenza (carico da cenere, sisma) sono state valutate nell’ambito del Progetto Exploris.

### Esposizione e Vulnerabilità della popolazione

Per una valutazione di massima del danno atteso alla popolazione si è reso necessario avanzare una ipotesi sulla percentuale di residenti ( $W$ ); al riguardo ci si è riferiti ad una distribuzione plausibile di occupazione degli edifici da parte della popolazione nell’arco di una giornata per edifici a destinazione residenziale. Questa è stata desunta dai dati inseriti nella Banca Dati del Centro PLINIVS-UNINA.

Tabella 4.2 . - Distribuzione di presenza nell’arco di una giornata per edificio a destinazione residenziale

Orario	0 = 24	4	8	11	14.30	18	21
% Presenti	85 %	95 %	65 %	28 %	60 %	45 %	80 %
Media	0.65						
Dev. Standard	0.24						

Nell’analisi si è assunta una presenza effettiva media del 65% dei residenti ( $W = 0.65$ ).

Si ipotizza inoltre che il sisma maggiormente danneggiante avvenga ad evacuazione già in corso, pertanto si è assunto che solo il 65 % della media degli occupanti ( $W=0.65$ ) sia ancora nell’area.

Da cui la popolazione presente risulta dalla relazione:

$$W_s = 0.65 \times 0.65 = 0.4225$$

Il numero stimato di vittime dipende dal livello di danneggiamento degli edifici coinvolti, secondo le matrici riportate in Tabella 4.3 (Zuccaro 2005).

Tabella 4.3. - Matrice di danno alle persone per tipologia di edificio e livello di danno  $D_L$

$D_L$	0	1	2	3	4	5	
$Q_{Vj}$	0	0	0	0	0.03	0.14	Muratura
$Q_{Fj}$	0	0	0	0	0.06	0.28	c.a.
$Q_{Vj}$	0	0	0	0	0.12	0.56	Muratura
$Q_{Fj}$	0	0	0	0	0.10	0.42	c.a.

Dove  $Q_{Vj}$  e  $Q_{Fj}$  indicano rispettivamente la percentuale di morti e feriti fra gli occupanti dell'edificio che abbia subito danno  $D_j$  con  $j = (0, 1, 2, 3, 4, 5)$  secondo la classificazione del danno prevista dalla Scala Macrosismica EMS '98.

## Risultati

### Singolo evento con I=IX grado

I crolli totali o parziali attesi per singole celle sono indicati nella Figura 4.17. Il danneggiamento atteso è mediamente elevato per tutti i Comuni circumvesuviani. Emergono celle (ad esempio nei Centri Storici di Torre del Greco, Ercolano, Boscorecase, Terzigno, Ottaviano, Somma Vesuviana, Sant'Anastasia) con vulnerabilità sismica elevata. Da osservare che danni sono attesi anche al di fuori della zona rossa in particolare nei quartieri orientali di Napoli. Oltre alla pericolosità per le persone, sono da attendersi problemi seri alla viabilità a causa della potenziale ostruzione delle strade da macerie di crolli totali o parziali; questo specifico problema è trattato più avanti.

### Singolo evento con I=VIII grado

Più probabile del precedente, un evento di questo tipo causa ovviamente un danneggiamento minore. Persistono tuttavia numerosi crolli nei Centri Storici in precedenza indicati con potenziale pericolo per le persone (Figura 4.18).

### Sequenza tipo 1631: eventi con I= VI, VI, VII

Viene riportato il danno cumulato delle tre scosse. Il danno atteso è lieve, a parte alcune celle nei Centri Storici, ma molto diffuso. Pertanto sono da attendersi come molto probabili difficoltà nelle vie di comunicazioni (Figura 4.19).

### Sisma con I=VI successivo alla caduta di cenere (e a una sequenza sismica tipo 1631)

Viene considerato il danno in tre settori (n. 3, n. 4 e n. 5 vedi Album Tavole allegato) che hanno probabilità di essere investiti dalla ricaduta di cenere rispettivamente di 7.94% 13, 25 e 17.16%.

I danni attesi sono il risultato del danneggiamento complessivo dovuto alla sequenza sismica tipo 1631 e degli effetti prodotti da un terremoto con I=VI su edifici già danneggiati e gravati da un carico piroclastico pari a quello della simulazione in quel settore (Figure da 4.20 a 4.22). Nella zona rossa, che però dovrebbe essere stata già completamente evacuata, sono attesi un numero elevato di crolli, così come in alcune celle contigue alla zona rossa. Da sottolineare che compaiono alcune zone ad alta pericolosità che non figuravano per sola caduta di cenere. Se ne deduce che per motivi prudenziali, anche queste nuove aree ad elevata pericolosità sismica dovrebbero essere evacuate immediatamente dopo l'inizio dell'eruzione, quando sarà noto il settore investito dalla ricaduta di cenere.

## Considerazioni sul rischio sismico nell'area vesuviana

I dati presentati indicano che molti edifici della zona rossa hanno un grado di vulnerabilità sismica elevato e che pertanto sono da attendersi ingenti danni causati dai terremoti che con ogni probabilità si verificheranno nella fase pre-eruttiva di riattivazione del vulcano. Nella Tabella B riportata in allegato è indicato il numero dei crolli totali e parziali e dei senzatetto che potrebbero verificarsi in ogni Comune della zona rossa (e nei quartieri orientali di Napoli) come conseguenza di un sisma, con epicentro nel cratere del Vesuvio, e con intensità rispettivamente del IX e VIII grado MCS. Ne risulta un quadro preoccupante sotto due aspetti:

- è molto probabile che eventi sismici di questo tipo si verifichino prima che la zona rossa sia stata evacuata, perché una sismicità anomala fa parte dei fenomeni precursori che possono portare alla dichiarazione

dello stato di allarme; ne consegue che la vita di molti cittadini è a rischio essendo impossibile prevedere l'accadimento temporale delle scosse sismiche e che la Protezione Civile può trovarsi a dover fronteggiare una seria emergenza, compreso un probabile panico tra gli abitanti, ancora prima che venga dichiarato l'allarme per eruzione imminente;

le macerie risultanti dai crolli totali o parziali di edifici prospicienti le vie di fuga da utilizzare per l'evacuazione della zona rossa, possono comprometterne l'utilizzo, aggravando una situazione già compromessa per l'inadeguatezza ordinaria di questa viabilità.

Il Gruppo di lavoro suggerisce che questo problema venga seriamente affrontato dalla Protezione Civile, a livello sia nazionale che regionale. Il primo passo dovrebbe essere di promuovere un piano di prevenzione per la riduzione della vulnerabilità sismica in queste zone, dando priorità agli edifici il cui collasso potrebbe influenzare l'agibilità delle vie di fuga. Si riporta di seguito una prima valutazione della vulnerabilità sismica delle vie di fuga della zona rossa vesuviana ottenute dal Centro Studi PLINIVS nell'ambito del progetto Speed, anche grazie ad una collaborazione con l'Università di Roma 3.

## Scenario di Impatto Sismico sulle Vie di Fuga della Zona Rossa Vesuviana

La valutazione dello scenario di danno sismico potenziale lungo i percorsi individuati dal Piano di Protezione Civile per il Vesuvio rappresenta un'informazione utile alla pianificazione della messa in sicurezza di tali percorsi ed alla individuazione di percorsi alternativi nel caso in cui si rendesse necessario evacuare la popolazione dei diciotto comuni della zona rossa. Lo studio è stato effettuato utilizzando la banca dati sviluppata al Centro PLINIVS con indicazione della distribuzione in classi di vulnerabilità per ciascuna cella della griglia in cui è stato discretizzato il territorio vesuviano e le funzioni di vulnerabilità di danno calcolate in precedenti attività di ricerca per ciascuna classe di vulnerabilità. Si riportano nella prossima tabella le funzioni di vulnerabilità del danno utilizzate, che sono espresse nella figura 4.14 per le intensità VIII e IX.

Tabella 4.4. – Matrice di probabilità del danno alle strutture per tipologia di edificio

INTE	classe	D0	D1	D2	D3	D4	D5
	A	0,492927	0,374565	0,11385	0,017302	0,001315	4E-05
	B	0,6701	0,279291	0,046562	0,003881	0,000162	2,7E-06
	C	0,740328	0,229417	0,028437	0,001762	5,46E-05	6,77E-07
	D	0,916884	0,080256	0,00281	4,92E-05	4,31E-07	1,51E-09
	A	0,238582	0,39593	0,26282	0,087231	0,014476	0,000961
	B	0,406203	0,40099	0,158338	0,031261	0,003086	0,000122
	C	0,470251	0,382967	0,124754	0,02032	0,001655	5,39E-05
	D	0,839389	0,149564	0,01066	0,00038	6,77E-06	4,82E-08
	A	0,062803	0,232187	0,343368	0,253893	0,093867	0,013881
	B	0,269218	0,403971	0,242469	0,072767	0,010919	0,000655
	C	0,409796	0,40022	0,156347	0,030539	0,002983	0,000117
	D	0,767225	0,208779	0,022725	0,001237	3,37E-05	3,66E-07
	A	0,020073	0,118944	0,281931	0,334128	0,197994	0,04693
	B	0,216249	0,387456	0,277683	0,099506	0,017829	0,001278
	C	0,355724	0,408439	0,187586	0,043077	0,004946	0,000227
	D	0,678817	0,273433	0,044056	0,003549	0,000143	2,3E-06
	A	0,008387	0,067172	0,215197	0,344711	0,276085	0,088449
	B	0,146715	0,343261	0,321244	0,15032	0,03517	0,003291
	C	0,285459	0,406729	0,231807	0,066057	0,009412	0,000536
	D	0,598752	0,323409	0,069874	0,007548	0,000408	8,81E-06
	A	4,51E-05	0,001443	0,018464	0,118156	0,37805	0,483843
	B	0,080578	0,26383	0,345534	0,22627	0,074086	0,009703
	C	0,245138	0,397983	0,258451	0,083919	0,013624	0,000885
	D	0,526427	0,360409	0,098699	0,013514	0,000925	2,53E-05

### Descrizione della procedura

La procedura utilizzata per la definizione degli scenari di danno al grafo stradale delle vie di esodo ha seguito i seguenti passi:

- Sul grafo della rete stradale dei Comuni Vesuviani si sono individuati i singoli tratti stradali (link) oggetto di studio aventi dimensioni variabili e compresi fra due nodi.
- Ad ogni link stradale è stato attribuito un codice univoco chiamato Objectid.
- Dopo aver creato un buffer di 15 metri su entrambi i lati della carreggiata della rete stradale in esame, sono stati selezionati gli edifici ricadenti all'interno di quest'area o che semplicemente la intersecano.
- Per ogni link stradale si sono contati gli edifici di pertinenza, che sono stati successivamente raggruppati per classi di vulnerabilità sismica (A,B,C,D,X). La classe X include gli edifici non riconosciuti nelle classi di vulnerabilità previste cui è stata attribuita una vulnerabilità media.
- Successivamente si è calcolata la probabilità di interruzione di ognuno dei link, rispettivamente nell'ipotesi di un evento con intensità epicentrale IX o con intensità epicentrale VIII e localizzato nel cratere.

Questo calcolo è stato condotto con i passaggi descritti di seguito:

- A partire dall'intensità epicentrale, attraverso l'applicazione della legge di attenuazione, riportata in Fig. 4.12, è calcolata l'intensità in corrispondenza di ciascun link.
- Applicando le curve di vulnerabilità alla popolazione degli edifici rilevata per ciascun link, (con la corrispondente distribuzione di vulnerabilità), si è calcolata la distribuzione di danno attesa lungo il tratto stradale in esame.
- La probabilità di interruzione del link viene stimata in funzione del numero atteso  $N_c$  di edifici con collasso parziale o totale attraverso la seguente relazione

$$P_c = 1 - \frac{1}{N_c} \quad (1)$$

In Fig. 4.16 si riporta la funzione di probabilità rappresentata dall'eq. (1)

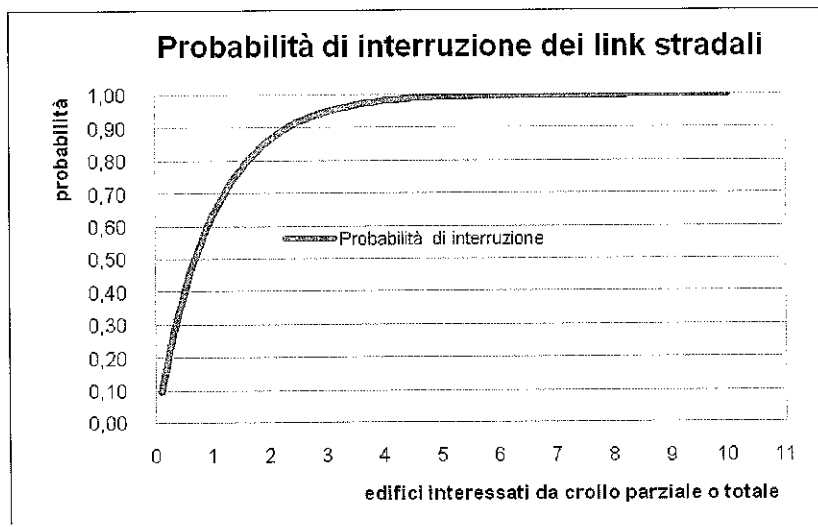


Fig. 4.16 Funzione di probabilità di interruzione dei link

I risultati presentati sia in forma tabellare che su mappa sono allegati alla presente relazione.





Figura 4.17 - Scenario di Danno (crolli: totali D5 e parziali D4) per un evento sismico di Intensità pari al IX grado EMS con epicentro nel cratere



Figura 4.18 - Scenario di Danno (crolli totali D5 e parziali D4) per un evento sismico di Intensità pari al VIII grado EMS con epicentro nel cratere

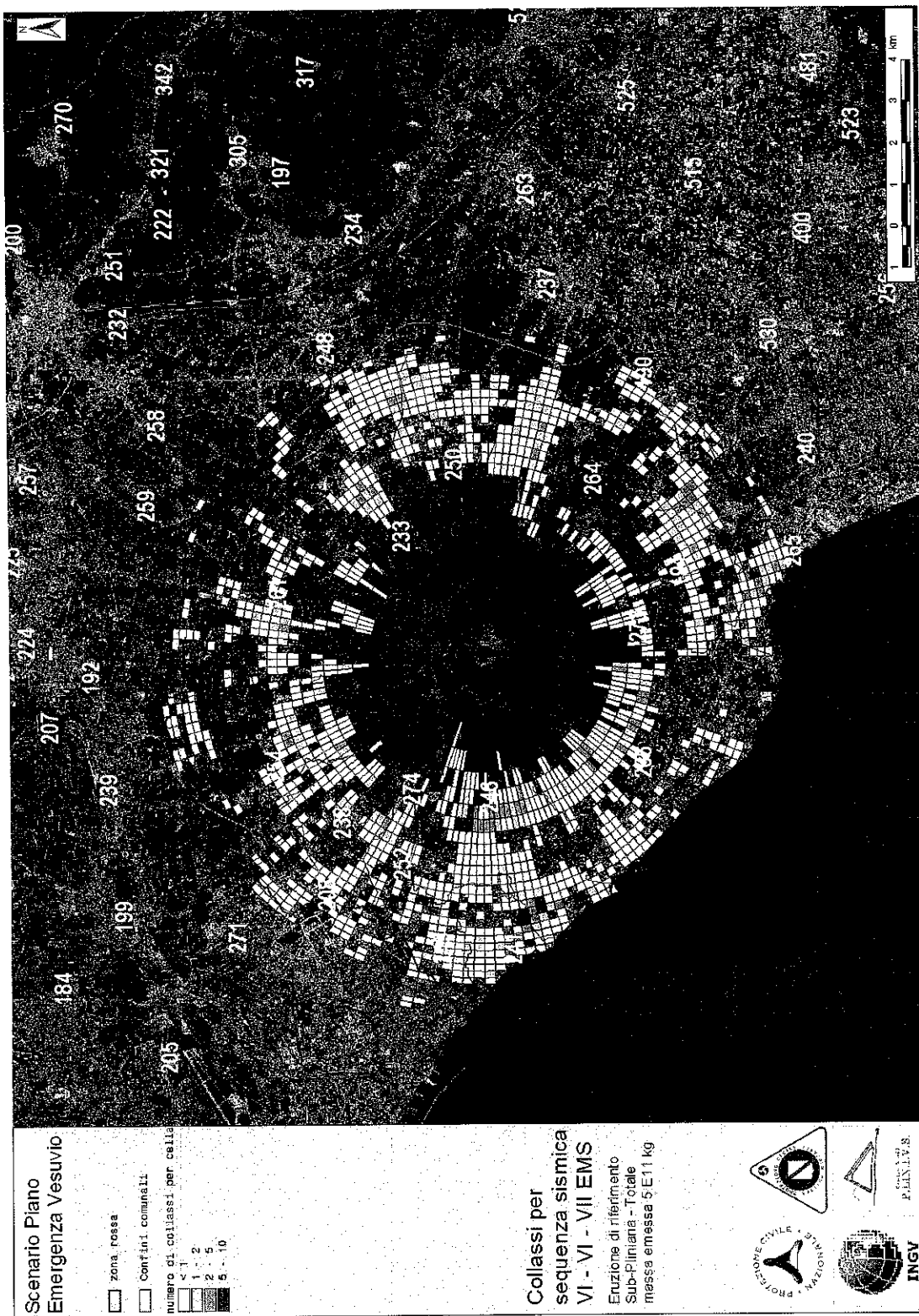


Figura 4.19 - Scenario di Danno (crolli totali e parziali) per una sequenza di eventi sismici di intensità VI - VI - VII grado EMS con epicentro nel cratere



Figura 4.20 - Scenario di danno (crolli totali e parziali) dovuto ad una sequenza di eventi sismici pre-eruttivi di Intensità VI - VI - VII grado EMS con epicentro nel cratere, alla caduta di cenere nel settore Est (probabilità 17.16%) e infine ad un ulteriore evento sismico di Intensità VI al 75% della fase di caduta di cenere.



Figura 4.21 - Scenario di Danno (crolli totali e parziali) dovuto ad una sequenza di eventi sismici di Intensità VI - VI - VII grado EMS con epicentro nel cratere, alla caduta di cenere nel settore Sud-Est (probabilità 13.25%) e infine ad un ulteriore evento sismico di Intensità VI al 75% della fase di caduta di cenere



Figura 4.22.- Scenario di Danno (crolli totali e parziali) dovuto ad una sequenza di eventi sismici di Intensità VI – VI – VII grado EMS con epicentro nel cratere, alla caduta di cenere nel settore Nord (probabilità 7.94%) e inoltre ad un ulteriore evento sismico di Intensità VI al 75% della fase di caduta di cenere.

# Capitolo 5

## Livelli di Allerta

### 5.1 Descrizione

Il Gruppo di lavoro ritiene che vadano mantenuti gli stessi livelli di allerta già previsti nel precedente Piano di Emergenza, e precisamente:

- BASE (VERDE)
- ATTENZIONE (GIALLO)
- PREALLARME (ARANCIONE)
- ALLARME (ROSSO)

I livelli di attenzione, preallarme e allarme corrispondono ad un aumento progressivo delle probabilità di riattivazione eruttiva del vulcano e implicano una risposta crescente del sistema di Protezione Civile, che culmina (livello di allarme) con l'evacuazione della popolazione presente nella zona rossa, esposta allo scorrimento di colate piroclastiche e di lahar. Il sistema di monitoraggio, gestito dall'INGV-Osservatorio Vesuviano, consiste nel controllo dei seguenti parametri principali, che verranno di seguito descritti:

- Sismicità (distribuzione spazio-temporale delle scosse, energia, meccanismi focali, caratteristiche spettrali);
- Deformazioni del suolo (movimenti verticali e orizzontali) monitorati con tecniche varie (livellazioni, geodimetria, clinometria, GPS, mareometria, Interferometria SAR);
- Variazioni geochimiche (flusso di CO<sub>2</sub> e di calore, variazioni di temperatura e della composizione chimica e isotopica delle fumarole e delle acque termali);
- Altre informazioni utili possono inoltre venire da variazioni nei campi gravimetrici, magnetici ed elettrici, nonché da osservazioni geologiche e vulcanologiche (per esempio, aperture di nuove fratture, variazione del livello delle falde e della portata di sorgenti, comparsa di nuove fumarole).

L'obiettivo del sistema di monitoraggio è di riconoscere i primi segnali associabili al processo di risalita del magma verso la superficie e di seguirne l'evoluzione. La variazione di un solo parametro non può essere considerata determinante, ma la diagnosi attendibile scaturisce dalla interpretazione congiunta, multiparametrica e multidisciplinare, di tutte le informazioni che dovranno confluire in un modello di interpretazione del processo in corso.

Le variazioni nei principali parametri (sismicità, deformazione del suolo, geochimica) da tenere in considerazione ai fini del sistema di monitoraggio sono le seguenti:

Sismicità:

- comparsa di eventi a lungo periodo (VLP) e/o di tremore sismico;
- anomalie nelle caratteristiche di accadimento degli sciami sismici;
- superamento della magnitudo massima dei terremoti vesuviani, osservata nell'attuale fase di quiescenza.

Deformazioni del suolo:

- superamento del tasso medio annuale di deformazione;
- comparsa di fratture al suolo.

Geochimica:

- Superamento della temperatura di 100-105° C alle fumarole;
- Aumento del flusso di CO<sub>2</sub> dal suolo in area craterica;
- Aumento del flusso di vapore e gas in superficie;
- Aumento della radianza termica misurata in continuo dell'area craterica;
- Variazioni chimiche e isotopiche nei gas fumarolici, nelle sorgenti e nei pozzi d'acqua indicative di un forte aumento dell'input di fluidi magmatici.

È necessario precisare che, allo stato attuale delle conoscenze, non è possibile stabilire i tempi della dinamica di

riattivazione. Infatti, la risalita del magma potrebbe essere associata ad un terremoto di grossa magnitudo, oppure a numerosi terremoti di magnitudo minore. Analogamente, per le deformazioni, potrebbe essere osservata una dinamica rapida così come una lenta.

La definizione delle soglie di criticità, il cui superamento comporta l'attivazione dei vari livelli di allertamento, è operazione complessa e delicata. Si ritiene che solo per il passaggio dal livello base al livello di attenzione sia possibile stabilire un criterio basato sul superamento dei valori di fondo (*background*) dei parametri monitorati (ad es: basati sui dati registrati nei decenni in cui ha operato il sistema di monitoraggio nell'attuale fase di quiescenza). La variazione di un parametro viene considerata significativa quando essa supera il livello di fondo di almeno due volte il valore della sua deviazione standard (sigma). In particolare, si stabilisce che il passaggio al livello di attenzione si ha quando almeno due dei parametri monitorati (sismicità, deformazioni del suolo, geochimica) abbiano fatto registrare variazioni significative. Se la suddetta variazione si verifica per un solo parametro, questo non implica il passaggio allo stato di attenzione, ma attiva per l'intero sistema di sorveglianza, nonché per il Centro Funzionale Centrale del Dipartimento della Protezione Civile, una fase di vigilanza straordinaria. Durante tale fase si procederà ad un'analisi di dettaglio dei parametri che hanno mostrato delle variazioni, anche con l'ausilio di strumentazioni aggiuntive e campagne di misura dedicate.

Per i livelli di allerta superiori, si ritiene che la definizione di soglie di criticità prestabilite comporti un'alta probabilità di falsi e di mancati allarmi; pertanto, la valutazione dell'evoluzione del processo durante un'eventuale crisi vulcanica dovrà essere basata sull'analisi in tempo reale dei parametri monitorati da parte di esperti.

È opportuno ricordare che risultati confortanti sono venuti dall'esercitazione Mesimex dell'ottobre 2006, nel corso della quale è stata simulata una crisi del Vesuvio e si è potuta verificare la capacità della comunità scientifica nazionale di fornire in tempi brevissimi una mole notevole di dati, raccolti sia dalle reti di monitoraggio permanenti gestite dall'INGV-Osservatorio Vesuviano, sia da numerose squadre di specialisti intervenute sul vulcano.

Infine, il Gruppo di lavoro sottolinea che:

- un obiettivo operativo da perseguire nella pianificazione d'emergenza è la riduzione al minimo indispensabile del tempo necessario per l'evacuazione della popolazione: più breve è questo tempo, più bassa è la probabilità di falso allarme;
- potrà essere necessario affrontare un lungo periodo di attesa tra l'evacuazione e l'eruzione; questo periodo potrebbe essere caratterizzato da grandi polemiche e da forti spinte al rientro, cui occorrerà far fronte;
- è di vitale importanza che di queste difficoltà e di questi problemi siano consapevoli le Autorità di Protezione Civile nazionali, regionali e comunali, e che venga informata adeguatamente la popolazione interessata.



## Lavori consultati

- Andronico D., Calderoni G., Cioni R., Sbrana A., Sulpizio R. e Santacroce R., Geological map of Somma-Vesuvius volcano, *Per. Mineral.*, 64, 77–78, 1995.
- Arrighi S., Principe C. e Rosi M., Violent Strombolian and subplinian eruptions at Vesuvius during post-1631 activity, *Bull. Volcanol.*, 63, 126–150, 2001.
- Auger E., Virieux J. e Zollo A., Locating and quantifying the seismic discontinuities in a complex medium through the migration and AVA analysis of reflected and converted waves: an application to the Mt Vesuvius volcano, *Geophys. J. Int.*, 152, 486–496, 2003.
- Barberi F., Macedonio G., Pareschi M. e Santacroce R., Mapping the tephra fallout risk: an example from Vesuvius (Italy), *Nature*, 344, 142–144, 1990.
- Baxter P., Neri A. e Todesco M., Physical modeling and health impact of pyroclastic flows, in *Volcanoes in Town*, vol. 64, pp. 95–97, *Per. Mineral.*, extended abstracts, 1995.
- Baxter P., Neri A. e Todesco M., Physical modelling and human survival in pyroclastic flows, *Natural Hazards*, 17, 163–176, 1998.
- Baxter P.J., Spence R.J.S., Zuccaro G. "Building vulnerability and human casualty estimation for a pyroclastic flow: a model and its application to Vesuvius" *Journal of Volcanological and Geothermal Research* (2004).
- Bertagnini A., Landi P., Rosi M. e Vigliargio A., The Pomice di Base plinian eruption of Somma-Vesuvius, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 83, 219–239, 1998.
- Bisson M., Cosimi G., Favalli M., Leoni F., Mazzarini F., Pareschi M., Santacroce R., Sgrò S., Sulpizio R. e Zanchetta G., Gis database for the assessment of debris flow hazard in two areas of the Campania region (southern Italy), *Il Nuovo Cimento*, 25, 1–15, 2002.
- Capuano P., Gasparini P., Zollo A., Virieux J., Casale R. e Yeroyanni M., (Editori), *The internal structure of Mt. Vesuvius*, Officine Grafiche Liguori, Napoli, 2003.
- Cascini L., Guida D., Romanzi G., Nocera N. e Sorbino G., A preliminary model for the landslide of May 1998 in Campania region, in *The Geotechnics of Hard Soil-Soft Rocks*, edito da Evangelista e Picarelli, pp. 1623–1648, Balkema, Rotterdam, 2000.
- Cioni R., Civetta L., Marianelli P., Métrich N., Santacroce R. e Sbrana A., Compositional layering and syn-eruptive mixing of a periodically refilled shallow magma chamber: the AD 79 Plinian eruption of Vesuvius, *J. Petrol.*, 36, 739–776, 1995.
- Cioni R., Marianelli P. e Santacroce R., Thermal and compositional evolution of the shallow magma chambers of Vesuvius: Evidence from pyroxene phenocrysts and melt inclusions, *J. Geophys. Res.*, 103, 18,277–18,294, 1998.
- Cioni R., Santacroce R. e Sbrana A., Pyroclastic deposits as a guide for reconstructing the multi-stage evolution of the Somma-Vesuvius caldera, *Bull. Volcanol.*, 60, 207–222, 1999.
- Cioni R., Longo A., Macedonio G., Santacroce R., Sbrana A., Sulpizio D. e Andronico D., Assessing pyroclastic fall hazard through field data and numerical simulations: Example from Vesuvius, *J. Geophys. Res.*, 108, 2063–2073, 2003.
- Del Pezzo E. e Zollo A., Gruppo di lavoro "Scenari di danno sismico nell'area vesuviana e flegrea". Rapporto preliminare n.1 sul massimo terremoto atteso, 2004.
- Del Pezzo E. e Zollo A., Gruppo di lavoro "Scenari di danno sismico nell'area vesuviana e flegrea". Massimo terremoto atteso al Vesuvio e ai Campi Flegrei, 2005.
- Di Stefano R. e Chiarabba C., Active source tomography at Mt. Vesuvius: Constraints for the magmatic system, *J. Geophys. Res.*, 107, 2278, doi:10.1029/2001JB000792, 2002.
- Dobran F., Neri A. e Todesco M., Pyroclastic flow hazard at Vesuvius, *Nature*, 367, 551–554, 1994.
- DPC 1995, Pianificazione Nazionale d'Emergenza dell'Area Vesuviana, Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 1995.
- DPC 2001, Aggiunte e varianti alle parti A3, B, C1 e C2 della Pianificazione Nazionale d'Emergenza dell'Area Vesuviana. Proposta di Aggiornamento, Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 2001.

- Esposti Ongaro T., Neri A., Todesco M. e Macedonio G., Pyroclastic flow hazard at Vesuvius from numerical modeling. II. Analysis of local flow variables, *Bull. Volcanol.*, *64*, 178–191, 2002.
- Favalli M., Pareschi M. e Zanchetta G., Simulation of syn-eruptive floods in the circumvesuvian plain (southern Italy), *Bull. Volcanol.*, *in stampa*, 2005.
- Fulginiti P., Marianelli P., Metrich N., Santacroce R. e Sbrana A., Towards a reconstruction of the magmatic feeding system of the 1944 eruption of Mt. Vesuvius, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, *133*, 13–22, 2004.
- Lirer L., Petrosino P., Alberico I. e Postiglione I., Long-term volcanic hazard forecasts on Somma-Vesuvio past eruptive activity, *Bull. Volcanol.*, *63*, 45–60, doi:10.1007/s00440000121, 2001.
- Marianelli P., Metrich N. e Sbrana A., Shallow and deep reservoirs involved in magma supply of the 1944 eruption of Vesuvius, *Bull. Volcanol.*, *61*, 48–63, 1999.
- Marianelli P., Metrich N., Sbrana A. e Cecchetti A., The deep feeding system of Mt. Vesuvius: its role in recent violent strombolian eruptions, *Geophys. Res. Lett.*, *32*, doi:10.1029/2004GL021667, 2005.
- Marzocchi W., Relazione scientifica per la revisione del Piano di Emergenza del Vesuvio, sintesi dei lavori del Workshop tenutosi a Roma l'11 Febbraio 2004, 2004.
- Marzocchi W., Sandri L., Gasparini P., Newhall C. e Boschi E., Quantifying probabilities of volcanic events: The example of volcanic hazard at Mount Vesuvius, *J. Geophys. Res.*, *109*, 18 pp., doi:10.1029/2004JB003155, 2004.
- Onorati G., Braca G. e Iritano G., Evento idrogeologico del 4, 5 e 6 Maggio 1998 in Campania. Monitoraggio ed analisi idrologica, in *Il rischio idrogeologico e la difesa del suolo*, vol. 154 di *Atti dei Convegni Lincei*, Accademia dei Lincei, Roma, 1999.
- Pareschi M., Nuova cartografia dei comuni vesuviani, Documento per il Gruppo A della Commissione Nazionale Incaricata di Provvedere all'Aggiornamento dei Piani di Emergenza dell'Area Vesuviana e Flegrea per il Rischio Vulcanico, (con allegati 2 CD), 2004.
- Pareschi M., Santacroce R., Cavarra L., Favalli M., Giannini F., Sulpizio R. e Zanchetta G., Analisi dei bacini della zona Sarno-Quindici-Siano-Bracigliano interessati da flussi di fango il 5-5-1998, Rischio idrogeologico nelle aree della Campania, Unità Operativa Valle del Clanio, professional paper, 20 pp., 1998.
- Pareschi M., Favalli M., Giannini F., Sulpizio R., Zanchetta G. e Santacroce R., May 5, 1998, debris flows in circum-Vesuvian areas (southern Italy): insight for hazard assessment, *Geology*, *28*, 639–642, 2000.
- Pareschi M., Santacroce R., Sulpizio R. e Zanchetta G., Volcaniclastic debris flows in the Clanio Valley (Campania, Italy): insights for the assessment of hazard potential, *Geomorfologia*, *43*, 219–231, 2002.
- Rosi M., Principe C. e Vecchi R., The 1631 Vesuvian eruption: A reconstruction based on historical and stratigraphical data., *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, *58*, 151–182, 1993.
- Santacroce R., ed., *Somma-Vesuvius*, vol. Monografia CNR n. 114(8) di *Quaderni de La Ricerca Scientifica*, Arti Grafiche, Roma, 230 pp., 1987.
- Santacroce R., Bertagnini A., Civetta L., Landi P. e Sbrana A., Eruptive dynamics and petrogenetic processes in a very shallow magma reservoir: the 1906 eruption of Vesuvius, *J. Petrol.*, *34*, 1993.
- Scandone R., Giacomelli L. e Gasparini P., Mount Vesuvius: 2000 years of volcanological observations, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, *58*, 263–271, 1993.
- Scarpa R., Tronca F., Bianco F. e Del Pezzo E., High resolution velocity structure beneath Mount Vesuvius from seismic array data, *Geophys. Res. Lett.*, *29*, 2040–2043, doi:10.1029/2002GL015576, 2002.
- Simkin T. e Siebert L., *Volcanoes of the World*, Geosciences, Tucson, Arizona, 1994.
- Takahashi T., *Debris Flow*, IAHR-AIRH Monograph, Balkema, Rotterdam, 165 pp., 1991.
- R. J. S. Spence, I. Kelman, G. Zuccaro, P. J. Baxter, and S. Petrazzuoli “Residential building and occupant vulnerability to tephra fall” – *Journal of Natural Hazards and Earth System Sciences*, *5*, 1–18, 2005 S Ref-ID: 1684-9981/nhess/2005-5-1 - Received: 8 December 2004 – Revised: 5 April 2005 – Accepted: 25 April 2005.
- Sulpizio R., Mele D., Dellino P., La Volpe L. “A complex, Subplinian-type eruption from low- viscosity, phonolitic to tephri-phonolitic magma: the AD 472 (Pollena) eruption of Somma-Vesuvius, Italy”, *Bull. Volcanol.*, *67*, 743–767, 2005.
- Todesco M., Neri A., Esposti Ongaro T., Papale P., Macedonio G., Santacroce R. e Longo A., Pyroclastic flow hazard at Vesuvius from numerical modeling. I. Large-scale dynamics, *Bull. Volcanol.*, *64*, 155–177, 2002.

- Zanchetta G., Sulpizio R., Santacroce R., Cosimi G., Sgrò S., Pareschi M., Bisson M. e Favalli M., Volcaniclastic debris flows in the Clanio Valley (Campania, Italy), in *Fast slope movement prediction and prevention for risk mitigation, Naples 2003*, edito da P. Picarelli, pp. 537–541, Patron Editore, Bologna, Napoli, 2003.
- Zanchetta G., Sulpizio R., Pareschi M., Leoni F. e Santacroce R., Characteristic of May 5-6, 1998 volcaniclastic debris flows in the Sarno areas (Campania, southern Italy): relationships to structural damage and hazard zonation, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 133, 377–393, 2004.
- Zuccaro G., Valutazioni preliminari di scenario di danno agli edifici conseguente ad un evento di tipo Sub-Pliniano I, Rapporto tecnico, progetto europeo "exploris", Centro di Ricerca LUPT, Università di Napoli "Federico II", Napoli, 2006.
- Zuccaro G., Petrazzuoli S.M. "Structural Resistance of RC Buildings under Pyroclastic Flows: A Study on the Vesuvian Area", *Journal of Volcanological and Geothermal Research* (2004).
- Zuccaro G., Ianniello D., "Interaction between pyroclastic flow and the building structures of an urban settlement. A fluid-dynamic simulation impact model" *Journal of Volcanological and Geothermal Research* (2004).
- Zuccaro G., Baratta A., Binetti A., "Strength capacity of No Tension portal arch-frame under combined seismic and ash loads" *Journal of Volcanological and Geothermal Research* (2004)
- Zuccaro G., Spence R.J.S., Baxter P.J., Petrazzuoli S.M. "The resistance of Buildings to Pyroclastic Flows: Analytical and Experimental Studies and their Application to Vesuvius" *ASCE's Natural Hazard Review* (2004).
- Zuccaro G. – Rapporto Finale Progetto SAVE, Task 1 – Inventario e vulnerabilità del patrimonio edilizio residenziale del territorio nazionale mappe di rischio e perdite socio economiche. GNDT, Roma (2005).
- Zuccaro G., Cacace F. Spence R.J.S., Baxter P.J. "Impact of explosive eruption scenarios at Vesuvius" *J. Volcanol. Geoth. Res.* (2008) in stampa.

# Indice

<b>Capitolo 1</b>	<b>2</b>
<b>1.1 La Commissione Nazionale incaricata di provvedere all'aggiornamento dei Piani d'Emergenza dell'area vesuviana e dell'area flegrea</b>	<b>2</b>
<b>1.2 Scenari e Livelli di Allerta nei precedenti Piani di Emergenza</b>	<b>4</b>
<b>Struttura e storia eruttiva del Vesuvio</b>	<b>6</b>
<b>2.1 La morfologia</b>	<b>6</b>
<b>2.2 La storia eruttiva</b>	<b>6</b>
<b>2.3 Il sistema di alimentazione del Vesuvio</b>	<b>8</b>
<b>Scenari Eruttivi</b>	<b>9</b>
<b>3.1 Principali Tipi di Eruzioni Esplosive</b>	<b>9</b>
<b>3.2 La scelta dello scenario di riferimento</b>	<b>13</b>
<b>Pericolosità vulcanica e danni attesi per l'evento di riferimento</b>	<b>14</b>
<b>4.1 Zona esposta a flussi piroclastici (zona rossa)</b>	<b>14</b>
<b>4.2 Zona esposta a ricaduta di lapilli e cenere (zona gialla)</b>	<b>16</b>
<b>4.3 Zona esposta ad alluvionamenti e flussi di fango (lahar)</b>	<b>26</b>
<b>4.4 Pericolosità sismica</b>	<b>30</b>
<b>4.5 Vulnerabilità sismica</b>	<b>31</b>
<b>Capitolo 5</b>	<b>44</b>
<b>Livelli di Allerta</b>	<b>44</b>
<b>5.1 Descrizione</b>	<b>44</b>
<b>Lavori consultati</b>	<b>46</b>

Via Diocleziano, 328  
80124 NAPOLI - Italia  
Tel.: (39) 081.6108111  
Telefax: (39) 081.6100811  
email: info@ov.ingv.it



**Istituto Nazionale di  
Geofisica e Vulcanologia**  
Sezione di Napoli | Osservatorio Vesuviano

Al Capo Dipartimento della Protezione Civile  
Via Vitorchiano, 2  
00189 - Roma

e p.c. prof. Mauro Dolce  
Dipartimento della Protezione Civile  
Via Vitorchiano, 2  
00189 - Roma

**Istituto Nazionale di Geofisica  
e Vulcanologia**  
Area Organizzativa Napoli  
Protocollo Generale - U  
N. 0001417  
Napoli, 13/04/2012



OGGETTO: Trasmissione documento "Scenari eruttivi e livelli di allerta per il Vesuvio".

Con la presente, si trasmette il documento "Scenari eruttivi e livelli di allerta per il Vesuvio" prodotto dal Gruppo A (Scenari e livelli di allerta) della "Commissione nazionale incaricata di provvedere all'aggiornamento dei piani di emergenza dell'area vesuviana e flegrea per il rischio vulcanico", istituita con il decreto n. 1828 del 18 giugno 2002, i cui membri sono stati nominati con successivo decreto del Capo del Dipartimento della Protezione Civile n. 698 del 6 marzo 2003.

Il documento in oggetto è stato presentato ai Responsabili del Dipartimento di Protezione Civile in occasione della riunione del 31 marzo 2010, tenutasi presso il Dipartimento della Protezione Civile in Roma.

Nell'aprile del 2011, il Gruppo A, su richiesta del Dipartimento della Protezione Civile, ha meglio definito la delimitazione dell'area che potrebbe essere interessata da flussi piroclastici nell'ambito del Comune di Napoli.

La versione del documento allegata alla presente, comprende quest'ultima integrazione, al paragrafo 4.1 "Zona esposta a flussi piroclastici (zona rossa)".

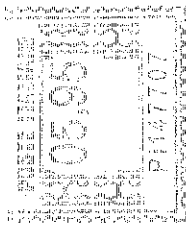
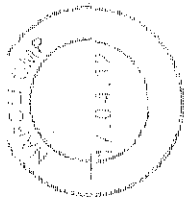
Distinti saluti.

Dott. Giovanni Macedonio  
Responsabile Gruppo A

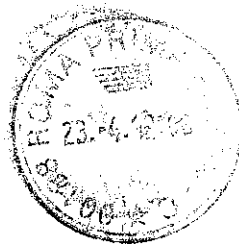
Dott. Marcello Martini  
Direttore Osservatorio Vesuviano

**Istituto Nazionale di  
Geofisica e Vulcanologia**  
Sezione di Napoli | Osservatorio Vesuviano

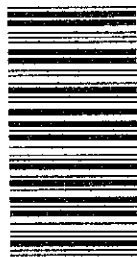
RACCOMANDATA A/R



Al Capo Dipartimento  
della Protezione Civile  
~~Via Vittoriano n. 2~~  
~~00189 Roma~~  
Via dell'Impresca 3  
00186 Roma



2734



R

**A.R.** avviso di ricevimento  
o di riscossione

Vaglia  Raccomandata

Pacco  Assicurata

10924066191 8

Numero

Lire

Euro

16/4/2012

№ 66

Data di spedizione

Dall'ufficio di

A cura del mittente

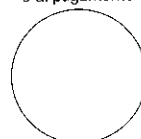
Destinatario

Via

Al Capo Dipartimento della Protezione Civile  
via Vitorechiano n. 2

00189 Roma

Bollo dell'Ufficio  
di distribuzione  
o di pagamento



Data e firma per esteso del ricevente  
(Nome e Cognome)

Firma dell'incaricato  
della distribuzione o del pagamento

**A.R.** avviso di ricevimento  
o di riscossione  
mod.23-I - Cod. 8401

Da recapitare a

---

---

---

---

Via

ISTITUTO NAZIONALE di  
**GEOFISICA e VULCANOLOGIA**  
SEZIONE  
**OSSERVATORIO VESUVIANO**  
Via Diocleziano, 328 - NAPOLI

C.A.P.

Località

Provincia