

SPETT.LE MINISTERO DELL'AMBIENTE
E DELLA TUTELA DEL TERRITORIO E DEL MARE
Direzione Generale per le Valutazioni Ambientali -
Divisione II Sistemi di Valutazione Ambientale
Via Cristoforo Colombo 44, 00147 Roma;

Via PEC DGSalvanguardia.Ambientale@PEC.minambiente.it



OSSERVAZIONI
PROGETTO "SCARFOGLIO" del Mare - D.G. Valutazioni e Autorizzazioni Amb
PROCEDURA VIA N.47 04/05/2015
CODICE PROCEDURA 3014 E prot DVA - 2015 - 0017445 del 03/07/2015

Lo scrivente Avvocato Giuseppe D'Aniello residente in Boscoreale (NA), PEC giuseppe.daniello@forotorre.it, del Foro di Torre Annunziata in proprio e n.q. di gestore del sito web Meteovesuvio raggiungibile al seguente indirizzo web <http://meteovesuvio.altervista.org>, nonché dell'associata pagina Facebook Meteovesuvio (<https://www.facebook.com/monitoraggiovesuvio?ref=hl>), rassegna le seguenti brevi osservazioni in merito al progetto di cui in intestazione.

I) SULLA GEOELECTRIC SRL

La società che intende eseguire e curare in via esclusiva la realizzazione dell'opera, non sembra possedere i necessari requisiti richiesti dalla normativa e da regole di opportunità secondo il principio dell'*id quod prelumque accidit*.

Trattasi di una società a responsabilità limitata con capitale versato di appena 150mila euro. Non sembra avere esperienza nella realizzazione di altri progetti di tal fatta. E' divenuta operativa nel mese di marzo 2012 e di lì a poco, senza aver alcun progetto realizzato alle spalle, addirittura stipula un contratto con AMRA SCARL cui prende parte anche INGV. La società, come si può notare da visura camerale ed estratto bilancio 2014 che si allega (all.1), ha avuto solo due dipendenti nell'anno 2014 con una perdita dichiarata di 1.102,00 euro e, sulla carta, non sembra disporre del know-how necessario alla realizzazione di un progetto stimato per circa 20milioni di euro richiedente specifiche e comprovate esperienze nel settore. Tra l'altro, l'area su cui va ad insistere l'impianto, come ben noto, è area vulcanica attiva ricadente nella caldera dei Campi Flegrei che si trova a livello di "attenzione", secondo livello su quattro. A conferma di quanto sopra, il sito istituzionale e commerciale della predetta società non indica alcuna opera o centrale realizzata (cfr. <http://www.geoelectric.it/index.htm>).

Queste sole considerazioni basterebbero a negare alla Geoelectric srl il permesso ad eseguire le opere.

Inoltre, dall'esame della documentazione pubblicata, non sembra che la predetta abbia prestato le necessarie fideiussioni a garanzia richieste dalla Legge (vedasi quanto pubblicato, all'uopo, sul sito CNR area Geotermia - <http://geotermia.igg.cnr.it/index.php/progetti/terminati/2-uncategorised/71> - iter- autorizzativo che si allega in formato pdf- all.2). Nè si comprende come e quali garanzie possa fornire una srl che al massimo può rispondere col patrimonio versato che non supera, come da visura, i 150mila euro. Ben poco rispetto alla importanza ed agli elevati rischi connessi alle perforazioni e reiniezioni di fluidi nell'area Pisciarelli-Scarfooglio.

II) SULL'ASSOLUTA INADEGUATEZZA DELLA RELAZIONE AMRA SCARL-INGV DR. GIUSEPPE DE NATALE DENOMINATA "STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE Documento SCA-006-SIA-00-A01 Allegato 01 Relazione geologico-geotermica AMRA/INGV".

Il documento, nell'ammettere la possibilità di sismicità indotta delle attività di perforazione, prelievo e reiniezione di fluidi, riporta dati geochimici e geofisici del sistema vulcanico assolutamente datati che ne inficiano la validità, utilizzabilità e rilevanza scientifica.

E' notorio che è dall'anno 2012, dicembre per la precisione, che il vulcano Flegreo è interessato da variazioni di molti parametri monitorati che hanno indotto la CDR a decretare il passaggio da livello I, base, a livello II di attenzione. Dunque qualunque studio o documento dovrebbe fare affidamento su dati aggiornati e non datati.

Il documento AMRA-INGV Dr. De Natale è assolutamente lacunoso, incompleto ed a tratti imbarazzante.

A pag. 78 si legge: *"E' noto che l'attività di estrazione dei fluidi geotermali produce perturbazioni, in particolare in termini di pressione e temperatura, dei reservoir geotermici.*

L'attività sismica associata alle applicazioni geotermiche, che è tipicamente di bassa energia ($M \leq 3$), è la risultante di differenti effetti, come l'iniezione e l'estrazione di fluidi che producono variazioni dello stress statico, sia per l'effetto della pressione di poro che per l'effetto dello stress termico." (pag.78)

A pag. 79 si ammette che non è dato sapere cosa potrebbe accadere con perforazioni e reiniezione di fluidi nell'area interessata dal progetto in quanto lo studio si fonda su un modello concettuale geotermale "simile" (pag.79): *"Si ribadisce che il modello geologico di partenza è di tipo concettuale, essendo state assunte condizioni del sistema geotermale del sito in oggetto simili a quelle di aree limitrofe, e quindi non appurate con certezza".*

L'assunto contenuto alla pagina 75 secondo cui *"La pericolosità eruttiva associata al livello di "attenzione" è estremamente bassa. Non si registrano a tutt'oggi segnali che possano ricondursi a una dinamica magmatica superficiale"*, è smentito da altro studio commissionato e prodotto nel 2012 per il Dipartimento di Protezione civile da un titolato gruppo di ricercatori e studiosi dello stesso INGV e del mondo accademico. Lo studio in parola è stato commissionato dal DPC per definire gli "Scenari eruttivi attesi di riferimento per la pianificazione di emergenza ai Campi Flegrei" (gruppo di lavoro dello studio: Giovanni Macedonio, Marcello Martini, Augusto Neri, Paolo Papale, Mauro Rosi, Giulio Zuccaro e da: Chiara Cardaci in rappresentanza del Dipartimento della Protezione Civile il Gruppo di Lavoro è stato inoltre coadiuvato da Domenico Mangione, del DPC). Esso ha carattere di ufficialità ed è di rilevanza scientifica superiore rispetto alla relazione AMRA-INGV dr. De Natale ed è stato redatto per fini dichiarati di Protezione civile e non per fini diretti allo sfruttamento, per scopo di lucro, di risorse geotermiche.

Lo studio/rapporto, scaricabile al seguente indirizzo in forma integrale http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/rapporto_GdL_CampiFlegrei_art_70_def.pdf (all. 3), alla pagina 54-55 così stabilisce:

"[...] E' doveroso segnalare come le esplosioni freatiche possano essere più difficili da prevedere delle eruzioni prodotte dalla risalita di magma, e il loro verificarsi possa essere del tutto improvviso. In un numero significativo di casi esse non sono state infatti precedute da alcun fenomeno precursore rilevabile dalle normali reti di sorveglianza. Non è un caso che un gran numero di incidenti anche mortali che hanno coinvolto vulcanologi siano stati causati proprio da esplosioni freatiche. Il sistema della Solfatarà-Pisciarelli costituisce il sistema idrotermale più importante dell'area flegrea e quello dove possono, con maggiore probabilità, verificarsi fenomenologie esplosive di tipo freatico in caso di incremento dell'attività idrotermale. Il consistente aumento di flusso di gas e vapore verificatosi negli anni passati nell'area dei Pisciarelli rende già oggi possibile che improvvise risalite di masse di gas (ad esempio in coincidenza con prolungati sciami sismici locali) possano essere accompagnate/seguite da eventi esplosivi di tipo freatico e da improvvisi rilasci di CO2."

Sappiamo, perché lo dichiara Geoelectric srl, che il sito dell'impianto è ubicato proprio alle spalle della località Pisciarelli (a pag. 60 documento AMRA-INGV De Natale, si precisa che: *"Da un punto di vista geologico, il sito di progetto così individuato rientra nell'ambito del sistema geotermale Solfatarà-Pisciarelli."*)

La Comunità scientifica, dunque, smentisce il documento pro-VIA di AMRA-De Natale,

ammettendo che la zona Pisciarelli potrebbe essere interessata in qualunque momento da esplosioni freatiche. Ma cosa sono esattamente queste esplosioni? Leggiamo sempre l'importante studio del 2012: " *Le esplosioni freatiche possono essere di scala diversa, da piccoli eventi che producono crateri metrici a grandi eventi in grado di generare crateri di diverse centinaia di metri e fino al chilometro di diametro. Nei casi più energetici le esplosioni possono lanciare blocchi di roccia fino a distanze notevoli (da centinaia di metri a chilometri) insieme a grandi quantità di materiali fini in gran parte composti da minerali di alterazione (argille e altri minerali prodotti dall'alterazione idrotermale superficiale). Oltre al lancio di blocchi di roccia le esplosioni freatiche possono produrre piccole correnti di densità piroclastica che si disperdono ad anello intorno alla bocca (base surge)*". Per dirla in breve, si tratta di piccole "eruzioni" che possono raggiungere anche portata considerevole. Dunque, la scienza ci dice che ai Pisciarelli- Solfatara già nel dicembre 2012 (e quindi a maggior ragione ancora oggi atteso che da allora i dati del monitoraggio indicano una situazione sempre di grosse anomalie) erano possibili fenomeni semi-eruttivi: andare a perforare quella zona non può che aumentare di molto il rischio che un tale tipo di fenomeni si verifichi.

Di notevole rilievo sono, a tal uopo, le critiche aspre e dure che vengono mosse al progetto da parte del dr. Giuseppe Mastrolorenzo, dell'INGV di Napoli e del Prog. Franco Ortolani, Geologo presso l'Università di Napoli, nonché, a quanto si apprende, anche da parte del dr. Giovanni Chiodini, che è stato a capo del reparto Geochimica dell'INGV di Napoli per molti anni. Trattasi di massimi esperti del settore che dicono un netto NO al progetto per gli elevati rischi connessi a quelle attività. Si sottolinea come la struttura del sottosuolo Flegreo non consenta la realizzazione di progetti come quello in esame e ciò in ragione di molteplici note di carattere tecnico-scientifico cui si rimanda.

Altro gravissimo deficit della relazione AMRA-INGV De Natale è il continuo riferimento che in essa si fa a dati e grafici superati ed obsoleti. Dati che potremmo definire, visto l'oggetto degli studi, addirittura "preistorici"!

Ad esempio a pagina 11 della relazione AMRA-INGV vengono riportati grafici fermi al 2010. A pagina 24 si argomenta su dati delle fumarole che risalgono addirittura al 2004, assolutamente inutilizzabili ed inidonei: "2.5.1 *Composizione chimica delle fumarole*

Durante il 2004 sono stati eseguiti 12 campionamenti della fumarola Bocca Grande (BG), 12 della fumarola Bocca Nuova (BN) presenti alla Solfatara di Pozzuoli e 5 della fumarola presente a Pisciarelli di Agnano (i dati sono riportati in tabella 2.5.1.1.). In tutte le fumarole controllate non sono state osservate variazioni di rilievo nella loro composizione chimica."

Alla pag. 70, si fa riferimento ad uno studio recente. Ebbene trattasi di studio del 2010 : "Recentemente, in uno studio di dettaglio del degassamento alla Solfatara ed esteso alle aree ad essa limitrofe (Federico et al., 2010), tramite il metodo della camera di accumulo è stato

possibile misurare puntualmente il flusso di CO2 (figura 3.3.3.1)."

Nell'ultimo bollettino mensile disponibile, quello di Maggio 2015 (all.4), è l'Osservatorio Vesuviano stesso a smentire la relazione AMRA-INGV dr. De Natale e, dunque, se stesso!

Nella sezione geochimica relativa ai Campi Flegrei (pag.11, ultimo paragrafo) si legge, tra l'altro che vi è presenza di "fluidi magmatici" nel sistema idrotermale della Solfatara-Pisciarelli:

"Il cronogramma del rapporto CO2/CH4 (Fig. 2.3.4) mostra picchi positivi, interpretabili come dovuti all'arrivo di fluidi magmatici ossidanti, e a basso contenuto in CH4, nel sistema idrotermale (Chiodini 2009; Chiodini et al., 2010; 2011; 2012). I vari picchi corrisponderebbero quindi ad eventi di degassamento magmatico e conseguente immissione di fluidi magmatici nel sistema idrotermale che alimenta le fumarole della Solfatara. Per maggiori dettagli su tale processo si rimanda ad uno specifico lavoro scientifico (Chiodini et al., 2012)".

Ma cosa leggiamo a tal proposito nella relazione AMRA-INGV dr. De Natale?

A pagina 75 c'è scritto quanto segue: *"La pericolosità eruttiva associata al livello di "attenzione" è estremamente bassa. Non si registrano a tutt'oggi segnali che possano ricondursi a una dinamica magmatica superficiale".*

Due spunti di riflessione: la possibilità di un'eruzione ai Flegrei esiste, è concreta e reale ma "estremamente bassa". Lo ammette AMRA-INGV dr. De Natale che (si badi) sta relazionando in maniera favorevole al progetto di perforazione, prelievo e reiniezione. E questo dovrebbe già far riflettere. E' evidente che in un'area dove è probabile e/o possibile un'eruzione nessuna persona sensata, non vogliamo manco dire qualificata, ma sensata, ecco, il famoso "buon padre di famiglia" della letteratura giuridica, si sognerebbe mai di andare a perorare, prelevare e reiniettare fluidi. Un'area interessata da degassamenti ed intrusione di fluidi magmatici nel sistema superficiale, come è inequivocabilmente ammesso anche da INGV Napoli nei bollettini che rilascia.

Per quanto ci riguarda, e ci sia consentita questa breve digressione giuridica, qui abbiamo a che fare con soggetti qualificati che in ragione delle loro specifiche competenze dovrebbero a maggior ragione fare uso delle qualifiche e professionalità acquisite per tutelare *in primis* la sicurezza dei cittadini residenti in area a rischio. E' richiesta, in capo a questi soggetti, una diligenza che va al di là di quella del "buon padre di famiglia", una *diligenza professionale*.

Non sembrano, inoltre, mancare gravi connotazioni di conflitto di interessi in cui si trova l'attuale Direttore della sezione INGV di Napoli, dr. Giuseppe De Natale il quale riveste la duplice qualifica di responsabile (indiretto) della sicurezza dei cittadini dell'area Flegrea e super-consulente, tramite AMRA SCARL, di una società privata che intende avviare attività (a fini di lucro!) rischiosa nell'area più pericolosa e più attiva della caldera Flegrea: quella dei

Pisciarelli. Ma questa del conflitto di interessi è vicenda che magari esula dal merito delle presenti osservazioni.

III) LA MANCANZA DI UN PIANO DI EMERGENZA OPERATIVO OBBLIGA IL MINISTERO A NEGARE IL PERMESSO DI PERFORAZIONE ED IL NULLA OSTA AMBIENTALE

Si aggiunga a tutto ciò che l'area interessata dal progetto è fortemente urbanizzata e che manca un piano di emergenza ed evacuazione operativo che sia noto ai cittadini.

Quello esistente è, come per l'area vesuviana, un documento che contiene delle linee generali. Mancano i piani attuativi Comunali. Ma la cartina tornasole, per così dire, che dimostra la veridicità di quanto sopra è che il cittadino flegreo così come quello vesuviano non saprebbe cosa fare, dove andare nel caso in cui dovesse scattare un'emergenza. Ai cittadini non è mai stato consegnato alcun piano operativo di evacuazione da utilizzare in caso di emergenza.

Il paradosso è che il Ministero autorizzando questo progetto si renderebbe complice, nel caso di un'emergenza causata dalle attività di Geoelectric srl, di una situazione che definire grottesca è dire poco: si dovrebbe evacuare la popolazione alla quale non è stato mai consegnato alcun piano di evacuazione. Complice della probabile perdita di vite umane sarebbe proprio il Ministero che ha autorizzato il progetto.

* * *

Il documento AMRA-INGV De Natale, sul quale Geoelectric srl punta per ottenere il nulla osta alla VIA, alla luce delle osservazioni che precedono, non è utilizzabile nella presente procedura ed è confutato da qualificata comunità scientifica.

Inoltre, si è evidenziato come la medesima società Geoelectric srl non possiede quel minimo di requisiti e know-how richiesto per affrontare il progetto per cui richiede nulla osta ambientale.

In conclusione, in ragione di tutte le considerazioni di cui alle presenti "Osservazioni" e della documentazione allegata e di rinvio, si chiede che venga negato il nulla osta e, conseguentemente, il permesso alla realizzazione del progetto denominato "Scarfoglio".

Si allega: visura camerale Geoelectric srl ed estratto bilancio 2014; iter autorizzativo per centrali geotermiche CNR; studio/rapporto anno 2012 gruppo di lavoro per l'emergenza ai Campi Flegrei; Bollettino mensile vulcani Campani INGV-NA maggio 2015.

Con osservanza.

Boscoreale, li 02/07/2015

Avv. Giuseppe D'Aniello

Si attesta che la copia informatica digitalizzata del presente documento cartaceo è conforme all'originale in mio possesso.

Boscoreale, li 02/07/2015

Avv. Giuseppe D'Aniello

PEC DVA

Da: Per conto di: giuseppe.daniello@forotorre.it <posta-certificata@sicurezzapostale.it>
Inviato: giovedì 2 luglio 2015 13:00
A: DGSalvanguardia.Ambientale@PEC.minambiente.it
Oggetto: POSTA CERTIFICATA: osservazioni progetto SCARFOGLIO
Allegati: daticert.xml; postacert.eml (16,6 MB)

Messaggio di posta certificata

Il giorno 02/07/2015 alle ore 12:59:43 (+0200)

il messaggio "osservazioni progetto SCARFOGLIO"

è stato inviato da "giuseppe.daniello@forotorre.it"

indirizzato a:

DGSalvanguardia.Ambientale@PEC.minambiente.it

Il messaggio originale è incluso in allegato.

Identificativo messaggio: opec228.20150702125932.07420.18.1.213@sicurezzapostale.it

Progetti ▶ Terminati ▶ Uncategorised

Menu

Home

Ricerca

Acquisizione e interpretazione

Integrazione e valutazione

Formazione e disseminazione

Progetti

In corso

Terminati

Produzione scientifica

Riviste internazionali

Riviste nazionali

Libri e articoli in libri

Atti di congressi

Eventi

Iter autorizzativo

Published: Monday, 17 February 2014 10:54

Written by Assunta Donato

Hits: 3060



Indice

- **Premessa e obiettivi**
- **Storia normativa italiana sulla geotermia**
- **Normativa vigente in materia di risorse geotermiche**
- **Brevi cenni normativi sulle risorse geotermiche di interesse nazionale e locale**
- **Brevi cenni normativi sulle piccole utilizzazioni locali ed impianti pilota**
- **Brevi cenni normativi sulla normativa ambientale**
- **Iter autorizzativo per la richiesta del permesso di ricerca di risorse geotermiche di interesse nazionale e locale**
- **Iter autorizzativo Regione Campania**
- **Iter autorizzativo Regione Puglia**
- **Iter autorizzativo Regione Calabria**
- **Iter autorizzativo per la richiesta di concessione di coltivazione di risorse geotermiche di interesse nazionale e locale**
- **Iter autorizzativo per la presentazione di un permesso di ricerca e di una concessione di coltivazione di risorse geotermiche di interesse nazionale e locale nella Regione Sicilia**
- **Rilascio del Permesso di Prospezione**
- **Rilascio del Permesso di Ricerca**
- **Esercizio del Permesso di Ricerca**
- **Rilascio ed esercizio della Concessione di Coltivazione**
- **Iter autorizzativo per le "piccole utilizzazioni locali"**
- **Iter autorizzativo piccole utilizzazioni locali Regione Sicilia**
- *Produzione di energia elettrica*
- *Impianti geotermici open loop (circuito aperto)*

- **Sonde geotermiche closed loop (circuito chiuso) e pali energetici**
- **Iter autorizzativo piccole utilizzazioni locali Regione Campania**
- **Produzione di energia elettrica**
- **Impianti geotermici open loop (circuito aperto)**
- **Sonde geotermiche closed loop (circuito chiuso) e pali energetici**
- **Iter autorizzativo piccole utilizzazioni locali Regione Puglia**
- **Impianti geotermici open loop (circuito aperto)**
- **Sonde geotermiche closed loop (circuito chiuso) e pali energetici**
- **Iter autorizzativo piccole utilizzazioni locali Regione Calabria**
- **Impianti geotermici open loop (circuito aperto)**
- **Sonde geotermiche closed loop (circuito chiuso) e pali energetici**
- **Iter autorizzativo per permessi di ricerca per la sperimentazione degli impianti pilota**
- **Istanza di permesso di ricerca per la sperimentazione di impianti pilota**
- **Caratteristiche dell'area**
- **Documenti societari**
- **Criteri valutativi adottati per l'istruttoria delle istanze**
- **Appendice: grafici di sintesi**

1. Premessa e obiettivi

Negli ultimi anni in Italia si sta sempre più affermando la cultura ecocompatibile dello sfruttamento di risorse rinnovabili, in particolare dell'energia eolica e solare. Lo sfruttamento dell'energia geotermica, che rappresenta una forma di energia inesauribile, pulita, sostenibile ed in alcuni siti facilmente ed economicamente sfruttabile, ha vissuto solo marginalmente o comunque in modo "inappropriato" questa diffusione.

Purtroppo la penombra in cui ha vissuto per anni la geotermia, anche nelle aree Convergenza (Campania, Calabria, Puglia e Sicilia) è conseguente ad una scarsa conoscenza del potenziale geotermico di queste aree, alla limitata consapevolezza degli utilizzi che di essa possa essere fatta, ad una mancata diffusione e promozione politica nel territorio e all'assenza di chiare linee guida che definiscano i criteri da seguire a livello autorizzativo per la pianificazione e lo sfruttamento di risorse non solo ad alta ma soprattutto a media e bassa entalpia.

Questo documento, in linea con l'obiettivo generale del Progetto VIGOR di fornire ai potenziali futuri utilizzatori della fonte geotermica informazioni analitiche utili ad avviare attività di prospezione e di utilizzo dell'energia da tale fonte, concorre a definire, senza pretesa di esaustività, la normativa (vigente alla stesura, completata nell'autunno 2012 e di seguito revisionata) e l'iter autorizzativo cui è soggetta la realizzazione di un impianto geotermico.

Di seguito sarà proposto un breve excursus sull'evoluzione della normativa italiana in materia di geotermia fino ai giorni nostri, una successiva descrizione a livello nazionale e regionale degli iter autorizzativi per la richiesta di permesso di ricerca e di concessione di coltivazione di un'area ai fini della produzione di energia elettrica dalla risorsa e per gli usi diretti della stessa.

Da ciò è emerso che, mentre gli impianti geotermici per la produzione di energia elettrica da "risorse d'interesse nazionale e locale", sono ampiamente regolamentati da normative nazionali (che definiscono la documentazione da produrre, la tempistica dell'istruttoria, i requisiti tecnico-economici del richiedente, i canoni, gli obblighi e le sanzioni), le "piccole utilizzazioni locali", sono ancora in attesa di un decreto statale che definisca dei punti sui quali le Regioni possano fare riferimento nel fornire gli indirizzi programmatici agli enti da essa delegati. In virtù di queste lacune, non è stato semplice riuscire a schematizzare, nell'ambito della geotermia di bassa entalpia, procedure e soprattutto tempistica dei procedimenti, per l'autorizzazione degli impianti.

Si spera che con questo documento, il legislatore, vista l'esiguità di informazioni che allo stato attuale è reperibile a livello territoriale, provveda ad emanare un'ideale normativa di riferimento che rilanci la geotermia soprattutto in riferimento alle "piccole utilizzazioni locali".

Il presente documento fotografa il quadro normativo e l'iter autorizzativo al 2013. Esso verrà aggiornato in funzione delle evoluzioni del quadro normativo regionale o nazionale sulla base delle segnalazioni che potranno pervenire dalle

amministrazioni responsabili o dagli operatori del settore. Saremo lieti di ricevere segnalazioni e commenti tramite il contatto VIGOR all'indirizzo email vigor@igg.cnr.it

Per una sintesi del quadro normativo nazionale e dei diversi iter regionali si vedano i grafici di flusso in Appendice.

2. Storia normativa italiana sulla geotermia

La storia normativa in Italia sulla geotermia inizia con il R.D. 29/7/1927 n. 1443 "Norme di carattere legislativo per disciplinare la ricerca e la coltivazione delle miniere del Regno" che, secondo quanto citato nell'art. 1, regola la ricerca e la coltivazione di sostanze minerali e delle energie del sottosuolo, industrialmente utilizzabili sotto qualsiasi forma o condizione fisica.

Il Regio Decreto, basato sul principio che la disponibilità del sottosuolo dovesse essere svincolata da quella della superficie, stabiliva un regime concessorio per la ricerca e la coltivazione mineraria, che consentiva le attività soltanto a quei soggetti fisici e giuridici che dimostravano di avere capacità tecniche ed economiche idonee a svolgere il programma dei lavori approvato con il Decreto di concessione e/o permesso di ricerca.

Secondo l'art. 2 queste risorse venivano distinte in Miniere e Cave ed in particolare le acque minerali, termali, vapori e gas rientravano nella prima categoria.

La prima vera legge che si è occupata integralmente delle risorse geotermiche è stata emanata nel 1986 ovvero la cosiddetta "Legge Geotermica" del 9/12/1986 n. 896 "Disciplina della ricerca e della coltivazione delle risorse geotermiche".

Secondo la classificazione delle risorse geotermiche di cui all'art. 1 commi 4, 5, 6 venivano distinte:

- Risorse geotermiche d'interesse nazionale: quelle economicamente utilizzabili per la realizzazione di un progetto geotermico tale da assicurare una potenza erogabile complessiva di almeno 20.000 kilowatt termici, alla temperatura convenzionale dei reflui di 25 gradi centigradi; sono inoltre di interesse nazionale le risorse geotermiche rinvenute in aree marine;
- Risorse geotermiche di interesse locale: quelle economicamente utilizzabili per la realizzazione di un progetto geotermico di potenza inferiore a 20.000 kilowatt termici ottenibili dal solo fluido geotermico alla temperatura convenzionale dei reflui di 25 gradi centigradi;
- Piccole utilizzazioni locali: sono considerate tali le utilizzazioni di acque calde geotermiche reperibili a profondità inferiori a 400 metri con potenza termica complessiva non superiore a 2.000 kilowatt termici.

Veniva inoltre istituito l'inventario delle risorse geotermiche a cura di ENEL-ENI-CNR-ENEA.

Secondo le disposizioni di cui all'art. 3 commi 1, 2, 3 della Legge citata, il permesso di ricerca, titolo a carattere esclusivo, veniva rilasciato dal Ministro dell'Industria, del Commercio e dell'Artigianato ad operatori pubblici e privati in possesso di adeguata capacità tecnica ed economica. In caso di concorso di più istanze relative alla stessa zona il permesso veniva rilasciato, per selezione delle domande concorrenti, tenendo conto della garanzia che i richiedenti offrivano, per competenza ed esperienza. Il permesso era accordato, a parità di condizioni, in via preferenziale all'ENEL e all'ENI, singolarmente o in contitolarità paritetica. Restava ferma l'esclusiva attribuita all'ENEL delle risorse geotermiche d'interesse nazionale nei territori delle Province di Grosseto, Livorno, Pisa e Siena.

Inoltre iniziava ad esservi una certa sensibilità verso le problematiche ambientali venendo infatti espressamente richiesto, in ottemperanza all'art. 4 comma 1 della Legge citata, una valutazione di massima delle eventuali modifiche ambientali in aggiunta alla domanda di permesso di ricerca ed al programma dei lavori.

Nel 1991 viene emanato il regolamento di attuazione con il D.P.R. n. 395 del 9/12/1991 "Regolamento di attuazione della legge 9 dicembre 1986, n. 896, recante disciplina della ricerca e della coltivazione delle risorse", tuttora vigente.

Innanzitutto vengono chiarite le definizioni di specifici termini, infatti, secondo l'articolo 1 si intende per:

- a) "risorse geotermiche" l'energia termica derivante dal calore terrestre estraibile mediante fluidi geotermici;
- b) "fluidi geotermici" i fluidi, con eventuali sostanze associate, derivanti da processi naturali di accumulo e riscaldamento e che vengono estratti sotto forma di vapore, acqua calda, salamoia e gas caldi, ovvero derivanti da processi artificiali conseguenti all'immissione di fluidi nel sottosuolo;
- c) "sostanze associate" le sostanze minerali, esclusi gli idrocarburi liquidi e gassosi, che si trovino in soluzione o in altra forma insieme ai fluidi geotermici;
- d) "usi energetici" l'utilizzazione dei fluidi geotermici per la produzione di energia elettrica, nonché di calore per usi industriali, agricoli o civili mediante la realizzazione di un progetto geotermico;
- e) "progetto geotermico" un progetto finalizzato alla realizzazione di un obiettivo energetico, comprendente l'insieme di attività, opere ed impianti necessari per la produzione e l'utilizzazione di energia contenuta nel fluido geotermico;
- f) "ricerca" l'insieme delle operazioni volte all'accertamento dell'esistenza e della consistenza delle risorse geotermiche, nonché delle possibilità tecnico-economiche di utilizzazione dei fluidi geotermici, come ad esempio l'esecuzione di rilievi geologici, geochimici e geofisici, di pozzi esplorativi e di delimitazione, di prove di produzione anche prolungate, nonché di prove di stimolazione e di acidificazione e di utilizzazione pratica dei fluidi geotermici e delle sostanze associate, da eseguire anche mediante impianti pilota, per uso prevalentemente energetico. Le prove sono comprensive dello smaltimento in superficie o nel sottosuolo dei fluidi geotermici;
- g) "coltivazione" l'insieme delle operazioni necessarie alla produzione industriale dei fluidi geotermici, comprendente in particolare l'esecuzione di pozzi destinati alla produzione, la realizzazione degli impianti e delle infrastrutture necessarie, la produzione dei fluidi stessi, il loro trattamento ed il loro smaltimento in superficie e in sottosuolo, il monitoraggio degli effetti della produzione e dello smaltimento;
- h) "iniezione" l'immissione nel sottosuolo di fluidi allo scopo di estrarne calore;
- i) "reiniezione" la reimmissione nel sottosuolo, in tutto o in parte, di fluidi geotermici dopo la loro utilizzazione.

Tale regolamento disciplina sia le modalità per la richiesta dei permessi di ricerca e concessioni di coltivazione sia le attività di ricerca e condotta dei lavori.

Secondo le disposizioni di cui all'art. 2, che regola le competenze, le funzioni amministrative, compresa quella di vigilanza sull'applicazione delle norme di polizia mineraria, sono di competenza del Ministero dell'Industria, del Commercio

e dell'Artigianato - Direzione Generale delle Miniere – Ufficio Nazionale Minerario per gli Idrocarburi e la Geotermia, che le esercitava tramite le proprie Sezioni periferiche (tali competenze sono state successivamente modificate e riorganizzate).

Le modalità e la documentazione da presentare per la domanda di permesso di ricerca sono dettagliatamente descritte negli articoli 6, 7, 8, 9 del richiamato Regolamento.

L'innovazione principale adottata è stata una regolamentazione assimilabile alle successive normative di Valutazione di Impatto Ambientale (V.I.A.), dettando, ai sensi degli articoli 11, 12, 13 del suddetto regolamento, le linee guida per la realizzazione degli studi sull'impatto ambientale. In particolare, secondo l'articolo 13 comma 1, ai fini dell'impatto ambientale il programma dei lavori di ricerca doveva essere studiato in modo tale da minimizzare per quanto possibile la superficie occupata dagli impianti e da curare l'inserimento nell'ambiente delle infrastrutture e delle installazioni necessarie.

Nel 1994 è stato emanato il D.P.R. 18/4/1994 n. 485 "Regolamento recante la disciplina dei procedimenti di rilascio di permesso di ricerca e concessione di coltivazione delle risorse geotermiche di interesse nazionale" che disciplina i procedimenti di rilascio del permesso di ricerca di fluidi geotermici e di concessione di coltivazione delle risorse geotermiche d'interesse nazionale.

Un avanzamento importante dell'attuale "iter autorizzativo" è stato raggiunto con il decentramento amministrativo, introdotto dalla Legge n. 59 del 15/03/1997 e dal successivo [Decreto Legislativo n. 112 del 31 marzo 1998](#), con il quale viene delegata alle Regioni la competenza amministrativa sulle risorse geotermiche lasciando allo Stato il potere legislativo e di indirizzo.

In particolare, ai sensi del capo VI art. 34, viene stabilito che "le funzioni degli uffici centrali e periferici dello Stato relative ai permessi di ricerca ed alle concessioni di coltivazioni di minerali solidi e risorse geotermiche sulla terraferma sono delegate alle Regioni, che le esercitano nell'osservanza degli indirizzi della politica nazionale nel settore minerario e dei programmi nazionali di ricerca".

Nel 2008 l'Autorità Garante della Concorrenza e del Mercato meglio nota come "Antitrust" ha posto in evidenza possibili distorsioni della concorrenza derivanti da alcune disposizioni della "Legge Geotermica", riferendosi in particolare alle vie preferenziali di assegnazione dei permessi di ricerca o delle concessioni di coltivazione ad ENEL ed ENI ed all'esclusiva in materia di ricerca e coltivazione delle risorse geotermiche di ENEL nelle Province di Pisa, Livorno, Siena e Grosseto. L'Antitrust ha evidenziato l'esigenza di un intervento legislativo che consentisse di precisare il quadro normativo di riferimento garantendo una concorrenza per il mercato nell'assegnazione dei permessi di ricerca e delle concessioni di coltivazione di risorse geotermiche.

Ai sensi della Legge n. 99 del 23/07/2009 "*Disposizioni per lo sviluppo e l'internazionalizzazione delle imprese, nonché in materia di energia*" nota come "*Legge Sviluppo*" il governo viene delegato ad adottare, entro centottanta giorni dalla data di entrata in vigore della stessa legge uno o più decreti legislativi per determinare un nuovo assetto della normativa in materia di ricerca e coltivazione delle risorse geotermiche. In particolare l'art. 27 comma 28 recita "*Il Governo è delegato ad adottare, entro centottanta giorni dalla data di entrata in vigore della presente legge, su proposta del Ministro dello sviluppo economico...uno o più decreti legislativi al fine di determinare un nuovo assetto della normativa in materia di ricerca e coltivazione delle risorse geotermiche che garantisca, in un contesto di sviluppo sostenibile del settore e assicurando la protezione ambientale, un regime concorrenziale per l'utilizzo delle risorse geotermiche ad alta temperatura e che semplifichi i procedimenti amministrativi per l'utilizzo delle risorse geotermiche a bassa e media temperatura...*".

L'11 febbraio 2010 è stato emanato il Decreto Legislativo n. 22/2010 "*Riassetto della normativa in materia di ricerca e coltivazione delle risorse geotermiche, a norma dell'articolo 27, comma 28, della legge 23 luglio 2009, n.99*" che rappresenta il principale riferimento della normativa attualmente in vigore in materia di risorse geotermiche.

È importante sottolineare che il suddetto Decreto 22/2010 ha subito modifiche ed integrazioni con l'emanazione del Decreto Legislativo del 3 marzo 2011 n. 28 "*Attuazione della direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE*" e della Legge n. 221 del 17 Dicembre 2012 "*Conversione in legge, con modificazioni, del Decreto Legge 22 giugno 2012, n.83, recante misure urgenti per la crescita del Paese*". *Le modifiche sono inerenti alla sperimentazione degli "impianti pilota", introdotta al fine di promuovere la ricerca e lo sviluppo di nuove centrali geotermoelettriche a ridotto impatto ambientale, con reiniezione del fluido geotermico nelle stesse formazioni di provenienza, con emissioni nulle e con potenza installata non superiore a 5 MW per ciascuna centrale; per tali impianti, che per il migliore sfruttamento del fluido geotermico necessitano di una maggiore potenza nominale installata al fine di mantenere il fluido geotermico allo stato liquido, il limite di 5 MW è determinato in funzione dell'energia immessa nel sistema elettrico.*

La Legge n. 134 del 7 agosto 2012 all'art. 38-ter ha ampliato l'elenco delle infrastrutture ed insediamenti strategici previsto dall'art. 57 della Legge n. 35 del 4 aprile 2012, introducendo la lettera f-bis). Pertanto, ai sensi del citato art. 38-ter della Legge 134/2012, sono altresì infrastrutture ed insediamenti strategici gli impianti per l'estrazione di energia geotermica di cui al D.Lgs. 22/2010.

Da ultimo la Legge 9 agosto 2013 n. 98 "*Conversione in legge, con modificazioni, del Decreto-Legge 21 giugno 2013, n. 69, recante disposizioni urgenti per il rilancio dell'economia*" ha disposto che la competenza per gli impianti pilota è statale.

3. Normativa vigente in materia di risorse geotermiche

In materia di risorse geotermiche la normativa nazionale in vigore è costituita da:

- Legge 9 agosto 2013, n. 98 "*Conversione in legge, con modificazioni, del Decreto-Legge 21 giugno 2013, n. 69, recante disposizioni urgenti per il rilancio dell'economia*";
- Legge 17 dicembre 2012 n. 221 "*Conversione in legge, con modificazioni, del Decreto Legge 18 ottobre 2012, n. 179, recante ulteriori misure urgenti per la crescita del Paese*";
- Legge 7 agosto 2012, n. 134 "*Conversione in legge, con modificazioni, del decreto legge 22 giugno 2012, n. 83, recante misure urgenti per la crescita del Paese*";
- D.M. 6 luglio 2012 del Ministero Sviluppo Economico "*Attuazione dell'articolo 24 del D.Lgs. 28/2011 recante incentivazione della produzione di energia elettrica da impianti a fonti rinnovabili diversi dai fotovoltaici*";
- Direttiva 1 luglio 2011 del Ministero dello Sviluppo Economico "*Direttiva per la prima attuazione delle modifiche introdotte dal Decreto Legislativo 28/2011 al Decreto Legislativo 22/2010 di riassetto della normativa in materia di ricerca e coltivazione*

del DECRETO LEGISLATIVO 20/2011, del DECRETO LEGISLATIVO 22/2010 di RIASSETTO DELLA NORMATIVA IN MATERIA DI RICERCA E COLTIVAZIONE delle risorse geotermiche per gli aspetti di competenza del MSE-DGRME";

- D.Lgs. 03 marzo 2011 n.28 "Attuazione della direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE";
- D.Lgs. 11 febbraio 2010 n.22 "Riassetto della normativa in materia di ricerca e coltivazione delle risorse geotermiche, a norma dell'articolo 27, comma 28, della legge 23 luglio 2009, n. 99";
- Direttiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 23 aprile 2009 "sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE";
- D.P.R. 8 agosto 1994 n. 485 "Regolamento recante la disciplina dei procedimenti di rilascio di permesso di ricerca e concessione di coltivazione delle risorse geotermiche di interesse nazionale";
- D.P.R. 27 maggio 1991 n. 395 "Approvazione del regolamento di attuazione della legge 9 dicembre 1986, n. 896, recante disciplina della ricerca e della coltivazione delle risorse geotermiche";
- Legge 21 luglio 1967 n. 613 "Ricerca e coltivazione degli idrocarburi liquidi e gassosi nel mare territoriale e nella piattaforma continentale e modificazioni alla L. 11 gennaio 1957, n.6, sulla ricerca e coltivazione degli idrocarburi liquidi e gassosi";
- Legge 11 gennaio 1957 n. 6 "Ricerca e coltivazione degli idrocarburi liquidi e gassosi";
- R.D. 11 dicembre 1933 n. 1775 "Approvazione del testo unico delle disposizioni di legge sulle acque ed sugli impianti elettrici"
- R.D. 29 luglio 1927 n. 1443 "Norme di carattere legislativo per disciplinare la ricerca e la coltivazione delle miniere nel Regno".

Secondo la classificazione proposta nell'art. 1 comma 2 del D.Lgs. 22/2010, sulla base della temperatura che presenta il fluido, vengono distinte:

- Risorse geotermiche ad alta entalpia con temperatura del fluido > 150°C;
- Risorse geotermiche a media entalpia con temperatura compresa tra 90 e 150°C;
- Risorse geotermiche a bassa entalpia con temperatura < 90°C.

Come citato nell'art. 1 comma 1 "La ricerca e la coltivazione a scopi energetici delle risorse geotermiche effettuate nel territorio dello Stato, nel mare territoriale e nella piattaforma continentale italiana...sono considerate di pubblico interesse e di pubblica utilità e sottoposte a regimi abilitativi ai sensi del presente decreto".

4. Brevi cenni normativi sulle risorse geotermiche di interesse nazionale e locale

Le risorse geotermiche ad alta entalpia, o quelle economicamente utilizzabili per la realizzazione di un progetto geotermico tale da assicurare una potenza erogabile complessiva di almeno 20 MW termici, sono considerate d'interesse nazionale, patrimonio indisponibile dello Stato. Le risorse geotermiche a media e bassa entalpia, o quelle economicamente utilizzabili per la realizzazione di un progetto geotermico di potenza inferiore a 20 MW termici sono considerate di interesse locale.

Secondo le disposizioni di cui all'articolo 1 comma 7 del D.Lgs. 22/2010, le Autorità competenti per le funzioni amministrative, per il rilascio del permesso di ricerca e della concessione di coltivazione, comprese le funzioni di vigilanza, sia per le risorse d'interesse nazionale che per quelle d'interesse locale sono le Regioni o gli enti da esse delegati nel cui territorio sono rinvenute o il Ministero dello Sviluppo Economico di concerto con il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare che si avvale dell'UMNIG per il controllo sull'esercizio delle attività, nel caso di rinvenimento di risorse geotermiche nel mare territoriale o nella piattaforma continentale. A tal proposito va inoltre precisato che, secondo quanto disposto dai commi 9 e 10 dell'art. 3 dello stesso D.Lgs. 22/2010, qualora l'area richiesta interessi il mare territoriale o la piattaforma continentale italiana, deve essere preventivamente acquisito il parere del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare e del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti; per le zone interessanti la difesa deve essere sentita l'amministrazione militare.

Il capo II del suddetto Decreto fornisce le disposizioni riguardanti l'assegnazione del permesso di ricerca di risorse geotermiche. Questo rappresenta un titolo minerario esclusivo, rilasciato dalle Autorità competenti, che consente di svolgere l'insieme delle operazioni volte all'accertamento dell'esistenza e della consistenza delle risorse geotermiche.

Il permesso viene rilasciato a soggetti, anche in contitolarità, in possesso di adeguata capacità tecnica ed economica contestualmente all'approvazione del programma dei lavori presentato, a seguito dell'esito positivo della procedura di valutazione di impatto ambientale (laddove prevista).

Il rilascio del permesso, in ottemperanza all'art. 3 comma 11 del D.Lgs. 22/2010, resta subordinato alla presentazione di un'adeguata fideiussione bancaria o assicurativa commisurata al valore delle opere di recupero ambientale previste al seguito delle attività.

Ai sensi dell'art. 3 comma 6 e 7 della richiamata Legge, in caso di domande concorrenti riferibili alla medesima area l'Autorità competente nel rispetto dei principi di trasparenza e parità di trattamento effettuerà una selezione in base ai seguenti parametri:

- interesse, fondatezza e novità degli obiettivi minerari;
- conoscenze delle problematiche geologico-strutturali specifiche dell'area;
- completezza e razionalità del programma dei lavori di ricerca proposto;
- modalità di svolgimento dei lavori con particolare riferimento alla sicurezza, alla salvaguardia ambientale ed al ripristino dei luoghi;
- garanzia che i richiedenti offrono per competenza ed esperienza.

Sono considerate concorrenti le domande riferite alla medesima area pervenute all'Autorità competente non oltre i sessanta giorni dalla pubblicazione della prima domanda, nel Bollettino Ufficiale Regionale o in altro strumento di pubblicità indicato dalla Regione stessa.

Il permesso di ricerca richiesto può coprire una superficie massima di 300 km² e ha una durata di 4 anni, prorogabile per altri 2. A uno stesso soggetto possono essere accordati più permessi a condizione che l'area complessiva non ecceda i 5000

km2 su tutto il territorio nazionale o i 1000 km2 all'interno di una stessa Regione.

Il titolare del permesso di ricerca che abbia individuato fluidi geotermici è tenuto a darne tempestiva comunicazione all'Autorità competente che ne riconosce il carattere nazionale o locale delle risorse rinvenute e ne dà immediata comunicazione pubblica nel Bollettino Ufficiale Regionale o in altro strumento di pubblicità degli atti indicato dalla Regione stessa e nel BUIG (Bollettino Ufficiale degli Idrocarburi e delle Georisorse). Il titolare ha il diritto di presentare la richiesta di concessione di coltivazione entro sei mesi dal riconoscimento del carattere nazionale o locale della risorsa da parte dell'Autorità competente, trascorsi i quali essa potrà essere richiesta in concorrenza da altri operatori.

La concessione di coltivazione di risorse geotermiche è accordata dall'Autorità competente (con una durata di trenta anni) a seguito dell'approvazione del programma dei lavori, del progetto geotermico, dell'esito positivo di un procedimento unico cui partecipano le amministrazioni interessate e dell'esito positivo della procedura di valutazione d'impatto ambientale. Anche il rilascio della concessione di coltivazione è subordinato alla presentazione, da parte del richiedente, di una fidejussione bancaria o assicurativa commisurata al valore delle opere di recupero ambientale previste a seguito delle attività. Nel caso in cui l'area della concessione ricada sui territori di due o più Regioni limitrofe, il Presidente della Giunta Regionale nel cui territorio ricade la maggiore estensione della concessione rilascerà il titolo di concerto con le altre Regioni interessate.

In caso di concorrenza, la concessione di coltivazione viene assegnata dall'Autorità competente, a seguito dell'esito positivo della valutazione di impatto ambientale per ciascun progetto, effettuando una selezione sulla base dei seguenti criteri di valutazione:

- completezza e razionalità del programma dei lavori proposto per la gestione dei serbatoi geotermici con particolare riferimento alla sostenibilità di lungo periodo;
- modalità di svolgimento dei lavori;
- garanzia che i richiedenti offrono per competenza ed esperienza.

L'articolo 9 del sopracitato Decreto disciplina la riassegnazione di una concessione di coltivazione in caso di scadenza naturale, decadenza, rinuncia e revoca del titolo oppure nel caso che l'Autorità competente, tre anni prima della scadenza, non ritenga sussistere un prevalente interesse pubblico in tutto o in parte con il mantenimento della concessione.

Ai sensi dell'articolo 14 commi 1 e 2, il titolare decade dal titolo minerario acquisito se:

- non inizia i lavori nei termini prescritti;
- non rispetta, nei tempi e nei modi previsti dal titolo minerario, il programmi di lavoro ed il progetto geotermico;
- non corrisponde nei termini il canone dovuto;
- cede quote del titolo senza l'autorizzazione dell'Autorità competente;
- non ottempera agli obblighi previsti dal titolo a pena di decadenza;
- non adempie agli obblighi derivanti dal provvedimento o dal regolamento d'attuazione.

Il D.Lgs. n. 22/2010 abroga la Legge 9 dicembre 1986, n. 896 "Disciplina della ricerca e della coltivazione delle risorse geotermiche". Si applicano fino a nuove disposizioni in materia, ai sensi dell'articolo 17 della normativa vigente, le disposizioni del Decreto 27 maggio 1991 n. 395 e del Decreto 18 aprile 1994 n. 485. Inoltre, ai sensi del suddetto articolo 17, si applicano in quanto compatibili con il Decreto n. 22/2010, considerando le competenze regionali, le disposizioni di cui al Regio Decreto n. 1443/1927.

5. Brevi cenni normativi sulle piccole utilizzazioni locali ed impianti pilota

Per quanto riguarda le piccole utilizzazioni locali di calore geotermico, ai sensi dell'articolo 10 del D.Lgs. n. 22/2010, vengono distinte due tipologie:

- a) quelle che consentono la realizzazione di impianti di potenza inferiore a 2 MW termici, ottenute mediante l'esecuzione di pozzi di profondità sino a 400 metri per ricerca, estrazione ed utilizzazione di fluidi geotermici o acque calde anche per l'eventuale produzione di energia elettrica con impianti a ciclo binario ad emissione nulla;
- b) quelle effettuate tramite l'installazione di sonde geotermiche che scambiano calore con il sottosuolo, senza effettuare il prelievo e la reimmissione nello stesso di acque calde o fluidi geotermici.

Le Autorità competenti per le funzioni amministrative e di vigilanza, riguardanti le piccole utilizzazioni di tipo a) e b) sono le Regioni o gli enti da esse delegati.

Le autorizzazioni per le utilizzazioni di tipo a) sono concesse dalle Regioni territorialmente competenti con le modalità previste dal testo unico delle disposizioni di legge sulle acque e impianti elettrici di cui al Regio Decreto 11 dicembre 1933 n. 1775.

Le piccole utilizzazioni di tipo b) sono sottoposte al rispetto della specifica disciplina emanata dalla Regione competente, con previsione di adozione di procedure semplificate.

Come già precedentemente anticipato il Decreto Legislativo del 3 marzo 2011 n. 28 modifica parzialmente la Legge del 2010 n. 22. La principale modifica è riportata nell'art. 9 comma 1 lettera a) primo periodo, "Al fine di promuovere la ricerca e lo sviluppo di nuove centrali geotermoelettriche a ridotto impatto ambientale...sono altresì di interesse nazionale i fluidi geotermici a media ed alta entalpia finalizzati alla sperimentazione, su tutto il territorio nazionale, di impianti pilota con reiniezione del fluido geotermico nelle stesse formazioni di provenienza, e comunque con emissioni nulle, con potenza nominale installata non superiore a 5 MW per ciascuna centrale, per un impegno complessivo autorizzabile non superiore ai 50 MW; per ogni proponente non possono in ogni caso essere autorizzati più di tre impianti, ciascuno di potenza nominale non superiore a 5 MW". Inoltre il D.Lgs. 18 ottobre 2012, n. 179, convertito con modificazioni dalla Legge 17 dicembre 2012 n. 221, ha disposto con l'art. 34 comma 28, l'introduzione del comma 3-bis 1 all'art. 1 del D. Lgs. n. 22/2010 ovvero "agli impianti pilota di cui al comma 3-bis, che per il migliore sfruttamento ai fini sperimentali del fluido geotermico necessitano di una maggiore potenza nominale installata al fine di mantenere il fluido geotermico allo stato liquido, il limite di 5 MW è determinato in funzione dell'energia immessa nel sistema elettrico".

Nel caso di sperimentazione di impianti pilota l'Autorità competente è il Ministero dello Sviluppo Economico (MiSE), di concerto con il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM), che acquisiscono l'intesa con la Regione interessata.

regione interessata.

Ai sensi della Direttiva 1 luglio 2011 del MISE, la sperimentazione degli impianti pilota è da concedere mediante un permesso di ricerca nel quale vengono stabilite le modalità di coltivazione dei fluidi geotermici. Le attività di ricerca mineraria sono rappresentate esclusivamente dalla sperimentazione dell'impianto pilota, comprese le specifiche operazioni minerarie di realizzazione dello stesso, per cui vengono accettate utilmente solo le istanze per cui il proponente dispone dei dati geotermici necessari per avviare l'impianto pilota. Tali istanze non potranno essere accettate qualora interessino aree in cui siano già vigenti titoli minerari geotermici in quanto si riferiscono alla stessa risorsa. La durata del permesso per impianto pilota è la medesima prevista per i permessi di ricerca convenzionali con l'obbligo di ultimare, entro i termini di scadenza, l'installazione e la messa in esercizio dell'impianto e dato avvio alla sperimentazione.

Qualora la sperimentazione abbia esito positivo, il titolare potrà inoltrare richiesta di concessione di coltivazione della risorsa secondo le procedure ordinarie alla Regione competente ed al Ministero dello Sviluppo Economico.

Con Comunicato Ministeriale del 31 gennaio 2014 l'UNMIG ha dichiarato che verranno pubblicate tutte le istanze già presentate ed accettate con riserva (essendo stata raggiunta la potenza complessiva autorizzabile fissata a 50 MW) e che verrà acquisito per le suddette, il parere tecnico di merito della CIRM, ai fini dell'efficacia e dell'efficienza dell'azione amministrativa previste dall'art. 1, comma 3 bis del Decreto Legislativo 11 febbraio 2010, n. 22. Il proseguo istruttorio di tali istanze sarà subordinato alla condizione che si dovranno rendere disponibili ulteriori potenze autorizzabili fino al limite dei previsti 50 MW. Inoltre a decorrere dalla data di tale comunicato non verranno accettate ulteriori istanze con riserva relative ad impianti geotermici pilota.

6. Brevi cenni normativi sulla normativa ambientale

Per quanto riguarda la legislazione ambientale nazionale è in vigore il Decreto Legislativo 3 aprile 2006 n. 152 "*Norme in materia ambientale*", come modificato ed integrato dal Decreto Legislativo 16 gennaio 2008, n. 4, dal Decreto Legislativo 29 giugno 2010, n. 128, dal Decreto Legislativo 7 luglio 2011, n. 121, dalla Legge 4 aprile 2012, n. 35 e dalla Legge 7 agosto 2012, n. 134.

Come stabilito dall'art. 4 del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i., la valutazione ambientale di piani, programmi e progetti ha lo scopo di garantire che l'attività dell'uomo sia compatibile con le condizioni per uno sviluppo sostenibile, nel rispetto delle capacità rigenerative degli ecosistemi e delle risorse, della salvaguardia della biodiversità e di un'equa distribuzione dei vantaggi connessi all'attività economica. Essa individua, descrive e valuta per ciascun caso gli impatti diretti e indiretti che un progetto può avere:

- sull'uomo, la flora e la fauna;
- sul suolo, l'acqua, l'aria e il clima;
- sui beni materiali e il patrimonio culturale;
- sull'interazione tra questi fattori.

Viene stabilito che sono sottoposti a procedura di "*Verifica di Assoggettabilità a V.I.A.*" e a "*Valutazione d'Impatto Ambientale*" secondo le disposizioni delle leggi regionali, i progetti di cui agli allegati III e IV del Decreto 152/2006. In sede regionale l'Autorità competente è la pubblica amministrazione con compiti di tutela, protezione e valorizzazione ambientale individuate secondo le disposizioni delle leggi regionali o delle Province Autonome.

La Verifica di Assoggettabilità a "V.I.A." è una procedura di verifica attivata allo scopo di valutare se piani, programmi o progetti possono avere un impatto significativo sull'ambiente e devono essere sottoposti alla successiva fase di valutazione.

Questa procedura, disciplinata dall'art. 20 del D.Lgs. 152/2006, prevede che il proponente trasmetta all'Autorità competente il progetto preliminare e lo studio preliminare ambientale e una loro copia in formato elettronico su idoneo supporto per i progetti di cui all'allegato IV, secondo le modalità stabilite dalle Regioni e dalle Province Autonome. Il proponente deve dare avviso di trasmissione nella Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana per i progetti di pertinenza dello Stato e sul Bollettino Ufficiale della Regione per i progetti di pertinenza regionale, nonché nell'Albo Pretorio dei Comuni interessati. L'Autorità competente nei successivi quarantacinque giorni verifica se il progetto possa avere effetti negativi apprezzabili sull'ambiente ed entro tale termine si esprime in merito, tenuto conto delle osservazioni pervenute. L'autorità competente può, per una sola volta, richiedere integrazioni documentali o chiarimenti al proponente, entro il termine di quarantacinque giorni; in tal caso, il proponente deve provvedere a depositare la documentazione richiesta presso gli uffici competenti entro trenta giorni dalla scadenza del termine di cui sopra.

Qualora il progetto si ritenga che non abbia impatti ambientali significativi, l'Autorità competente dispone l'esclusione dalla procedura di Valutazione di Impatto Ambientale (V.I.A.). Il provvedimento di Assoggettabilità viene pubblicato dall'Autorità competente, con un avviso sintetico, sulla Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana e nel Bollettino Ufficiale della Regione o della Provincia Autonoma, integralmente sul sito dell'Autorità competente.

La Valutazione d'Impatto Ambientale (V.I.A.) è disciplinata dagli articoli da 21 a 29 del sopracitato Decreto. Lo studio di impatto ambientale è predisposto secondo le indicazioni previste nell'allegato VII e nel rispetto degli esiti della fase di consultazione con l'Autorità competente e i soggetti competenti in materia ambientale. Lo studio d'impatto ambientale deve almeno contenere le seguenti informazioni:

- caratteristiche, localizzazione e dimensioni del progetto;
- descrizione delle misure previste per evitare, ridurre gli effetti negativi rilevanti;
- individuare e valutare i principali impatti del progetto sull'ambiente e sul patrimonio culturale, in tutte le sue fasi;
- descrizione delle alternative prese in esame, compresa l'alternativa zero, motivandone le scelte;
- descrizione delle misure di monitoraggio.

Allo studio di impatto ambientale deve essere allegata una sintesi non tecnica delle caratteristiche dimensionali e funzionali del progetto e dei dati ed informazioni contenuti nello studio stesso inclusi gli elaborati grafici.

Alla domanda del proponente all'Autorità competente (Regioni, Province e Comuni sui quali ricade il progetto) devono essere allegati: *il progetto definitivo, lo studio d'impatto ambientale*, copia dell'avviso a mezzo stampa e l'elenco delle autorizzazioni, intese, concessioni, licenze, pareri, nulla osta e assensi acquisiti o da acquisire, il tutto in un congruo numero di copie, di cui una in formato elettronico.

Entro trenta giorni l'autorità competente verifica la completezza della documentazione e l'avvenuto pagamento del contributo dovuto ai sensi del decreto in oggetto. Qualora l'istanza risulti incompleta, l'autorità competente richiede al proponente un'integrazione della documentazione da presentare entro trenta giorni. Il richiedente, nel caso di complessità della documentazione da depositare può richiedere una proroga del termine di presentazione. Qualora però l'istanza non pervenga all'autorità entro il termine stabilito, l'istanza s'intende ritirata.

L'Autorità può disporre che la fase di consultazione, avvenga con un'inchiesta pubblica per l'esame dello studio d'impatto ambientale, dei pareri forniti dalle pubbliche amministrazioni e delle osservazioni dei cittadini. Entro il termine di sessanta giorni dalla pubblicazione del progetto, chiunque abbia interesse può prendere visione del progetto e presentare proprie osservazioni.

In tal caso, l'autorità competente esprime il provvedimento di valutazione dell'impatto ambientale entro novanta giorni dalla scadenza del termine previsto per la presentazione delle osservazioni.

Il provvedimento di Valutazione d'Impatto Ambientale è pubblicato per estratto dal proponente, con indicazione dell'opera, dell'esito del provvedimento e dei luoghi in cui è possibile consultare integralmente nella Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana per i progetti di competenza statale e nel Bollettino Ufficiale della Regione, per i progetti di rispettiva competenza.

Ai sensi del Decreto 152/2006 e s.m.i. allegato IV comma 2 lettera b), le attività di ricerca su terraferma delle sostanze minerali citate nel Regio Decreto n. 1443/1927, comprese le risorse geotermiche, (ad esclusione degli impianti geotermici) e le relative attività minerarie sono soggette a "Verifica di Assoggettabilità a V.I.A.".

7. Iter autorizzativo per la richiesta del permesso di ricerca di risorse geotermiche di interesse nazionale e locale

La richiesta di permesso di ricerca e la relativa documentazione da allegare devono essere prodotte ai sensi del D.Lgs. 22/2010 e del D.P.R. 395/1991.

L'istanza redatta in carta legale deve essere presentata in duplice copia alla sezione competente per ciascuna Regione. In ottemperanza all'articolo 6 comma 2 del D.P.R. 395/1991, nella domanda devono essere indicate:

- a) le generalità del richiedente. Nel caso che la domanda sia presentata da una società, la ragione sociale quale risulta dall'atto costitutivo nonché le generalità del rappresentante legale;
- b) il domicilio del richiedente o la sede sociale della società ovvero, per le società estere, il domicilio legale del rappresentante;
- c) il codice fiscale;
- d) le Province ed i Comuni in cui ricade l'area richiesta ed un nominativo convenzionale del permesso corrispondente ad un toponimo compreso nell'area del permesso stesso;
- e) le coordinate geografiche dei vertici dell'area richiesta, riferite al meridiano di Monte Mario per le aree ricadenti in terra ed al meridiano di Greenwich per le aree ricadenti in mare, espresse in gradi ed in minuti primi;
- f) la descrizione degli eventuali punti di intersezione del perimetro del permesso con la frontiera dello Stato o con la linea costiera o con il perimetro del territorio di esclusiva dell'ENEL, e le coordinate geografiche dei punti di intersezione con la linea che segna il limite esterno della piattaforma continentale italiana o il perimetro di permessi di ricerca e di concessioni di coltivazione già accordati e confermati, espresse in gradi, minuti primi e frazioni decimali di primi;
- g) la superficie dell'area richiesta espressa in km².

L'area del permesso di ricerca deve essere continua e compatta e delimitata da archi di meridiano e di parallelo di lunghezza pari ad un minuto primo o ad un multiplo di esso, salvo per il lato che eventualmente coincida con la frontiera dello Stato, o con la linea esterna della piattaforma continentale, o con il perimetro del territorio di esclusiva dell'ENEL, o con il perimetro dei permessi di ricerca e delle concessioni di coltivazione già accordati. La distanza tra i vertici estremi del permesso non deve essere superiore a quattro volte la lunghezza media dell'area, intesa come altezza del rettangolo equivalente avente per base tale distanza.

Ai sensi dell'articolo 7 del suddetto Decreto, unitamente alla domanda deve essere presentata copia dei seguenti documenti:

- a) la certificazione attestante la nazionalità del richiedente o, se trattasi di società, la copia dell'atto costitutivo e dello statuto della medesima, nonché il certificato della competente Cancelleria attestante la rappresentanza legale;
 - b) il programma dei lavori in triplice copia in carta legale corredato ciascuno da una relazione tecnica;
 - c) una relazione dalla quale risultino le esperienze già acquisite dal richiedente nelle attività minerarie ed in particolare nel settore geotermico. Qualora il richiedente sia già titolare di permessi di ricerca o di concessioni di coltivazione in campo geotermico è dispensato dalla presentazione della suddetta relazione;
 - d) due esemplari, firmati e bollati, del piano topografico dell'area richiesta, redatto su fogli originali della carta d'Italia edita dall'Istituto Geografico Militare (I.G.M.) alla scala 1:100.000, nei quali siano evidenziati, con linea nera, i limiti dell'area richiesta. In "legenda" saranno indicati le generalità del richiedente, la denominazione convenzionale del permesso richiesto, le coordinate geografiche dei vertici e degli eventuali punti di intersezione, nonché l'estensione dell'area richiesta;
 - e) un esemplare bollato degli stessi fogli I.G.M. privi di qualsiasi indicazione e piegatura;
- per le domande intese ad ottenere permessi di ricerca ricadenti interamente in mare, gli esemplari di cui al punto b) saranno redatti sulla carta nautica dell'Istituto Idrografico della Marina, alla scala 1:250.000;
- g) per le domande intese ad ottenere permessi di ricerca su aree adiacenti di terra e di mare, gli esemplari di cui al punto d) saranno redatti utilizzando la cartografia ufficiale esistente più idonea ad evidenziare i limiti dell'area richiesta;
 - h) una relazione sulla capacità tecnico-economica del richiedente.

In ottemperanza alle disposizioni di cui all'articolo 10 del suddetto Decreto, all'istanza di permesso deve essere allegato uno studio di valutazione di massima delle eventuali modifiche ambientali (coincidente con lo Studio Preliminare Ambientale).

Ai sensi dell'articolo 11 del D.Lgs. 22/2010, la domanda di permesso di ricerca deve essere pubblicata nel Bollettino Ufficiale Regionale o in altri strumenti di pubblicità indicati dalle Regioni stesse (se la competenza è del Ministero dello Sviluppo Economico è necessario pubblicarlo sul B.U.C.).

economico e necessario pubblicarlo sul BORG).

Gli allegati tecnici più importanti da presentare, oltre al piano topografico, sono il programma di lavoro, la relazione tecnico-mineraria di supporto al programma e lo studio ambientale.

Come citato nell'articolo 8 comma 1, la relazione tecnica deve contenere uno studio degli aspetti geografici e geologico-strutturali specifici dell'area richiesta, con documentazione illustrativa, evidenziando eventualmente l'esistenza di condizioni di instabilità "geostrutturali", e sui temi di ricerca che si intenderanno sviluppare, con eventuale riferimento ai lavori già eseguiti ed alle esperienze già acquisite.

Tale relazione può essere considerata uno studio di "pre-fattibilità" che, sulla base di dati e lavori pregressi ed esperienze acquisite, metta in evidenza le potenzialità geotermiche qualitative dell'area richiesta. In particolare, è necessario predisporre un inquadramento geologico regionale, geomorfologico, geologico-strutturale, idrogeologico, geochimico, geofisico e geotermico più specifico, relativamente all'area di interesse, al fine di caratterizzare preliminarmente e qualitativamente l'obiettivo minerario da raggiungere. È opportuno, inoltre, specificare la tipologia d'impianto per la conversione della risorsa geotermica in energia elettrica, che si prevede di utilizzare per lo sfruttamento della risorsa, considerando questa una stima esclusivamente preliminare.

Il programma di lavoro (riferito alla lettera b) deve contenere la descrizione dell'insieme degli studi e delle operazioni che il richiedente del permesso di ricerca intende svolgere per l'accertamento dell'esistenza, la delimitazione e la valutazione delle unità geostutturali capaci di fornire fluidi geotermici, nonché delle possibilità tecnico-economiche di utilizzazione dei relativi fluidi. Tali operazioni consistono normalmente nell'esecuzione di rilievi geologici, geofisici e geochimici, di pozzi di gradiente, di pozzi esplorativi e di verifica, di prove di produzione anche prolungate e di utilizzazione pratica dei fluidi geotermici, da eseguire anche mediante impianti pilota.

Considerando che, la completezza del programma di lavoro è un parametro fondamentale di selezione, da parte dell'Autorità competente, in caso di domande concorrenti, le operazioni in programma devono essere descritte nella maniera più dettagliata possibile in relazione alle conoscenze già disponibili per l'area oggetto dell'istanza e per le zone adiacenti, agli obiettivi minerari perseguiti, all'estensione dell'area richiesta ed alla conformazione dei territori o dei fondi marini interessati.

In particolare il programma di lavoro deve comprendere, per ciascun tipo di rilievo proposto, l'indicazione degli strumenti e delle specifiche tecniche da utilizzare, le tempistiche ed il preventivo di spesa. È opportuno, inoltre, riportare sul documento l'ubicazione cartografica dei punti di campionamento o di misura relativamente ad ogni tipologia di rilievo che si intende effettuare.

Il documento deve contenere necessariamente il "business plan" specificando la previsione degli impegni di spesa e dei relativi tempi di esecuzione anche in relazione alla durata del permesso.

Per quanto riguarda lo studio delle modifiche ambientali, le modalità di preparazione sono disciplinate dall'articolo 10 comma 1 del D.P.R. 395/1991, in particolare lo studio deve contenere:

- una relazione descrittiva, con l'indicazione su cartografia in scala non inferiore a 1:100.000, delle caratteristiche geomorfologiche, idrografiche, urbanistiche, paesaggistiche e d'uso del suolo esistenti e dei vincoli (idrogeologici, forestali, paesistici, naturalistici, storici, artistici, archeologici, architettonici, urbanistici e di uso civico) vigenti in corrispondenza dell'area richiesta in permesso, imposti in base alle leggi statali e regionali;
- l'indicazione delle porzioni di aree soggette a vincoli puntuali (cose immobili e mobili che presentano interesse artistico, storico, archeologico ed etnografico) su cartografia in scala non inferiore a 1:25.000;
- una definizione qualitativa e quantitativa dei rifiuti e delle emissioni eventualmente prodotti durante le attività in programma;
- gli schemi delle modalità di esecuzione dei rilievi geofisici e dei pozzi nell'area sottoposte a vincoli;
- una descrizione delle misure di monitoraggio che verranno adottate;
- una previsione di massima delle modifiche ambientali che potrebbero essere prodotte in relazione alla tipologia di lavori programmati con particolare riferimento all'atmosfera, alle risorse idriche, al suolo e al sottosuolo, a flora e fauna, agli ecosistemi, alla salute pubblica, a rumori e vibrazioni, alle radiazioni, al paesaggio e ai beni culturali;
- una descrizione delle misure adottate per evitare e ridurre gli impatti ambientali;
- uno studio delle opere di recupero ambientale conseguenti alle attività di ricerca con riferimento alla sistemazione e manutenzione dei piazzali, delle aree limitrofe e delle infrastrutture connesse alle attività programmate.

In ottemperanza al D.Lgs. 152/2006 e s.m.i. recante norma in materia ambientale, poiché tali progetti geotermici rientrano in quelli elencati nell'allegato IV, deve essere presentata all'Autorità competente, secondo le modalità stabilite dalle Regioni, l'istanza di "Verifica di Assoggettabilità a Valutazione di Impatto Ambientale". Unitamente al progetto preliminare (programma di lavoro n.d.a) deve essere presentato lo "studio preliminare ambientale" sulle modifiche ambientali relative al permesso di ricerca in terraferma (fornendo, inoltre, una copia degli stessi in formato elettronico).

A cura del proponente deve essere fornito un sintetico avviso nel Bollettino Ufficiale della Regione e nell'Albo Pretorio dei Comuni interessati (nella Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana per i progetti di competenza statale). Nell'avviso devono essere indicati il proponente, l'oggetto e la localizzazione prevista per il progetto, il luogo ove possono essere consultati gli atti nella loro interezza ed i tempi entro i quali è possibile presentare osservazioni. I principali elaborati del progetto preliminare ambientale, sono pubblicati sul sito web dell'Autorità competente. Quest'ultima deve verificare, sulla base degli elementi descritti nell'allegato V del suddetto decreto, se il progetto abbia possibili effetti negativi apprezzabili sull'ambiente. L'Autorità, qualora non ravveda impatti ambientali significativi, può disporre l'esclusione dalla procedura di V.I.A. Qualora si ritenesse che il progetto possa avere impatti significativi si applicano le disposizioni inerenti alla procedura di V.I.A di cui agli articoli 21-28 del D.Lgs. 152/2006.

Inoltre, al fine di assicurare la rapida e contestuale acquisizione di autorizzazioni, nulla-osta, pareri, assensi comunque denominati dalla vigente legislazione, necessari per il conferimento del titolo minerario deve essere effettuata una Conferenza dei Servizi con le Amministrazioni interessate (Regioni, Comuni, altri Enti).

A seguito della suddetta Conferenza dei Servizi, e dell'esito positivo della procedura di Valutazione di Impatto Ambientale (o esclusione da questa procedura), viene rilasciato il permesso di ricerca.

Il termine per la conclusione del procedimento di rilascio del permesso di ricerca, ai sensi dell'art. 9 del D.P.R. 485/1994, è di duecentoquaranta giorni dalla data di presentazione della richiesta di permesso di ricerca.

Il D.P.R. 395/1991 disciplina anche l'esercizio del permesso di ricerca, la condotta dei lavori e individua gli obblighi cui è tenuto il titolare.

Nello specifico, il titolare di permesso di ricerca è tenuto a seguire il programma di lavoro approvato dall'Autorità competente (sia da un punto di vista tecnico sia economico), rispettando i tempi stabiliti per l'esecuzione dei rilievi geologici, geofisici e geochimici indicati all'atto del rilascio. Nonostante l'obbligo di eseguire nel dettaglio le operazioni indicate nel programma dei lavori, è necessario sottolineare che, la pianificazione dei lavori è una fase estremamente dinamica e come tale può subire piccole variazioni in corso d'opera da comunicare all'Autorità competente. Infatti, ai sensi dell'art. 28 comma 1 del D.P.R. 395/1991, qualora il titolare intenda apportare modifiche rilevanti al programma di lavoro, deve sottoporre il nuovo programma all'Amministrazione competente per l'approvazione.

Prima di procedere ai rilievi geofisici il permissionario deve presentare alla Sezione competente il programma esecutivo, nel quale specificare su quale parte del permesso procedere con i rilievi e che tipologia di indagini eseguire (descrivendo i mezzi e i tempi necessari). Il permissionario non può dare avvio alle indagini prima di aver ricevuto l'autorizzazione da parte dell'Ingegnere Capo della Sezione competente.

L'approvazione del programma esecutivo è necessaria anche prima dell'esecuzione del pozzo. Così come disciplinato dall'art. 16 del sopracitato Decreto, il programma deve essere corredato da documentazione grafica ed indicare l'ubicazione del pozzo, i temi di ricerca previsti, la profondità da raggiungere, gli impianti da impiegare, la forza motrice prevista e i programmi di tubaggio. Inoltre devono essere indicati (per i pozzi ricadenti su terraferma):

- gli eventuali vincoli esistenti nell'area indicata per la perforazione su cartografia in scala non inferiore a 1:25.000 e lo schema esecutivo su carta in scala non inferiore a 1:2000 sia dell'area indicata per la postazione che delle vie di accesso;
- la progettazione esecutiva con particolare riferimento alla localizzazione:
 - dei prelievi dei fluidi per la perforazione e dei relativi scarichi
 - del "ricettore profondo" per la reiniezione dei fluidi (qualora prevista)
 - delle postazioni di monitoraggio

Ai sensi dell'art. 16 comma 6 lettere c), d), e), è necessario produrre, nell'ambito del programma esecutivo, degli studi riguardanti:

- le caratteristiche territoriali ed ambientali delle zone limitrofe alla postazione di perforazione con particolare riferimento ai dati sulla popolazione residente, ai vincoli esistenti nell'area e alle opere di ripristino programmate;
- gli impatti ambientali relativi ad ogni vincolo;
- costruzione delle opere di drenaggio e canalizzazione delle acque superficiali relative al piazzale;
- le opere di ripristino dell'area interessata dal piazzale qualora il pozzo risulti sterile.

L'Ingegnere Capo della Sezione competente esprime il proprio parere entro sessanta giorni dalla presentazione della richiesta di perforazione.

Si ritiene opportuno sottolineare che il titolare è obbligato ad ubicare i pozzi esplorativi oltre 500 metri dai limiti del permesso di ricerca (salvo deroghe autorizzate dalla Sezione competente che ha facoltà di aumentare tale zona di rispetto).

Ai sensi del D.P.R. 394/1991 art. 20 commi 1, 2, 3, le diagrafie rilevate nei pozzi devono essere tenute a disposizione della Sezione competente. Entro quaranta giorni dall'ultimazione della perforazione il titolare del permesso deve trasmettere all'Ufficio Nazionale Minerario per gli Idrocarburi e la Geotermia ed alla Sezione competente il profilo geo-stratigrafico provvisorio del foro, corredato da grafici e notizie relativi alle operazioni eseguite ed ai risultati ottenuti. Il profilo definitivo deve essere trasmesso entro quaranta giorni dalla chiusura mineraria o dal completamento delle prove di produzione.

Il permissionario è tenuto a comunicare all'Autorità competente, al completamento di ogni quadrimestre solare, lo stato di avanzamento dei lavori e dei risultati ottenuti ed alla conservazione di tutti i campioni (rocce, fluidi o altre sostanze minerali, da mettere a disposizione della stessa).

Come già anticipato, qualora il titolare del permesso di ricerca individui la presenza di fluidi geotermici è tenuto a darne comunicazione tempestiva (entro 15 giorni) alla Regione o all'ente da essa delegato, il quale riconosce il carattere nazionale o locale della risorsa. Entro un anno dal completamento del pozzo devono essere effettuate le prove di produzione.

Nel caso in cui si presenti la necessità di abbandonare un pozzo, il permissionario è obbligato a chiederne l'autorizzazione all'Autorità competente, la quale ha la facoltà di fornire ulteriori indicazioni riguardo alla sistemazione del pozzo.

Ai sensi dell'articolo 25 del Decreto sopracitato, il permissionario non può sospendere i lavori se non espressamente autorizzato dall'Ingegnere Capo della Sezione competente, fatto salvo per ragioni di forza maggiore o per giustificati motivi tecnico-economici, dandone immediata comunicazione alla Sezione competente per l'approvazione.

Tale Decreto, all'articolo 64, disciplina le operazioni riguardanti l'iniezione e la reiniezione dei fluidi entro lo stesso serbatoio geotermico di provenienza tramite opportuni pozzi geotermici. Per tali operazioni deve essere presentata all'Autorità competente apposita domanda. La richiesta deve essere corredata da una relazione tecnica e dal programma di controllo ai fini della tutela ambientale e delle risorse.

La relazione tecnica deve essere completa di alcune specifiche indicazioni, secondo l'articolo 64 comma 4:

- le finalità dell'operazione;
- la composizione chimica e le caratteristiche fisiche dei fluidi geotermici originari;
- la composizione chimica e le portate dei fluidi da iniettare o reiniettare nel sottosuolo e relative pressioni di iniezione durante tali operazioni;
- la localizzazione delle zone interessate da tali pozzi e relativa caratterizzazione geografica, geologica, stratigrafica, tettonica, sismica ed idrogeologica;
- eventuali vincoli demaniali o patrimoniali gravanti sulle aree interessate dalle operazioni di iniezione e reiniezione;
- i dati relativi al sistema di circolazione idrotermale ed alle condizioni termo-bariche in sottosuolo;
- le caratteristiche petrofisiche e geometriche ed i parametri idraulici delle formazioni interessate dalla reimmissione e delle rocce di copertura;

- i sistemi e le tecniche di immissione dei fluidi nel sottosuolo, le apparecchiature di sicurezza e le strumentazioni di misura.

Il programma dei controlli, da allegare alla sopracitata richiesta, riguarda la tipologia e la frequenza dei controlli sulla pressione di iniezione e sulle caratteristiche delle acque di iniezione o dei fluidi di reiniezione, sull'equilibrio idrodinamico del bacino di smaltimento e sull'attività sismica e sugli eventuali movimenti del suolo. Devono inoltre essere indicati i mezzi e le tecniche che si prevede di utilizzare per l'effettuazione dei controlli stessi.

Il titolare del permesso di ricerca, così come disciplinato dall'art. 16 del D.Lgs. 22/2010 deve corrispondere all'Autorità competente un canone anticipato annuo di 325 euro per ogni chilometro quadrato di superficie compresa nell'area del permesso.

Il permissionario ha la facoltà di richiedere la proroga della vigenza presentando apposita domanda alla Sezione competente almeno sessanta giorni prima della scadenza del permesso di ricerca. Alla domanda deve essere allegata:

- una relazione tecnica, corredata da documentazione tecnica, sulle attività svolte e sui risultati ottenuti;
- il programma dei lavori che si intende attuare nel periodo di proroga, redatto secondo le modalità già descritte per le fasi di istruttoria del permesso di ricerca. È necessario focalizzare l'attenzione sulle previsioni di spesa e sulla tempistica relativamente a ciascuna operazione evidenziando, inoltre gli obiettivi minerari.

Ai sensi degli articoli 30 e 31 del suddetto Decreto, il titolare ha la facoltà di rinuncia totale o parziale al permesso di ricerca. In caso di rinuncia totale, il titolare deve presentarne dichiarazione senza apporvi alcuna condizione. Deve essere allegata una relazione conclusiva sui lavori effettuati, sui risultati conseguiti e sulla valutazione finale in merito all'interesse geotermico dell'area del permesso e sulle motivazioni che inducono il permissionario alla rinuncia.

È opportuno sottolineare che quanto detto si riferisce alle risorse geotermiche rinvenute in terraferma. Le disposizioni tecniche relative a risorse geotermiche in aree marine differiscono, seppure in minima parte, da quanto qui descritto. In particolare, l'Autorità competente è il Ministero dello Sviluppo Economico di concerto con il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare.

8. Iter autorizzativo Regione Campania

La Campania è sicuramente una delle Regioni, rientranti nel progetto VIGOR, con il potenziale geotermico più alto, nella quale sarebbe possibile la produzione di energia elettrica tramite lo sfruttamento di fluidi geotermici ad alta entalpia.

L'istruttoria per la presentazione di un permesso di ricerca di risorse geotermiche d'interesse nazionale e locale è di competenza della Regione Campania che si attiene integralmente alla normativa nazionale vigente precedentemente descritta.

Onde evitare inutili ripetizioni, verranno citate le Autorità competenti per il conferimento del titolo minerario senza descrivere le specifiche tecniche già citate, per le quali si rimanda al precedente paragrafo.

L'istanza di permesso di ricerca deve essere inviata alla Regione Campania - AREA 15 Lavori pubblici, Opere pubbliche, Attuazione, Espropriazione - Settore 12 Ricerca e Valorizzazione di cave, torbiere, Acque minerali e termali, Via Porzio - Centro Direzionale Isola A6 - Piano 15 - Napoli. La documentazione tecnica da allegare è quella prevista dal D.P.R. 395/1991, con l'obbligo di firma della relazione geologico-tecnica da parte di un professionista abilitato.

L'istanza di Verifica di Assoggettabilità alla V.I.A. deve essere presentata alla Regione Campania - AREA 05 Ecologia, Tutela dell'Ambiente, Disinquinamento, Protezione Civile - Settore 02 Tutela dell'Ambiente e Disinquinamento, via A. De Gasperi, 28 - 80134 Napoli.

La modulistica per le procedure di Verifica di Assoggettabilità ed eventualmente per la Valutazione d'Impatto Ambientale possono essere acquisite nel sito web <http://viavas.regione.campania.it/opencms/opencms/VIAS/VIAS/Home> nel quale vengono citate le normative di riferimento nazionale (D.Lgs. 152/2006 e s.m.i.) e regionale (R.R. 2/2010) e descritte dettagliatamente le linee guida per tali procedure.

La tempistica per l'intero iter autorizzativo, per quanto prevista per legge, potrà risultare lunga e protrarsi per parecchi mesi.

L'Autorità competente ha facoltà di indire una Conferenza dei Servizi con le Amministrazioni interessate e, previo esito positivo delle procedure di Valutazione di Impatto Ambientale, rilasciare il permesso di ricerca.

9. Iter autorizzativo Regione Puglia

La Legge Regionale 19/2000 individua le funzioni amministrative riservate alla Regione e quelle attribuite o delegate agli enti locali, in materia di energia e risparmio energetico, miniere e risorse geotermiche. Tale Legge stabilisce che le funzioni amministrative in materia di autorizzazioni, permessi di ricerca, concessioni di coltivazione minerali solidi e delle risorse geotermiche sulla terraferma sono esercitate dalle Province, secondo gli indirizzi programmatici della Regione. Quest'ultima oltre a recare disposizioni concernenti i programmi suddetti svolge i compiti di polizia mineraria, di vigilanza sull'applicazione delle norme relative all'attività mineraria in materia di risorse geotermiche sulla terraferma.

Ad oggi la Regione Puglia, non ha provveduto alla stesura di tali disposizioni (non essendo mai pervenuta alcuna istanza di permesso di ricerca di risorse geotermiche). Premesso ciò, nel caso s'intendesse procedere alla presentazione d'istanza di permesso di ricerca in Puglia, l'istanza andrebbe presentata alla Provincia competente territorialmente, nonché alla Regione (sportello unico regionale Attività Estrattive), secondo le modalità previste dalle leggi nazionali vigenti.

Secondo quanto disciplinato dalla L.R.11/2001 "Norme sulla Valutazione dell'Impatto Ambientale" l'attività di ricerca di risorse geotermiche è soggetta a procedura di Verifica di Assoggettabilità a VIA provinciale, mentre l'attività di coltivazione di risorse geotermiche sulla terraferma è sottoposta a VIA obbligatoria regionale. Ciò nonostante sarebbe opportuno (per le motivazioni riportate sopra) presentare l'istanza di Verifica di Assoggettabilità contemporaneamente all'istanza di permesso di ricerca all'Ufficio programmazione, politiche energetiche VIA, VAS e VI della Regione. La Regione, di concerto con la Provincia di competenza valuterà l'istanza pervenuta ed eventualmente potrà richiedere documentazione ed elaborati tecnici a completamento dell'istanza. I tempi dell'istruttoria, come per le altre Regioni, è definita per legge, ma non ci sono esperienze che diano indicazione dei tempi effettivi.

10. Iter autorizzativo Regione Calabria

La Legge Regionale 34/2002 e s.m.i., (artt. 41 e 42), individua le funzioni amministrative riservate alla Regione e alle Province. In particolare alla Regione compete la verifica delle autorizzazioni per i permessi di ricerca e le concessioni di coltivazione delle risorse geotermiche su terraferma, nonché la valutazione d'impatto ambientale degli stessi, mentre è alle Province che compete il rilascio dei permessi di ricerca e delle concessioni di risorse geotermiche su terraferma, nel rispetto degli indirizzi della politica nazionale e regionale nel settore minerario e dei programmi regionali di ricerca. In ottemperanza alle disposizioni contenute nella suddetta Legge, l'istanza di permesso di ricerca deve essere presentata alla Provincia competente per territorio e alla Regione - Dipartimento Attività Produttive - Politiche Energetiche, attività estrattive e risorse geotermiche (Settore 2) - Infrastrutture energetiche, attività estrattive e risorse geotermiche (Servizio 4).

In materia ambientale, la Regione Calabria ha disposto che con R.R. 3/2008 e s.m.i. in conformità a quanto previsto dalla normativa nazionale, sono disciplinate le procedure di Valutazione di Impatto Ambientale, di Valutazione Ambientale Strategica e di rilascio di Autorizzazioni Integrate. Con lo stesso regolamento è stato istituito il Nucleo VIA-VAS-IPPC, costituito da soggetti di comprovata capacità in materia, preposto alla valutazione tecnica dei suddetti procedimenti. Ai fini della presentazione dell'istanza di Verifica di Assoggettabilità a VIA, cui sono sottoposti i permessi di ricerca, la Regione ha approvato con D.D.G. 4733/2012 la modulistica relativa a:

- Verifica di Assoggettabilità a V.I.A.;
- Valutazione di Impatto Ambientale (V.I.A.);
- Proroga del parere di compatibilità ambientale;
- Documentazione da inoltrare per variazione del gestore.

L'istanza di Verifica di Assoggettabilità deve essere redatta, a pena di inammissibilità dell'istanza stessa, conformemente a tale modulistica e presentata alla Regione Calabria - Dipartimento Politiche dell'Ambiente - Ufficio VIA, Viale Isonzo 414, 88100 Catanzaro (CZ).

Nello specifico devono essere presentati i seguenti documenti:

- Modulo dell'istanza, in cui il proponente richiede l'attivazione della procedura di Verifica di Assoggettabilità a VIA (contenente il Progetto preliminare dell'impianto in duplice copia, gli elaborati cartografici di progetto in formato cartaceo ed elettronico georeferenziato (shapefile), lo Studio Preliminare Ambientale in duplice copia);
- Copia dell'avviso a mezzo BURC dell'avvio della procedura di VIA (si precisa che la data di pubblicazione sul quotidiano non può essere precedente alla presentazione dell'istanza con la relativa documentazione);
- Dichiarazione Sostitutiva attestante la conformità del progetto alle previsioni degli strumenti urbanistici comunali;
- Dichiarazione sostitutiva di atto notorio a firma di un Professionista che ha predisposto lo Studio di Impatto Ambientale circa le proprie qualifiche professionali, la veridicità delle informazioni fornite, la conformità agli originali cartacei delle copie in formato elettronico;
- Scheda Progetto, debitamente compilata e firmata.

Si raccomanda di compilare i moduli, conformemente a quanto disposto negli stessi e di allegare tutta la documentazione richiesta in duplice copia (sia in formato cartaceo, che su supporto informatico), pena l'inammissibilità. I moduli sono facilmente reperibili sul portale della Regione Calabria - Dipartimento Politiche dell'Ambiente - Sezione Modulistica. Qualora l'esito della Verifica di Assoggettabilità fosse negativo, potrà essere richiesta l'attivazione della procedura di Valutazione di Impatto Ambientale.

Si ritiene opportuno sottolineare che la Regione Calabria ha provveduto a legiferare in materia di energia geotermica con Legge Regionale 5 novembre 2009 n. 40 "Attività estrattiva nel territorio della Regione Calabria" e Regolamento Regionale 5 maggio 2011 n. 3 "Regolamento di attuazione Legge Regionale 5 novembre 2009, n. 40".

Ai sensi dell'articolo 2 della Legge Regionale 40/2009, i fluidi endogeni a bassa entalpia appartengono alla categoria delle miniere e costituiscono patrimonio indisponibile della Regione Calabria mentre i fluidi endogeni ad alta entalpia, ovvero la ricerca e coltivazione delle sostanze minerali di interesse nazionale, è disciplinata dalle norme del R.D. n. 1443/1927 e successive modifiche e integrazioni.

In ogni caso come già ampiamente descritto in precedenza, ai sensi del successivo D.Lgs. 22/2010 la procedura autorizzativa riguardante le risorse geotermiche d'interesse nazionale e locale è delegata alle Regioni secondo le modalità previste dalle leggi nazionali che disciplinano la ricerca e la coltivazione di tali risorse. Lo stesso Decreto Legislativo all'art. 17 comma 1 stabilisce che le Regioni (per la terraferma), nell'ambito della propria competenza, possono emanare uno o più disciplinari tipo per le attività previste dal presente decreto legislativo, in particolare relativamente a:

- a) i criteri e le modalità di valutazione dei requisiti tecnici ed economici che devono possedere i richiedenti i permessi di ricerca e le concessioni di coltivazione d'interesse nazionale e locale;
- b) i contenuti dei programmi di lavoro in relazione all'entità delle risorse geotermiche disponibili ed all'estensione ed alla conformazione dei territori interessati;
- c) i criteri per il rilascio delle proroghe dei permessi di ricerca e per i casi di riduzione o restituzione delle aree;
- d) i criteri per la valutazione delle compensazioni per i trasferimenti della titolarità del ramo d'azienda relativo all'esercizio della concessione;
- e) i criteri per lo sfruttamento congiunto di risorse geotermiche e di sostanze associate rinvenute;
- f) le procedure specifiche per il rilascio dei titoli minerari e la disciplina dei rapporti di contitolarità;
- g) le modalità per la revoca delle concessioni di coltivazione in caso di ampliamento del campo geotermico;
- h) le prescrizioni specifiche relative al reinserimento dei fluidi;
- i) i limiti e le prescrizioni per il rilascio di concessioni di risorse geotermiche di interesse locale su aree già oggetto di concessioni di coltivazione di risorse geotermiche di interesse nazionale;
- l) i limiti e le prescrizioni per l'esercizio delle operazioni di sfruttamento di piccole utilizzazioni locali su aree già oggetto di titoli per la coltivazione di risorse geotermiche di interesse nazionale o locale e o in aree considerate inidonee allo

sfruttamento geotermico;

m) i limiti e le prescrizioni per l'esercizio delle operazioni di sfruttamento di piccole utilizzazioni locali sottoposte sola dichiarazione di inizio attività.

Il Ministero dello Sviluppo Economico, di concerto con il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare emana i disciplinari di cui al comma 1 sentita la CIRM.

11. Iter autorizzativo per la richiesta di concessione di coltivazione di risorse geotermiche di interesse nazionale e locale

A norma dell'art. 8 del D.Lgs. 22/2010, dal momento in cui l'Autorità competente riconosce il carattere nazionale o locale della risorsa, il titolare del permesso di ricerca entro sei mesi ha il diritto di richiedere la concessione di coltivazione della risorsa geotermica. Qualora scadano i termini, la concessione può essere rilasciata a chiunque ne faccia richiesta purché in possesso dei requisiti di capacità tecnica ed economica. In caso di concorrenza, l'assegnazione della coltivazione, viene disposta dall'Autorità competente dopo aver acquisito parere positivo della procedura della Valutazione d'Impatto Ambientale per ciascun progetto e sulla base dei seguenti parametri:

- completezza e razionalità del programma di lavoro, con particolare riferimento alla sostenibilità nel tempo;
- modalità di svolgimento dei lavori, in merito a sicurezza, mitigazione degli impatti e salvaguardia ambientale;
- garanzia che i richiedenti offrono in termini di competenza tecnica, dimensioni dell'azienda e precedenti esperienze nel settore.

La concessione di coltivazione di risorse geotermiche è rilasciata dall'Autorità competente, con provvedimento che comprende l'approvazione del programma di lavoro e del progetto geotermico a seguito dell'esito positivo di un procedimento unico, svolto nel rispetto dei principi di semplificazione, e dell'esito positivo della procedura di Valutazione d'Impatto Ambientale. Il rilascio della concessione di coltivazione, così come stabilito per il permesso di ricerca, rimane subordinato alla presentazione, da parte del richiedente, di una fideiussione bancaria o assicurativa commisurata al valore delle opere di recupero ambientale da attivare al termine del progetto.

Il D.P.R. 395/1991 all'articolo 32 e seguenti, disciplina le modalità per la richiesta di concessione di coltivazione di risorse geotermiche, con riferimento alla documentazione da presentare.

Innanzitutto l'istanza di concessione di coltivazione deve essere redatta in carta legale e presentata all'Autorità competente in duplice copia, contenente al suo interno le seguenti indicazioni (analogamente alle informazioni da fornire per il rilascio del permesso di ricerca):

- le generalità del richiedente;
- il domicilio del richiedente o la sede sociale della società;
- il codice fiscale;
- le Province ed i Comuni in cui ricade l'area richiesta ed un nominativo convenzionale corrispondente ad un toponimo compreso nell'area della concessione;
- l'indicazione dell'area interessata dalla concessione di coltivazione secondo le modalità già citate per l'istanza di permesso di ricerca (è concessa la coltivazione entro un'area che comprenda il pozzo o i pozzi se la relativa capacità produttiva e gli altri elementi di valutazione geomineraria disponibili giustificano tecnicamente lo sviluppo del giacimento scoperto).

All'istanza di concessione devono essere allegati i seguenti documenti:

- a) la certificazione attestante la nazionalità del richiedente o nel caso di società l'atto costitutivo o lo statuto della medesima, nonché il certificato della Cancelleria di competenza attestante la rappresentanza legale;
- b) due esemplari, firmati e bollati, dei fogli della Carta Topografica d'Italia edita dall'I.G.M. alla scala 1:100.000 (se il permesso ricade in terraferma) nei quali deve essere tracciata l'area della concessione con linea continua nera ed i relativi vertici con allegate le coordinate geografiche riferite al meridiano Monte Mario;
- c) un esemplare degli stessi fogli, di cui al punto b), privo di qualsiasi indicazione e piegatura;
- d) il programma dei lavori di sviluppo e dei lavori di ulteriore ricerca previsti nell'ambito della concessione, in triplice copia, in carta legale, ognuno corredato da una relazione tecnica;
- e) una relazione tecnica dalla quale emergano le esperienze già acquisite in attività minerarie con particolare riferimento al settore geotermico (non necessaria se si possiede già un titolo minerario geotermico);
- f) lo studio di valutazione preventiva delle modifiche ambientali connesse alla concessione di coltivazione richiesta;
- g) il progetto geotermico indicante il piano di coltivazione economica delle risorse geotermiche e delle eventuali sostanze associate, quindi degli impianti da realizzare, che tenga conto della durata richiesta per la concessione, dei possibili usi della risorsa previsti dai piani regionali. Il progetto geotermico deve essere completo dell'analisi di fattibilità tecnico-economica;
- h) un programma dettagliato, da presentare almeno un anno prima della scadenza del titolo, di ripristino delle aree interessate dai lavori.

Il programma di lavoro e la relazione tecnica, di cui al punto d), sono degli allegati tecnici estremamente importanti da compilare con particolare attenzione. La relazione tecnica deve riportare i risultati conseguiti nell'ambito della fase di ricerca con riferimento alla interpretazione dei dati geologici, geofisici, geochimici e di perforazione acquisiti o comunque disponibili per l'area del permesso ed all'interpretazione delle prove di produzione ed alla capacità produttiva dei pozzi di scoperta dei fluidi geotermici. È necessario individuare le caratteristiche geologico-strutturali e petrofisiche delle formazioni mineralizzate caratterizzando inoltre i parametri idraulici del serbatoio geotermico. L'analisi integrata dei dati acquisiti deve essere finalizzata alla stima del valore economico delle risorse geotermiche e del potenziale produttivo del campo scoperto.

Il programma di lavoro deve riportare il termine entro il quale si prevede di completare lo sviluppo del campo e di dare inizio alla coltivazione delle risorse geotermiche. Con il maggior dettaglio possibile è opportuno specificare le operazioni necessarie alla produzione industriale dei fluidi geotermici (l'esecuzione dei pozzi di produzione di iniezione e di

necessarie alla produzione industriale dei fluidi geotermici (prospezione dei pozzi di produzione, di iniezione e di reiniezione, impianti ed infrastrutture). Per ognuna delle operazioni previste nel programma devono essere indicati i mezzi e le tecniche da impiegare, gli impegni di spesa e i tempi di esecuzione previsti. Il suddetto documento deve essere completo del programma previsto per le ulteriori attività di prospezione e ricerca nell'ambito della concessione, specificando le operazioni previste e relativa tempistica e preventivi di spesa.

Il progetto geotermico, di cui al punto g), deve prevedere uno studio dettagliato degli impianti sia di produzione di energia elettrica o termica sia di sfruttamento delle risorse associate. Per quel che riguarda gli impianti finalizzati alla produzione di energia elettrica o termica, devono essere specificati:

- le caratteristiche del fluido, in termini di temperatura, pressione, portata, entalpia e composizione chimica;
- la potenza termica;
- la potenza elettrica da installare;
- gli impianti (minerari, di utilizzazione e di reiniezione);
- i sistemi di controllo ambientali;
- i conti economici del progetto;
- l'eventuale accordo contrattuale preliminare con l'utilizzatore.

Se gli impianti sono destinati allo sfruttamento delle sostanze minerali associate devono essere specificati gli elementi di cui ai punti 1-4-5-6-7 e il tipo di impianto di recupero delle sostanze e di recupero energetico.

Tra i documenti da allegare all'istanza di concessione figura, come anticipato sopra, anche lo "studio della valutazione preventiva delle modifiche ambientali relative alla concessione di coltivazione". Tale studio unitamente ad una sintesi del programma di lavoro deve contenere:

- una descrizione dettagliata della tipologia di impianti minerari che verranno utilizzati per la coltivazione della risorsa;
- una descrizione delle alternative per il progetto geotermico prese in considerazione ai fini ambientali;
- una descrizione dettagliata ed illustrazione su carte tematiche in scala non inferiore a 1:25.000 dei vincoli vigenti nelle aree interessate dai pozzi e dagli impianti;
- un inquadramento ambientale dell'area in cui vengano evidenziati i dati meteo-climatici, le informazioni sull'anemologia, le caratteristiche del suolo, le caratteristiche delle rocce di superficie, lo stato di qualità dell'ambiente (atmosfera, acqua suolo, sottosuolo, ecosistemi, salute pubblica e beni culturali);
- una valutazione dell'impatto socio-economico indotto dall'introduzione delle attività di coltivazione;
- l'analisi delle eventuali modifiche ambientali apportate dalle attività svolte nell'ambito della ricerca ed una valutazione preventiva delle modifiche ambientali che possono indurre nel tempo le attività di coltivazione programmate, con particolare riferimento a tipologia e quantità di rifiuti, scarichi ed emissioni previsti, smaltimento, descrizione degli inquinanti, stime di probabilità e tecniche di contenimento delle emissioni accidentali, composizione dei fluidi estratti e livelli medi di rumore.
- una descrizione delle misure previste per limitare ed evitare gli effetti negativi che potrebbero essere indotti dalle attività in programma.

L'articolo 15 del D.P.R. 485/1944 stabilisce che il procedimento si deve concludere entro il termine massimo di 220 giorni dalla data di presentazione della richiesta di concessione.

In riferimento all'esercizio della concessione, il titolare è tenuto ad ottemperare ai molteplici obblighi previsti nel Decreto 395/1991.

Il concessionario deve fornire, entro il ventesimo giorno di ogni mese, i dati relativi alla produzione dei fluidi, all'energia ottenuta e alla loro utilizzazione, nonché i dati relativi alla produzione di altre sostanze associate estratte. Deve inoltre disporre di tutti i dati e le notizie di carattere tecnico-economico eventualmente richieste dall'Autorità competente.

Il concessionario ha l'obbligo di accordare ai permissionari o ai concessionari limitrofi l'accesso all'interno della propria area in concessione al fine di completare i rilievi geofisici programmati e consentire la posa di condotte per il trasporto dei fluidi. Entrambi naturalmente accordati di seguito ad autorizzazione da parte dell'Autorità competente.

Prima dell'esecuzione dei pozzi il titolare della concessione deve attendere l'autorizzazione da parte della Sezione competente, che valuta la documentazione presentata, in cui devono essere indicati: la postazione del pozzo, la profondità da raggiungere, gli impianti da impiegare, la forza motrice prevista ed i programmi di tubaggio.

Secondo quanto disposto dall'art. 50 del D.P.R. 395/1991, l'individuazione di fluidi geotermici, di idrocarburi e di falde idriche dolci nel corso dello sviluppo del campo, deve essere comunicata alla Sezione competente entro quindici giorni dal rinvenimento.

Così come specificato per il permesso di ricerca anche in caso di concessione di coltivazione il titolare è tenuto a conservare, a disposizione della Sezione competente, i campioni di roccia attraversati, i fluidi rinvenuti e le diagrafie rilevate nei pozzi.

Il concessionario è tenuto ad iniziare le prove di produzione, a seguito del rinvenimento di ulteriori fluidi geotermici, entro sei mesi dal completamento del pozzo ed a comunicare settimanalmente alla Sezione competente i dati tecnici ottenuti dalle stesse.

A norma dell'articolo 64 del D.P.R. 395/1991, l'iniezione e la reiniezione dei fluidi nelle formazioni di provenienza degli stessi o al di sotto delle falde utilizzabili per usi alimentari ed industriali, nell'ambito di una concessione di coltivazione, viene autorizzata dalla Sezione competente. A quest'ultima deve essere presentata la domanda di autorizzazione secondo le modalità già descritte nei paragrafi precedenti in riferimento al permesso di ricerca.

La Sezione competente può disporre la sospensione delle attività, motivando la scelta, o rilasciare l'autorizzazione, imponendo le modalità e le condizioni per le suddette operazioni.

Altresi, il titolare della concessione, ai sensi dell'art. 57 del D.P.R. 395/1991 è tenuto a:

- osservare le norme di sicurezza nell'esecuzione delle operazioni previste dal programma di lavoro e di qualsiasi altra disposizione successivamente impartita dalla Sezione competente;
- seguire le misure indicate nei provvedimenti di autorizzazione all'iniezione o alla reiniezione e stabilite ai fini della concessione della ricerca geotermica;

conservazione della risorsa scoperta;

- comunicare tutte le notizie di carattere tecnico ed economico e tutti i dati richiesti dalla Sezione competente.

È fondamentale che il concessionario, ai fini della tutela del campo geotermico e della risorsa, conduca la coltivazione del campo geotermico secondo i criteri tecnico-economici più aggiornati, con particolare riferimento all'ubicazione dei pozzi, alle distanze tra pozzi di produzione e pozzi di iniezione e reiniezione, alla ricarica delle formazioni da cui provengono i fluidi, all'utilizzazione dell'energia del giacimento ed al mantenimento del livello termico del serbatoio.

Il titolare della concessione di coltivazione di risorse geotermiche, così come disciplinato dall'art. 16 del D.Lgs. 22/2010, deve corrispondere all'Autorità competente un canone annuo anticipato di 650 euro per chilometro quadrato di superficie in concessione. Il titolare di concessione di coltivazione di risorse geotermiche di media e bassa entalpia deve corrispondere alla Regione un canone annuo, determinato dalla stessa e comunque di importo non superiore a quello corrisposto per le risorse di carattere nazionale (euro 650).

Inoltre è a carico dei concessionari, in caso di produzione di energia elettrica a mezzo di impianti con potenza superiore a 3 MW, il versamento dei seguenti contributi:

- 0.13 centesimi di euro per ogni kWh di energia prodotta nel campo geotermico, ai Comuni, sede degli impianti, proporzionalmente all'area delimitata dal titolo di coltivazione e comunque assicurando una quota non inferiore al 60%;
- 0.195 centesimi di euro per ogni kWh di energia prodotta nel campo geotermico, alle Regioni su cui ricade il campo, proporzionalmente all'area delimitata dal titolo di coltivazione.

Gli importi dei canoni e dei contributi, con provvedimento dell'Autorità competente, sono aggiornati annualmente per un importo pari al 100% della variazione percentuale annua dell'indice dei prezzi al consumo indicata dall'ISTAT.

Inoltre il concessionario è tenuto a versare, ai Comuni sede d'impianto di produzione elettrica, un contributo di prima installazione pari al 4% del costo degli impianti, a titolo di compensazione ambientale e territoriale, salvo riduzioni apportate da specifiche norme regionali.

Il concessionario può presentare domanda di proroga della concessione di coltivazione all'Autorità competente fino a sei mesi prima della scadenza naturale del titolo e non prima che siano trascorsi i due terzi del periodo di vigenza. Insieme alla domanda, in cui deve essere specificata l'area per la quale viene richiesta la proroga e la durata della stessa, devono essere presentati una relazione tecnica dettagliata e relativa documentazione attestante i lavori svolti, i risultati ottenuti, la produzione e le utilizzazioni realizzate nel corso della concessione; il programma di lavoro di coltivazione, con l'indicazione degli obiettivi, dei tempi di esecuzione dei lavori e degli impegni di spesa; il piano di coltivazione e di utilizzazione delle risorse geotermiche relativamente al periodo di proroga da sottoporre all'approvazione dell'Autorità competente.

Il titolare può richiedere l'ampliamento o la riduzione dell'area in concessione, presentando domanda, seguendo le modalità previste per il rilascio della concessione di coltivazione. Inoltre può rinunciare al titolo presentando dichiarazione di rinuncia all'Autorità competente, apponendo le dovute motivazioni e allegando il programma di ripristino delle aree interessate dalla concessione e una relazione tecnica conclusiva.

A norma dell'art. 9 del D.Lgs. 22/2010, in caso di decadenza, rinuncia e revoca della concessione, tutti gli impianti, in stato di regolare funzionamento diventano di proprietà dell'Autorità competente, senza compenso. Essa può richiedere il ripristino ambientale dei luoghi già interessati dalla concessione e anche prendere possesso degli altri impianti ed edifici inerenti alla concessione corrispondendo agli aventi diritto una somma pari al valore degli stessi al momento della stima, senza valutare alcun reddito da essi ricavabile.

Come per il capitolo precedente, è opportuno sottolineare che quanto detto si riferisce alle risorse geotermiche rinvenute in terraferma. Le disposizioni tecniche relative a risorse geotermiche in aree marine differiscono, seppure in minima parte, da quanto qui descritto. In particolare, l'Autorità competente è il Ministero dello Sviluppo Economico di concerto con il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare.

12. Iter autorizzativo per la presentazione di un permesso di ricerca e di una concessione di coltivazione di risorse geotermiche di interesse nazionale e locale nella Regione Sicilia

La Sicilia essendo Regione autonoma a statuto speciale ha la potestà legislativa esclusiva in determinate materie citate nello Statuto della Regione Siciliana. In particolare, l'art. 14, lettera h, dello Statuto siciliano riserva alla Regione la competenza esclusiva in materia di "miniere, cave, torbiere e saline". Le norme di attuazione dello Statuto, adottate con D.P.R. 5 novembre 1949 n. 1182, hanno previsto una clausola generale e onnicomprensiva in base alla quale le attribuzioni del Ministero dell'Industria e del Commercio sono esercitate, nel territorio della Regione Siciliana, dall'Amministrazione Regionale ed in particolare dall'Assessorato Regionale per l'Industria (a seguito della L.R. 19/2008 e del D.P.Reg. 12/2009 le competenze di questo dipartimento sono state trasferite all'Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità sito in via Ugo La Malfa, n. 87/89 90146, Palermo).

Da quanto detto ne consegue una normativa propria ed un relativo iter autorizzativo per la ricerca e coltivazione delle georisorse differente rispetto alle disposizioni dettate dalla normativa vigente sul territorio nazionale.

Nella Regione Sicilia, in materia di ricerca e coltivazione di risorse geotermiche la normativa vigente è rappresentata dalla Legge Regionale del 3 luglio 2000 n. 14 (di seguito denominata "Legge") *"Disciplina della prospezione, della ricerca, della coltivazione, del trasporto e dello stoccaggio di idrocarburi liquidi e gassosi e delle risorse geotermiche nella Regione Siciliana. Attuazione della direttiva 94/22. CE"* e dal Disciplinare Tipo del 30 ottobre 2003 *"Disciplinare tipo dei permessi di prospezione, di ricerca, concessioni di coltivazione di idrocarburi liquidi e gassosi"*.

Inoltre, la Legge 1 ottobre 1956, n. 54 *"Disciplina della ricerca e coltivazione delle sostanze minerali nella Regione Siciliana"*, continua ad essere applicata alle attività disciplinate dalla L.R. 14/2000 nelle parti con quest'ultima compatibili.

Da un punto di vista minerario la Sicilia ha una storia molto importante sia per quanto riguarda le cave, le miniere e le saline sia per la ricerca e la coltivazione di idrocarburi. Ne deriva una competenza a livello amministrativo regionale non indifferente che risulta essere un notevole vantaggio in termini di tempo per chi volesse intraprendere un progetto geotermico sul territorio siciliano.

Si rende necessario sottolineare che la normativa sopraelencata, pur essendo molto dettagliata, talvolta rischia di ingenerare una certa confusione in quanto, il Disciplinare Tipo del 20 ottobre 2003, non specifica le attività relative alle risorse geotermiche. Comunque, in una nota dell'Assessore Regionale all'Energia si osserva che *"il suddetto Disciplinare Tipo con riferimento ai titoli minerari per la prospezione, ricerca e coltivazione dei giacimenti di idrocarburi liquidi e gassosi, si presta ugualmente, anche se questa eventualità non è esplicitamente evidenziata nel titolo e nel contesto del decreto, alla regolazione dei rapporti tra l'Amministrazione concedente e gli operatori minerari eventualmente impegnati in lavori di ricerca o di coltivazione di giacimenti di altri gas diversi dagli idrocarburi"*.

Ai sensi della Legge, l'Autorità competente al conferimento dei titoli minerari è l'Assessore Regionale all'Energia e ai Servizi di Pubblica Utilità che si avvale, per l'istruttoria ed il controllo sull'esercizio dell'attività, dell'U.R.I.G. *"Ufficio Regionale per gli Idrocarburi e la Geotermia"* (Servizio VIII del Dipartimento dell'Energia) sito in via Ugo La Malfa, n. 101, Palermo.

Pertanto le persone fisiche o giuridiche che intendano eseguire un progetto geotermico devono interloquire con il suddetto ufficio le cui principali funzioni sono:

- U.O.B. - 8/1: Istruttorie e adempimenti connessi alla prospezione, ricerca, coltivazione e stoccaggio di Idrocarburi liquidi e gassosi e delle risorse Geotermiche.
- U.O.B.- 8/2 : Attività di Vigilanza, e funzioni di polizia mineraria e giudiziaria relativi alle norme riguardanti la sicurezza e salute dei lavoratori nei settori di competenza.

Introducendo la descrizione dettagliata dell'iter autorizzativo occorre sottolineare che la normativa regionale siciliana prevede tre tipologie di titoli minerari:

- Prospezione
- Ricerca
- Coltivazione

Secondo gli articoli 3 e 4 della Legge, i permessi di prospezione, di ricerca e le concessioni di coltivazione sono rilasciati con decreto dell'Assessore a persone fisiche o giuridiche che dispongano di capacità tecniche ed economiche adeguate agli impegni programmati; questi possono essere accordati anche in contolarità (in questo caso, i contitolari sono obbligati a nominare un unico rappresentante per tutti i rapporti con le amministrazioni pubbliche interessate).

La ricerca e la coltivazione a scopi energetici delle risorse geotermiche sono considerate di pubblico interesse e di pubblica utilità. Secondo le disposizioni di cui all'articolo 6 comma 1, i proprietari o possessori dei fondi compresi nel perimetro del permesso o della concessione non possono opporsi alle operazioni di prospezione, ai lavori di ricerca ed ai lavori necessari per la coltivazione e sfruttamento del giacimento, salvo il diritto alle indennità spettanti per gli eventuali danni. Inoltre, al fine di assicurare la rapida e contestuale acquisizione di autorizzazioni, nulla-osta, pareri, assensi comunque denominati dalla vigente legislazione, necessari per il conferimento o la proroga di un titolo minerario, l'Assessore indice una Conferenza dei Servizi con le Amministrazioni interessate.

13. Rilascio del Permesso di Prospezione

Secondo l'art. 13 comma 1 della Legge, la prospezione consiste nell'effettuare rilievi geografici, geologici e geofisici, geotermici, geochimici con metodi, mezzi e tecnologie diverse, atti ad accertare le caratteristiche del sottosuolo ai fini della ricerca di idrocarburi liquidi e gassosi (e risorse geotermiche n.d.a). Si ritiene opportuno specificare che il permesso di prospezione non è la prima tappa obbligata di un progetto geotermico ovvero non è un titolo propedeutico a quello di ricerca. Chi volesse svolgere attività di ricerca ai fini geotermici in una determinata area può richiedere un permesso di ricerca di risorse geotermiche senza aver mai ottenuto precedentemente un permesso di prospezione.

In particolare l'articolo 14, commi 1 e 5, specifica che *"il permesso di prospezione non è esclusivo ed è accordato per la durata di un anno"* e *"la titolarità del permesso di prospezione non costituisce titolo preferenziale per l'eventuale assegnazione di permesso di ricerca"*. Inoltre il comma 6 del suddetto articolo enuncia che *"nell'ambito del permesso di prospezione possono essere accordati permessi di ricerca a terzi. In tal caso il titolare del permesso di prospezione può operare, nelle aree oggetto dei permessi di ricerca dei terzi, per un periodo massimo di mesi tre dal conferimento di detto permesso, salvo il consenso dei titolari per l'ulteriore seguito delle operazioni"*. Se il progetto geotermico che si intende sviluppare in una determinata area ha delle solide fondamenta tecnico-economiche, quanto detto sul permesso di prospezione rende l'idea sull'utilità o meno di richiedere tale titolo piuttosto che quello di ricerca.

Il permesso di prospezione, che ha durata di un anno a decorrere dalla data di pubblicazione del decreto di conferimento nella Gazzetta Ufficiale della Regione Siciliana (GURS), è accordato previa domanda da presentare all'Assessorato all'Energia e ai Servizi di Pubblica Utilità, con decreto dell'Assessore.

In ottemperanza all'articolo 15 comma 3, alla domanda diretta ad ottenere il permesso di prospezione si devono allegare:

- una planimetria della zona per cui è richiesto il permesso, in cinque esemplari ed in scala 1:100.000;
- una relazione tecnica, corredata di grafici, in cui siano indicate le operazioni che il richiedente intende svolgere, i mezzi impiegati ed il tempo di esecuzione;
- un programma dei rilievi geografici, geologici e geofisici che si intendono eseguire, con l'indicazione delle relative previsioni di spesa.

Il titolare si impegna ad iniziare le operazioni di prospezione dopo la pubblicazione nella GURS e non prima che l'URIG abbia dato le necessarie autorizzazioni; inoltre si impegna, a trasmettere trimestralmente all'URIG un rapporto sull'andamento dei lavori ed entro un mese dalla scadenza del permesso a trasmettere una relazione conclusiva che indichi le operazioni effettuate, i mezzi e le squadre impiegate ed i risultati ottenuti.

L'Assessore, con decreto, dichiara la decadenza del permesso di prospezione, previa contestazione dei motivi e prefissione di un termine non inferiore a trenta giorni per le deduzioni del permissionario, quando questi:

- perde i requisiti soggettivi (capacità tecniche-economiche adeguate agli impegni di spesa; condizione di reciprocità di società straniera);
- non corrisponde il diritto annuo di superficie o altro diritto o tributo;
- cede il permesso a terzi;
- non osserva le norme di sicurezza e le disposizioni delle Autorità competenti;

- esegue operazioni di prospezione prima dell'autorizzazione;
- esegue le operazioni nell'ambito di permesso di ricerca accordato a terzi oltre i limiti di tempo consentiti;
- esegue operazioni di prospezione non autorizzate;
- risulta inadempiente o con ingiustificato ritardo nell'attuazione del programma allegato alla domanda presentata (in questo caso, il titolare incorre in una sanzione amministrativa consistente nel pagamento di una somma pari al dieci per cento del costo previsto per le attività non realizzate).

14. Rilascio del Permesso di Ricerca

Il permesso di ricerca è un titolo minerario esclusivo che consente le attività di ricerca di risorse geotermiche in una determinata area e rappresenta la prima fase di un progetto geotermico. Poiché la normativa siciliana non fornisce una specifica definizione, per quest'ultima si rimanda a quella fornita dal D.P.R. n. 395/1991 comma 1, lettera f.

Ai sensi dell'articolo 40 della Legge, il permesso di ricerca a scopo energetico delle risorse geotermiche può avere un'estensione massima di 1000 km². La durata del titolo, analogamente alla normativa nazionale, è di quattro anni, prorogabile per un biennio.

L'istanza di permesso di ricerca di risorse geotermiche e la relativa documentazione tecnica da allegare devono essere redatte secondo le indicazioni della L.R.S. 14/2000 e relativo Disciplinare Tipo.

Il termine massimo per presentare istanza di permesso in concorrenza, in una medesima area, è tre mesi dalla pubblicazione della prima istanza.

L'articolo 19 della Legge, regolamenta i criteri di selezione, da parte dell'Assessore, tra domande concorrenti. Questi sono del tutto simili, in quanto basati sui criteri proposti dalla Comunità Europea, a quelli già descritti nei paragrafi precedenti riferiti alla normativa nazionale sulla geotermia.

Si ritiene opportuno sottolineare che l'Autorità competente tiene in grande considerazione la caratura tecnica del programma dei lavori ed in caso di sostanziale equivalenza tra i programmi in concorrenza, in riferimento al comma 3 del suddetto articolo 19, si tiene conto della capacità economica dei richiedenti rapportata agli impegni programmati.

L'istanza, redatta in carta legale e corredata da una marca da bollo da 14,62 euro ogni quattro pagine, deve essere presentata all'Autorità competente al conferimento dei titoli minerari nell'ambito della Regione Siciliana (Regione Sicilia, Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità, Dipartimento Regionale dell'Energia, Via Ugo La Malfa, n. 87/89 90146 - Palermo). Quest'ultima deve essere completa dei dati inerenti la società proponente (sede legale, codice fiscale, numero REA, ecc.), specificando le Province ed i Comuni in cui ricade l'area richiesta ed un nominativo convenzionale del permesso corrispondente ad un toponimo compreso nell'area d'interesse, la superficie del permesso (espressa in ettari), la descrizione monografica dei vertici e la tabella riassuntiva delle coordinate geografiche dei vertici stessi.

Alla domanda diretta ad ottenere il permesso di ricerca si devono allegare:

- a) la planimetria della zona per cui è richiesto il permesso (di seguito piano topografico);
- b) una relazione tecnica sullo stato delle conoscenze geominerarie dell'area e sugli obiettivi minerari;
- c) il programma dei lavori di ricerca e di "esplorazione meccanica" (perforazioni esplorative) che si intendono eseguire, con l'indicazione delle relative previsioni di spesa.

a) Piano topografico:

L'articolo 20 comma 1 lettera a) della Legge, dispone la consegna in allegato di cinque esemplari dei Fogli alla scala 1:100.000 della Carta Topografica d'Italia edita dall'I.G.M. relativamente alla zona d'interesse.

alfabeto. Deve essere inoltre allegata la descrizione monografica di ogni singolo vertice (possibilmente corredata da apposite fotografie) e le coordinate geografiche dei vertici, espresse in gradi, minuti e secondi nel sistema di riferimento nazionale Monte Mario.

L'Autorità competente richiede inoltre di implementare il piano topografico suddetto con cinque esemplari delle tavolette editate dall'I.G.M. alla scala 1:25.000 ed i Fogli C.T.R.N. (Cartografia Tecnica Regionale Numerica) alla scala 1:2.000 nei quali ricadono i vertici.

Ogni singolo foglio allegato deve essere corredata da una marca da bollo da 1 euro.

b) Relazione tecnica:

La relazione tecnica rappresenta lo studio delle conoscenze geografiche, geologico-strutturali e geominerarie dell'area e degli obiettivi minerari.

Come in precedenza descritto, in riferimento alla normativa nazionale, tale relazione può essere considerata uno studio di "pre-fattibilità" che, sulla base di dati e lavori pregressi ed esperienze acquisite, metta in evidenza le potenzialità geotermiche qualitative dell'area richiesta. L'Autorità competente richiede che la relazione tecnica sia effettuata da un professionista. La relazione tecnica deve essere corredata da una marca da bollo da 1 euro per ogni foglio.

c) Programma dei Lavori:

A norma dell'articolo 18 comma 1 della Legge, il programma di lavoro, allegato all'istanza di permesso di ricerca, deve essere consegnato in busta chiusa e corredata da una marca da bollo da 14,62 euro ogni quattro pagine del documento. Quest'ultimo viene aperto allo scadere dei tre mesi dalla data di pubblicazione nella GURS, ed altri mezzi di comunicazione preposti, per permettere ad altri operatori minerari di presentare istanza in concorrenza. Come già ampiamente descritto la selezione per il rilascio del titolo è principalmente basata sul programma presentato e il relativo impegno di spesa.

Per una descrizione generale delle linee guida per la strutturazione generale di un programma di lavoro si rimanda ai paragrafi precedenti riferiti alla normativa nazionale tenendo presente che l'Amministrazione Regionale è particolarmente

paragrafi precedenti frena una normativa nazionale, tenuto presente che l'amministrazione regionale è particolarmente attenta alle specifiche tecniche di ogni singola tipologia di prospezione prevista (ed ovviamente agli impegni di spesa).

Ai fini del rilascio del permesso di ricerca la società proponente deve presentare, inoltre, i seguenti documenti:

- procura notarile da parte della società proponente per il rappresentante della società stessa per tutti i rapporti con l'Amministrazione Regionale (ad eccezione se quest'ultimo sia l'amministratore delegato o ricopra una carica equivalente);
- certificato camerale antimafia della società proponente e delle società che partecipano ai lavori;
- DURC (Documento Unico Regolarità Contributiva) della società proponente e delle società che partecipano ai lavori;
- modello Unilav riferito alle maestranze che saranno impegnate nei lavori;
- relazione che attesti le capacità tecniche ed economiche della società. Riguardo alle capacità tecniche è opportuno porre particolare attenzione sull'attività svolta e sulle esperienze acquisite in titoli minerari precedentemente ottenuti a sostegno del know-how del personale tecnico. È necessario, inoltre, illustrare le doti finanziarie del gruppo o società proponente con eventuali lettere di patronage. Nel caso l'operatore minerario si avvalga di società di servizi è opportuno presentare una relazione sulle capacità tecniche di tali società.

Al titolare è fatto obbligo di pubblicare l'istanza di permesso di ricerca sulla GURS, sull'Albo Pretorio dei Comuni interessati, sulla GUCE (Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea) e su due quotidiani (uno di tiratura nazionale ed uno regionale).

Come già ampiamente descritto nei paragrafi precedenti, ai sensi del Decreto Legislativo 152/2006 e s.m.i. recante norme in materia ambientale, tali progetti geotermici rientrano nelle opere elencate nell'allegato IV. Pertanto, ai fini del rilascio del permesso di ricerca, deve essere presentata l'istanza di "Verifica di Assoggettabilità a V.I.A."

L'istanza di Verifica di Assoggettabilità a Valutazione di Impatto Ambientale deve essere presentata in carta legale all'Assessorato del Territorio e dell'Ambiente della Regione Sicilia, Servizio 1 - "VAS-VIA", Via Ugo La Malfa, 169 - 90146 - Palermo. Unitamente al progetto preliminare (programma di lavoro n.d.a) deve essere presentato lo "studio preliminare ambientale" sulle modifiche ambientali relative al permesso di ricerca in terraferma (fornendo, inoltre, una loro copia in formato elettronico).

L'Autorità competente verifica il progetto e qualora non ravveda impatti ambientali significativi, può disporre l'esclusione dalla procedura di V.I.A., altrimenti si applicano le disposizioni inerenti alla procedura di V.I.A di cui agli articoli 21-28 del D. Lgs. 152/2006.

Successivamente alla Conferenza dei Servizi indetta dall'Assessore con le Amministrazioni interessate, previo riscontro positivo delle procedure di Valutazione di Impatto Ambientale e risolte le eventuali concorrenze, l'Assessore può rilasciare, tramite decreto, il permesso di ricerca di risorse geotermiche.

Secondo i termini stabiliti dalla normativa, l'istruttoria di rilascio del permesso di ricerca dovrebbe terminare entro centocinquanta giorni dall'apertura del programma di lavoro (il programma dei lavori, consegnato in busta chiusa, viene aperto tre mesi dopo la data di consegna).

15. Esercizio del Permesso di Ricerca

Il titolare del permesso di ricerca è tenuto a provvedere a sue spese alla registrazione (Agenzia delle Entrate) del decreto di conferimento del permesso.

L'articolo 23 della Legge Regionale 14/2000 e l'articolo 2 del Disciplinare Tipo regolamentano gli obblighi del permissionario, tra questi si citano i principali:

- a) iniziare i lavori di ricerca solo successivamente alla pubblicazione del decreto nella GURS, ed iniziare i lavori di esplorazione geologica e geofisica e la perforazione esplorativa rispettivamente entro un anno ed entro sessanta mesi dal rilascio del titolo minerario;
- b) svolgere il programma dei lavori così come presentato ed accettato;
- c) presentare un programma esecutivo all'URIG, prima di effettuare le prospezioni, specificando, per ogni rilievo, il personale ed i mezzi da impiegare, l'area interessata ed il periodo nel quale verranno eseguiti. È necessario indicare le operazioni volte alla mitigazione dell'impatto ambientale e le operazioni di ripristino previste;
- d) esecuzione della perforazione esplorativa, una fidejussione assicurativa o bancaria stipulata dal titolare pari al 10% del costo dei lavori di perforazione;
- e) presentare una relazione informativa semestrale all'URIG sui risultati ottenuti e sull'andamento dei lavori ed una relazione completa finale al termine dei lavori;
- f) tenere a disposizione dell'URIG i campioni dei materiali solidi, liquidi, gassosi rinvenuti;
- g) fornire immediata comunicazione all'URIG in caso di ritrovamento di idrocarburi.

È necessario specificare che, secondo le disposizioni riferite alla lettera a), il termine di sessanta mesi (per la perforazione esplorativa) è riferito al permesso di ricerca per idrocarburi che ha una durata maggiore rispetto a quello di risorse geotermiche. La normativa regionale non specifica il termine ultimo relativo al titolo minerario geotermico che verosimilmente dovrebbe essere entro quaranta mesi per la perforazione (il termine di un anno per l'inizio dei lavori di prospezione resta vigente).

Il permissionario è obbligato a sostenere le spese complessive indicate per l'effettuazione dei lavori di ricerca, trasferendo annualmente all'URIG i conti analitici delle spese effettivamente sostenute (entro un mese dalla fine di ogni anno). Secondo l'art. 2 comma 4 del Disciplinare Tipo, ai fini del conteggio delle spese, si tiene conto solo delle spese vive escludendo le spese di amministrazione, spese di viaggio del titolare e dei suoi dipendenti e le spese relative all'acquisto di macchinari di cui viene conteggiata una quota d'uso.

Nel caso in cui, al termine dei quattro anni di permesso, l'operatore minerario ritenesse necessario prorogarne la durata (massimo una proroga di due anni), è obbligato a presentare domanda almeno novanta giorni prima del termine allegando il programma dei lavori che si intende svolgere nei due anni successivi, secondo le modalità già descritte per l'istruttoria di istanza di permesso di ricerca.

Il titolare del permesso prima della perforazione esplorativa è obbligato a presentare all'URIG l'istanza di perforazione,

corredata dal relativo programma, soggetta ad approvazione da parte dell'Ingegnere Capo. Il programma di perforazione di un pozzo, il cui nominativo deve coincidere con un toponimo dell'area interessata, deve indicare la postazione del pozzo, l'obiettivo minerario, la profondità da raggiungere, il profilo previsto, l'impianto di perforazione, il programma di tubaggio e cementazione e la composizione dei fluidi di perforazione.

Entro i novanta giorni successivi alla perforazione esplorativa, il titolare è obbligato a trasmettere all'URIG tutti i dati di pozzo (profilo geologico, Log geofisici ecc...) e ad iniziare entro i successivi sessanta giorni le prove di produzione. I risultati delle prove di produzione devono essere trasmessi all'URIG settimanalmente. Qualora sia necessario l'abbandono di un pozzo, il concessionario deve presentare il programma di sistemazione e ripristino minerario del pozzo e dell'area interessata.

L'Assessore, con decreto, ha facoltà di dichiarare decaduto il permesso acquisito (previa contestazione e prefissione di un termine non inferiore a trenta giorni per le deduzioni del concessionario) se il titolare:

- non adempie agli obblighi sopracitati (articolo 23 comma 1 della Legge), in generale, se non adempie agli obblighi derivanti dalla Legge e relativo Disciplinare Tipo;
- perde i requisiti soggettivi;
- non corrisponde il pagamento annuale del canone;
- non richiede la concessione entro i termini previsti;
- sospende i lavori, cede tutto o parte del permesso o coltiva la risorsa senza autorizzazione.

Il titolare del permesso di ricerca deve corrispondere il pagamento anticipato del canone annuo di superficie. Secondo le disposizioni di cui all'articolo 42 comma 1 lettera a), per il titolo geotermico il canone annuo è di lire 40.000 per km². Tale importo deve essere convertito in euro e rivalutato secondo l'indice FOI fornito dall'ISTAT.

16. Rilascio ed esercizio della Concessione di Coltivazione

Come descritto nel Disciplinare Tipo, la concessione ha per oggetto la coltivazione di tutti i giacimenti ad idrocarburi (e risorse geotermiche n.d.a), che vengono scoperti a seguito delle ricerche compiute nel periodo di durata del permesso o a seguito delle ricerche compiute in regime di concessione (per una definizione più dettagliata si rimanda a quella fornita dal D.P.R. n. 395/1991 comma 1, lettera g).

Al titolare del permesso di ricerca, che abbia rinvenuto risorse geotermiche, viene accordata la concessione di coltivazione se l'URIG, sulla base della capacità produttiva dei pozzi e delle valutazioni geominerarie, giustifica tecnicamente ed economicamente lo sviluppo del giacimento scoperto.

L'istanza di concessione deve essere presentata, all'Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità, entro un anno dalla data di riconoscimento da parte dell'URIG del ritrovamento del giacimento con le suddette caratteristiche (pena la decadenza del titolo). Alla domanda devono essere allegati il programma di lavoro di sviluppo e di produzione del campo, il programma degli ulteriori lavori di ricerca e lo studio di valutazione preventiva delle modifiche ambientali (coincidente con lo Studio di Impatto Ambientale).

La domanda di concessione viene accordata previo esito positivo della Valutazione di Impatto Ambientale (per tale tipologia di progetto non è prevista la Verifica di Assoggettabilità ma direttamente la procedura di V.I.A).

È opportuno specificare nel programma di lavoro di sviluppo e produzione del giacimento tre scenari di previsione di coltivazione della risorsa (formulate sulla base dei dati acquisiti durante il permesso di ricerca). Tale programma deve inoltre indicare i metodi ed i procedimenti tecnici per l'esecuzione dei lavori, il numero dei pozzi da realizzare, le specifiche impiantistiche per lo sfruttamento della risorsa, i tempi di realizzazione delle opere e i relativi preventivi di spesa.

Durante l'esercizio di coltivazione della risorsa, il titolare, qualora ravvisasse la necessità di apportare modifiche al programma dei lavori, è tenuto a presentare il nuovo programma all'URIG ai fini dell'approvazione.

La concessione di coltivazione, la cui durata è trenta anni prorogabile ogni dieci anni, viene accordata tramite decreto, nel quale viene allegato il verbale di delimitazione provvisoria dell'area redatto a cura dell'URIG. Entro cinque anni dal rilascio della concessione, l'URIG è tenuto a fornire la delimitazione definitiva dell'area di concessione sulla base dei risultati dei lavori di sviluppo eseguiti dal titolare.

Al titolare, dopo aver pagato il canone annuo di superficie, l'imposta di registro e dopo averne fornito trascrizione presso gli uffici dei registri immobiliari competenti, può essere notificato il decreto di concessione.

In caso di riconoscimento del giacimento e conferimento della concessione di coltivazione è fatto obbligo al titolare di:

- iniziare i lavori previsti nel programma presentato entro i termini stabiliti nel decreto di conferimento, pena l'avvio del procedimento di decadenza del titolo;
- presentare istanza all'URIG per le autorizzazioni di inizio produzione e di costruzione ed esercizio dei relativi impianti;
- mantenere ininterrottamente a lavoro gli impianti di produzione di adeguata potenzialità ed in perfetto stato di efficienza, ai fini della corretta valorizzazione industriale del giacimento;
- le disposizioni relative ai pozzi sono comuni a quelle brevemente descritte per il permesso di ricerca (tali operazioni sono dettagliatamente disciplinate dal Disciplinare Tipo articolo 5);
- tenere a disposizione dell'URIG i libri obbligatori e le scritture contabili previsti dall'art. 2214 del Codice Civile, al fine di consentire gli accertamenti necessari.

La Legge in questione ed il relativo Disciplinare Tipo richiedono una continua comunicazione tra l'Amministrazione ed il concessionario. Quest'ultimo è tenuto a presentare all'Autorità di vigilanza (URIG) una relazione trimestrale sull'andamento dei lavori di coltivazione (e sugli eventuali lavori di ricerca), e sulle opere del programma da svolgere nel successivo periodo. La relazione deve essere corredata da allegati tecnici quali cartografie tematiche, fotografie, tabelle, profili geologici e geofisici rilevati durante le fasi di perforazione. Allo stesso ufficio, il concessionario deve trasmettere annualmente la copia degli inventari delle attrezzature fisse o mobili utilizzate ai fini della concessione ed entro il primo trimestre di ciascun anno, una relazione riguardante le ulteriori conoscenze geominerarie acquisite nel corso dell'anno precedente, l'eventuale rivalutazione delle riserve per ciascuno dei campi ricadenti nella concessione, la consistenza degli impianti e delle attrezzature fisse e mobili esistenti a servizio della concessione e le eventuali opere di ripristino o di mitigazione dei danni al giacimento, all'ambiente o alla salute. L'URIG può approvare detta relazione ed impartisce le necessarie prescrizioni, cui il

titolare è tenuto ad uniformarsi.

Nel caso in cui, a causa di difficoltà di ordine tecnico la coltivazione di un giacimento richieda l'impiego di tecnologie non ancora acquisite all'esperienza industriale, l'attuazione di lunghi periodi di prove di produzione o di impegnativi studi di fattibilità, il titolare ha la facoltà di presentare un programma provvisorio la cui esecuzione verrà autorizzata dall'URIG.

A norma dell'art. 42, il concessionario è tenuto a corrispondere alla Regione un canone annuo (anticipato) pari a vecchie lire 80.000 per km², convertito in euro ed adeguato secondo l'indice FOI previsto dall'ISTAT.

In caso di produzione di energia elettrica saranno dovuti i seguenti canoni:

- vecchia lira una per ogni kWh di energia elettrica prodotta nel campo geotermico alla Regione;
- vecchia lira una per ogni kWh di energia elettrica prodotta nel campo geotermico ai Comuni nel cui territorio ricade il campo geotermico coltivato proporzionalmente all'area di ogni singolo e nel caso in cui il giacimento ricada nel territorio di due o più Comuni.

Anche questi ultimi canoni dovrebbero essere adeguati secondo l'indice FOI previsto dall'ISTAT, purtroppo a livello regionale non esiste al momento un riscontro normativo. Infatti l'adeguamento di cui si parla è applicato ai canoni superficiali per permessi di ricerca e concessioni di coltivazione per idrocarburi ai sensi dell'art. 20 della L. R. 27 aprile 1999, n. 10. Poiché da quando è in vigore la L.R. 14/2000 non sono state rilasciate concessioni di risorse geotermiche sul territorio regionale la questione non è stata approfondita da un punto di vista giuridico. Pertanto all'occorrenza laddove un permesso per geotermia desse luogo a ritrovamenti suscettibili di sfruttamento commerciale probabilmente è necessario porre la questione all'attenzione dei competenti uffici legali.

L'articolo 33 della Legge, disciplina le condizioni per le quali l'Assessore dichiara, per decreto, la decadenza del titolo (previa contestazione dei motivi e prefissione di un termine non inferiore a trenta giorni per le deduzioni del concessionario):

- perdita dei requisiti soggettivi;
- mancato pagamento del canone annuo di superficie e di quanto altro dovuto;
- inadempienza degli obblighi del concessionario (di cui all'articolo 29 della Legge);
- mancato svolgimento del programma dei lavori (in questo caso la sanzione prevede il pagamento di una penale pari al 10% della somma prevista per le attività non realizzate);
- sospensione dei lavori senza averne avuto autorizzazione;
- persistenza dell'attività nonostante diffida;
- sospensione non autorizzata della produzione del giacimento protratta oltre sei mesi;
- mancato rispetto delle disposizioni impartite dall'Autorità competente;
- variazione della produzione media della concessione, senza apposita autorizzazione e senza provata giustificazione tecnica;
- trasferimento totale o parziale del titolo senza autorizzazione.

17. Iter autorizzativo per le "piccole utilizzazioni locali"

Per quanto riguarda le piccole utilizzazioni locali di calore geotermico, ai sensi dell'articolo 10 del D.Lgs. 22/2010, vengono distinte due tipologie:

- a) eventuale produzione di energia elettrica con impianti a ciclo binario ad emissione nulla;
- b) quelle effettuate tramite l'installazione di sonde geotermiche che scambiano calore con il sottosuolo, senza effettuare il prelievo e la reimmissione nello stesso di acque calde o fluidi geotermici.

Le Autorità competenti per le funzioni amministrative e di vigilanza, riguardanti le piccole utilizzazioni di tipo a) e b) sono le Regioni o enti da esse delegati. Queste tipologie di utilizzazioni non sono soggette alla legislazione mineraria di cui al Regio Decreto 1927 n. 1443.

Le autorizzazioni per le utilizzazioni di tipo a) sono concesse dalle Regioni territorialmente competenti con le modalità previste dal testo unico delle disposizioni di legge sulle acque e impianti elettrici di cui al Regio Decreto 11 dicembre 1933 n. 1775 e dalla normativa nazionale e regionale in materia ambientale. In questa categoria rientrano sia gli impianti per la produzione di energia elettrica sia gli impianti che permettono un "uso diretto" del calore geotermico tramite pozzi geotermici nel rispetto delle "condicio sine qua non" di cui alla lettera a).

Le piccole utilizzazioni di tipo b) sono sottoposte al rispetto della specifica disciplina emanata dalla Regione competente, con previsione di adozione di procedure semplificate.

La Direttiva CE 2009 n. 28 stabilisce un quadro comune per la promozione dell'energia da fonti rinnovabili, prefiggendo gli obiettivi nazionali obbligatori per la quota complessiva di energia da tali fonti sul consumo finale lordo.

L'articolo 7 comma 4 del D.Lgs. del 2011 n. 28, in attuazione della sopraccitata Direttiva del Parlamento Europeo, delegava il Ministero dello Sviluppo Economico a regolamentare, entro tre mesi dall'entrata in vigore del Decreto, le prescrizioni per la posa in opera degli impianti di produzione di calore da risorsa geotermica, ovvero delle sonde geotermiche, destinati al riscaldamento ed alla climatizzazione di edifici, individuando i casi di applicazione della procedura abilitativa semplificata (PAS).

Purtroppo ancora oggi si protrae il ritardo nella regolamentazione del citato Decreto, con conseguente difficoltà nell'ambito degli iter autorizzativi. Poiché le autorizzazioni per la posa di sonde geotermiche è di competenza regionale ed in assenza di una normativa nazionale, poche Regioni hanno adottato le proprie prescrizioni. Su scala nazionale è evidente la disomogeneità tra le Regioni che hanno emanato leggi e regolamenti in materia e Regioni che non hanno ancora affrontato la questione creando notevoli disagi agli utenti, disincentivando l'utilizzo di questa importante tecnologia. In attesa di questo decreto, nel presente documento, senza pretesa di esaustività, saranno fornite le indicazioni generali sugli adempimenti richiesti per le autorizzazioni necessarie all'installazione di impianti geotermici.

Secondo un criterio puramente tecnico (che si ripercuote anche a livello di iter autorizzativo) è possibile distinguere quindi tre tipologie impiantistiche di piccole utilizzazioni:

- impianti geotermoelettrici per la produzione di energia elettrica (ciclo binario) con potenza termica inferiore a 2 MW termici con pozzi geotermici a profondità inferiori a 400 metri;
- impianti geotermici open loop (ciclo aperto) che prevedono la captazione e la reiniezione in falda del fluido geotermico o acqua di falda;
- impianti geotermici closed loop (ciclo chiuso) che non prevedono la captazione di acqua di falda bensì lo scambio termico con il sottosuolo (terreno, corpi idrici, o idrogeologici) tramite l'impiego di sonde geotermiche (orizzontali e verticali).

A norma dell'articolo 4 del D.Lgs. 28/2011, la costruzione e l'esercizio di impianti di produzione di energia da fonti rinnovabili sono disciplinati da speciali procedure amministrative semplificate, accelerate, proporzionate e adeguate, sulla base delle caratteristiche di ogni singola applicazione.

Secondo un criterio di proporzionalità, queste attività potranno essere soggette alle seguenti procedure amministrative:

- a) articolo 12 del D.Lgs. 387/2003 e s.m.i.);
- b) procedura abilitativa semplificata (di cui all'articolo 6 del D.Lgs. 28/2011);
- c) comunicazione relativa alle attività in edilizia libera (di cui all'articolo 6, comma 11 del D.Lgs. 28/2011).

Le linee guida alle autorizzazioni sono specificate nel Decreto del MiSE 10 Settembre 2010 "Linee guida per l'autorizzazione degli impianti alimentati da fonti rinnovabili".

La costruzione e l'esercizio degli impianti di produzione di energia elettrica alimentati da fonti rinnovabili, le opere connesse e le infrastrutture indispensabili alla costruzione e all'esercizio degli impianti stessi, sono soggetti ad un'autorizzazione unica, rilasciata dalla Regione o altro soggetto istituzionale delegato dalla Regione stessa, nel rispetto delle normative vigenti in materia di tutela dell'ambiente, di tutela del paesaggio e del patrimonio storico-artistico. Tale autorizzazione viene rilasciata secondo le modalità procedurali e le condizioni previste dai richiamati decreti n. 387/2003 e n. 28/2011, nonché dalle relative disposizioni delle Regioni e delle Province autonome. Entro trenta giorni dalla presentazione della domanda di autorizzazione viene convocata la Conferenza dei Servizi. La suddetta autorizzazione prevede un procedimento unico, al quale partecipano tutte le Amministrazioni interessate, svolto nel rispetto dei principi di semplificazione. Il rilascio dell'autorizzazione costituisce titolo a costruire ed esercire l'impianto in conformità al progetto approvato. Il termine massimo per la conclusione del procedimento unico non può essere superiore a novanta giorni, al netto dei tempi previsti per il provvedimento di Valutazione d'Impatto Ambientale o previo espletamento della "Verifica di Assoggettabilità a V.I.A." sul progetto preliminare (qualora siano previste tali procedure). A tal proposito è necessario citare l'articolo 10 comma 7 del D.Lgs.22/2010, nel quale viene specificato che le piccole utilizzazioni locali per impianti di potenza inferiore ad 1 MW e le utilizzazioni tramite sonde geotermiche sono escluse dalle procedure regionali di Verifica di Assoggettabilità Ambientale.

Purtroppo la normativa nazionale non specifica assolutamente i casi di applicazione della procedura abilitativa semplificata e della comunicazione relativa all'attività di edilizia libera (ad eccezione degli impianti geotermoelettrici realizzati in edifici esistenti con potenza compresa tra 0 e 200 kW per i quali è sufficiente la comunicazione, così come disciplinato dal paragrafo 12 delle linee guida alle autorizzazioni).

Alcune Regioni hanno proposto una propria normativa in materia, anche in relazione alla posa delle sonde geotermiche, tra queste si citano la Regione Toscana (L.R. 2005 n. 39 e L.R. 2009 n. 71) e la Regione Lombardia (Regolamento Regionale 2006 n. 2, Legge Regionale 2006 n. 24, Legge Regionale 2009 n. 10, Regolamento Regionale 2010 n. 7) che disciplinano molto dettagliatamente le specifiche tecniche degli impianti, gli adempimenti e gli iter autorizzativi, incentivando e promuovendo efficacemente la diffusione di questa tecnologia. Altre Regioni (Friuli Venezia Giulia, Trentino Alto Adige, Veneto, ecc.) hanno proposto regolamenti o particolari vincoli.

Il presente studio è finalizzato alla delimitazione di un quadro normativo delle Regioni Convergenza in ambito geotermico. Purtroppo nessuna delle Regioni prese in considerazione ha ancora adottato specifici regolamenti per quanto riguarda la posa di sonde geotermiche, creando in tal senso un gap non indifferente tra le varie Regioni.

La Regione Campania con L.R. 2008 n. 8 "*Disciplina della ricerca ed utilizzazione delle acque minerali e termali, delle risorse geotermiche e delle acque di sorgente*" e s.m.i. e con il relativo regolamento di attuazione 10/2010 e con D.D. 2011 n.420 "*Criteri per la uniforme applicazione delle Linee Guida per il procedimento di cui all'art. 12 del D.Lgs. 387/2003, emanate con DM MiSE 10/09/2010, pubblicato in GU n. 219 del 18/09/2010*") disciplina le attività che prevedono lo sfruttamento di acque calde e fluidi geotermici di cui all'art. 10 comma 1 del D.Lgs. 22/2010. Inoltre in riferimento a questo ultimo, la stessa Regione Campania, con delibera del 12/04/2012 ha approvato il "*Regolamento per la disciplina delle procedure relative a concessioni per piccole derivazioni, attingimenti e l'uso domestico di acque pubbliche*", il quale individua nello specifico all'art. 3 comma 1, lettera m) l'uso di acque derivate finalizzato al recupero energetico mediante scambio termico in impianti a pompa di calore.

Anche la Regione Calabria con l'emanazione della Legge Regionale 5 novembre 2009 n. 40 "*Attività estrattiva nel territorio della Regione Calabria*" e del Regolamento Regionale 5 maggio 2011 n. 3 "*Regolamento di attuazione Legge Regionale 5 novembre 2009, n. 40*", disciplina la ricerca e la coltivazione dei materiali di miniera (nei quali rientrano i fluidi geotermici a "bassa entalpia").

Le Regioni Puglia e Sicilia si attengono integralmente ai testi nazionali vigenti. Come già anticipato le piccole utilizzazioni locali (ad eccezione delle sonde geotermiche a circuito chiuso) sono disciplinate dal R.D. 1775/1933 "*Approvazione del testo unico delle disposizioni di legge sulle acque e sugli impianti elettrici*", di seguito denominato T.U. (Testo Unico) e successive modifiche ed integrazioni e dalle connesse leggi regionali.

Ai sensi dell'art. 95 del sopracitato Decreto, per procedere alla ricerca di acque sotterranee o a scavo di pozzi è necessario presentare domanda di autorizzazione all'Ufficio del Genio Civile alla cui circoscrizione appartengono le opere di presa, corredando la domanda del piano di massima dell'estrazione e dell'utilizzazione che si propone di eseguire. L'autorizzazione non dà diritto all'utilizzo dell'acqua rinvenuta, a tal fine occorre presentare domanda di Concessione di derivazione di acque sotterranee, ai sensi dell'art. 7 del Testo Unico. A norma dell'art. 17, infatti, è vietato derivare o utilizzare acqua pubblica senza un provvedimento autorizzativo o concessorio da parte dell'Autorità competente.

Ogni Ufficio del Genio Civile predispone idonea modulistica che il richiedente deve presentare. La documentazione minima consiste in una dettagliata relazione geologico-tecnica nella quale devono essere indicate: l'uso alla quale la risorsa è destinata, il volume d'acqua richiesto (a norma dell'articolo 6, le utenze possono essere suddivise in grandi e piccole derivazioni), la prova della disponibilità della risorsa idrica, il tipo di pompa impiegata, il contatore, il sito, le mappe catastali. Chiaramente ogni Ufficio può disporre integrazioni della documentazione a corredo dell'istanza.

Le domande per nuove concessioni ed utilizzazioni corredate dai progetti di massima delle opere da eseguire per la raccolta, la regolazione, l'estrazione, la derivazione e dalle specifiche relazioni tecniche, sono trasmesse all'Autorità di Bacino territorialmente competente per l'acquisizione del parere obbligatorio e vincolante, previsto dall'art. 7 comma 2 del Testo Unico che, entro i termini di quaranta e novanta giorni dalla data di ricezione rispettivamente delle domande relative a piccole e grandi derivazioni, esprime il proprio parere al competente Ufficio Istruttore in merito alla compatibilità dell'utilizzazione con il Piano di Tutela delle Acque.

L'Ufficio istruttore ordina la pubblicazione della domanda mediante avviso sul Bollettino Regionale. Dopo trenta giorni dall'avviso, la domanda e il relativo progetto, vengono pubblicati con ordinanza del Genio Civile nell'Albo pretorio del Comune interessato, per una durata di quindici giorni, specificando il termine entro il quale possono essere sollevate opposizioni e/o osservazioni riguardo alla derivazione.

L'Ufficio del Genio Civile valuta le opposizioni e le osservazioni pervenute nei termini, procede alla visita dei luoghi (alla quale possono intervenire il richiedente e gli interessati) e redige una relazione dettagliata sulle circostanze constatate durante il sopralluogo.

A seguito dell'esito positivo dell'istruttoria tecnica, viene redatto il disciplinare di concessione, contenente le condizioni che regolano i rapporti tra concessionario e ufficio concedente.

A norma dell'articolo 12bis comma 3, è possibile l'utilizzo di risorse prelevate da sorgenti o falde per usi diversi da quello potabile se:

- viene garantita la condizione di equilibrio del bilancio idrico per ogni singolo fabbisogno;
- non sussistono possibilità di riutilizzo di acque reflue depurate o provenienti dalla raccolta di acque piovane;
- sussiste adeguata disponibilità delle risorse predette e vi è una accertata carenza qualitativa e quantitativa di fonti alternative di approvvigionamento.

Contestualmente all'istanza di concessione di derivazione, è valutata quella di autorizzazione allo scarico per la quale si fa riferimento al D.Lgs. 152/2006 e s.m.i ed alle connesse leggi regionali.

Ai sensi dell'art. 104 del suddetto Decreto, l'Autorità competente, dopo indagine preventiva, può autorizzare gli scarichi nella stessa falda delle acque utilizzate per scopi geotermici, delle acque d'infiltrazione di miniere o cave o delle acque pompate nel corso di determinati lavori di ingegneria civile, ivi comprese quelle degli impianti di scambio termico. Inoltre l'art. 124 dello stesso Decreto stabilisce che tutti gli scarichi devono essere preventivamente autorizzati e che salvo diversa disciplina regionale, l'istanza deve essere presentata alla Provincia, ovvero all'Autorità d'Ambito se lo scarico è in pubblica fognatura. Entro novanta giorni dalla data di ricezione dell'istanza l'Autorità competente si pronuncia in merito al rilascio dell'autorizzazione.

L'autorizzazione che viene rilasciata al titolare dell'attività da cui ha origine lo scarico, è valida per 4 anni a partire dalla data del rilascio e può esserne richiesto il rinnovo un anno prima della scadenza dell'autorizzazione.

La realizzazione delle perforazioni prevista per le piccole utilizzazioni è comunque soggetta a quanto previsto dall'art. 840 del Codice Civile "*Sottosuolo e spazio sovrastante al suolo*" nel quale viene sancito che la proprietà del suolo si estende al sottosuolo, con tutto ciò che vi si contiene, ed il proprietario può fare qualsiasi escavazione od opera che non rechi danno al vicino (con le dovute eccezioni per quanto riguarda cave, miniere, ecc...) e dall'art. 889 "*Distanze per pozzi, cisterne, fosse e tubi*" nel quale si obbliga chi vuole aprire pozzi, cisterne, fosse presso il confine, anche se su questo si trova un muro divisorio, ad osservare una distanza minima di due metri tra il confine e il punto più vicino del perimetro interno dell'opera predetta. Per i tubi d'acqua pura o lurida, per quelli di gas e simili e loro diramazioni deve osservarsi la distanza di almeno un metro dal confine.

Ai sensi della Legge del 1984 n. 464 "Norme per agevolare l'acquisizione da parte del Servizio geologico della Direzione generale delle miniere del Ministero dell'Industria, del Commercio e dell'Artigianato di elementi di conoscenza relativi alla struttura geologica e geofisica del sottosuolo nazionale" qualora la perforazione si spinga oltre i 30 m dal piano campagna, il richiedente deve fornire le necessarie comunicazioni al Servizio Geologico d'Italia - Dipartimento Difesa del Suolo (ISPR). Entro trenta giorni dalla data d'inizio delle indagini il proponente deve comunicare la localizzazione delle indagini e degli studi da eseguire ed entro trenta giorni dalla fine dei lavori deve fornire una relazione dettagliata sui risultati geologici e geofisici. Per quanto riguarda l'invio delle comunicazioni, relative alle indagini eseguite a mezzo di perforazioni, deve avvenire mediante la compilazione dei "Moduli Legge 464-84" scaricabili dal sito <http://www.isprambiente.gov.it/it>. I moduli compilati e firmati possono essere inviati tramite Posta Elettronica Certificata oppure a mezzo raccomandata A/R.

Nel caso in cui tali opere ricadano all'interno di aree che costituiscono la Rete Natura 2000, quindi Siti di Importanza Comunitaria (SIC) o Zone di Protezione Speciale (ZPS) devono essere sottoposte alla fase di "screening" della Valutazione d'Incidenza.

Qualora il progetto ricada anche parzialmente all'interno di un'area Parco, deve essere accordato il Nulla Osta dall'Ente Parco, lo stesso deve essere rilasciato dall'Ente Gestore nel caso in cui il progetto ricada in una Riserva Regionale. Inoltre, sono soggette ad autorizzazione, da parte dell'ente di competenza, i progetti che ricadono in aree soggette a vincoli: per quello idraulico ed idrogeologico deve provvedere l'Autorità di Bacino, per quello paesaggistico la commissione paesaggistica, ecc.

In riferimento alle "piccole utilizzazioni locali" di cui al comma 2 dell'articolo 10 del D.Lgs. 22/2010 in relazione alle sonde geotermiche a circuito chiuso, possono essere distinte tre principali tipologie ovvero "sonde geotermiche orizzontali", "sonde verticali" che prevedono la perforazione di pozzi e "sonde integrate con i pali di fondazione".

Le lacune normative, precedentemente enunciate in riferimento alle Regioni Convergenza, si ripercuotono maggiormente per queste tipologie di utilizzazioni.

Per l'installazione delle sonde geotermiche orizzontali e delle sonde integrate ai pali di fondazione di edifici di nuova costruzione, non dovrebbe essere prevista alcuna autorizzazione ma soltanto una comunicazione al Comune di pertinenza relativa all'attività di edilizia libera (D.Lgs. 28/2011).

Per l'installazione di sonde geotermiche verticali senza scambio di acque dovrebbe essere sufficiente, ai sensi dell'art. 6 del D.Lgs. 28/2011, presentare al Comune, trenta giorni prima dell'inizio dei lavori, una dichiarazione (PAS) a mezzo cartaceo o per via telematica, accompagnata da una relazione di dettaglio del progetto che si intende realizzare, firmata da un progettista abilitato, che attesti la compatibilità dell'opera con gli strumenti urbanistici approvati, i regolamenti edilizi vigenti e il rispetto delle norme di sicurezza e quelle igienico-sanitarie.

È bene sottolineare che la messa in posa di sonde geotermiche, seppur considerata poco impattante dal punto di vista ambientale ed esclusa dalla procedura di Verifica di Assoggettività alla V.I.A., è soggetta alle normative ambientali (Valutazione di Incidenza in caso di aree della Rete Natura 2000 ecc...).

Poiché l'installazione di sonde geotermiche prevede delle perforazioni, è possibile riferirsi alla precedente descrizione per le piccole utilizzazioni locali che prevedono la captazione di acqua di falda.

In merito alla realizzazione di impianti di produzione di calore mediante l'installazione di sonde geotermiche l'Unione Geotermica Italiana (UGI) ha elaborato un documento, da porre all'attenzione del Ministero dello Sviluppo Economico che individua i casi di applicazione della procedura abilitativa semplificata (PAS), in attuazione a quanto previsto dal comma 4, art. 7 del D.Lgs. 28/2011.

Le tipologie di impianti di produzione di calore da risorsa geotermica, ovvero sonde geotermiche, destinate al riscaldamento e alla climatizzazione degli ambienti e le corrispondenti procedure semplificate previste sono riportate in Allegato al suddetto documento. Esso riporta le seguenti indicazioni:

- impianto in appositi registri regionali che saranno istituiti presso tutte le Regioni;
- le sonde geotermiche integrate con pali di fondazione di nuove costruzioni senza scambio di acque o fluidi sono sottoposte a comunicazione e registrazione dell'impianto collegata al permesso di costruire;
- le sonde geotermiche verticali senza scambio di acque o fluidi sono sottoposte a PAS e registrazione dell'impianto ed eventuale regime autorizzativo regionale per la perforazione solo in funzione di specifiche esigenze di tutela ambientale motivate da adeguati quadri conoscitivi del sottosuolo;
- gli impianti di produzione di calore da energia geotermica tramite pompa di calore di capacità termica inferiore a 1 MW, mediante prelievo di acque sotterranee inferiori a 50 l/s, e a profondità inferiore di 400 m sono sottoposti ad autorizzazione al prelievo di acque sotterranee ai sensi del D.Lgs. 22/2010, del T.U. 1775/1933 e la connessa disciplina regionale, ad eventuali adempimenti di VIA previsti su scala nazionale e regionale e alla registrazione dell'impianto;
- gli impianti di produzione di calore da energia geotermica di capacità termica inferiore a 1 MW mediante prelievo di acque sotterranee calde inferiori a 50 l/s, e a profondità inferiore di 400 m sono sottoposti ad autorizzazione al prelievo di acque sotterranee ai sensi del D.Lgs. 22/2010, del T.U. 1775/1933 e la connessa disciplina regionale, ad eventuali adempimenti di VIA previsti su scala nazionale e regionale e alla registrazione dell'impianto.

Per ulteriori approfondimenti relativi alle prescrizioni per l'esercizio dello sfruttamento di piccole utilizzazioni locali si consulti il testo VIGOR – *Prime indicazioni tecnico-prescrittive in materia di impianti di climatizzazione geotermica*.

18. Iter autorizzativo piccole utilizzazioni locali Regione Sicilia

19. Produzione di energia elettrica

La Sicilia è una delle poche Regioni d'Italia sul cui territorio (esclusivamente in alcune isole minori) potenzialmente si potrebbe produrre energia elettrica mediante l'installazione di centrali geotermoelettriche a ciclo binario che rientrino nei canoni delle "piccole utilizzazioni locali".

Si è ritenuto opportuno quindi descrivere brevemente gli adempimenti amministrativi per ottenerne l'autorizzazione.

Questa tipologia di progetto può essere richiesta secondo le modalità procedurali previste dall'Autorizzazione Unica di cui all'articolo 12 del D.Lgs. 387/2003 e s.m.i. che viene rilasciata dalla Regione Sicilia (si rimanda al paragrafo precedente per la breve descrizione della procedura e relative tempistiche di rilascio).

In particolare l'istruttoria è di competenza dell'Assessorato Regionale dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità - Dipartimento dell'Energia - Servizio 3 "Autorizzazioni e Concessioni", sito in Via Ugo La Malfa 87 90146 - Palermo, al quale è necessario inoltrare l'istanza di autorizzazione.

Tale istanza e la relativa documentazione tecnica devono essere presentate anche a tutte le Amministrazioni interessate. Il Dipartimento dell'Energia (Servizio 3) provvede a indire la Conferenza dei Servizi per ottenere tutti i pareri necessari per l'autorizzazione mediante un unico procedimento (anche in relazione alle "opere connesse" tra le quali rientrano le perforazioni). In tabella 1 si riportano le Amministrazioni interessate nell'ipotetico caso in cui il progetto sia previsto sul territorio provinciale di Trapani (ad esempio nel Comune di Pantelleria). L'istanza in bollo va presentata solo al Dipartimento Energia (Servizio 3) mentre è sufficiente inoltrare agli altri enti una copia per conoscenza ed una copia del progetto (non in bollo) anche in formato elettronico.

Per la compilazione dell'istanza e per la preparazione degli allegati tecnici da presentare è necessario riferirsi alla normativa attualmente vigente:

- D. Ministero Sviluppo Economico 10 settembre 2010 "Linee guida per l'autorizzazione degli impianti alimentati da fonti rinnovabili";
- D.Lgs. 29 dicembre 2003 n.387 "Attuazione della direttiva 2001/77/CE relativa alla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'elettricità"
- Deliberazione Giunta Regionale (Regione Sicilia) 3 febbraio 2009 n.1 "Piano Energetico Ambientale Regionale Siciliano (P.E.A.R.S.) - approvazione".

Tutti gli adempimenti amministrativi, la documentazione tecnica da allegare e i documenti relativi alla società proponente sono dettagliatamente descritti nella Parte III delle "Linee Guida".

Tabella 1 Elenco degli enti a cui inviare la richiesta (oltre all'Autorità competente per il rilascio dell'autorizzazione unica). In caso si presenti la necessità di un loro parere o nulla-osta, questo verrà rilasciato in conferenza dei servizi.		
align="center">Mi.S.E. - Dipartimento comunicazioni Ispettorato Territoriale Sicilia Via Alcide De Gasperi n. 103 PALERMO	Dipartimento Regionale Energia Servizio 10 Attività tecniche e risorse minerarie Stessa sede dell'Autorità competente	Dipartimento Interventi infrastrutturali per l'agricoltura U.O. 19 Demanio trazzonale Via Nicolo Garzilli n. 36 - PALERMO paolo.demanio@regione.sicilia.it

PALERMO settore3.sicilia@sviluppoeconomico.gov.it	Competenze	dg12.demando@regione.sicilia.it
Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti D.G.T. Sud e Sicilia Segreteria Coordinata Via Gaetano Daita n. 15 PALERMO dgt.sudsicilia@pec.mit.gov.it	Dipartimento Regionale Infrastrutture mobilità e trasporti Servizio 12 Via Leonardo da Vinci n. 161 - PALERMO	Dipartimento Interventi infrastrutturali per l'agricoltura - Servizio IV Interventi di sviluppo rurale ed azioni LEADER (Solo x impianti su terreni agricoli)
Comando Scuole A.M. 3^ Regione Aerea Reperto Territorio e Patrimonio Lungomare Nazario Sauro n. 38 70121-B A R I	Genio civile TRAPANI geniociviletp@regione.sicilia.it	Azienda Sanitaria Provinciale TRAPANI direzione.generale@pec.asptrapani.it
Comando Regione militare SUD Ufficio logistico infrastrutture Piazza Vittoria n. 14 90129-PALERMO rep_spt_rmsud@esercito.difesa.it	Agenzia delle Dogane Direzione Provinciale TRAPANI	RFI Rete Ferroviaria Italiana Direzione Territoriale Produzione Piazza Cairoli n. 5 90123-PALERMO
Comando militare marittimo autonomo Sicilia Via Caracciolo n. 3 96011-AUGUSTA SR marisicilia@postacert.difesa.it	Provincia Regionale di Trapani 8° Settore territorio, ambiente, riserve naturali e protezione civile TRAPANI provincia.trapani@cert.prontotop.net	Gestore di rete (ENEL, TERNA, ecc...)
Dipartimento Regionale Ambiente Servizio 1 VAS/VIA Via Ugo La Malfa n. 169 - PALERMO dip.territorioambiente@pec.regione.sicilia.it p.vizzini@regione.sicilia.it	Comune di Pantelleria	ANAS S.p.A. Via Alcide De Gasperi n. 247 90146 - PALERMO
Dipartimento Regionale Urbanistica Servizio 6 Varianti urbanistiche relative C.d.S. Via Ugo La Malfa n. 169 - PALERMO serv6.urbanistica@pec.regione.sicilia.it	Soprintendenza BB.CC.AA. TRAPANI sopritp@regione.sicilia.it	ENAC - Direzione operativa Napoli Viale Ruffo di Calabria c/o Blocco Tecnico ENAV - CAV 80144 - Napoli Capodichino fax 081 7802038
Dipartimento Regionale Energia Servizio 8 U.R.I.G. Stessa sede dell'Autorità competente serv8.energia@pec.regione.sicilia.it	Ispettorato ripartimentale delle foreste TRAPANI irftp.foreste@regione.sicilia.it	ENAV S.p.A. Area operativa Progettazione Spazi aerei Via Salaria n. 716 00138 - ROMA
SNAM Rete Gas Distretto Sicilia Via Florio n. 21 95045 - MISTERBIANCO (CT)	Vigili del Fuoco - Comando Provinciale C.da Milo - S.S. 113 91100 -TRAPANI fax 0923550350 comando.trapani@vigilfuoco.it	

In aggiunta a queste disposizioni relative alla normativa nazionale, il P.E.A.R.S. (Piano Energetico Ambientale Regionale Siciliano) dispone la documentazione da presentare per l'autorizzazione in Conferenza dei Servizi.

Ai sensi del punto 2 del Piano Energetico Regionale è necessario presentare:

- attestazione di Istituto di Credito o Società di disponibilità a finanziare l'iniziativa, anche attraverso lettera di "patronage" e di sussistenza in capo al richiedente della capacità organizzativa e finanziaria per il suo sviluppo;
- documentazione attestante la disponibilità giuridica dell'area di impianto in capo al richiedente;
- autocertificazione da parte del richiedente per l'assunzione nei confronti dell'Amministrazione della responsabilità diretta per tutte le fasi di realizzazione ed avvio di impianto;
- dichiarazione di primaria Compagnia di Assicurazione della disponibilità alla copertura assicurativi dei rischi sia per la mancata erogazione di energia elettrica sia per i danni ai macchinari necessari per la produzione di energia;
- comunicazione della sede legale istituita dal richiedente in Sicilia ed impegno al suo mantenimento per il tempo di efficacia dell'autorizzazione.

20. Impianti geotermici open loop (circuito aperto)

Per quanto riguarda gli impianti geotermici "open loop", la Regione Sicilia non ha ancora aggiornato, tramite regolamenti e

leggi proprie, le procedure per la derivazione di acque pubbliche per le quali si attiene integralmente al Regio Decreto 1775/1933 e s.m.i. del quale è stata fornita una breve descrizione nei paragrafi precedenti. Essa trova applicazione sull'intero territorio ed è integrata dalla L.R. 2003 n. 7 "Modifiche ed integrazioni alla legge regionale 2 agosto 2002, n. 7. Disposizioni in materia di acque sotterranee ed in materia urbanistica".

Chiunque intenda provvedere alla ricerca di acque sotterranee o allo scavo di pozzi, per usi diversi da quello domestico, deve chiederne autorizzazione all'Ufficio Regionale del Genio Civile di competenza, corredando la domanda del piano di massima dell'estrazione e dell'utilizzazione che si intende eseguire. Ipotizzando la realizzazione di un impianto geotermico open loop nel Comune di Mazara del Vallo è necessario ottenere l'Autorizzazione alla ricerca di acqua mediante escavazione e, successivamente alla realizzazione del pozzo, presentare istanza di Concessione per la derivazione e l'utilizzo di acqua sotterranea al Genio Civile della Provincia di Trapani U.O. 9 "Acque concessioni e autorizzazioni". Dal sito del Genio Civile, è possibile recuperare la modulistica necessaria e la documentazione da allegare per ogni tipologia di istanza.

Per ottenere l'Autorizzazione alla ricerca è necessario presentare:

- domanda in carta bollata, indirizzata all'Ufficio del Genio Civile di Trapani (quattro copie di cui una in bollo);
- relazione tecnica riguardante il progetto di ricerca, l'utilizzazione prevista delle acque e le caratteristiche del pozzo (quattro copie);
- relazione idrogeologica (quattro copie);
- planimetria catastale con esatta indicazione del punto di indagine (quattro copie);
- corografia dell'I.G.M. in scala 1:25.000 di cui due con indicazione in rosso del punto di indagine (cinque copie);
- copia del certificato catastale ed estratto di mappa, relativi alla particella ove si intende realizzare il pozzo (quattro copie);
- copia del titolo di proprietà o altro titolo equipollente (tre copie);
- atto di consenso dei proprietari dei fondi nel caso in cui l'opera ricada nel terreno di proprietà di terzi;
- autorizzazione comunale ai sensi dell'art.5 della L.R. 1985 n.37.

Successivamente alla realizzazione del pozzo ed al ritrovamento della risorsa idrica è possibile inoltrare richiesta di concessione per l'attingimento delle acque sotterranee.

L'istanza deve essere indirizzata all'Assessorato Regionale ai Lavori Pubblici, per il tramite dell'Ufficio del Genio Civile di Trapani, in doppio originale in bollo e in duplice copia in carta semplice e deve essere completa di:

- dati anagrafici, codice fiscale e residenza del richiedente;
- indicazione Comune, Contrada e particella dove è ubicata la derivazione;
- quantità di acqua richiesta in concessione;
- uso delle acque richieste (industriale – geotermico ?);

Alla domanda deve essere allegata la seguente documentazione tecnica:

- relazione nella quale deve essere dettagliatamente descritto il piano di captazione ed di utilizzazione delle acque;
- relazione idrogeologica redatta sulla base della Nota Assessoriale n.1872/99;
- certificato catastale ed estratto di mappa relativi alla particella di interesse;
- titolo di proprietà;
- planimetria del comprensorio servito;
- carta topografica dell'I.G.M. (una copia) in scala 1:25.000 con ubicazione in rosso dell'opera;
- sezione quotata dell'opera di captazione e delle eventuali opere di raccolta esistenti e da installare;
- disegni particolareggiati delle opere d'arte principali (attraversamenti, ponti, canali ecc...).

Il Dipartimento Regionale dell'Ambiente provvede al rilascio dell'autorizzazione allo scarico nelle unità geologiche profonde e delle acque termali, ai sensi del D.Lgs. 152/2006 e della L.R. 27/1986 e s.m.i. Inoltre quest'ultima legge stabilisce all'art. 40 che i Comuni sono le autorità competenti al controllo e al rilascio degli scarichi provenienti da insediamenti civili e produttivi che recapitano o non recapitano in pubbliche fognature.

Si ricorda che per gli impianti eccedenti 1 MW di potenza termica installata è necessaria la procedura di Verifica di Assoggettabilità alla V.I.A. Inoltre, per tutte le opere da effettuare in aree della Rete Natura 2000 è necessaria la Valutazione di Incidenza.

21. Sonde geotermiche closed loop (circuito chiuso) e pali energetici

Questa tipologia d'impianti, non prevedendo nessun prelievo di fluidi di sottosuolo, è soggetta ad un iter autorizzativo semplificato ma non chiaramente definito. In attesa del Decreto Ministeriale che regolamenti la materia, di seguito vengono fornite alcune utili informazioni sulle modalità di richiesta di tali tipologie d'impianti.

I tempi per ottenere l'autorizzazione sono molto variabili, anche in virtù della mancanza di norme di carattere nazionale alle quali le amministrazioni comunali possano far riferimento.

A titolo di esempio si cita l'iter seguito per l'autorizzazione dell'impianto geotermico per la climatizzazione della sede che ospita l'U.O.S. di Capo Granitola del CNR-IAMC. L'opera poiché rientra nella definizione di cui all'art. 10 comma 2 del D.Lgs. 22/2010 ha previsto l'adozione di procedure semplificate.

Per l'autorizzazione da presentare al Comune di competenza territoriale, ovvero il Comune di Campobello di Mazara, si è fatto riferimento al Piano Regolatore Generale che nel caso di impianti tecnici (categoria nella quale rientrano le sonde geotermiche) non ha previsto un regime autorizzativo, bensì una comunicazione d'inizio lavori.

Una copia del progetto esecutivo e la comunicazione d'inizio lavori sono stati inviati sia al Genio Civile di Trapani, che all'Ente Provincia di Trapani (quest'ultimo anche in riferimento all'individuazione del sito per lo smaltimento degli scarti di perforazione).

Inoltre è stato necessario ottenere l'Autorizzazione Paesaggistica dalla Sovrintendenza Regionale per i Beni Culturali ed Ambientali di Trapani, ai sensi dell'art. 3, D-C.P.M. 12/12/2005.

Non sono stati richiesti adempimenti di VIA in quanto la potenza dell'impianto proposto era inferiore ad 1 MW.

Con D.D.G. del Dipartimento Regionale dell'Energia dell'1/3/2012, è stato istituito il Catasto Regionale degli impianti termici, un sistema informativo regionale, che costituisce un primo importante passo nella direzione di un vero e proprio Catasto regionale delle fonti energetiche rinnovabili. Infatti, in tale sistema confluiranno tutte le informazioni riguardanti non solo gli impianti destinati alla climatizzazione estiva ed invernale degli ambienti e produzione di acqua calda, ma anche l'esercizio degli impianti alimentati da fonti rinnovabili dislocati sul territorio siciliano. L'iter di trasmissione dei dati prevede che nei casi d'installazione di nuovo impianto termico o di sostituzione di un vecchio generatore di calore, l'installatore qualificato provveda ad inviare copia della scheda identificativa dell'impianto conforme all'Allegato A (per gli impianti con potenza termica nominale al focolare < 35 kW) o all'Allegato B (per gli impianti con potenza termica nominale \geq 35 kW) alle Autorità competenti, Province e Comuni con più di 40.000 abitanti, e al Dipartimento Regionale dell'Energia. I tecnici manutentori devono trasmettere alle Autorità competenti, con le scadenze stabilite dal D.Lgs. 192/2005, copia del rapporto di controllo tecnico conformi agli Allegati G (< 35 kW) ed F (\geq 35 kW).

L'obiettivo di tale decreto è quello di disciplinare l'installazione, la tenuta e il monitoraggio di tutti gli impianti per una corretta manutenzione e conoscenza degli stessi al fine di limitare i consumi, contenere l'impatto ambientale e aumentare la sicurezza.

22. Iter autorizzativo piccole utilizzazioni locali Regione Campania

23. Produzione di energia elettrica

La Campania è una Regione che potenzialmente potrebbe permettere la produzione di energia elettrica secondo le modalità previste nella definizione di "piccole utilizzazioni locali".

La Regione Campania con Decreto Dirigenziale n. 420 del 28 settembre 2011 ha adottato i criteri per uniformare l'applicazione delle linee guida nazionali per il procedimento di cui all'articolo 12 del D.Lgs. 387/2003, al fine di agevolare l'attuazione da parte del personale amministrativo e di superare dubbi interpretativi.

L'iter per la realizzazione d'impianti di energia elettrica da FER prevede una "autorizzazione unica" rilasciata dalla Regione, la cui istruttoria è di competenza dell'AGC 12 Sviluppo Economico - Settore 4 Regolazione dei Mercati.

Il richiedente deve compilare l'istanza conformemente all'allegato A del suddetto Decreto e presentare un DVD o CD-ROM che contenga gli allegati citati nel modello in formato .pdf. Tali allegati devono essere conservati in formato cartaceo dal proponente e debitamente firmati e timbrati da tecnico abilitato. Il proponente ha l'obbligo di inviare la convocazione della Conferenza dei Servizi, ricevuta mediante PEC, alle amministrazioni elencate nella stessa e di depositare presso di loro copia della documentazione su supporto cartaceo almeno quindici giorni prima della conferenza.

Gli adempimenti amministrativi e la documentazione tecnica da allegare sono contenute all'interno del Decreto e del relativo allegato.

24. Impianti geotermici open loop (circuiti aperti)

Come anticipato precedentemente la Regione Campania ha provveduto all'emanazione di leggi proprie (L.R. 8/2008 e R.R. 10/2010) per regolamentare l'uso diretto del calore geotermico.

La suddetta normativa disciplina le piccole utilizzazioni locali la cui definizione è espressa all'articolo 10 comma 1 del D.Lgs. 22/2010 "utilizzazioni di acque calde geotermiche, anche sotto forma di vapore, reperibili a profondità inferiori a quattrocento metri con potenza termica complessiva non superiore a 2.000 kilowatt termici". L'utilizzo di tali risorse, consentito per le attività che comportano un risparmio energetico, è autorizzato secondo le modalità indicate dal regolamento di attuazione (e di seguito riportate) e comunque "esclusivamente" mediante scambio energetico. Pertanto è da escludere la produzione di energia elettrica, secondo le modalità previste dalla normativa nazionale (D.Lgs. 22/2010, art. 10). Si sottolinea che il loro sfruttamento può essere autorizzato qualora sia riconosciuta l'impossibilità di utilizzo a scopi terapeutici delle acque minerali e termali riconosciute.

Nello specifico la normativa prevede a definire le modalità di:

- ricerca, coltivazione e utilizzazione delle acque minerali naturali e termali, ivi comprese le sostanze ad esse associate (gas e vapori);
- ricerca, coltivazione e utilizzazione delle acque di sorgente;
- ricerca, estrazione e utilizzazione delle piccole utilizzazioni locali.

Di seguito si pone l'attenzione sulla documentazione da produrre ai fini dello sfruttamento delle piccole utilizzazioni locali e sulle autorità in Campania delegate al rilascio della relativa autorizzazione alla ricerca e allo sfruttamento.

Le persone fisiche, le persone giuridiche, gli Enti Locali e altri organismi di diritto pubblico, dotati di capacità tecniche ed economiche adeguate agli interventi e ai relativi impegni finanziari programmati, ai fini del rilascio di un permesso di ricerca, possono presentare istanza alla Giunta Regionale - Settore Ricerca e Valorizzazione di Cave, Torbiere, Acque Minerali e Termali - Centro Direzionale Isola A/6, 80143, Napoli.

L'istanza opportunamente redatta in conformità a quanto previsto nell'Allegato A del R.R. 10/2010 e corredata della documentazione e degli elaborati tecnici che in esso sono riportati, deve essere munita di marca da bollo da 14,62 euro.

Essa deve contenere la seguente documentazione:

- generalità del richiedente e domicilio eletto nella Provincia in cui si svolgono le attività di ricerca (in allegato la copia del documento d'identità del richiedente valido);
- denominazione ed estensione dell'area, nonché durata del rilascio del permesso;
- indicazione del/i Comune/i entro il/i quale/i ricade l'opera; documentazione attestante possesso dei requisiti morali, tecnici ed economici adeguati alle attività da intraprendere quale:

- documentazione attestante possesso dei requisiti morali, tecnici ed economici adeguati alle attività da intraprendere quali:
 - relazione esplicativa inerente i mezzi di finanziamento previsti per l'attuazione del programma dei lavori di ricerca;
 - certificato di iscrizione alla Camera di Commercio con relativa attestazione di assenza di procedure fallimentari o concorsuali a proprio carico con annotazione antimafia;
 - relazione sulle esperienze imprenditoriali e attività economiche e lavorative pregresse;
 - dichiarazione di almeno un istituto bancario o intermediario;
 - atto d'individuazione del direttore dei lavori di ricerca con relativo curriculum vitae;
- documentazione che provi che le aree del permesso siano nella disponibilità del richiedente;
- copia dell'atto costitutivo e dello statuto, qualora il richiedente fosse una società;
- provvedimento dell'organo deliberativo che autorizza la ricerca e la richiesta del permesso qualora il richiedente fosse un Ente locale o altro organismo di diritto pubblico;
- area (Modello RAV scaricabile su <http://www.sito.regione.campania.it/.../ModulisticaCaveAcque.htm>);
- copia della procedura di Valutazione di Impatto Ambientale (qualora la derivazione di acque superficiali superasse i 1000 l/s o la derivazione di acque sotterranee superasse i 100 l/s) o della procedura di Valutazione d'Incidenza (qualora il progetto ricadesse in siti d'importanza comunitaria e d'interesse regionale).

Inoltre l'iter prevede la produzione di un congruo numero di elaborati tecnici, quali:

- una relazione geologica che fornisca un dettaglio geo-morfologico, strutturale ed idrogeologico dell'area richiesta in permesso, l'ubicazione di pozzi esistenti e di sorgenti con particolare riferimenti agli usi attuali e qualsiasi altro studio utile alla comprensione del modello idrogeologico alla scala del bacino di ricarica;
- indicazione del tipo di utilizzo alla quale la risorsa è destinata; ogni altro tipo di studio e sperimentazione;
- una descrizione delle aree, strutture, edifici e impianti che saranno interessati dalla futura utilizzazione della risorsa;
- l'accertamento tecnico di fattibilità del progetto su aree libere da concessioni di acque minerali e termali;
- una previsione dei risparmi finanziari per l'utilizzo di acque calde in alternativa all'uso di energia elettrica e idrocarburi, facendo riferimento nel calcolo alla temperatura convenzionale di 15°C dei reflui;
- il progetto di chiusura mineraria dell'opera di captazione (in caso di esaurimento, incoltivabilità del giacimento o sua inutilizzabilità secondo le modalità descritte in Allegato N) e il progetto di ripristino ambientale;
- una corografia in scala 1:25.000 o di maggior dettaglio in cui siano riportati: il perimetro del permesso (i cui vertici siano identificati con lettere maiuscole in ordine alfabetico) e i confini comunali e provinciali;
- una cartografia dell'area in scala 1:5.000 o maggior dettaglio su Carta Tecnica Regionale Numerica riportante:
 - l'indicazione dei vertici (come sopra);
 - i lati che uniscono i vertici, tracciati con linea rossa;
 - le coordinate dei vertici in UTM33-WGS84 e relativa monografia;
 - la descrizione dei limiti fisici seguiti sul terreno per individuare i lati.

Tutto ciò deve essere presentato in formato cartaceo e su supporto informatico in formato .pdf, .shp o .dwg.

- una mappa redatta su planimetria catastale, riportante gli stessi elementi di cui al punto sopra, anche in scala adattata al formato A4 oppure A3
- un piano parcellare in forma tabellare, dove per ogni particella siano indicati il numero, il comune, il foglio di mappa, il nominativo e l'indirizzo dei proprietari dei suoli;

L'estensione del permesso di ricerca non deve eccedere i 300 ettari; la ricerca relativa ad aree con estensione superiore a tale limite può essere rilasciata solo nel caso di comprovate esigenze di individuazione del bacino idrogeologico. È opportuno sottolineare che l'utilizzazione di risorse note come piccole utilizzazioni locali potrà essere autorizzata ad un soggetto titolato qualora sia riconosciuta l'impossibilità di utilizzo delle acque minerali e termali individuate a scopi terapeutici.

Tale permesso può essere rilasciato per la durata massima di un anno, prorogabile una sola volta per un anno, previa istanza motivata.

Riguardo alla tempistica del procedimento di rilascio, agli obblighi del richiedente prima e dopo l'inizio dell'attività e a modalità di rinnovo, ampliamento/riduzione dell'area del permesso, a proroga o a trasferimento del titolo si faccia riferimento a quanto esposto nel paragrafo precedente.

Il richiedente prima di procedere alle perforazioni del suolo deve essere in possesso di tutte le autorizzazioni, nulla osta o altri assensi da parte delle Autorità competenti

Qualora le perforazioni superassero i trenta metri il richiedente dovrebbe dare comunicazione all'ISPRA trenta giorni prima dell'inizio dei lavori, come da Legge 464/1984.

Inoltre il richiedente deve fornire lo schema di condizionamento del/dei foro/i in opportuna scala e l'ubicazione dell'opera di presa su planimetria catastale.

Il Settore Ricerca e Valorizzazione di Cave, Torbiere, Acque minerali e Termali, in merito al procedimento si esprime entro il termine massimo di novanta giorni dalla presentazione dell'istanza; se non si esprime entro tale termine l'istanza si ritiene respinta.

Il procedimento di rilascio prevede che:

- il Settore dia comunicazione al richiedente e ai proprietari dei suoli interessati dell'avvio del procedimento;
- l'avvio del procedimento sia pubblicato sul B.U.R.C. ;
- l'istanza venga affissa per quindici giorni sull'Albo pretorio di tutti i Comuni. in modo che chiunque possa sollevare

opposizioni o osservazioni;

- il responsabile del procedimento acquisisca tutti i pareri, nulla osta, autorizzazioni da tutti gli enti interessati, comprese le eventuali osservazioni pervenute ai Comuni interessati;
- il provvedimento venga rilasciato in bollo; in caso di mancato accoglimento dell'istanza ne sia data comunicazione al richiedente.

Per ulteriori dettagli si rimanda ai testi delle leggi citate (8/2008 e 10/2010) e al relativo Allegato A.

In merito ad ampliamenti o riduzioni, a proroga, a trasferimento del permesso si rimanda rispettivamente agli allegati B - C - D del regolamento sopracitato.

Il ricercatore, in possesso degli idonei requisiti tecnici ed economici, che abbia individuato un giacimento di acque minerali naturali o termali, possiede titolo preferenziale per il rilascio della concessione rispetto a soggetti terzi che ne hanno presentato domanda.

L'istanza di concessione, opportunamente munita di marca da bollo da 14,62 euro, deve essere presentata alla Giunta Regionale - Settore Ricerca e Valorizzazione di Cave, Torbiere, Acque Minerali e Termali - Centro Direzionale Isola A/6, 80143, Napoli. Essa deve essere redatta conformemente a quanto previsto nell'allegato E del regolamento 10/2010 e corredata della documentazione e degli elaborati tecnici che in esso sono riportati.

L'istanza deve chiaramente contenere tutte le informazioni relative al concessionario, nonchè la denominazione, l'estensione, la durata in anni e l'indicazione del/i Comune/i sul/i quale/i su cui ricade la concessione, così come riportato nel paragrafo precedente. Alla suddetta istanza devono essere allegati i seguenti elaborati tecnici:

- corografia in scala 1:25.000, riportante il perimetro di concessione con i vertici numerati, il/i pozzo/i e i confini comunali e provinciali; a tal proposito si ricorda che l'area di concessione, deve essere delimitata, in campagna, da vertici precisi e ben visibili in cui siano indicati il nome della concessione e il numero del vertice e, nei centri abitati, con riferimenti fissi e facilmente individuabili (indicati poi nella cartografia su Carta Tecnica Regionale Numerica). I lati che uniscono tali vertici devono seguire, ove possibile, limiti fisici riconoscibili sul terreno, se non è possibile, devono essere rappresentati da una linea retta che congiunga i due vertici successivi posti a una distanza tale da poter essere facilmente osservati con strumenti ottici. Le medesime specifiche devono essere adottate per l'individuazione di pozzi e sorgenti, mediante l'affissione di etichette in cui siano riportati: la sigla identificativa, la denominazione della concessione e gli estremi del relativo decreto dirigenziale;
- il programma tecnico-finanziario dello sfruttamento, che dimostri la fattibilità dell'opera in aree esterne a concessioni di acque minerali e termali, che contenga:
 - le caratteristiche idrogeochimiche dell'area;
 - l'ubicazione plano-altimetrica, la stratigrafia, lo schema di condizionamento, la profondità e la potenza termica di tutti i pozzi;
 - le prove di portata e i relativi diagrammi;
 - una dichiarazione che attesti l'assenza di interferenza tra l'opera e le falde sfruttate a scopi termali nelle vicinanze;
 - una descrizione delle aree, strutture ed edifici interessati;
 - le previsioni delle esigenze energetiche termiche complessive annue e la previsione dei risparmi finanziari per lo sfruttamento della piccola utilizzazione locale, in alternativa all'uso di energia elettrica e da idrocarburi;
 - le caratteristiche dell'impianto di estrazione e ubicazione delle strumentazioni di misura in pozzo (volumi, portata e temperatura);
 - descrizione degli impianti di utilizzazione;
 - i dati e la descrizione dei trattamenti, delle quantità e delle caratteristiche dei reflui e dei recettori finali;
- la cartografia dell'area interessata dall'attività, redatta su Carta Tecnica Regionale Numerica in scala 1:5.000 o di maggior dettaglio, riportante l'esatta ubicazione del/i pozzo/i, con riferimenti fissi e quotati e le relative coordinate UTM33-WGS84; l'ubicazione delle strutture e degli edifici interessati; il percorso delle condotte adduttrici. Tale elaborato deve essere consegnato sia in formato cartaceo che su supporto informatico in formato .pdf, .dwg e .shp;
- una mappa riportante gli stessi elementi di cui al punto precedente, redatta su planimetria catastale aggiornata, anche in scala adeguata al formato cartaceo A4 oppure A3. Per questo elaborato è necessario fornire il formato su supporto informatico .pdf, .dwg e .shp;
- il piano parcellare in forma tabellare nel quale, per ogni particella ricadente nell'area di concessione, siano indicati il Comune, il foglio di mappa e il numero di particella, il nominativo e l'indirizzo dei proprietari dei suoli;
- i certificati e i relativi verbali di prelievo rilasciati da strutture accreditate riguardo alle analisi chimiche e batteriologiche eseguite sulle acque, nel periodo precedente alla richiesta di concessione;
- lo studio delle caratteristiche dell'impianto di estrazione e delle apparecchiature di misura poste in pozzo;
- l'attestazione relativa alla compatibilità urbanistica delle opere adibite allo sfruttamento della risorsa;
- l'attestazione comunale dei vincoli esistenti sull'area e relativa cartografia in scala 1:10.000 in cui è riportato il perimetro della concessione e del/i pozzo/i;
- lo studio di massima per la valutazione delle modifiche ambientali;
- una perizia tecnica e una descrizione anche grafica delle pertinenze oggetto della concessione (quali opere di captazione, manufatti, serbatoi, ecc.);
- il progetto della eventuale chiusura mineraria (a cui fa riferimento l'Allegato N) e il progetto di ripristino ambientale.
- documentazione attestante i requisiti morali, tecnici ed economici adeguati allo sfruttamento del giacimento, in particolare il certificato di iscrizione alla Camera di Commercio che attesti l'assenza di procedure fallimentari o concorsuali a proprio carico con annotazione antimafia e una garanzia fideiussoria bancaria o assicurativa a favore della Regione Campania relativa alla durata del progetto ivi compreso il periodo di attuazione del ripristino ambientale;

- copia della procedura di Valutazione di Impatto Ambientale o Valutazione d'Incidenza, quando previste (vedi sopra);
- copia dell'istanza per l'autorizzazione allo scarico delle acque reflue, presentata all'Ente competente, che come da L.R. 4/2011, è il Comune;
- parere dell'A.S.L. competente;
- certificazione del Comune attestante la conformità urbanistica delle opere, strutture ed edifici interessati, ove già esistenti;
- relazione che attesti la disponibilità delle aree, dove sono presenti i punti di captazione e le strutture relative allo sfruttamento della risorsa geotermica, da parte di colui che presenta l'istanza di concessione;
- provvedimento dell'organo deliberativo che autorizza la ricerca e la richiesta del permesso nel caso in cui il richiedente fosse un Ente locale o altro organismo di diritto pubblico;
- copia dell'atto costitutivo e dello statuto, nel caso in cui il soggetto richiedente sia una Società.

Il procedimento di rilascio della concessione si concluderà entro 90 giorni. Esso prevede:

- che il Settore dia comunicazione al richiedente e ai proprietari dei suoli interessati dell'avvio del procedimento;
- la pubblicazione sul B.U.R.C. dell'avvio del procedimento
- l'istanza viene affissa per quindici giorni sull'Albo pretorio dei Comuni interessati e chiunque può sollevare opposizioni o osservazioni;
- che i Comuni inviano il referto di pubblicazione dell'istanza e le relative osservazioni al Settore;
- che il Settore acquisisce i pareri dell'ASL (oggi ASP) competente per territorio, dal competente settore regionale per la Valutazione d'Impatto ambientale o Valutazione d'Incidenza qualora prevista, i nulla osta e le autorizzazioni degli enti preposti alle aree soggette a vincoli;
- che il Settore valuta la documentazione suddetta pervenuta, quindi rilascia in bollo la concessione oppure dà comunicazione dell'esito negativo del provvedimento al richiedente.

La durata della concessione per le piccole utilizzazioni è fissata in un massimo di dieci anni, ferma restando la possibilità di rinnovo (da presentare almeno un anno prima della scadenza) da parte del concessionario che abbia ottemperato agli obblighi e alle prescrizioni indicate nel provvedimento di rilascio ed è in possesso requisiti necessari allo sfruttamento della risorsa secondo il programma approvato, anche con procedura di rinnovo semplificata (di cui all'Allegato H).

Il Settore competente può tuttavia ridurre tale periodo quando dai programmi di ricerca tecnico-scientifici finalizzati alla conoscenza e alla tutela della risorsa, emerge una limitata sostenibilità della risorsa, oppure efficacia differita della concessione sulla base di quanto indicato nel programma dei lavori.

È opportuno ricordare che il concessionario sarà obbligato a:

- fornire tutte le informazioni richieste in qualsiasi momento dal Settore;
- trasmettere entro il 30 ottobre di ogni anno il programma dei lavori previsti per l'anno successivo e tutti i dati rilevati dalle apparecchiature in dotazione;
- trasmettere comunicazione all'ISPRA, come già argomentato sopra, entro trenta giorni prima dell'inizio delle perforazioni che superino i trenta metri di profondità;
- fornire lo schema di condizionamento del/i pozzo/i in scala e l'esatta planimetria catastale con l'esatta ubicazione dell'opera di presa.

Per ulteriori informazioni si rimanda al testo di legge (L.R. 8/2008 e R.R. 10/2010). In merito a ampliamento/riduzione, rinnovo, trasferimento, autorizzazione per l'utilizzazione delle acque, autorizzazione alla stipula dei contratti di somministrazione a terzi fruitori, al disciplinare di chiusura mineraria dell'opera di captazione, all'immissione/reimmissione di fluidi termali esausti nel sottosuolo si rimanda rispettivamente agli allegati F - H - I - L - M - N - O della sopracitata legge. Per ulteriori informazioni si rimanda alle specifiche contenute nei testi di legge. In merito ad ampliamento/riduzione, rinnovo, rinnovo con procedura semplificata, trasferimento si rimanda agli Allegati F - G - H - I.

Poiché la Legge Regionale n. 8/2008 e il relativo Regolamento n. 10/2010, per loro stessa definizione disciplinano la ricerca e lo sfruttamento di "acque calde geotermiche", qualora si volesse procedere alla realizzazione di un impianto di climatizzazione "open loop" con prelievo di acqua di falda (non geotermica) da un pozzo, è necessario presentare richiesta di autorizzazione alla ricerca e scavo dei pozzi e concessione di derivazione acque pubbliche, secondo quanto disposto dal "Regolamento per la disciplina delle procedure relative a concessioni per piccole derivazioni, attingimenti e l'uso domestico di acque pubbliche", approvato con delibera della Giunta Regionale del 12/06/2012. Tale Regolamento, in particolare, individua all'art. 3 comma 1 "l'uso di acque derivate finalizzato al recupero energetico mediante scambio in impianti a pompa di calore". Le richieste di ricerca e concessione delle acque devono essere inoltrate alla Provincia competente per territorio, mentre la richiesta di scarico deve essere presentata al Comune competente per territorio, secondo quanto disciplinato dalla Legge Regionale 4/2011, all'art.1, comma 250 che trasferisce le competenze relative al rilascio dell'autorizzazione allo scarico, dalle Province ai Comuni. La temperatura limite oltre la quale l'emungimento di acque rientra nell'ambito delle piccole utilizzazioni locali (secondo la definizione della Legge Regionale 8/2008) non è specificata ma a discrezione delle amministrazioni (circa 18°C).

La Regione si impegna che entro sei mesi dalla data di pubblicazione sul BURC (n. 36 del 11/06/2012) del suddetto Regolamento, ad emanare con provvedimento regionale la modulistica inerente i procedimenti in oggetto, ed alcune Province, come ad esempio, quella di Caserta, hanno già disposto sul proprio portale, informazioni utili alla presentazione dell'istanza di autorizzazione alla ricerca e concessione di derivazione di acque sotterranee.

L'istanza di autorizzazione alla ricerca di acque sotterranee deve essere presentata in bollo al "Settore Tutela del Territorio e Protezione Civile", Viale Lincoln ex Area S. Gobain - 81100 Provincia Caserta.

Gli interessati devono allegare in duplice copia la seguente documentazione:

- Planimetria del fondo del terreno con l'indicazione del punto dove verrà eseguita la perforazione e le eventuali operazioni tecniche relative in scala 1:2000;
- Cartografia della zona in scala 1:25.000 con l'indicazione delle coordinate chilometriche I.G.M. riferite alle aree di ricerca;

- Relazione e schema del piano di massima dell'estrazione e dell'utilizzazione dell'acqua sotterranea a firma di un tecnico abilitato;
- Disegno tecnico del pozzo, dell'avanpozzo, del pozzetto d'ispezione, ecc. in scala 1: 50;
- Visure catastali di mappa e partita relativi sia al fondo oggetto di ricerca, sia a quelli cui l'opera sarà asservita;
- Iscrizione alla Camera di Commercio per le società;
- Titolo di proprietà autenticato là dove la ditta catastale sia a nome di persona diversa dalla richiedente;
- Autorizzazione del proprietario del fondo a firma autenticata ad eseguire le opere; in deroga si farà riferimento all'art. 67 della circ. n. 11827/36 Ministero LL.PP.;
- Versamento intestato all'A.P. di Caserta per i diritti istruttori;

Allo stesso Settore di cui sopra, deve essere presentata l'istanza (in bollo) di concessione per l'utilizzo di acque sotterranee, a cui allegare la stessa documentazione presentata per la ricerca, con l'aggiunta di:

- Relazione geologica ed idrogeologica con prove di emungimento e relativi grafici, ciclo di utilizzo delle acque, indicazione del quantitativo di acqua utilizzato espresso in mc/annui e lt/sec, e dichiarazione se la zona è/non servita da rete idrica consortile;
- Indicazione del tipo di misuratore di portata installato;
- Analisi chimico-batteriologiche delle acque effettuate dall' ARPAC di Caserta.

Senza entrare nel dettaglio dell'istruttoria (dettagliatamente descritta nel testo del Regolamento), ai fini del rilascio del provvedimento di concessione, il soggetto autorizzato alla ricerca e allo scavo, comunicherà la fine dei lavori ed entro trenta giorni dalla fine dei lavori di trivellazione presenterà la domanda di derivazione e tutta la documentazione stabilita all'art.7 del presente regolamento all'Ufficio Provinciale di riferimento. L'Ufficio Istruttore verificherà la documentazione entro quindici giorni dalla presentazione dell'istanza di concessione.

Ogni concessione è regolata da apposito disciplinare che contiene le condizioni e le prescrizioni che regolano il rapporto giuridico tra amministrazione concedente e concessionario. La concessione d'uso per scambio termico viene rilasciata per una durata di trenta anni.

Lo stesso regolamento prevede all'art.36 che per le derivazioni finalizzate all'uso per scambio termico in impianti a pompa di calore, nei casi in cui sia previsto lo scarico nella stessa falda di emungimento, a norma dell'art. 104 comma 2 del D.Lgs. 152/2006, all'istanza di concessione deve essere allegata contestuale istanza di autorizzazione allo scarico in falda, contenente almeno la seguente documentazione tecnica:

- relazione tecnica generale;
- ricostruzione della circolazione sotterranea indotta dal prelievo di acque e dalla loro reimmissione, in modo che il posizionamento dei punti di presa e resa minimizzi il riciclo d'acqua, la formazione di zone di stagnazione, alterazione della temperatura che comporti precipitazione e messa in soluzione di sostanze inquinanti o richiami di contaminanti da monte e zone laterali;
- schema completo del ciclo delle acque dal prelievo allo scarico;
- caratterizzazione chimico-fisica e batteriologica dell'acqua di presa;
- planimetria dell'insediamento con l'ubicazione delle opere di presa e resa, in scala di dettaglio 1:1.000;
- descrizione tecnica dell'impianto di scambio termico: schema di funzionamento, presenza di altri fluidi, portata di scarico, temperatura di scarico delle acque in condizioni normali e in quelle più gravose, tutti gli elementi che concorrono a caratterizzare l'impianto;
- planimetria in scala di dettaglio con l'indicazione di tutte le reti di approvvigionamento, dei punti di scarico (con relativa numerazione e coordinate geografiche UTM33N-WGS84, schema delle camere di avampozzo e dei pozzi di resa).

L'autorizzazione viene rilasciata dall'Autorità competente, a seguito di indagine preventiva sul progetto di scarico alle seguenti condizioni, ovvero se:

- non sono presenti sostanze pericolose nello scarico;
- sono presenti sostanze pericolose, la reimmissione non deve determinare variazioni nella circolazione idrica che possano estendere l'inquinamento;
- le acque reimmesse non hanno caratteristiche peggiori di quelle prelevate ed un incremento della temperatura tale da non alterare le caratteristiche del corpo idrico.

La durata dell'autorizzazione è quinquennale ed è rinnovabile previa domanda da presentare almeno un anno prima della scadenza.

Come già riferito, la normativa regionale 4/2011 individua all'art.1 comma 250 il Comune come Autorità competente al rilascio dell'autorizzazione allo scarico (in falda, in corpo idrico superficiale e su suolo). Tale Legge impone ai Comuni di procedere ad una riorganizzazione interna e regolamentazione per assolvere a questo particolare e delicato onere. Qualora si volesse optare per lo scarico in pubblica fognatura il rilascio dell'autorizzazione spetta all'Autorità d'Ambito. Tali enti, come disciplinato dalla stessa Legge, provvederanno entro sessanta giorni dalla ricezione dell'istanza al rilascio dell'autorizzazione (riducendo i termini previsti dal Testo Unico sull'Ambiente, fissati a 90 giorni).

25. Sonde geotermiche closed loop (circuitto chiuso) e pali energetici

Le piccole utilizzazioni che prevedono l'installazione di sonde geotermiche all'interno di perforazioni verticali appositamente realizzate nel terreno a profondità di qualche centinaio di metri e comunque non superiori a 400 m, prevedono, come da Decreto Legislativo 22/2010, l'adozione di procedure semplificate da parte delle Regioni. Ad oggi, tuttavia, la Regione Campania non risulta aver predisposto specifici regolamenti né registri regionali e monitoraggio degli impianti di produzione di calore da risorsa geotermica ovvero sonde geotermiche.

26. Iter autorizzativo piccole utilizzazioni locali Regione Puglia

27. Impianti geotermici open loop (circuito aperto)

In merito alle piccole utilizzazioni locali di cui all'articolo 10 comma 1 del D.Lgs. 22/2010, la Regione Puglia si attiene al Testo Unico sulle acque e gli impianti elettrici, di cui al Regio Decreto 1775/1933 e alla Legge Regionale 18/1999 e successive modifiche e integrazioni "Disposizioni in materia di ricerca ed utilizzazione di acque sotterranee".

L'iter autorizzativo per gli impianti a circuito aperto con prelievo di acqua di falda da pozzo prevede, come riferito dalla L.R. 18/1999 un'autorizzazione alla escavazione di pozzi per scopi di ricerca finalizzata all'utilizzazione di acqua sotterranea, la cui domanda va presentata alla Provincia competente per territorio (le funzioni in materia di autorizzazioni e concessioni di acque sotterranee fino al 31/12/2010 in capo alle Regioni, sono state trasferite alle Province a partire dal 1/1/2011), corredata della documentazione tecnica riportata in allegato dalla suddetta legge; una concessione all'utilizzo di acque sotterranee, da indirizzare alla Provincia, redatta su carta bollata (entro un anno dal termine di scadenza dell'autorizzazione alla ricerca) e corredata della documentazione tecnica riportata dalla normativa, con specifica indicazione dell'utilizzo previsto, a pena di inammissibilità. Una copia della domanda deve essere trasmessa all'Autorità di Bacino competente per territorio per le previsioni del piano di bacino idrografico interessato. Il provvedimento viene notificato al Comune e alla Provincia interessati. La concessione ha durata quinquennale e può essere sospesa, revocata o modificata nel caso si verificano situazioni che pregiudichino l'equilibrio della falda o dell'ambiente circostante. Inoltre possono essere richiesti eventuali adempimenti di VIA previsti su scala nazionale e regionale.

La domanda di autorizzazione alla ricerca, da presentare in duplice copia, di cui un originale in bollo, conformemente all'Allegato 1 della Legge sopracitata, deve contenere le seguenti informazioni:

- utilizzo cui è finalizzata la ricerca;
- dati anagrafici della ditta istante;
- identificativi catastali della zona oggetto di ricerca delle acque sotterranee;
- estensione dell'area interessata dal progetto.

A corredo dell'istanza devono essere forniti:

- atto di proprietà dell'area interessata dall'escavazione;
- relazione tecnica ed elaborati grafici (vedi Allegato 1 della legge);
- planimetria catastale;
- foglio corografico IGM (1:25.000);
- relazione idrogeologica e documentazione integrativa richiesta in fase di istruttoria.

Si ricorda che tutti gli atti, in duplice copia, devono essere firmati in originale dal richiedente e da tecnici abilitati per legge, ognuno per le proprie competenze.

La domanda di concessione all'estrazione ed utilizzazione delle acque sotterranee, da presentare in duplice copia di cui una in bollo, conformemente all'Allegato 2 della Legge sopracitata, deve contenere, oltre alle informazioni e alla documentazione prevista per l'autorizzazione alla ricerca:

- n.ro 1 ricevuta di pagamento di spese istruttorie;
- n.ro 1 attestazione di versamento di contributo idrografico;
- n.ro attestazione di versamento tassa regionale sulle concessioni;
- n.ro 1 copia dell'autorizzazione alla ricerca rilasciata dalla Provincia;
- relazione idrogeologica (vedi Allegato 2 della Legge);
- relazione impiantistica;
- copia della documentazione trasmessa all'ISPRA;
- certificato di analisi chimica e batteriologica effettuata sul campione d'acqua estratto dal pozzo.

Tra i documenti richiesti in allegato alle istanze per la ricerca e l'utilizzo delle acque sotterranee, ne citiamo i più importanti di seguito:

- duplice copia della documentazione tecnico-amministrativa, comprendente: una relazione tecnica e relativi elaborati grafici, una relazione idrogeologica finale, una relazione impiantistica;
- nulla osta o parere dell'Ente Parco, o del soggetto gestore, sulla compatibilità della perforazione di ricerca idrica finalizzata alla derivazione di acqua all'interno dell'area naturale;
- Valutazione d'Incidenza Ambientale rilasciata dal Servizio Ambiente, Ufficio VIA e AIA, da richiedere qualora l'opera ricadesse in Siti d'Importanza Comunitaria e nelle Zone di Protezione Speciale;
- Verifica di Assoggettabilità a VIA (solo per impianti di potenza >1 MW o derivazione acque 100 l/s) o eventuale Valutazione d'Impatto Ambientale rilasciata dall'amministrazione competente;
- documentazione attestante l'avvenuta trasmissione di copia della documentazione all'Autorità di Bacino della Regione Puglia. Essa trasmetterà il proprio parere in merito alla richiesta entro 40 giorni per le piccole derivazioni, entro 90 per le grandi derivazioni;
- copia della documentazione trasmessa all'ISPRA – Servizio Geologico d'Italia - Dipartimento Difesa del Suolo, (il modulo è reperibile sul sito <http://www.isprambiente.gov.it/it>);
- "comunicazione inizio lavori di perforazione" da presentare alla Provincia e al Comune sul cui territorio ricade l'opera, ai sensi dell'art.13 della L.R. 18/1999, secondo il quale le imprese che eseguono i lavori di escavazione pozzi, almeno quindici giorni prima dell'inizio delle operazioni di scavo, devono comunicare la data di inizio dei lavori, i dati catastali del sito interessato dalla ricerca, nonché gli estremi dell'autorizzazione concessa alla ricerca.

A titolo esemplificativo si riporta la modulistica predisposta dalla Provincia di Lecce per ottenere l'autorizzazione alla ricerca ed all'attingimento di acque sotterranee:

- "autorizzazione alla escavazione di pozzi" per l'utilizzo delle acque sotterranee. L'istanza in bollo, deve essere

presentata alla Provincia di Lecce – Servizio Ambiente e Polizia Provinciale, via Umberto I, 13, 73100, Lecce. La scheda di domanda, gli allegati a corredo e le spese istruttorie previste sono dettagliatamente descritte sul portale della Provincia, sul quale è reperibile il modulo da compilare per ottenere regolare autorizzazione (<http://www.provincia.le.it/web/10716/474>) autorizzazione per la ricerca di acque sotterranee dopo aver effettuato il sopralluogo e verificato i requisiti e le condizioni richieste;

- "concessione all'estrazione ed utilizzo di acque sotterranee". L'istanza in bollo, deve essere presentata alla Provincia di Lecce – Servizio Ambiente e Polizia Provinciale, via Umberto I, 13, 73100, Lecce. La scheda di domanda, gli allegati a corredo e le spese istruttorie previste sono dettagliatamente descritte sul portale della Provincia, sul quale è reperibile il modulo da compilare per ottenere regolare concessione (<http://www.provincia.le.it/web/10716/464>). La Provincia rilascia la concessione all'utilizzo delle acque sotterranee dopo aver verificato la sussistenza dei requisiti e delle condizioni richieste;
- "autorizzazione allo scarico". Nel caso di autorizzazione allo scarico su suolo o sottosuolo, l'utente deve presentare alla Provincia (così come disposto dalle L.R. 24/1983, 31/1995 e 17/2000) istanza in bollo, in duplice copia, utilizzando l'apposita modulistica. I tempi di rilascio dell'autorizzazione sono fissati a novanta giorni dalla presentazione dell'istanza. Nel caso di reimmissione in falda delle acque prelevate, la normativa nazionale D.Lgs. 152/2006, all'art. 104, comma 2, consente di effettuare lo scarico diretto in falda delle acque utilizzate per scopi geotermici, previa autorizzazione da parte dell'Autorità competente. All'art.36 della L.R. 31/1995 si fa riferimento all'autorizzazione alla reiniezione nella stessa falda di provenienza delle acque di infiltrazione di miniere o pompate nel corso di determinati lavori di ingegneria. L'istanza di reimmissione deve essere presentata contestualmente a quella di concessione alla derivazione all'ufficio di competenza territoriale, il quale provvederà ad istruire la pratica, a richiederne eventuali integrazioni e a trasmetterla all'ARPA competente per territorio per il relativo parere.

All'istanza devono essere allegati tutte le informazioni relative a:

- ricostruzione della circolazione sotterranea indotta dal prelievo di acque e dalla loro successiva reimmissione in falda;
- schema completo del ciclo delle acque, dal prelievo alla reimmissione finale, con rappresentazione completa dei circuiti separati per funzione ed utilizzo delle acque emunte;
- considerazioni tecniche sull'impianto di scambio termico: funzionamento, presenza di altri fluidi segregati, presenza di additivi, portata di reimmissione, temperatura acqua di reimmissione nelle condizioni di funzionamento dell'impianto normali e in quelle più gravose;
- descrizione del materiale dei condotti utilizzati per il prelievo e la reimmissione, tipo di fluido utilizzato per l'impianto frigorifero, dettagli descrittivi del sistema di scambio termico tra il circuito aperto falda – pozzi - falda e il circuito chiuso dell'impianto di condizionamento, ovvero tutti gli elementi tecnici che concorrono a caratterizzare l'impianto;
- planimetria di dettaglio dell'insediamento con l'ubicazione delle opere;
- schema della cameretta avampozzo e schema costruttivo del pozzo di resa;
- schema dell'impianto di scambio termico.

28. Sonde geotermiche closed loop (circuito chiuso) e pali energetici

Le piccole utilizzazioni che prevedono l'installazione di sonde geotermiche all'interno di perforazioni verticali appositamente realizzate nel terreno a profondità di alcune centinaia di metri e comunque non superiori a 400 m, prevedono (come da D.Lgs. 22/2010) l'adozione di procedure semplificate da parte delle Regioni. Ad oggi però la Regione Puglia non ha ancora predisposto alcun iter autorizzativo né registri regionali e monitoraggio degli impianti di produzione di calore da risorsa geotermica ovvero sonde geotermiche.

Con D.G.R. del 23 febbraio 2010 n. 456 la Regione Puglia ha affidato al Politecnico di Bari-Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale (di seguito D.I.C.A.) l'incarico di redigere lo "Studio per l'analisi dello stato dell'arte sulla geotermia a bassa entalpia nella Regione Puglia" approvando la Convenzione ad esso allegata registrata in data 09.06.2010 con numero di repertorio 011721. In data 18.07.2012 prot. n. 20094, il Politecnico di Bari ha trasmesso copia del suddetto Studio, che prevedeva, tra l'altro, la redazione di una bozza di regolamento per l'installazione di sonde geotermiche. Allo stato attuale (Gennaio 2013) si sta provvedendo alle attività di chiusura formale della convenzione e a breve verrà esaminata la bozza di regolamento regionale.

Lo scorso anno, data l'evoluzione della normativa di settore, l'Autorità Ambientale della Regione, quale promotrice di azioni per il perseguimento dello sviluppo sostenibile, ha pubblicato un breve opuscolo a carattere divulgativo contenente alcuni suggerimenti preliminari per l'implementazione, nei progetti di prossima realizzazione e nella normativa, di contenuti che consentano la diffusione di buone pratiche realizzative e gestionali (http://ecologia.regione.puglia.it/files/aa/ECO_DOC_AA_13_Geotermia.pdf).

In assenza di indicazioni normative, qualora siano previsti progetti di questo tipo, andrebbero in ogni caso inviate al Comune competente per territorio alcune informazioni specifiche nell'ambito delle ordinarie procedure amministrative riguardanti la realizzazione e modifica di edifici ed impianti (quali ad esempio la trasmissione della documentazione relativa al D.M. n.37/08, al D.Lgs. n. 311/06 e D.P.R. n. 59/09, richiesta di permesso di costruire, D.I.A., S.C.I.A., C.I.L.). Come indicato nel documento divulgativo già citato, si possono derivare utili suggerimenti in merito alle informazioni da trasmettere:

- Dati del richiedente;
- Ubicazione del sito su cartografia a diverse scale: cartografia IGM in scala 1:25.000, CTR in scala 1:5.000, ortofoto in scala 1:5.000, planimetria catastale aggiornata;
- Coordinate delle sonde in UTM WGS 84;
- Rilievo fotografico;
- Vincoli vigenti sul sito d'interesse;
- Studio geologico ed idrogeologico con dettaglio delle indagini svolte, della revisione dei dati bibliografici esistenti per l'area (qualsiasi elemento utile a definire correttamente il modello termico) e delle metodologie attraverso le quali è stato possibile determinare i parametri geotermici utilizzati (prove dirette come test di resa termica): caratteristiche litostratigrafiche, idrogeologiche e termiche del terreno, analisi preventiva degli effetti indotti dall'impianto sul corpo idrico, ecc.

- Progetto esecutivo del geoscambiatore: ubicazione degli elementi dell'impianto, tipologie di materiali utilizzati nell'impianto, tecniche di perforazione e di installazione, indicazione del riutilizzo dei terreni di risulta della perforazione (come previsto da D.Lgs. 152/2006);
- Autorizzazioni concesse/richieste per la realizzazione del progetto.

Nonostante i sistemi a circuito chiuso siano esclusi dagli adempimenti di VIA, gli interventi che ricadono in ZPS e SIC devono essere sottoposti a Valutazione d'Incidenza da presentare presso la Provincia di competenza, come da D.G.R. 304/2006, in cui sono ampiamente riportate le direttive per l'attuazione delle diverse fasi della valutazione d'incidenza. Inoltre gli interventi ricadenti in aree Parco devono acquisire il Nulla Osta dell'Ente Parco, quelli in Riserva l'autorizzazione del Corpo Forestale dello Stato, Ufficio Territoriale per la Biodiversità (UTB) competente per territorio, ecc.

Occorrerà inoltre trasmettere all'ISPRA la documentazione necessaria per eseguire perforazioni che superino i trenta metri di profondità, come previsto dalla Legge 464/1984, almeno trenta giorni prima dell'inizio degli scavi, nonché la documentazione di fine lavori. Siffatto tipo di progetto prevedrà l'individuazione del coordinatore della sicurezza, la definizione di un piano di sicurezza e coordinamento, nonché di un piano operativo di sicurezza come previsto dal D.Lgs. 81/2008.

Qualora prevista, nell'ambito delle ordinarie procedure amministrative riguardanti la realizzazione e modifica di edifici ed impianti, la redazione della documentazione tecnica di fine lavori dovrebbe essere redatta da figure professionali abilitate e presentata al Comune di competenza territoriale. Tale documentazione deve comprendere il rilievo fotografico successivo all'intervento, la stratigrafia di dettaglio incontrata durante la perforazione, la tecnica di perforazione, i macchinari utilizzati, i problemi riscontrati durante la perforazione, il certificato di collaudo, i dispositivi di monitoraggio installati.

Occorre sottolineare che non esiste un regolamento regionale per l'installazione di sonde geotermiche, né una banca dati informatizzata (un registro regionale delle sonde geotermiche) che consenta la registrazione dell'impianto, per cui le informazioni riportate sopra si rifanno a modelli proposti da altre Regioni che hanno già adottato una normativa sugli impianti e a suggerimenti ricevuti dagli enti locali per procedere correttamente alla realizzazione di tali progetti.

Se il progetto di realizzazione di un edificio prevede la costruzione di pali di fondazione, possono essere inserite delle sonde geotermiche attraverso le quali avviene lo scambio termico con il suolo. La realizzazione di sonde integrate con i pali di fondazione che non prevedono scambio di acqua non necessitano di alcuna autorizzazione, ma è sufficiente specificare nel progetto che si provvede alla realizzazione di pali energetici.

29. Iter autorizzativo piccole utilizzazioni locali Regione Calabria

30. Impianti geotermici open loop (circuito aperto)

Come già precedentemente anticipato la Regione Calabria ha provveduto all'emanazione della Legge Regionale 5 novembre 2009 n.40 "Attività estrattiva nel territorio della Regione Calabria" e del Regolamento Regionale 5 maggio 2011 n.3 "Regolamento di attuazione Legge Regionale 5 novembre 2009, n. 40", disciplinando la ricerca e la coltivazione dei materiali di miniera e di cava.

In particolare appartengono alla categoria delle miniere e costituiscono patrimonio indisponibile della Regione Calabria, le sostanze minerali d'interesse locale quali le acque minerali e termali e i fluidi endogeni a "bassa entalpia". Tali sostanze possono essere oggetto di ricerca e coltivazione da parte di qualsiasi soggetto dotato dei requisiti prescritti dalla legge e secondo le modalità di attuazione da essa previsti.

La Legge prevede che la domanda di permesso debba essere presentata in bollo alla Regione Calabria - Dipartimento Attività Produttive, che valuterà la regolarità e la completezza della documentazione. Alla domanda è necessario allegare sia la documentazione amministrativa che quella tecnica elencata all'interno dell'Allegato A del regolamento di attuazione.

La Regione, entro trenta giorni dal ricevimento della documentazione indice una Conferenza dei Servizi, per sentire il parere di Comuni e Province interessate, che si svolge entro e non oltre i novanta giorni. Entro tale termine, sentito l'ORAE (Osservatorio Regionale Attività Estrattive), la Regione emana il decreto con il quale nega o rilascia il titolo. Il procedimento per il conferimento del permesso di ricerca si conclude entro centottanta giorni dalla data di presentazione della domanda. Il titolo viene accordato per la durata di due anni, può essere prorogato per ulteriori due anni e può avere un'estensione massima di 10 km². Il permesso può essere rilasciato su un'area sulla quale è già stato concesso un permesso di ricerca, purché i due progetti siano compatibili. Il titolare del permesso deve corrispondere un canone annuo alla Regione rapportato alla superficie accordatagli, in applicazione degli importi unitari stabiliti dalla Giunta Regionale.

Inoltre tale Legge prevede che, qualora l'Autorità abbia riconosciuto l'esistenza e la coltivabilità della risorsa, può conferire al soggetto in possesso di capacità tecnica, economica ed organizzativa il titolo di concessione. La domanda, cui deve essere allegata la documentazione amministrativa e tecnico-progettuale (che comprende il progetto di coltivazione e di recupero ambientale) di cui all'allegato B1 del regolamento, deve essere presentata alla Regione che ne curerà l'istruttoria. Entro trenta giorni dalla data di presentazione della domanda viene indetta la Conferenza dei Servizi, che coinvolge i Comuni e le Province interessati, i quali possono sollevare opposizioni e/o osservazioni in merito al conferimento. Quest'ultima deve essere conclusa entro novanta giorni dal ricevimento della domanda. L'Autorità istruttrice, concluse le procedure di verifica di compatibilità ambientale e sentito l'ORAE emana il decreto con cui conferisce o nega la concessione di coltivazione della risorsa. La concessione può avere un'estensione massima di 2 km² e una durata di 20 anni. Il concessionario deve versare alla Regione un contributo annuo stabilito nella misura risultante dalla normativa regionale vigente. I proprietari dei terreni sui quali insisteranno i permessi di ricerca o le concessioni minerarie accordati, secondo le norme della presente Legge, non possono opporsi all'occupazione e all'uso dei suoli interessati dall'attività mineraria, fatto salvo il loro diritto ad un equo risarcimento per i danni subiti e per l'indisponibilità dei fondi occupati dalle strutture minerarie e dagli annessi servizi.

Non è specificato il limite di temperatura al di sotto del quale l'iter prevede la richiesta di concessione di derivazione delle acque (< 20°C) secondo le modalità previste dal Regio Decreto 1775/1933. La Legge Regionale n. 34/2002, in attuazione del D.Lgs. n. 112/1998 ("Conferimento di funzioni e compiti amministrativi dello Stato alle Regioni e agli enti locali, in attuazione del capo I della L.15 marzo 1997, n. 59") ha delegato alle Province l'esercizio delle funzioni in materia di demanio idrico.

Nell'ambito delle procedure amministrative per il rilascio della concessione di derivazione acque pubbliche superficiali e sotterranee con nota prot. n. 77536 del 01/08/2011 l'Autorità di Bacino della Regione Calabria ha inoltrato agli uffici concedenti delle Province (per piccole derivazioni) e della Regione (per grandi derivazioni) la documentazione da presentare

per l'emissione dei pareri necessari (ai sensi dell'ex art. 7, comma 2 del R.D. 1775/1933, modificato dall'art. 96 comma 1 del D.Lgs. 152/2006) per il rilascio dell'autorizzazione. Ai fini dell'acquisizione di tutte le informazioni relative agli impianti e/o alle opere di derivazione in essere sul territorio e per consentire un rilascio celere dei pareri di competenza, con la sopracitata nota si richiede di utilizzare gli schemi di domanda di concessione appositamente predisposti e scaricabili sul portale della Regione Calabria "Dipartimento Lavori Pubblici" riferendosi all'Area Notizie ed Eventi, attraverso la compilazione dei quali, a carico dei richiedenti, gli uffici istruttori potranno verificare preliminarmente la sussistenza delle condizioni di procedibilità delle stesse. Le richieste di parere devono essere trasmesse all'ABR solo dagli uffici provinciali o regionali di competenza e non da soggetti privati, in quanto l'Autorità restituirà (senza procedere ad alcuna istruttoria) le istanze inoltrate prive della verifica di procedibilità amministrativa da parte dell'ufficio istruttore.

Premesso ciò, il soggetto interessato alla realizzazione di un impianto open loop, deve presentare richiesta di Autorizzazione alla ricerca di acque sotterranee, al Settore della Provincia di competenza (Settore Ambiente e Demanio Idrico per la Provincia di Cosenza; Settore Protezione Civile e Geologico – Servizio Autorizzazioni Demanio Idrico per la Provincia di Catanzaro, ecc.), da produrre in due copie di cui una in bollo. Il modulo di richiesta è reperibile al link <http://www.provincia.cosenza.it/portale/portalemedia/modulistica/2012-06/Ricerca%20acque%20sotterranee%20-%20CP%20%20 16-7-2010 .pdf>.

Qualora la ricerca dia esito positivo, prima di poter utilizzare le acque, l'utente interessato deve inoltrare richiesta di Concessione di acque sotterranee, al Settore della Provincia competente, da produrre in cinque copie di cui due in bollo. Tale modulo è scaricabile dal link http://www.adbcalabria.it/documenti/news/2012/20120217_3.pdf.

Inoltre le funzioni di autorizzazione relative allo scarico delle acque reflue in corpi idrici superficiali, sul suolo e in mare spettano alle Province. Nella sezione modulistica online, il Servizio Disciplina dei rifiuti, scarico acque, emissioni atmosferiche e sonore della Provincia di Cosenza, ha predisposto i moduli (scheda di domanda, scheda tecnica e modelli di autocertificazione) da compilare per l'istruttoria delle istanze di autorizzazione relativa alle diverse tipologie di scarico derivanti da utenze pubbliche e private.

All'istanza deve essere allegata la seguente documentazione:

- Attestazione del versamento a titolo di spese di procedibilità della domanda al Servizio di Tesoreria della Provincia;
- Fotocopia del documento di riconoscimento del titolare dello scarico;
- Autocertificazione antimafia, ai sensi del D.P.R. 445/2000;
- Dichiarazione sostitutiva di atto di notorietà ai sensi del D.P.R. 445/2000;
- Concessione di attingimento acque sotterranee ai sensi del Regio Decreto 1775/1933;
- Scheda Tecnica e documentazione a corredo in tre copie firmate e timbrate da tecnico abilitato (individuazione dello scarico; caratteristiche dell'insediamento; caratteristiche qualitative e quantitative dello scarico; ecc.).

Si ricorda di trasmettere all'ISPRA, nel caso la perforazione si spinga oltre i 30 metri, la comunicazione di inizio (mod.1), di sospensione (mod. 2), ripresa (mod. 3) e fine indagine (mod. 4), in osservanza della Legge n. 464/1984, utilizzando l'apposita modulistica reperibile dal sito internet <http://www.isprambiente.gov.it>.

31. Sonde geotermiche closed loop (circuitto chiuso) e pali energetici

La Regione Calabria, così come le già citate Regioni Sicilia, Campania e Puglia, non ha ancora provveduto alla definizione di un iter da seguire per la realizzazione di impianti che prevedono la messa in posa di sonde geotermiche, in apposite perforazioni nel terreno, che non comportano prelievo e reimmissione di acqua di falda o fluidi geotermici. Sono tuttora oggetto di discussione gli interventi amministrativi da intraprendere a livello regionale per delegare i Comuni come Autorità competenti e il tipo di richiesta e documentazione che ad essi devono essere inoltrati.

In merito alla realizzazione di sonde geotermiche integrate con pali di fondazione di nuova costruzione (geostrutture), per prassi, è sufficiente presentare al Comune di competenza territoriale (Settore Urbanistica e Territorio) il permesso di costruire nel quale viene indicato opportunamente che si provvede alla realizzazione di pali energetici. Si ritiene opportuno che vengano presentati uno studio idrogeologico con verifica di compatibilità ambientale del progetto, un modello termico e il progetto di geoscambio.

32. Iter autorizzativo per permessi di ricerca per la sperimentazione degli impianti pilota

Ai sensi del D.Lgs. n. 28/2011, al fine di promuovere la ricerca e lo sviluppo di nuove centrali geotermoelettriche a ridotto impatto ambientale, sono di interesse nazionale i fluidi geotermici a media ed alta entalpia finalizzati alla sperimentazione, su tutto il territorio nazionale, di impianti pilota con reiniezione del fluido geotermico nelle stesse formazioni di provenienza, e comunque con emissioni nulle, con potenza nominale installata non superiore a 5 MW per ciascuna centrale.

Nel caso di sperimentazione di impianti pilota l'Autorità competente è il Ministero dello Sviluppo Economico, di concerto con il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, che acquisiscono l'intesa con la Regione interessata.

Le istanze di permesso di sperimentazione di impianti pilota non possono essere accettate qualora interessino aree in cui siano già vigenti titoli di legittimazione mineraria geotermici, in quanto questi ultimi sono di carattere esclusivo riferendosi alla medesima risorsa mineraria.

Tali istanze non sono sottoposte a concorrenza, anche se un'istanza può essere presentata in un'area già soggetta ad istanza per permesso di ricerca ordinario purché nel periodo in cui è aperta la concorrenza, ma senza richiederne l'adeguamento dell'area della seconda istanza (per impianto pilota) alla prima (per permesso di ricerca ordinario).

Le istanze pervenute e quelle con procedimento sono pubblicate nel BUIG (Bollettino Ufficiale per gli Idrocarburi e le Georisorse).

La durata del permesso è pari ad anni quattro, prorogabile per non oltre un biennio, come indicato in generale per i permessi di ricerca all'art. 4 del D.Lgs. 22/2010, con la differenza che nel periodo di vigenza il titolare deve avere portato a termine l'installazione e la messa in esercizio dell'impianto pilota e dato avvio alla sperimentazione. Il periodo di proroga pertanto è assegnato qualora sia necessario un ulteriore periodo di sperimentazione.

percento e assegnato qualora sia necessario un ulteriore periodo di sperimentazione.

Al termine della sperimentazione, in ragione dell'esito (che se positivo porterà alla realizzazione industriale della coltivazione della risorsa geotermica, se negativo all'abbandono dell'iniziativa) il titolare, con esito positivo, deve inoltrare richiesta di concessione di coltivazione della risorsa geotermica secondo le procedure ordinarie alla Regione competente territorialmente ed al Ministero dello Sviluppo Economico, in quanto una diversa interpretazione porterebbe ad una elusione della norma principale anche in tema di canoni e contributi.

Limitatamente alla sperimentazione di impianti pilota a ridotto impatto ambientale, per la produzione di energia elettrica sino a 5 MW per ciascun impianto, non sono dovuti i contributi di cui all'art. 16 comma 4 del D.Lgs. 22/2010 (ovvero 0.13 centesimi di euro per ogni kWh di energia elettrica prodotta nel campo geotermico ai Comuni e 0.195 centesimi di euro per ogni kWh di energia elettrica prodotta nel campo geotermico alle Regioni nel cui territorio sono compresi i campi geotermici coltivati).

Per ogni proponente non possono essere autorizzati più di tre impianti ciascuno di potenza nominale non superiore a 5 MW.

Il D.Lgs. n. 28/2011 ha stabilito che possono essere conferiti titoli minerari per un impegno complessivo autorizzabile non superiore a 50 MW. A decorrere dal comunicato della D.G.E.R.M. del 31 Gennaio 2014, non verranno più accettate istanze relative ad impianti geotermici pilota.

Di seguito viene proposto un memorandum dell'iter autorizzativo di un permesso di ricerca per la sperimentazione di un impianto pilota.

33. Istanza di permesso di ricerca per la sperimentazione di impianti pilota

L'istanza di permesso di ricerca deve essere inviata a:

Ministero dello Sviluppo Economico – Dipartimento per l'Energia – Direzione Generale per le Risorse Minerarie ed Energetiche Via Molise, 2 – 00187 Roma

Con lettera di accompagnamento su carta intestata completa di:

- recapito telefonico
- fax
- indirizzo e-mail
- nome di un referente

L'istanza di permesso di ricerca è composta da:

- UNA DOMANDA IN ORIGINALE (su foglio in bollo da € 14,60) contenente:
 - DENOMINAZIONE SOCIALE, RAGIONE SOCIALE, CODICE FISCALE, INDIRIZZO COMPRENDEnte C.A.P. di tutte le società richiedenti, con indicazione delle rispettive QUOTE di partecipazione e del RAPPRESENTANTE UNICO;
 - DENOMINAZIONE DEL TITOLO che identifica l'area di cui si fa richiesta (il nome va scelto tra uno dei toponimi che compaiono nel Foglio IGM all'interno dell'area richiesta in permesso, evidenziandolo nella mappa allegata);
 - REGIONE/I interessata/e; Provincia/E interessata/e; Comune/I Interessato/i;
 - SUPERFICIE in km² dell'area richiesta: l'estensione areale del permesso non potrà eccedere quella strettamente necessaria allo sviluppo del progetto;
 - COORDINATE GEOGRAFICHE: le coordinate geografiche dei vertici dell'area richiesta devono essere riferite al meridiano di Monte Mario ed espresse in gradi e in minuti primi;
 - FIRMA con indicazione della carica societaria del firmatario e nome in chiaro prima della firma;
- PROGRAMMA TECNICO-FINANZIARIO DEI LAVORI PREVENTIVATI (su foglio in bollo da € 14,60) e RELAZIONE TECNICO-GEOLOGICA DELL'AREA, con eventuali disegni e calcoli e marca da bollo da € 1,00 apposta su ogni foglio. Ai sensi dell'art. 3, comma 2bis della Direttiva 1 luglio 2011, la sperimentazione di impianti pilota è concessa mediante permesso di ricerca nel quale vengono stabilite le modalità di coltivazione dei fluidi geotermici. Le attività di ricerca mineraria sono rappresentate in tali casi esclusivamente dalla sperimentazione dell'impianto pilota, nel cui contesto ricadono specifiche operazioni minerarie di realizzazione dello stesso (geofisica di dettaglio e pozzi di accertamento e reiniezione), per cui vengono accettate solo le istanze per le quali il proponente disponga dei dati geotermici necessari per avviare un impianto pilota (esistenza di un pozzo esplorativo o di conoscenze sufficienti della situazione geotermica del sottosuolo); RICEVUTA DI VERSAMENTO del contributo dello 0,5 per mille, come disposto dall'art. 1, comma 10 della legge n. 239/2004, il tutto in busta chiusa, recante il nome della Società richiedente, la denominazione dell'istanza e la dicitura non aprire in rosso;
- SCHEDA da allegare al piano topografico, contenente:
 - Nome della Società richiedente;
 - Denominazione del titolo;
 - Regione/i, Provincia/e, Comune/i;
 - Superficie in km²
 - N.ro de/i Foglio/i dell'IGM;
 - Elenco delle coordinate geografiche;
 - Data;
 - Firma
- PIANO TOPOGRAFICO, ovvero mappa dell'area richiesta disegnata in nero su foglio/i (originale o copia) dell'IGM scala 1:100.000 o maggior dettaglio, con marca da bollo da € 1.00. I punti di latitudine e longitudine (vertici), che delimitano l'area, devono essere indicati con lettere in minuscolo dell'alfabeto italiano, e riportati nell'elenco delle coordinate e sulla mappa in senso orario ad iniziare da quello più a Nord/Ovest. Qualora l'area del permesso ricada in due fogli

sulla mappa in senso orario da iniziare da quello più a Nord-Ovest. Qualora l'area del permesso ricada in due fogli dell'IGM, questi devono essere presentati già uniti insieme. Una copia della mappa può essere inviata in formato digitale presso la Div. I all'indirizzo: unmig.direzione@sviluppoeconomico.gov.it.

Di tutti i documenti sopraelencati, escluso il piano topografico, è necessario inviare anche due copie fotostatiche in carta libera, nonché una copia completa in formato elettronico su DVD, esclusi i documenti di cui al punto 3.

Si precisa inoltre che la società istante deve necessariamente inviare copia dell'intera documentazione sopra citata anche alla Regione competente territorialmente che deve poi rilasciare l'intesa.

34. Caratteristiche dell'area

- L'area deve essere continua e compatta e delimitata da archi di meridiano e di parallelo di lunghezza pari ad un minuto primo o ad un multiplo di esso, salvo per il lato che eventualmente coincida con la frontiera dello Stato, o con la linea esterna della piattaforma continentale, o con il perimetro dei permessi di ricerca e delle concessioni di coltivazione già accordati.
- I vertici del permesso devono essere espressi in gradi e minuti primi, con longitudine Ovest o Est di Monte Mario.
- L'estensione areale del permesso non può eccedere quella strettamente necessaria allo sviluppo del progetto. Pertanto lo sviluppo areale è paragonabile a quello previsto in caso di concessione di coltivazione ordinaria (a titolo indicativo, generalmente la superficie del permesso non eccede i 40 km²).

35. Documenti societari

Qualora il Ministero dello Sviluppo Economico non sia già in possesso dei documenti della Società richiedente, deve essere presentata, a corredo dell'istanza, la seguente documentazione (su foglio in bollo da € 14,60) o in copia autenticata:

- Atto costitutivo;
- Statuto societario;
- Certificato Camerale in data non anteriore a sei mesi dalla data di presentazione dell'istanza.

Se la Società fosse straniera i sopra indicati documenti devono avere la traduzione giurata in italiano e solo quest'ultima in bollo (€ 14,60).

Si ricorda che per le Società extracomunitarie vige l'obbligo della reciprocità tra Stati, ai sensi dell'art. 5, comma 2, Legge 9/1991.

Per l'esame delle capacità tecniche finanziarie, richieste dall'art. 5 della Legge n. 9/1991 e s.m.i., (Il permesso di ricerca è esclusivo ed è accordato...a persone fisiche o giuridiche che dimostrino la necessaria capacità tecnica ed economica e possiedano o si impegnino a costituire in Italia strutture tecniche ed amministrative adeguate alle attività previste, nel rispetto degli impegni contratti dall'Italia in sede di accordi internazionali per la tutela dell'ambiente marino...) la Società deve presentare quanto richiesto dall'art. 4 del D.D. 22/03/2011 in carta libera.

Si rammenta che, qualora ci siano cambiamenti dei dati identificativi della Società o dei suoi rappresentanti, gli Uffici della D.G.E.R.M. devono essere tempestivamente informati (circolare n. 425101 del 10/12/1992).

E' comunque obbligo della Società inviare alla Div.VI ogni anno l'ultimo bilancio approvato.

36. Criteri valutativi adottati per l'istruttoria delle istanze

Conclusa un' istruttoria preliminare dell'UNMIG, l'istanza di permesso di ricerca di risorse geotermiche finalizzate alla sperimentazione di impianti pilota viene esaminata dalla CIRM (Commissione per gli Idrocarburi e le Risorse Minerarie) che esprime il proprio parere in merito al progetto. Nella seduta del 13 Marzo 2012 sono stati definiti i criteri di esame da adottare per la valutazione delle istanze pervenute all'UNMIG. Tali criteri sono basati su:

- verifica delle conoscenze da parte della Società richiedente delle strutture geologiche, degli acquiferi superficiali e profondi e delle potenzialità della risorsa geotermica. In particolare in sede di valutazione verranno analizzate la tipologia e il grado di accuratezza delle conoscenze geologiche dell'area oggetto d'istanza: i dati di letteratura, l'acquisizione dei dati derivanti da titoli minerari pregressi che hanno eseguito l'esplorazione profonda attraverso sondaggi, acquisizione di tutti i dati relativi a precedenti prospezioni di carattere geologico, geochimico, idrogeochimico e geofisico;
- caratterizzazione del serbatoio geotermico attraverso il modelling e la geochimica dei fluidi. In particolare saranno valutati la conoscenza del gradiente geotermico, le correlazioni tra logs di pozzo, il bilancio idrogeologico dell'area, le caratteristiche chimiche delle acque e dei gas, i depositi e le incrostazioni determinate dai fluidi presenti, le prospezioni di flusso di CO₂ e H₂S;
- accuratezza del programma di lavoro e delle caratteristiche tecnologiche dell'impianto pilota con l'obiettivo di emissioni nulle in atmosfera di gas incondensabili. In particolar modo verrà posta attenzione sulle soluzioni adottate dal richiedente in termini di innovazione tecnologica, di prodotto e di processo, relativamente all'intero sistema o a parte di esso; la fattibilità e l'affidabilità tecnica in relazione alle caratteristiche del fluido geotermico, in termini di pressione e temperature nel serbatoio, composizione chimica, quantità di gas ivi presenti, valutazione del piano di monitoraggio posto in essere durante la fase di sperimentazione dell'impianto.

La tempistica dell'istruttoria è molto variabile, infatti non è ancora stato definito un termine del procedimento. In generale il progetto viene sottoposto alla prima CIRM che si riunisce, la durata è variabile da tre a sei mesi ed è funzione anche delle specifiche dell'impianto. Una volta completata l'istruttoria della CIRM, qualora il parere sia positivo, ne viene data comunicazione al Richiedente e si prosegue con l'istruttoria tecnica dopo CIRM.

Qualora le precedenti istanze siano scartate, automaticamente vengono ad essere valutate le istanze attualmente accettate con riserva.

La fase successiva al parere espresso dalla CIRM, riguarda la verifica di compatibilità ambientale del progetto. Il richiedente è invitato a presentare l'istanza di V.I.A. alla Regione interessata. Il settore di Valutazione di Impatto Ambientale di competenza può emettere il decreto con il quale eventualmente stabilisce di escludere dalla procedura di V.I.A. il progetto

inerente il permesso di ricerca. Una volta emanato il decreto di V.I.A. inizia la cosiddetta fase decisoria. Durante quest'ultima il Ministero dello Sviluppo Economico di concerto con il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, d'intesa con la Regione, emana il decreto di conferimento del permesso di ricerca finalizzato alla sperimentazione di impianto pilota.

Potranno essere indette Conferenze dei Servizi nell'ambito delle singole fasi del procedimento, durante le quali saranno acquisiti i pareri degli enti e delle amministrazioni coinvolte nel progetto, secondo le modalità di cui alle norme di riferimento statali e regionali. L'istanza e tutti i relativi aggiornamenti sulle fasi del procedimento tecnico-amministrativo per il conferimento, nonché il conferimento del titolo stesso vengono pubblicati sul BUIG.

**GRUPPO DI LAVORO INCARICATO DELLA DEFINIZIONE DELLO SCENARIO DI
RIFERIMENTO PER IL PIANO DI EMERGENZA DEI CAMPI FLEGREI PER IL RISCHIO
VULCANICO**

RAPPORTO FINALE
(Confidenziale per il Dipartimento della Protezione Civile)

Il Gruppo di Lavoro che ha prodotto questo rapporto è formato da:

**Giovanni Macedonio, Marcello Martini, Augusto Neri,
Paolo Papale, Mauro Rosi, Giulio Zuccaro**

e da:

Chiara Cardaci
in rappresentanza del Dipartimento della Protezione Civile

il Gruppo di Lavoro è stato inoltre coadiuvato da Domenico Mangione, del DPC

Roma, 31 Dicembre 2012

La riproduzione di parti di opere all'interno del presente rapporto e la loro comunicazione al pubblico è consentita ai sensi dell'art. 70 della legge 22 aprile 1941, n. 633, in quanto effettuata a fini di ricerca scientifica e per finalità illustrative e non commerciali, nel rispetto delle condizioni di cui al comma 1 e degli obblighi di menzione di cui al comma 3 del medesimo articolo.

INDICE

- 1. INCARICO E ATTIVITA' DEL GRUPPO DI LAVORO**
- 2. METODO DI LAVORO**
- 3. FINALITA' DEL RAPPORTO**
- 4. IL SISTEMA VULCANICO DEI CAMPI FLEGREI**
 - 4.1 LINEAMENTI GENERALI DEL VULCANISMO DEI CAMPI FLEGREI
 - 4.2 LA RISORGENZA DELLA CALDERA E FENOMENI DI SOLLEVAMENTO E ABBASSAMENTO DEL SUOLO
 - 4.3 STRUTTURA DELLA CALDERA FLEGREA
 - 4.4 SISTEMA MAGMATICO
 - 4.5 IL SISTEMA IDROTERMALE DEI CAMPI FLEGREI
 - 4.6 LA STORIA ERUTTIVA DEI CAMPI FLEGREI
 - 4.6.1 Le epoche eruttive degli ultimi 15.000 anni
- 5. ATTIVITA' RECENTE E SISMICITA' DEI CAMPI FLEGREI**
 - 5.1 ATTIVITA' RECENTE
 - 5.2 SISMICITA' DEI CAMPI FLEGREI
 - 5.2.1 Sismicità storica
 - 5.2.2 Sismicità strumentale
- 6. SCENARI PRE-ERUTTIVI**
- 7. SCENARI ERUTTIVI**
 - 7.1 LOCALIZZAZIONE DELLA BOCCA ERUTTIVA
 - 7.2 SCALA ERUTTIVA ATTESA
 - 7.3 FENOMENI ATTESI
 - 7.4 PERICOLOSITA' DA RICADUTA DI PIROCLASTI E CENERI
 - 7.4.1 Mappe di pericolosità dallo studio dei depositi di ricaduta
 - 7.4.2 Mappe di pericolosità da simulazioni numeriche
 - 7.4.3 Stime del carico di cenere al suolo basate su previsioni meteorologiche
 - 7.5 PERICOLOSITA' DA FLUSSI PIROCLASTICI
 - 7.6 ZONAZIONE DELLE AREE ESPOSTE A FLUSSI DI FANGO (LAHAR)
- 8. VULNERABILITA'**
 - 8.1 LA VULNERABILITÀ VULCANICA
 - 8.1.1 Premessa
 - 8.1.2 Classificazione dei livelli di danno
 - 8.2 CLASSI E CURVE DI VULNERABILITÀ NEI RIGUARDI DEI SINGOLI FENOMENI VULCANICI
 - 8.2.1 La vulnerabilità degli edifici nei confronti del sisma
 - 8.2.2 La vulnerabilità degli edifici nei confronti dell'accumulo di ceneri
 - 8.2.3 La vulnerabilità degli edifici nei confronti dei flussi piroclastici
 - 8.2.4 La vulnerabilità degli edifici nei confronti delle colate di fango (lahar)
 - 8.2.5 Perdite umane
- 9. SCENARI DI DANNO E MAPPE DI RISCHIO**
 - 9.1 SCENARI DI DANNO E MAPPE DI RISCHIO DA ACCUMULO DI CENERE VULCANICA
 - 9.1.1 Scenari di danno da accumulo di ceneri vulcaniche
 - 9.1.2 Mappe di rischio da accumulo di ceneri vulcaniche
 - 9.1.3 Mappe di danno per prefissate probabilità di superamento del carico
 - 9.2 SCENARI SISMICI
 - 9.2.1 Terremoto di scenario per l'area dei Campi Flegrei per analisi di rischio

9.2.2 Terremoto di scenario per l'area dei Campi Flegrei

9.3 SCENARI SISMICI PRE- ERUTTIVI: TRATTI VIARI INTERROTTI

APPENDICE Limitazioni dello studio

Dichiarazione di limitazione di responsabilità

Il contenuto di questo rapporto scientifico è consultivo. Il rapporto è stato preparato dal Gruppo di Lavoro incaricato con l'obiettivo di fornire al Dipartimento della Protezione Civile, che ha commissionato lo studio, informazioni relative alla pericolosità vulcanica, alla vulnerabilità fisica delle strutture e al rischio per la popolazione che potrebbe sorgere nel prossimo futuro ai Campi Flegrei. Sebbene i membri del Gruppo di Lavoro ritengano di aver svolto il loro incarico onestamente, in buona fede e senza alcun pregiudizio, essi non accettano alcuna responsabilità, individuale o di gruppo, per ogni decisione o azione presa dal Dipartimento della Protezione Civile o da altre autorità nazionali, regionali o locali, risultanti, derivanti o influenzate, direttamente o indirettamente, dall'informazione fornita in questo rapporto. Non possono ugualmente accettare, in alcun modo o forma, alcuna responsabilità verso terze parti. Si rimanda all'Appendice per maggiori dettagli sulle limitazioni di questo studio.

Il rapporto include numerose figure provenienti da pubblicazioni coperte da copyright, che sono qui incluse nel quadro della confidenzialità con il Dipartimento della Protezione Civile che ha commissionato lo studio. Eventuali diffusioni del rapporto dovrebbero quindi preventivamente affrontare la questione.

1. INCARICO E ATTIVITA' DEL GRUPPO DI LAVORO

Il Gruppo di Lavoro (GdL) è stato nominato dal Capo Dipartimento della Protezione Civile tramite decreto n. 2329 dell'11/05/2009. La riunione di insediamento si è tenuta a Roma il giorno 23/10/2009. In data 19 aprile 2010 la Prof. Lucia Civetta ha rassegnato le proprie dimissioni. In data 6 maggio 2010 il Prof. Roberto Scandone ha rassegnato le proprie dimissioni. In data 7 luglio 2012 il Prof. Franco Barberi ha rassegnato le proprie dimissioni.

Il presente documento segue una serie di attività intraprese fin dalla crisi bradisismica del 1982-84:

1984 - A seguito della crisi bradisismica del 1982-1984, viene redatto dal DPC un documento dal titolo "Piano di emergenza ed evacuazione nell'ipotesi di evento eruttivo nella zona Flegrea".

1996 - La Presidenza del Consiglio (DPC) nomina una "Commissione incaricata di provvedere all'aggiornamento dei piani d'emergenza dell'area flegrea e dell'area vesuviana connessi a situazioni d'emergenza derivanti da rischio vulcanico" (DPCM n.247 del 1.2.1996).

1996 - L'Osservatorio Vesuviano presenta alla Commissione una relazione scientifica dal titolo "Pericolosità vulcanica nella caldera dei Campi Flegrei in caso di ripresa dell'attività in tempi medi o brevi".

2001 - La Commissione redige gli "Elementi di base per la pianificazione di emergenza dell'area flegrea" (Marzo 2001).

2002 - Il DPC (Ministero dell'Interno) ricostituisce una "Commissione Nazionale incaricata di provvedere all'aggiornamento dei piani di emergenza dell'area vesuviana e dell'area flegrea per il rischio vulcanico" (Decreto n.1828 del 18.6.2002).

2004 - La Commissione acquisisce un documento di sintesi sulle conoscenze relative ai Campi Flegrei e alla loro pericolosità, dal titolo: "Relazione per la Commissione Incaricata della Predisposizione dei Piani di Emergenza al Vesuvio e Campi Flegrei - Gruppo di Lavoro A - Campi Flegrei", giugno 2004.

2009 - Il DPC (Presidenza del Consiglio) costituisce un "Gruppo di Lavoro incaricato della definizione dello scenario di riferimento per il piano di emergenza dei Campi Flegrei per il rischio vulcanico" (Decreto n.2329 del 11.5.2009).

2012 - Il GdL conclude i lavori, e consegna il presente documento il 31 dicembre 2012.

2. METODO DI LAVORO

Il Gruppo di Lavoro (GdL) ha redatto il presente documento di sintesi basandosi sulla conoscenza disponibile (pubblicata, presentata a recenti convegni, acquisita dalle ricerche nell'ambito di recenti progetti finanziati dal Dipartimento della Protezione Civile o comunque messa a disposizione del GdL da esponenti della comunità scientifica). Il GdL ha escluso di procedere all'esecuzione di indagini scientifiche suppletive, da svolgere in tempi brevi, ancorché indirizzate a integrare il quadro conoscitivo disponibile. Tale scelta avrebbe infatti richiesto l'erogazione da parte del Dipartimento di fondi dedicati e un sensibile allungamento dei tempi di conclusione dei lavori, in conflitto con quanto richiesto dal mandato. Il Dipartimento ha comunque messo a disposizione del GdL materiale prodotto dai propri Centri di Competenza.

Il GdL ha organizzato il proprio lavoro attraverso la distribuzione di compiti e incarichi al proprio interno, frequenti scambi di documenti in remoto, incontri in sub-gruppi, e incontri periodici presso la sede del Dipartimento della Protezione Civile a Roma per la valutazione dello stato di avanzamento e per le discussioni collegiali. In totale il GdL si è incontrato collegialmente 21 volte tra l'ottobre 2009 e il dicembre 2012. La condivisione tra i membri del GdL dei dati pubblicati e dei rapporti scientifici

disponibili è stata attuata anche mediante la creazione di un sito di lavoro con accesso riservato ai membri del GdL, dove sono stati caricati i documenti progressivamente acquisiti e quelli precedentemente prodotti nell'ambito di commissioni precedenti. Allo scopo di rendere il più possibile completo e aggiornato il quadro della conoscenza scientifica disponibile, il GdL ha effettuato incontri con esponenti della comunità scientifica che hanno condotto ricerche nel corso degli ultimi anni. Gli incontri, organizzati dal Servizio Vulcanico del Dipartimento della Protezione Civile, si sono svolti nella sede di Via Vitorchiano tra il novembre 2010 e il febbraio 2011. Nel corso degli incontri sono stati presentati e discussi dati scientifici ritenuti rilevanti per le finalità del lavoro. Sono stati inoltre dibattuti e approfonditi con gli esperti invitati temi sui quali la comunità scientifica ha espresso valutazioni controverse oppure temi per i quali i lavori pubblicati non fornivano tutte le informazioni utili per le finalità del GdL. Tra i dati non pubblicati, visionati e di fatto messi a disposizione della Commissione, figurano la nuova carta geologica dei Campi Flegrei 1:50.000 del progetto CARG e i recenti dati di geologia marina acquisiti all'interno del Golfo di Pozzuoli e del Golfo di Napoli. I ricercatori invitati hanno fatto pervenire al GdL, dopo ciascuna riunione, documenti sintetici contenenti informazioni e/o pareri sui punti principali che sono stati esposti e/o discussi. Il GdL ha particolarmente apprezzato il clima aperto e costruttivo degli incontri e la disponibilità dei ricercatori a condividere dati scientifici e idee non ancora pubblicati.

Nel corso dei lavori il GdL ha anche avuto ripetuti incontri con il Direttore dell'Ufficio Rischio Sismico e Vulcanico del DPC, Prof. Mauro Dolce. Nel corso di tali incontri è stato tra l'altro ribadito come da parte del Dipartimento ci sia l'aspettativa che il GdL provveda a redigere un quadro obiettivo dell'informazione scientifica ad oggi disponibile riguardante gli scenari attesi e le relative probabilità e incertezze, lasciando al Dipartimento il compito e la responsabilità di effettuare le scelte operative per l'implementazione del piano di emergenza.

3. FINALITA' DEL RAPPORTO

Il rapporto si prefigge di mettere a disposizione degli operatori di protezione civile incaricati di redigere il piano, i possibili scenari pre-eruttivi ed eruttivi ai Campi Flegrei e le relative problematiche di pericolosità dei diversi possibili fenomeni. Particolare attenzione è stata posta nell'evidenziare le incertezze riguardanti la localizzazione della bocca eruttiva, la scala e stile dell'eruzione attesa, la variabilità dei fenomeni possibili, la mappatura dei fenomeni pericolosi, nonché l'ordine di accadimento degli stessi.

Il rapporto è espressamente diretto agli operatori di Protezione Civile e tende per quanto possibile ad utilizzare nella struttura, nella forma di presentazione dei concetti e nel linguaggio, caratteristiche che ne facilitino la consultazione, pur mantenendo il necessario rigore scientifico. Per ragioni di chiarezza e di sintesi sono state omesse o comunque trattate in modo succinto alcune classi di dati scientifici (ad esempio quelli relativi al sistema magmatico) non immediatamente relazionabili agli obiettivi del presente rapporto.

Il GdL ritiene doveroso chiarire fin dall'inizio del presente rapporto che per la natura del sistema vulcanico, il suo stato attuale, e i livelli di urbanizzazione dell'area, il problema di rischio vulcanico posto dal sistema dei Campi Flegrei rappresenta senza alcun dubbio uno dei maggiori, se non il maggiore, a scala mondiale. Non esiste infatti altrove una situazione confrontabile, per la concomitanza tra un sistema vulcanico in grado di produrre eruzioni esplosive anche di grandi dimensioni, le incertezze legate alla natura del sistema vulcanico e all'individuazione di segnali precursori, il livello di urbanizzazione e la concentrazione di attività produttive nelle aree potenzialmente a rischio. Una grande eruzione ai Campi Flegrei, possibilità non del tutto remota, avrebbe conseguenze tali da

distruggere profondamente il tessuto infrastrutturale dell'area napoletana, probabilmente causando gravi conseguenze economiche a livello nazionale ed europeo.

4. IL SISTEMA VULCANICO DEI CAMPI FLEGREI

4.1 LINEAMENTI GENERALI DEL VULCANISMO DEI CAMPI FLEGREI

I Campi Flegrei sono una caldera vulcanica di oltre dieci chilometri di diametro centrata sulla città di Pozzuoli. La parte settentrionale e occidentale della caldera si trova al di sopra del livello mare ed è caratterizzata dalla presenza di numerosi coni e crateri vulcanici. La parte meridionale si estende principalmente nel golfo di Pozzuoli (Fig. 4.1.1).

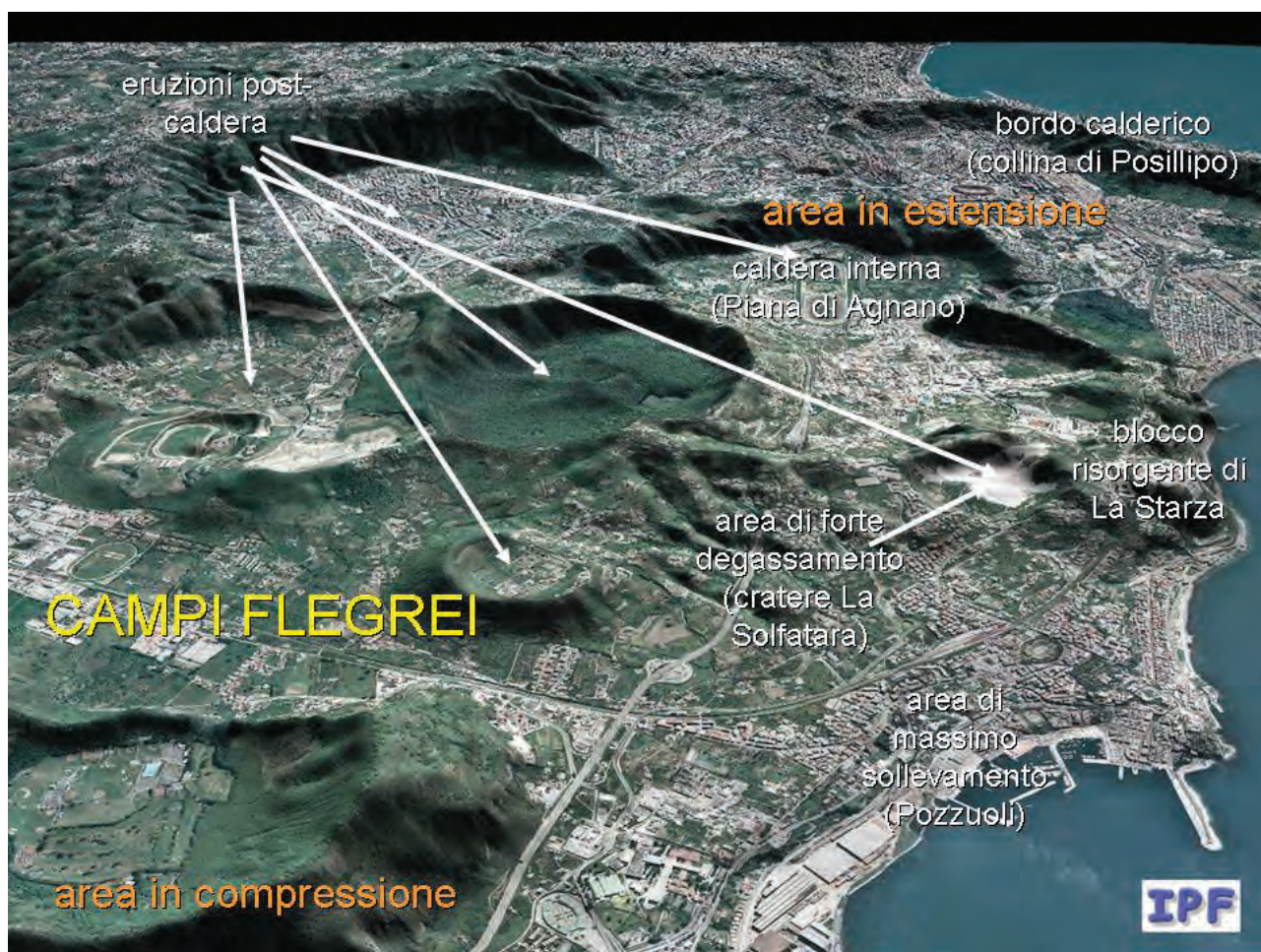


Figura 4.1.1. la caldera dei Campi Flegrei. (Laboratorio di Geomatica e Cartografia INGV-OV).

Rispetto ai vulcani centrali spesso caratterizzati da eruzioni frequenti che avvengono da un unico cratere, e dalla deposizione di materiali vulcanici (colate di lava e prodotti piroclastici) che portano all'edificazione di coni, le caldere mostrano struttura e comportamenti significativamente diversi. La grande maggioranza delle caldere produce eruzioni difficilmente riconducibili a pattern regolari, originate da bocche sparse. In generale prevalgono nelle caldere eruzioni esplosive di scala variabile, alcune o molte delle quali possono essere anche di intensità e violenza molto forte. Le caldere sono inoltre contrassegnate da anomalie termiche del sottosuolo e presenza di abbondanti manifestazioni idrotermali. La difficoltà nel riconoscere semplici modelli comportamentali rende difficile la

previsione; l'anomalia termica del sottosuolo e l'abbondante circolazione idrotermale complicano la capacità di prevedere a breve termine le eruzioni elevando in modo sensibile il rischio di falsi allarmi.

La conoscenza del sistema vulcanico dei Campi Flegrei è stata progressivamente ampliata da una serie di studi iniziati a partire dagli anni '50 quando A. Rittmann coordinò il primo rilevamento finalizzato alla redazione della prima carta geologica dell'area (Rittmann, 1950). Dopo il lavoro di Rittmann e dei suoi collaboratori, una seconda importante tappa di ampliamento delle conoscenze si avviò negli anni '70 con l'inizio degli studi tefro-stratigrafici, e poco più tardi negli anni '80 con la pubblicazione di una nuova carta geologica in scala 1:10.000 prodotta in collaborazione da Agip e Progetto Geodinamica. All'interno della carta geologica confluirono dati sulla natura del sottosuolo conseguiti mediante sondaggi geotermici profondi (1500 – 3000 m) eseguiti dalla Joint-Venture Agip-Enel. Gli studi pluriennali promossi dal Gruppo Nazionale per la Vulcanologia e successivamente sviluppati nell'ambito delle Convenzioni INGV-DPC con fondi erogati dalla Protezione Civile, e la recente realizzazione di una nuova carta geologica 1:50.000 eseguita nell'ambito del progetto CARG finanziato dalla Regione Campania, hanno infine apportato nuovi importanti contributi alla conoscenza del sistema vulcanico flegreo. Oltre ai classici rilievi di superficie, le azioni scientifiche coordinate nel progetto CARG hanno compreso l'esecuzione di carotaggi a media profondità e la realizzazione di indagini di geologia marina (batimetria di dettaglio e sismica a riflessione) nel Golfo di Pozzuoli e nel Golfo di Napoli a ridosso della collina di Posillipo. I contributi offerti dalle ricerche connesse alla nuova carta geologica hanno fornito nuovi e importanti informazioni sulla storia eruttiva, sulla struttura della caldera, sulla dinamica dei movimenti verticali del suolo (bradisismo) e sulla relazione temporale tra fenomeni di sollevamento del centro della caldera e fenomeni vulcanici.

Gli studi condotti hanno coinvolto una comunità scientifica ampia afferente a numerose istituzioni nazionali. Rilevante è stata anche la partecipazione di ricercatori stranieri che hanno collaborato con i gruppi di lavoro italiani ad approfondire tematiche specifiche. Tra le istituzioni internazionali che hanno concorso negli studi vale la pena ricordare il Servizio Geologico Americano (USGS), l'Università di Santa Barbara (California), l'Università di Berkeley (California), la Brown University (Rhode Island), l'Università di Monaco (Germania), per citarne alcune.

In sintesi le conoscenze acquisite negli ultimi trenta anni hanno messo in evidenza una serie di elementi strutturali e comportamentali che concorrono in modo importante alla definizione del sistema vulcanico e del suo funzionamento. Gli elementi essenziali emersi sono:

- i) la presenza di una vasta caldera di collasso prodotta da due grandi eruzioni esplosive (Ignimbrite Campana e Tufo Giallo), caratterizzata da una intensa attività idrotermale;
- ii) il verificarsi di periodi di attività vulcanica della durata di secoli (epoche eruttive) alternati a periodi di riposo della durata di millenni;
- iii) il verificarsi di eruzioni prevalentemente di tipo esplosivo;
- iv) l'accadimento nel corso degli ultimi 15.000 anni di eruzioni da bocche eruttive sparse all'interno della caldera;
- v) il verificarsi di fenomenologie connesse ad interazione del magma con acqua sotterranea e/o superficiale, di rilevanza variabile per le diverse eruzioni e diverse fasi eruttive.

4.2 LA RISORGENZA DELLA CALDERA E FENOMENI DI SOLLEVAMENTO E ABBASSAMENTO DEL SUOLO

Numerose cadere mondiali attive e/o recenti mostrano il fenomeno della cosiddetta risorgenza. Il fenomeno della risorgenza consiste nel sollevamento cupoliforme del tufo intracalderico (duomo risorgente), fino a centinaia di metri di altezza sul fondo calderico. I duomi risorgenti sono di norma limitati da gradinate di faglie dirette. Un ulteriore elemento che pare caratterizzare le caldere risorgenti

è il fatto che il sollevamento si manifesta in tempi relativamente brevi dopo l'accadimento dell'eruzione *caldera-forming*. In Italia esistono due caldere che presentano in modo indiscusso il fenomeno della risorgenza così come definito nelle strutture "tipo". I due esempi sono la caldera di Pantelleria e il Monte Epomeo nell'Isola di Ischia, che sollevano in modo cospicuo rispettivamente il deposito intracalderico dall'eruzione del Tufo Verde di Pantelleria e il deposito di Tufo Verde del Monte Epomeo dell'omonima eruzione. In entrambi i casi l'entità del sollevamento intracalderico è dell'ordine delle centinaia di metri e il materiale sollevato presenta notevolissimo spessore (tufo intracalderico).

La caldera dei Campi Flegrei mostra fenomeni di sollevamento della parte centrale della struttura; tali fenomeni sembrano tuttavia essere di entità contenuta, non hanno portato all'esposizione in superficie della massa del tufo intra-calderico e avvengono in tempi diversi da quelli tipici per le caldere risorgenti. In questo senso è quantomeno dubbia la legittimità di definire i Campi Flegrei come una tipica caldera risorgente. Ciò nondimeno è un fatto accertato che la caldera mostri fenomeni di sollevamento della zona centrale, coincidente con la città di Pozzuoli, dove un piccolo ammasso di Tufo Giallo è esposto nel Rione Terra e dove si riscontrano sedimenti marini di circa 5-6000 anni sollevati di alcune decine di metri sopra il livello mare (terrazzo della Starza, vedi Fig. 4.1.1). Fenomeni di sollevamento permanente sembrano essere avvenuti, con geometria simile, anche prima dell'inizio di epoche eruttive più antiche. I rilievi batimetrici di dettaglio del Golfo di Pozzuoli, recentemente eseguiti all'interno delle attività di ricerca coordinate dal progetto CARG, hanno evidenziato la presenza di una struttura cupoliforme, perfettamente visibile di fronte alla città di Pozzuoli e sollevata rispetto ai fondali circostanti di un centinaio di metri e con un diametro di base di circa 3 km con centro nella città di Pozzuoli. La struttura di sollevamento appare inoltre tagliata da un terrazzo di abrasione marina ubicato a una profondità di 40 metri, evidentemente prodotto a seguito della successiva stasi del sollevamento.

Il quadro che emerge è dunque quello di ripetuti episodi di sollevamento che si sono "cumulati" nel tempo producendo come risultato finale un centro della caldera sensibilmente sollevato, per lo meno a partire dalla situazione lasciata dopo l'eruzione del Tufo Giallo Napoletano (ca. 15.000 anni BP). L'entità totale di questo sollevamento potrebbe essere di circa 50-100 metri. L'ultimo episodio in ordine temporale, dell'entità di almeno 25 m, sarebbe quello che ha portato all'emersione del terrazzo della Starza.

Oltre ai fenomeni di sollevamento per così dire discreti, ovvero che si sono manifestati con movimento verticali almeno dell'ordine delle decine di metri in archi temporali relativamente brevi (ordine dei secoli), devono essere anche segnalati i fenomeni di abbassamento del suolo con geometria della deformazione sostanzialmente simile a quella dei sollevamenti. Episodi di rapido abbassamento sembrano invece riconducibili all'accadimento di importanti episodi eruttivi. Isaia et al. (2009) hanno riscontrato evidenze geologiche di ingressione marina in prossimità di Pozzuoli la cui età si pone immediatamente dopo l'eruzione di Agnano Monte Spina (4800 BP), a testimonianza di un importante abbassamento del centro della caldera dopo l'eruzione.

Oltre ai fenomeni che potremmo definire "di rapido abbassamento", esistono altre tipologie di abbassamento del suolo di scala nettamente inferiore (metri) che in qualche modo possono essere ricondotti a ciò che viene normalmente indicato con il termine di "bradisismo flegreo". Il fenomeno dell'abbassamento lento del suolo presenta caratteristiche piuttosto ben definite: si tratta di un abbassamento che, in assenza di altri fenomeni (sollevamenti) che ne disturbino il corso, avrebbe carattere dominante con un valore medio dell'ordine di centimetri/anno (Fig. 4.2.1). La sua origine sembra riconducibile a fenomeni di compattazione e addensamento dei tufi che costituiscono il riempimento della caldera, possibilmente favorito dai processi di alterazione dei materiali vulcanici ad opera dei fluidi idrotermali che circolano nel sottosuolo. Per quello che ad oggi si conosce, il sollevamento del suolo si manifesta con velocità assai maggiori e le opinioni sulle possibili cause sono controverse. Alcuni (e.g., Bonafede, 1990, 1991; De Natale et al., 1991, 2001; Gaeta et al., 1998; Orsi

et al., 1999; Chiodini et al., 2003; Battaglia et al., 2006; Hurwitz et al., 2007; Hutnak et al., 2009; Troiano et al., 2011) considerano le variazioni di regime del sistema idrotermale (incremento delle temperature e della pressione dei fluidi) come possibili responsabili del processo di sollevamento, in risposta ad eventi di degassamento anche dovuti a risalite di magma, altri ritengono che vi siano fondate ragioni per considerare il fenomeno come direttamente relazionato, in toto o in parte, ad apporti magmatici a livelli della camera magmatica superficiale (e.g., Gottsmann et al., 2006; Troise et al., 2007; Amoruso et al., 2008; Woo and Kilburn, 2010; Trasatti et al., 2011). In epoca recente (ultimi 60 anni) si sono manifestati alcuni sollevamenti, descritti in dettaglio al capitolo 5.



Figura 4.2.1. Resti di strutture di epoca romana, attualmente sotto il livello del mare come conseguenza del processo di subsidenza (abbassamento del suolo) ai Campi Flegrei.

4.3 STRUTTURA DELLA CALDERA FLEGREA

Per delineare le caratteristiche profonde della struttura dei Campi Flegrei sono stati condotti diversi studi tomografici basati sulla propagazione delle onde sismiche generate sia artificialmente (tomografia attiva) che da eventi naturali (tomografia passiva). Quelli più recenti comprendono l'analisi dei dati di sismica attiva realizzati nel 2001 nel Golfo di Napoli e Pozzuoli nel corso del progetto SERAPIS.

Con l'analisi dei dati SERAPIS, Zollo et al. (2003) hanno messo in evidenza, tramite le anomalie di velocità delle onde P, la struttura superficiale del margine meridionale della caldera flegrea, localizzato alla profondità di circa 800-2000 m. Tale struttura, che si innalza per circa 1-2 km, è anche stata evidenziata come porzione di un sistema di corpi a maggiore densità che nell'insieme identificano una struttura ad andamento grossomodo circolare con un diametro di 8-12 km (Berrino et al.1998; Capuano e Achauer, 2003) (Fig. 4.3.1).

In accordo con dati stratigrafici e log sonici da perforazioni profonde, precedentemente condotti dall'AGIP (AGIP 1987), questo bordo è ritenuto formato da lava solidificata e/o tufo frammisto a lave. Inoltre lo studio realizzato da Zollo et al. (2003) conferma la presenza di un basamento carbonatico ad una profondità di circa 4 km, ma non è in grado di evidenziare la presenza di corpi magmatici.

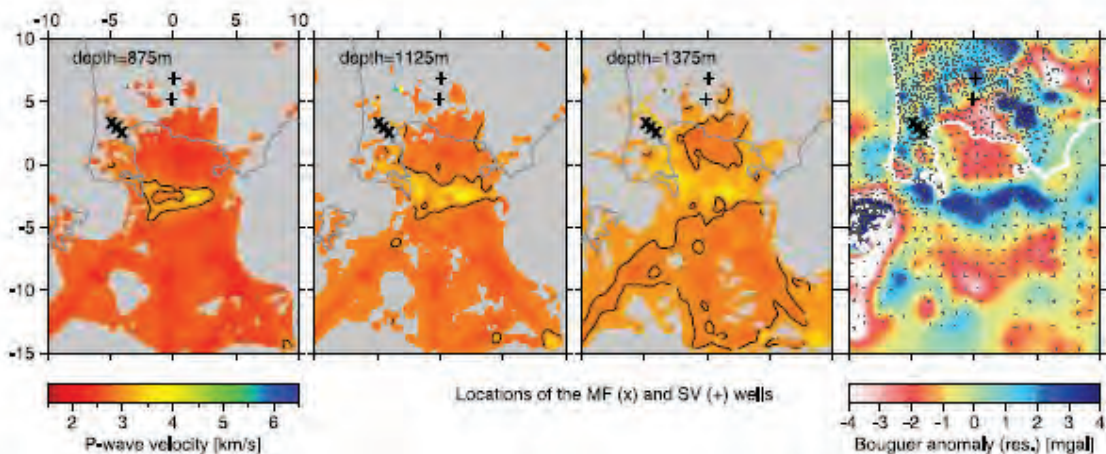


Figura 4.3.1. Da sinistra: Velocità delle onde P a diverse profondità (875 m, 1125 m, 1375 m) e, ultimo a destra, anomalie di gravità di Bouguer (densità ridotta: 2.4 g/cm³). I simboli “+” e “x” indicano i pozzi AGIP rispettivamente di S.Vito e Mofete (da Zollo et al., 2003).

In precedenza, in un lavoro di De Lorenzo et al. (2001), era stata evidenziata una zona ad elevato assorbimento delle onde sismiche prodotte dai microterremoti (basso valore di Q_p), localizzata ad una profondità tra 2 e 3 km, ad est di Pozzuoli (Fig. 4.3.2), ricollegabile come estensione alla anomalia di velocità VP rilevata a mare da Zollo et al. (2003) ed attribuita al bordo calderico. De Lorenzo et al. (2001) attribuiscono l'anomalia nell'assorbimento delle onde sismiche in questo settore ad una possibile anomalia termica e/o a maggiore fratturazione, possibilmente causata dall'attività eruttiva e deformativa degli ultimi 10000 anni, individuando quindi l'area come una possibile via preferenziale di risalita del magma.

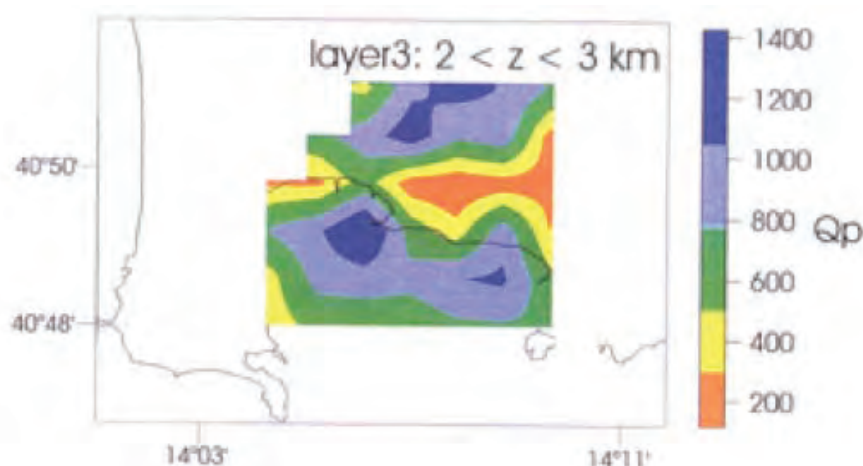


Figura 4.3.2 - Attenuazione delle onde sismiche (Q_p) nell'intervallo di profondità 2-3 km (da De Lorenzo et al. 2001).

Dall'analisi dei dati prodotti da SERAPIS, integrati dai dati di un precedente esperimento di tomografia del Vesuvio (TOMOVES), Judenherc e Zollo (2004) propongono un modello della caldera

flegrea in relazione alla sottostante unità del calcare mesozoico, in cui non sono evidenti camere magmatiche nei primi 6 km sotto la baia di Napoli. Per questi autori il sistema di alimentazione della caldera flegrea è controllato direttamente dalle strutture tettoniche che incidono sulla unità di calcare sotto il Golfo di Napoli. In particolare individuano due faglie normali NE-SW sotto Vesuvio e Campi Flegrei, legate alla tettonica pre-Pleistocene appenninica (Fig. 4.3.3)

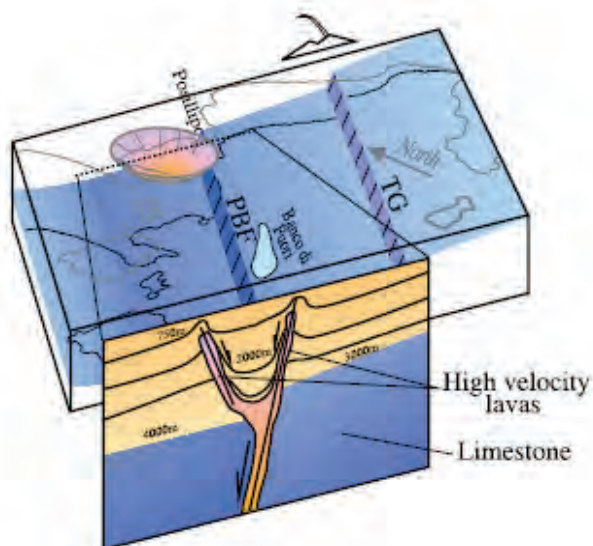


Figura 4.3.3. Grafico interpretativo che mostra i lineamenti principali identificati dai modelli tomografici elaborati dai dati SERAPIS e TOMOVES. La superficie blu rappresenta la piattaforma carbonatica che si immerge verso nord-ovest, con due faglie normali SO-NE, Torre del Greco e Posillipo-Banco di Fuori (da Judenherc e Zollo, 2004).

Sempre dall'analisi dei dati SERAPIS, sulla base delle variazioni dell'ampiezza delle onde sismiche con la distanza, Zollo et al (2008) evidenziano due strati riflettenti estesi sotto la Caldera Flegrea. Quello più superficiale, alla profondità di circa 3 km, segnalato anche da un aumento della velocità delle onde sismiche, è attribuito ad una formazione rocciosa estesa che fa da cuscinetto ad un fluido supercritico. Il secondo, più profondo e caratterizzato da una bassa velocità delle onde sismiche, posto alla profondità di 7 km e caratterizzato da uno spessore di circa 1 km, è associato ad una zona di fusione parziale sotto la caldera (Fig. 4.3.4).

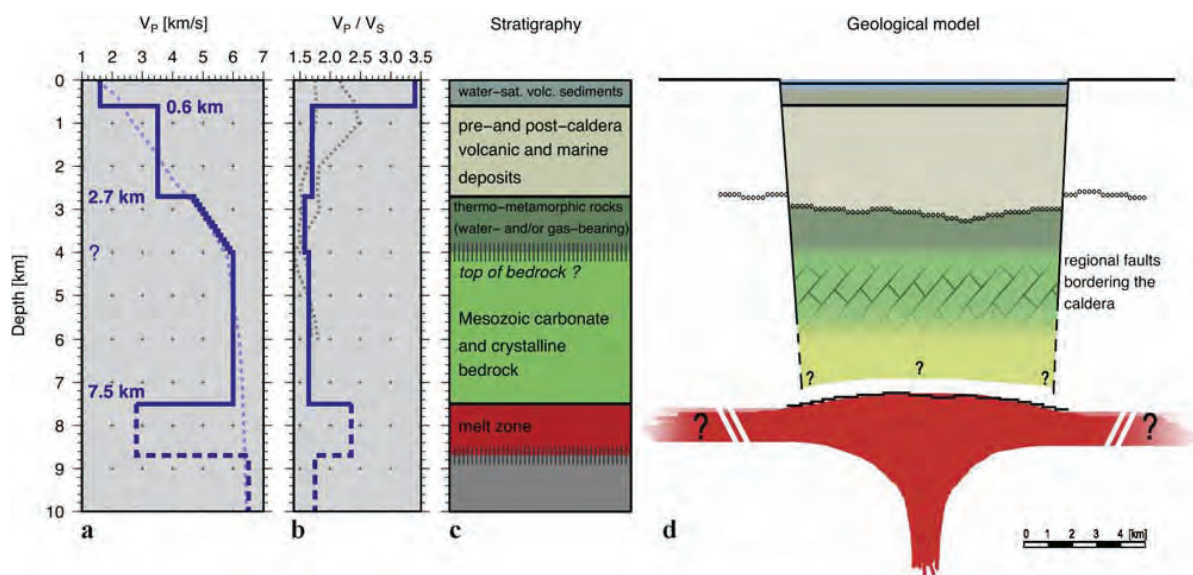


Fig. 4.3.4. Modello strutturale e geofisico (da Zollo et al, 2008).

La presenza di una formazione con caratteristiche meccaniche particolari a 3-4 km di profondità era già stata ipotizzata da Vanorio et al. (2005), sulla base dell'analisi dei microterremoti locali durante la crisi bradismimica del 1982-85, migliorando la prima analisi tomografica realizzata da Aster e Meyer (1988). Dall'analisi del rapporto delle velocità V_p/V_s , Vanorio et al. (2005) rilevano due zone anomale. La prima è localizzata alla profondità di circa 1 km, nella parte centrale della caldera, e mostra un elevato valore V_p/V_s . Questa anomalia viene attribuita dagli autori alla presenza di rocce contenenti brina condensata dal vapore a causa delle basse temperature, quest'ultime dedotte dai dati dei pozzi AGIP a tali profondità. L'anomalia più profonda, a basso valore V_p/V_s e localizzata a 4 km, è invece interpretata con lo stesso meccanismo ipotizzato successivamente da Zollo et al (2008) per il riflettore da loro localizzato a 3 km (Fig. 4.3.5).

Successivamente Chiarabba e Moretti (2006) confermano la presenza e la localizzazione di queste anomalie sismiche, integrando dati simologici attivi e passivi. Inoltre Vinciguerra et al. (2006), effettuando dei test di laboratorio su campioni di roccia, mostrano la compatibilità delle velocità rilevate alla profondità di circa 2 km nella caldera flegrea con la presenza di una roccia saturata di fluidi.

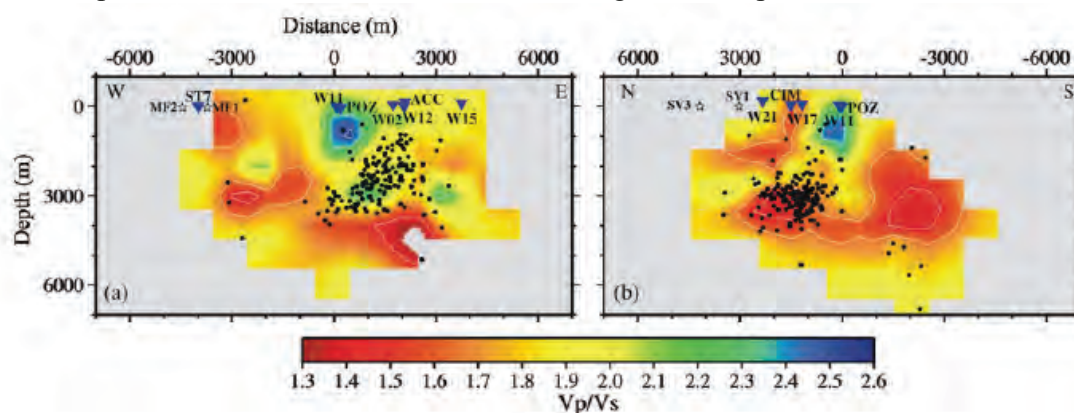


Figura 4.3.5. Sezioni (a) E-O e (b) N-S, centrate su Pozzuoli, con la distribuzione del rapporto V_p/V_s . I punti localizzano terremoti del 1982-85 (da Vanorio et al., 2005).

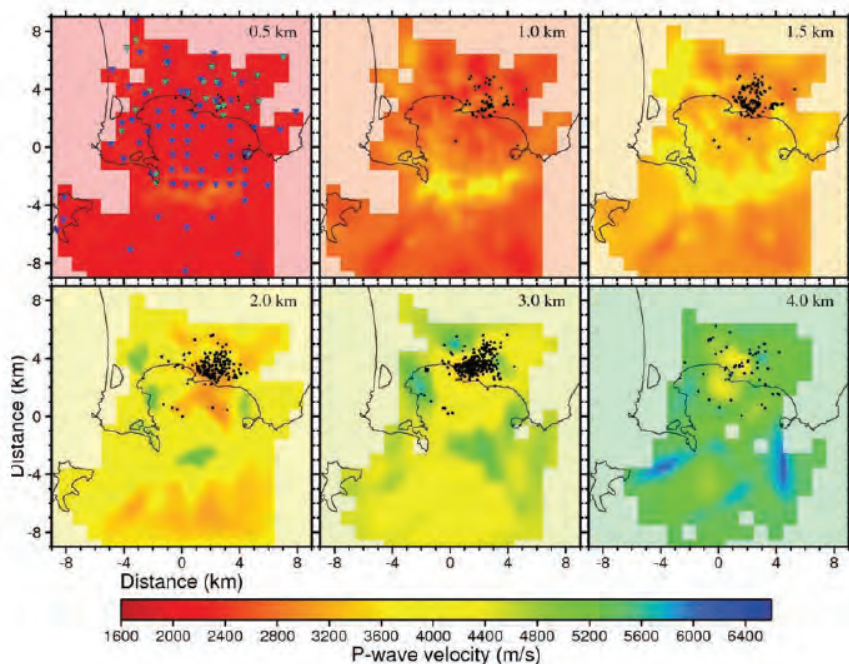
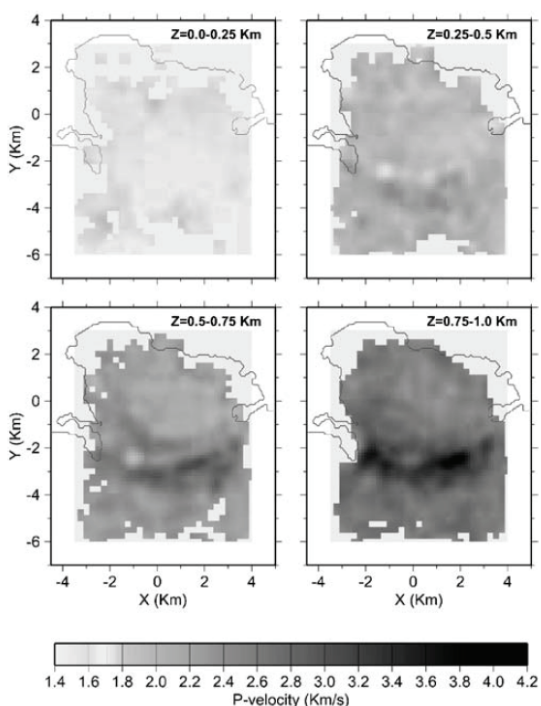


Figura 4.3.6. Sezioni orizzontali dei risultati della tomografia sismica. I punti neri sono le localizzazioni ipocentrali dei terremoti (da Battaglia et al., 2008).

Utilizzando in modo congiunto i dati di SERAPIS con le registrazioni dei terremoti del 1982-1985, Battaglia et al. (2008) confermano la presenza di una struttura arcuata ad alta velocità V_p a sud del Golfo di Pozzuoli, come estensione di quanto già rilevato a terra ed interpretato come traccia del bordo calderico dei Campi Flegrei

(Fig. 4.3.6). Inoltre, dall'analisi del rapporto di velocità V_p/V_s , viene confermata una anomalia di alto rapporto a circa 1 km sotto la città di Pozzuoli, già messa in luce da Vanorio et al. (2005) con l'analisi di sismica passiva, confermando l'ipotesi della presenza di rocce con un elevato contenuto di fluidi in fase liquida. Nell'intervallo di profondità di 3-4 km anche questi autori rilevano un strato esteso con basso valore V_p/V_s , questa volta confermando l'interpretazione di Zollo et al. (2008) di confinamento di una formazione ricca di gas in condizioni supercritiche.



Una descrizione dei 1000 m più superficiali della caldera è realizzata da Dello Iacono et al (2009), che dall'analisi dei dati SERAPIS rilevano un rapido incremento delle velocità V_p tra i 600 e 900 metri di profondità nel Golfo di Pozzuoli, confermata anche da alcuni risultati dalla sismica a riflessione. Questi autori evidenziano tra 0.5 e 1 km di profondità una struttura arcuata tra Nisida e Capo Miseno, a maggiore velocità V_p delle onde sismiche. Tale struttura, procedendo da Est ad Ovest tra 0.5 e 0.75 km di profondità, si divide in un doppio arco che gli autori, ipotizzandolo altamente fratturato anche in correlazione ad evidenze geologiche superficiali (fumarole, dicchi, banchi, fanghi di tufo giallo), lo identificano come via preferenziale di risalita di fluidi e magma (Fig. 4.3.7).

Figura 4.3.7. Distribuzione delle velocità V_p nella parte più superficiale (1 km) della Caldera Flegrea. Tra 0.5-0.75 km si nota un doppio arco a maggiore velocità tra Nisida e Capo Misero (da Dello Iacono et al., 2009).

Sfruttando lo scattering delle onde sismiche a causa delle disomogeneità del mezzo di propagazione, utilizzando i terremoti del periodo 1982-1985, Tramelli et al. (2006) individuano degli "scatteratori" che delimitano il bordo interno della caldera, in accordo con evidenze geologiche sulla terra ferma, ed a mare con altri studi topografici (Fig. 4.3.8).

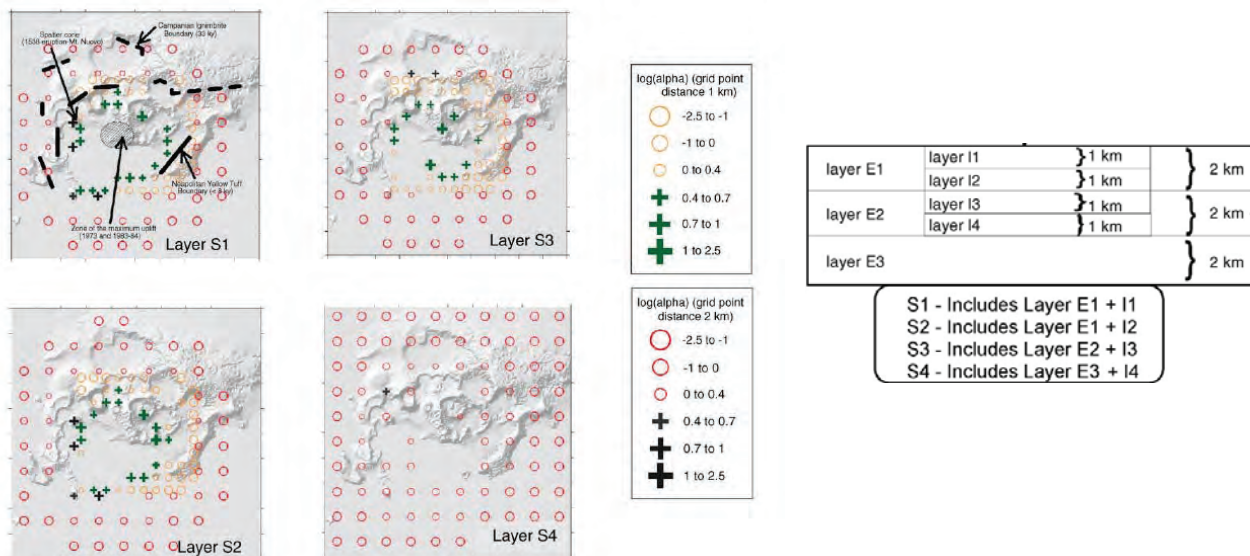


Figura 4.3.8. Inversione di scattering delle onde sismiche, alla banda centrata a 18 Hz. Le croci ed i cerchi indicano rispettivamente valori maggiori ed inferiori di scattering. (rielaborato da Tramelli et al. 2006).

Infine De Siena et. al. (2010), utilizzando i segnali generati dai terremoti relativi alla crisi 1982-1984, calcolano i parametri $1/Q_p$ e $1/Q_s$ associati all'attenuazione delle onde sismiche rispettivamente P ed S. I risultati per alcune sezioni verticali sono riportati in Fig. 4.3.9.

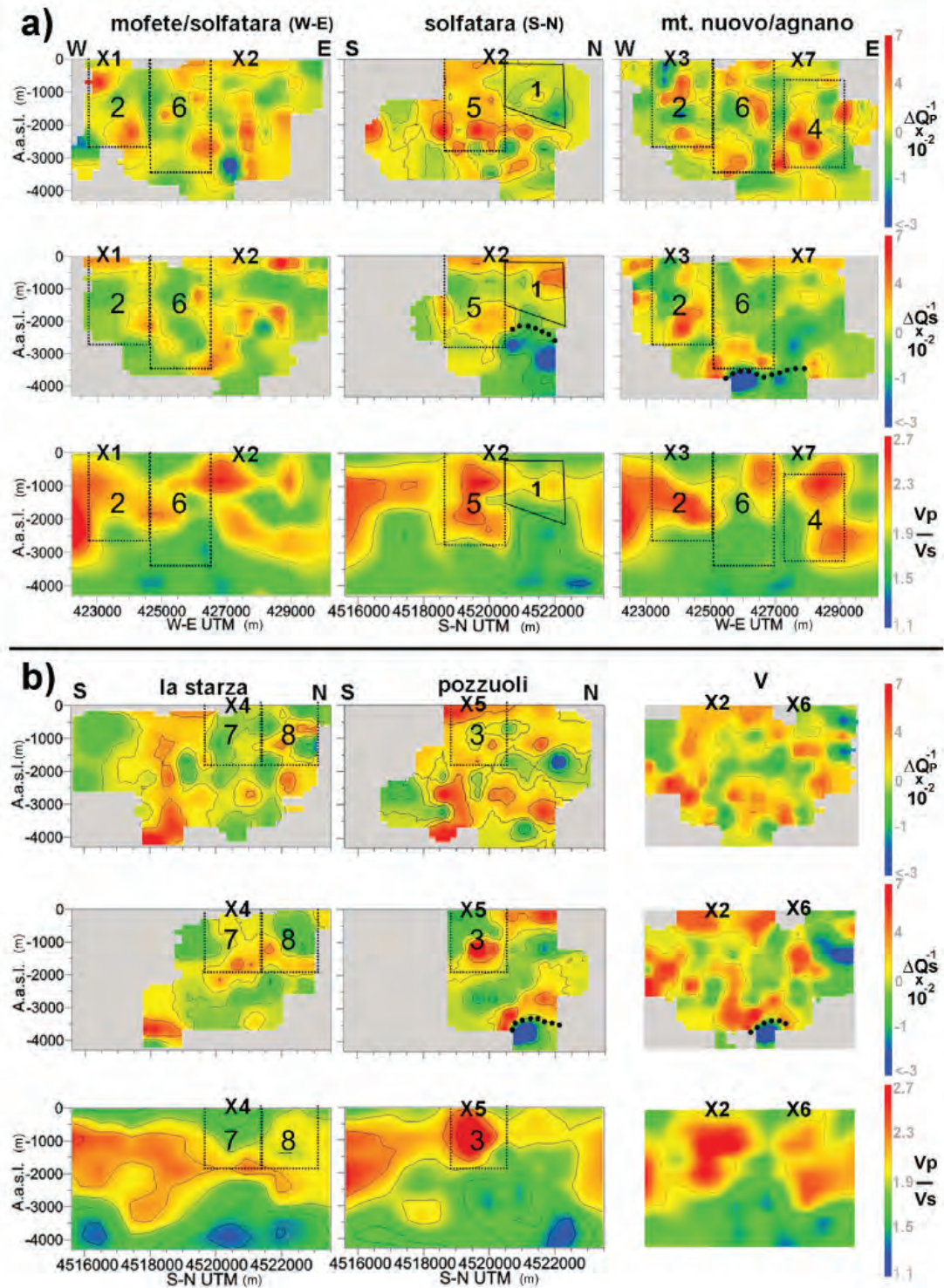


Figura 4.3.9. Varie sezioni NS ed EW del parametro $1/Q_p$ e $1/Q_s$ nell'area flegrea, come riportate da De Siena et. al. (2010). In a) e b) la terza riga è riferita a una elaborazione di Battaglia et al. (2008).

Dai risultati ottenuti, e dal confronto con gli studi di tomografia attiva, in particolare da Zollo et al. (2008), e con altri studi nell'area, De Siena et. al. (2010) ipotizzano il quadro interpretativo mostrato in Fig 4.3.10. Tale quadro mostra una zona, caratterizzata come "melt" in figura, costituita da un corpo interpretato come magma ad elevato grado di cristallizzazione, messi in posto sotto l'area di Pozzuoli in tempi recenti e possibilmente durante una o più delle principali crisi bradisismiche recenti (inizio anni '50, 1969-71, 1982-85).

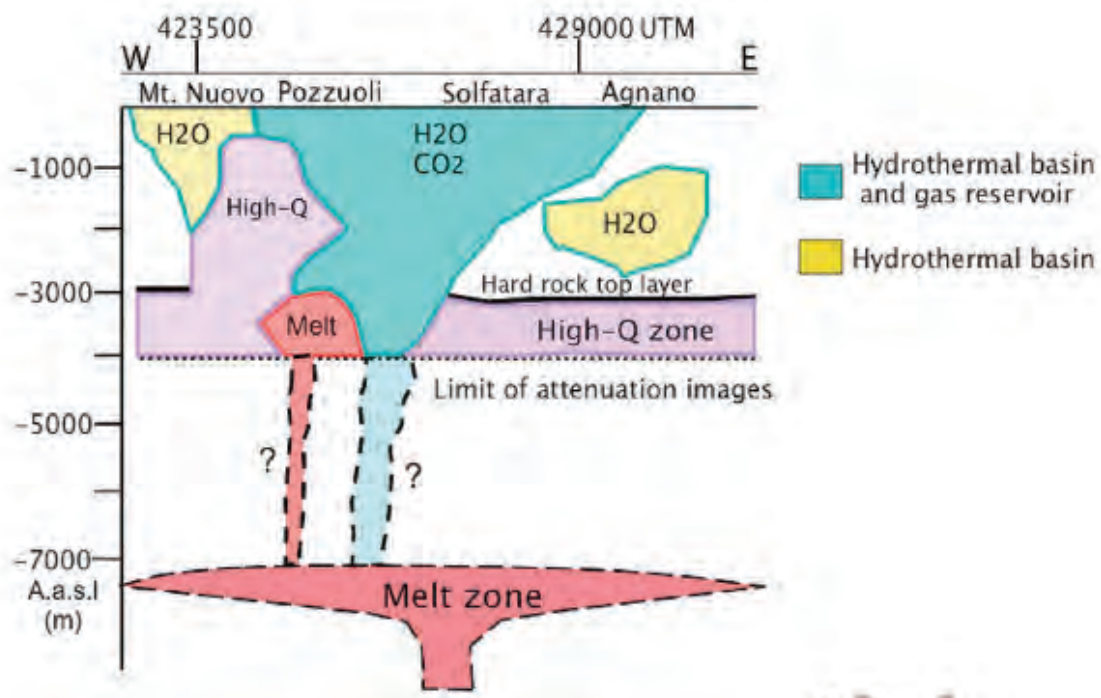


Figura 4.3.10. Sezione Ovest-Est della caldera flegrea che schematizza i risultati ottenuti dalla tomografia attenuativa e da altri risultati di inversione di velocità ed altre interpretazioni della struttura geologica flegrea (da De Siena et. al., 2010).

4.4 SISTEMA MAGMATICO

I Campi Flegrei sono stati oggetto nell'ultimo decennio di numerosi studi geochimici, petrologici, mineralogici, studi sulle inclusioni vetrose all'interno dei minerali (Fig. 4.5.3), studi di petrologia sperimentale, e applicazioni di modelli fisici, che nell'insieme concorrono a definire un quadro del sistema magmatico che ha operato nel corso delle eruzioni passate (Orsi et al., 1995, 1996; de Vita et al., 1999; Di Vito et al., 1999; D'Antonio et al., 1999, 2007; Pappalardo et al., 1999, 2008; Signorelli et al., 1999, 2001; De Vivo et al., 2001; Pappalardo et al., 2002; Deino et al., 2004; Fulignati et al., 2004; Orsi, 2004; Papale, 2004; Piochi et al., 2004; Tonarini et al., 2004, 2009; Roach, 2005; Bohrsen et al., 2006; Marianelli et al., 2006; Mastrolorenzo e Pappalardo, 2006; Cannatelli et al., 2007; Fowler et al., 2007; Papale e Civetta, 2007; Fabbrizio e Carroll, 2008; Mangiacapra et al., 2008; Pabst et al., 2008; Pappalardo et al., 2008; Arienzo et al., 2009, 2010; Civetta e Del Pezzo, 2010; Pappalardo e Mastrolorenzo, 2012).

La visione d'insieme mostra un reservoir di grandi dimensioni a circa 7-9 km di profondità, che corrisponde assai bene a quello messo in evidenza dalla tomografia sismica (capitolo 4.3), dove risiedono magmi a composizione variabile da shoshonite a trachite, e numerosi reservoirs di più piccole dimensioni messi in posto a profondità variabili fino a meno di 2 km, dove magmi più profondi periodicamente giungono mescolandosi col magma residente e in via di differenziazione. I dati suggeriscono che processi di mixing tra magmi composizionalmente diversi siano continuamente avvenuti a varie profondità nel corso della storia magmatica dei Campi Flegrei, e che in numerose occasioni l'arrivo di magma profondo in una camera magmatica abbia preceduto anche di pochi giorni il verificarsi di una eruzione. In tale visione, la magnitudo dell'eruzione non necessariamente riflette il volume della camera magmatica più superficiale, in quanto più reservoirs a diversa profondità possono

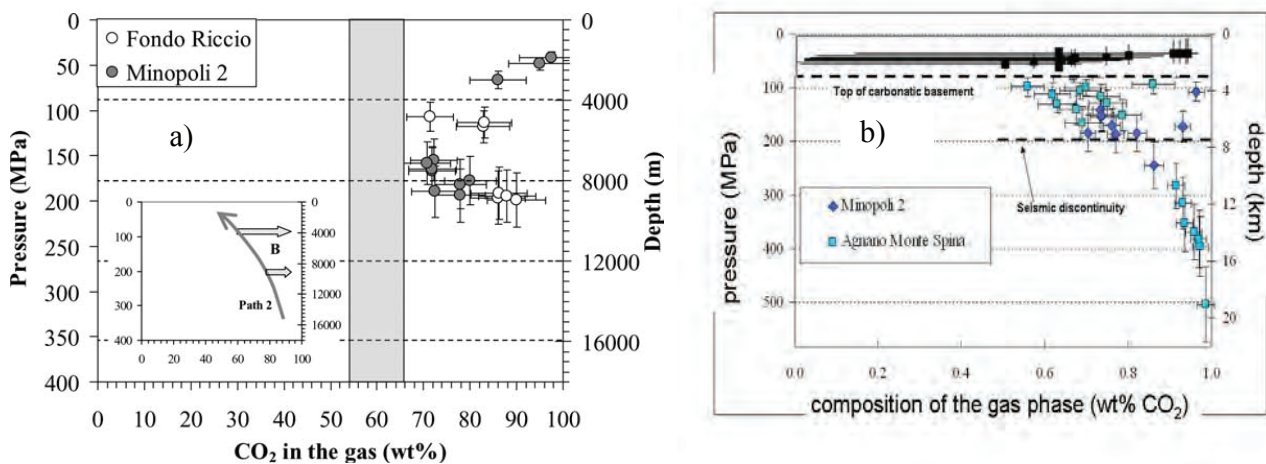


Fig. 4.4.1. Condizioni di intrappolamento delle inclusioni vetrose in cristalli delle eruzioni di (a) Fondo Riccio e Minopoli2, e b) Agnano Monte Spina, come dedotte dagli equilibri liquido-gas (da Mangiacapra et al., 2008; Papale e Civetta, 2007; Arienzo et al., 2010). Nel pannello b), i simboli neri corrispondenti a profondità minore di 4 km si riferiscono a inclusioni vetrose per le quali il contenuto in CO₂ è al di sotto del limite di detezione (ca. 40 ppm), il che si riflette in un'ampia incertezza sulla componente della fase gas, lasciando tuttavia l'incertezza sulla pressione di intrappolamento a valori contenuti e suggerendo profondità di cristallizzazione e stazionamento dei magmi fino a soli 2 km o meno.

essere interessati. Questo sembra essere avvenuto, ad esempio, per l'eruzione di Agnano Monte Spina, la maggiore dell'ultima epoca di attività per intensità e magnitudo. Nel caso di tale eruzione le ricostruzioni petrologiche mostrano una camera magmatica superficiale (2-3 km di profondità), di piccole dimensioni e ospitante magma di composizione fonolitica, invasa probabilmente 1-2 giorni prima dell'eruzione da magma di composizione trachitica e di provenienza più profonda, che non si rinviene come componente a sé stante nei prodotti eruttati, ma si riconosce piuttosto sulla base dei disequilibri liquido-cristalli come rivelati attraverso procedure di petrologia sperimentale (Roach and Rutherford, 2004; Roach, 2005).

Le conoscenze acquisite attraverso lo studio delle inclusioni vetrose suggeriscono che l'anidride carbonica sia la specie gassosa dominante (Fig. 4.4.1), e che a causa della sua bassa solubilità in fusi silicatici, una fase gassosa sia presente, in proporzioni che diminuiscono con la profondità, nell'intero sistema magmatico. È notevole il fatto che la composizione della fase gas coesistente con magmi tra 4 e 8 km di profondità come dedotta dall'applicazione di modelli fisici di equilibrio liquido-gas ai dati delle inclusioni vetrose (Fig. 4.5.3) e da esperimenti sugli equilibri liquido-cristalli (Roach and Rutherford, 2004; Roach, 2005) mostri un'ottima corrispondenza con la composizione della componente magmatica nei gas delle fumarole come dedotta dagli studi sui rapporti isotopici (Chiodini et al., 2010).

4.5 IL SISTEMA IDROTERMALE DEI CAMPI FLEGREI

L'area occupata dalla caldera dei Campi Flegrei, comprendente sia la parte emersa sia quella sommersa situata nel Golfo di Pozzuoli, è caratterizzata dalla presenza di numerose manifestazioni idrotermali, da cui il nome assegnato dai latini (Corrado et al. 1998). L'estensione delle manifestazioni investe la parte interna della struttura con un picco massimo (numero e intensità dei fenomeni) collocato nelle aree limitrofe rispetto alla città di Pozzuoli (centro della caldera). Procedendo verso le aree periferiche le manifestazioni termali si attenuano in numero e in intensità fino a scomparire completamente fuori dalla struttura stessa.

Dati quantitativi prodotti dall'attività di monitoraggio, raccolti nel corso degli anni da ricercatori dell'Osservatorio Vesuviano, indicano che nell'area termale della Solfatara-Pisciarelli (Fig. 4.5.1) si verifica un flusso termico medio di 100 MW e un flusso medio di CO₂ dell'ordine di 1500 tonnellate al giorno (Chiodini et al., 2001). Valori molto elevati di rilascio di calore e di gas sono stati riscontrati da parte degli stessi ricercatori nelle sorgenti termali poste a mare pochi chilometri a ovest di Pozzuoli. Complessivamente i valori di flusso termico e di quantità di fluidi emessi sono molto elevati, simili a quelli di aree vulcaniche comunemente ritenute caratterizzate da forti emissioni gassose come ad esempio il sistema vulcanico della Fossa (Isola di Vulcano).



Figura 4.5.1. Il cratere della Solfatara (a sinistra), sede di intense manifestazioni di degassamento (fumarole), e la manifestazione fumarolica di Pisciarelli (a destra).

La presenza di un'importante anomalia geotermale nel sottosuolo flegreo risulta d'altra parte confermata dai numerosi sondaggi profondi eseguiti sia dalla società SAFEN negli anni '50 (Penta, 1954), sia da quelli eseguiti dalla Joint Venture Agip-Enel negli anni '80 (Rosi e Sbrana, 1987). La presenza di temperature elevate è stata riscontrata nel sottosuolo delle aree di Mofete, nella Piana di S. Vito e anche all'interno della Conca di Agnano. Le temperature più elevate in assoluto sono state misurate nel sondaggio S. Vito 1 perforato 2 km a nord della Città di Pozzuoli. A fondo pozzo (-3046 m sotto il piano campagna) furono misurate temperature minime di 420°C, temperatura di fusione dello stagno. A profondità di poco inferiori (2700 metri) nella zona di Mofete sono state riscontrate temperature di oltre 350°C.

La presenza di un'importante anomalia geotermale costituisce una caratteristica comune alle strutture calderiche giovani. Tale caratteristica è interpretata come prodotta dal rilascio di calore e di fluidi da corpi magmatici (camere magmatiche) posti a livelli superficiali. In effetti i gradienti geotermici riscontrati portano a ipotizzare, per estrapolazione lineare del gradiente misurato nei sondaggi, temperature magmatiche a profondità di 4-5 chilometri. Una tale profondità si accorda bene con la massima profondità di accadimento dei terremoti avvenuti durante le recenti crisi di

sollevamento, ove si attesterebbe, secondo i sismologi, la transizione fragile/duttile delle rocce prodotta dall'incremento della temperatura.

L'esistenza di un alto gradiente geotermale abbinato alla presenza di fluidi, promuove lo sviluppo di fenomeni di alterazione delle rocce che formano il sottosuolo della caldera con fenomeni di dissoluzione/precipitazione, e formazione di minerali secondari di tipo idrotermale e termo-metamorfico. Alle trasformazioni mineralogiche sono associate modifiche delle proprietà fisiche delle rocce. Le perforazioni della Joint Venture Agip-Enel hanno inequivocabilmente mostrato l'effettivo manifestarsi di questi fenomeni, ovvero la presenza di una zoneografia di minerali idrotermali che segue, principalmente, la distribuzione delle isoterme. La zoneografia idrotermale dei minerali è accompagnata da gradi diversi di trasformazione delle rocce con incremento con la profondità della densità media dei corpi rocciosi e un progressivo passaggio da una permeabilità per porosità dei tufi a una permeabilità per fratturazione (Rosi e Sbrana, 1987, De Vivo et al., 1989, Barberi et al. 1991).

In sintesi possiamo quindi visualizzare la struttura fisica degli ammassi rocciosi del sottosuolo flegreo come una successione dal basso verso l'altro che prevede:

- a) Una zona profonda a temperatura molto elevata posta a contatto con un sistema magmatico e avente un comportamento duttile;
- b) Una zona fragile di rocce dense formata da rocce vulcaniche (tufi e lave) fortemente trasformate dall'azione idrotermale;
- c) Una zona superficiale costituita in larga prevalenza da tufi vulcanici porosi a bassa densità, debolmente alterati dall'azione idrotermale e avente un comportamento da mediamente a debolmente fragile.

4.6 LA STORIA ERUTTIVA DEI CAMPI FLEGREI

La storia eruttiva dei Campi Flegrei ha iniziato ad essere studiata in modo sistematico a partire dagli anni '70, quando le tecniche stratigrafiche di correlazione tra strati di ceneri vulcaniche (tefro-stratigrafia) hanno cominciato ad essere applicate in modo sistematico (Lirer e Gargiulo, 1968; Delibrias et al., 1979; Rosi et al., 1983). Grazie all'impiego di queste metodologie è stato possibile censire i principali eventi esplosivi verificatisi negli ultimi 40.000 anni. Il riconoscimento dei principali eventi è stato affiancato da datazioni radiometriche ^{14}C eseguite su residui carboniosi intrappolati nei depositi vulcanici, e in modo subordinato su gusci di conchiglie contenute in sedimenti marini intercalati ai depositi vulcanici. La datazione dei principali strati, nonché lo studio delle relazioni tra gli strati vesuviani e flegrei, hanno permesso una prima stesura della storia eruttiva dei Campi Flegrei grazie alla quale è stato possibile operare un censimento dei principali episodi eruttivi (Rosi et al., 1987).

Nei decenni successivi agli anni '80 gli studi di tefro-stratigrafia sono stati ulteriormente approfonditi rivelando nuovi, importanti dati anche sugli eventi di scala minore (Di Vito et al., 1999; Isaia et al., 2004; Perrotta et al., 2010). A partire dagli anni 2000 le tecniche impiegate per la ricostruzione della storia vulcanica hanno visto accresciuta la loro precisione e accuratezza grazie alla messa a punto e affinamento della tecnica di datazione radiometrica $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$. Questa tecnica ha trovato felice applicazione alla datazione delle rocce eruttive dei Campi Flegrei grazie alla presenza di minerali di potassio come la biotite e il sanidino. L'applicazione della tecnica $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ alla datazione di età di poche migliaia di anni delle rocce flegree costituisce una frontiera della ricerca nel campo delle datazioni radiometriche, e alcuni dei risultati pubblicati, o in fase di pubblicazione, sono in qualche misura da considerare con prudenza. Negli ultimi dieci anni sono state pubblicate decine di nuove datazioni $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ sia appartenenti a eventi già datati sia a eventi eruttivi la cui età era fino a quel momento ignota (Insinga et al., 2006; Fedele et al., 2011; Isaia et al., 2012). Attualmente l'elevato

numero di datazioni ^{14}C e $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ consente di disporre di due cronologie parallele che mostrano tra loro ottime congruenze ma anche qualche significativa differenza.

Assai importanti ai fini del raffinamento dell'età delle eruzioni sono gli studi combinati di archeologi e vulcanologi. Il ritrovamento, nel corso dell'ultimo decennio, di numerosi siti archeologici ricoperti da ceneri vulcaniche nell'area flegrea e in quella circum-flegrea ha permesso di vincolare ulteriormente l'età di alcuni livelli di cenere e anche di seguire nel tempo le migrazioni delle popolazioni indotte dalle crisi vulcaniche, anche in relazione al loro perdurare nel tempo (Passariello et al., 2010a,b).

Un ultimo interessante filone di indagine in grado di dare contributi assai precisi alla cronologia delle eruzioni, è rappresentato dalle tecniche di studio di strati di ceneri deposte sul fondo di laghi. In taluni casi la presenza nei sedimenti di strati a ciclicità annuale (varve) permette di contare gli anni trascorsi tra due strati successivi di ceneri vulcaniche. Un'interessante applicazione di questo metodo ai sedimenti del lago di Monticchio nel Vulture, sembra rivelare (studi in corso) dati di particolare valore sulla durata delle pause eruttive tra eruzioni successive dei Campi Flegrei (R. Isaia, comunicazione personale).

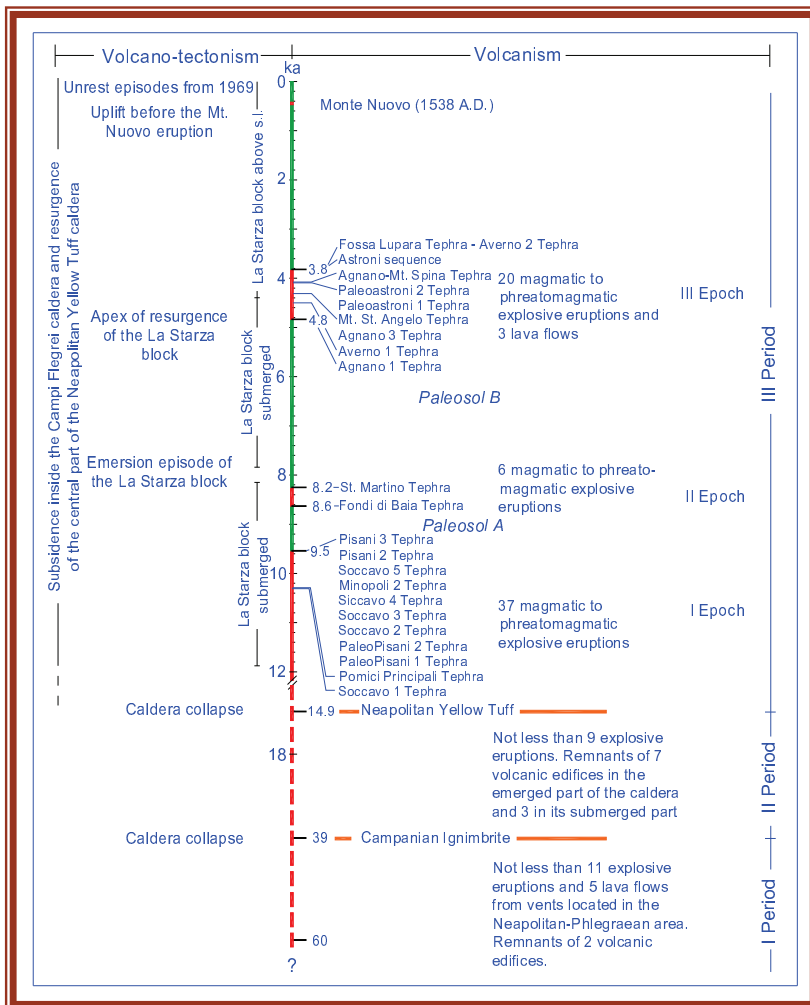


Figura 4.6.1. Distribuzione temporale delle eruzioni nel corso degli ultimi 60 ka ai Campi Flegrei. Da Orsi e collaboratori, inclusa come presentazione alla riunione finale del Progetto INGV-DPC 2004-2006 V3_2 Campi Flegrei.

4.6.1 Le epoche eruttive degli ultimi 15.000 anni

Complessivamente il quadro disponibile sulla storia eruttiva dell'area flegrea appare oggi soddisfacente per gli ultimi 5000 anni, relativamente buono per il periodo 5000-15000 anni fa. Per il periodo pre-15000 anni possiamo assumere che siano ben censiti gli eventi di grande scala mentre è probabilmente lacunosa la conoscenza degli eventi eruttivi di scala media e piccola. La documentazione per via geologica di eruzioni contemporanee da più bocche è robusta per almeno un caso (eruzioni di Averno e Solfatara). Altri casi potrebbero esistere ma il loro accertamento richiede studi di

dettaglio che al momento non sono disponibili.

Gli studi sopra descritti hanno mostrato che l'attività vulcanica dei Campi Flegrei si è manifestata attraverso una serie di eruzioni prevalentemente esplosive avvenute da bocche sparse all'interno della caldera. Un ulteriore concetto da tempo riconosciuto, le cui caratteristiche si sono progressivamente dettagliate nel tempo, è il fatto che l'attività vulcanica si è manifestata come insiemi di eruzioni che si

sono susseguite a ritmo piuttosto serrato. Secondo la più recente letteratura questi periodi di eruzioni ripetute sono definiti con il termine di “periodi” o, più recentemente, di “epoche” (Di Vito et al., 1999). Tra un’epoca e la successiva si verificano periodi di quiescenza vulcanica, della durata di diverse migliaia di anni, durante i quali i materiali vulcanici si alterano formando dei veri e propri suoli. Complessivamente la durata di ciascuna epoca si attesterebbe invece sull’ordine di vari secoli fino intorno al millennio.

La storia eruttiva degli ultimi 60 ka è segnata da due eruzioni di scala molto grande e di impatto cataclismico, l'eruzione dell'Ignimbrite Campana (39 ka) e quella del Tufo Giallo Napoletano (ca. 15 ka), che hanno prodotto volumi di magma (DRE: Dense Rock Equivalent, ovvero l'equivalente in volume per un magma non vescicolato) dell'ordine dei 200 e 50 km³, rispettivamente. E' probabile che entrambe queste eruzioni, ciascuna delle quali in grado di devastare il territorio su aree dell'ordine delle centinaia o migliaia di km², abbiano contribuito alla formazione della caldera dei Campi Flegrei (Rittmann, 1950; Rosi et al. 1996; Di Vito et al., 1999).

Ad oggi sono state identificate tre epoche principali nel corso degli ultimi 15000 anni seguenti l'eruzione del Tufo Giallo Napoletano (Fig. 4.6.1). Le bocche eruttive che si sono attivate per produrre le eruzioni che concorrono a formare ciascuna epoca sono situate principalmente nella zona centrale dei Campi Flegrei (area compresa tra il M. Gauro, il Piano di Quarto, la Collina dei Camaldoli, la Collina di Posillipo e la città di Pozzuoli).

Una seconda area di apertura di bocche eruttive si trova nella parte occidentale della caldera flegrea. In questo caso le bocche sembrano allinearsi lungo una direttrice che si sviluppa da Capo Miseno verso settentrione fino a oltrepassare il Lago d’Averno. Per quanto riguarda la tempistica di attivazione di queste bocche (tra le quali può essere fatto ricadere il Monte Nuovo, formatosi durante l’ultima eruzione dei Campi Flegrei nel 1538) non è chiaro se sussista un sincronismo con le bocche attive nella zona centrale della caldera. In un caso (l’eruzione di Averno) tale sincronismo c’è sicuramente stato. Viceversa, almeno in altri due casi, ovvero per le eruzioni di Monte Nuovo e di Baia-Fondi di Baia, l’attività non è stata accompagnata da omologa attività al centro della caldera. Per altre eruzioni più antiche avvenute in questa stessa zona il dato si mantiene al momento incerto. E’ da ricordare che non solo la zona occidentale appare, almeno in alcuni casi, avere avuto eruzioni non collegate temporalmente a eruzioni della zona centrale ma esiste anche una diversa impronta composizionale dei prodotti emessi.

Numerosi autori si sono trovati d’accordo nel ritenere che l’attività eruttiva verificatasi nel corso della terza epoca (4.8 - 3.8 ka) possa essere considerata maggiormente rappresentativa per la definizione di possibili scenari in caso di riattivazione dei Campi Flegrei (Orsi et al., 2009) (vd Capitolo 7.2). Secondo Orsi et al. (2009) nella terza epoca si sono verificate 24 eruzioni di cui 21 a carattere esplosivo e 3 effusivo, che per la maggior parte hanno emesso volumi di magma contenuti (Fig. 4.6.2). Per circa il 60% dei casi tale volume risulta minore o molto minore di 0.1 km³, e solo in un caso (4%), l'eruzione di Agnano Monte Spina, tale volume si avvicina a 1 km³. Nel complesso la distribuzione dei volumi segue una legge di potenza.

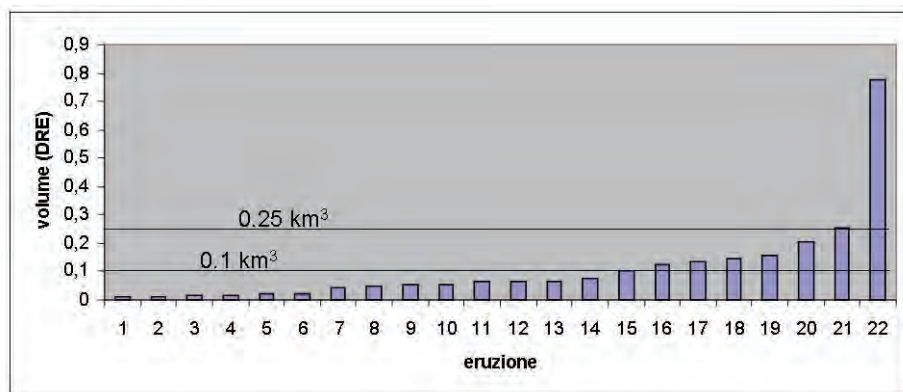


Figura 4.6.2. Distribuzione dei volumi emessi nel corso delle eruzioni della terza epoca di attività ai Campi Flegrei (dati da Orsi et al., 2009). Da notare che la figura si riferisce alle sole eruzioni di tipo esplosivo. L'ultima eruzione del Monte Nuovo (1538 AD) è inclusa (essendo questa tra quelle a minor volume in figura).

5. ATTIVITA' RECENTE E SISMICITA' DEI CAMPI FLEGREI

5.1 ATTIVITA' RECENTE

Dall'inizio degli anni Cinquanta i Campi Flegrei mostrano fenomenologie che non si manifestavano nei decenni e secoli precedenti, e che perdurano tuttora. L'attività è dominata da una serie di episodi deformativi, accompagnati da una sismicità che si manifesta, in prevalenza, sotto forma di sciame concentrati nel tempo, ed una variazione, sia in termini di flusso che di composizione, dei gas emessi dal suolo e dalle aree fumaroliche a ridosso della Solfatara.

Negli ultimi mesi del 2012 il sistema di monitoraggio dei Campi Flegrei gestito dall'INGV ha registrato ulteriori variazioni dei parametri relativi alla sismicità, alle deformazioni del suolo e alle caratteristiche fisico-chimiche delle fumarole. Su richiesta del Dipartimento della Protezione Civile, i ricercatori dell'INGV hanno presentato i dati rilevati e i documenti prodotti alla Commissione Grandi Rischi – Settore Rischio Vulcanico, affinché esprimesse le proprie valutazioni sullo stato del vulcano. La Commissione ha suggerito la necessità di innalzare il livello di allerta per i Campi Flegrei, passando dal livello “base”, che corrisponde all'attività ordinaria del vulcano, al livello di “attenzione”, determinato dalla variazione, rispetto all'ordinario, di alcuni dei parametri monitorati (sono quattro i livelli di allerta previsti per i Campi Flegrei dal piano preliminare adottato dal DPC nel 2001: ai primi due livelli, base e attenzione, seguono il livello di preallarme e il livello di allarme). Su tale base il Dipartimento della Protezione Civile ha quindi stabilito, d'intesa con la Regione Campania, il passaggio alla “fase di attenzione”, che determina il rafforzamento del sistema di monitoraggio del vulcano e l'attivazione di un raccordo informativo costante tra la comunità scientifica e le altre componenti e strutture operative del Servizio Nazionale della Protezione Civile. Tale passaggio è stato ufficializzato nelle settimane immediatamente precedenti la consegna definitiva di questo rapporto.

Il rilievo sistematico dei parametri quantitativi associati ai fenomeni osservati ai Campi Flegrei è iniziato in epoche diverse e, nel corso degli anni, con l'evoluzione delle reti strumentali installate e le tecnologie adottate per il rilevamento, le capacità di monitoraggio sono andate migliorando sia in termini quantitativi che qualitativi.

La variazione altimetrica del suolo è stato uno dei primi parametri controllati strumentalmente. Dopo un periodo di osservazioni risalenti agli inizi del 1800, con misure del livello del mare rispetto alle colonne del Serapeo (A. Niccolini, “Descrizione della gran terma puteolana” – Napoli 1846), con l'istituzione di una rete di livellazione di precisione, realizzata inizialmente dall'IGM nel 1905 collegando Napoli con Pozzuoli, è stato possibile ricostruire, con un dettaglio crescente nel tempo, le recenti fasi deformative che hanno caratterizzato i Campi Flegrei. A partire dagli anni '70, a seguito della crisi bradisismica all'epoca in atto, questa rete è stata integrata con nuovi capisaldi e con una rete mareografica, fornendo con quest'ultima anche una registrazione continua degli spostamenti verticali del suolo. In epoca più recente, alla fine degli anni 90, la realizzazione di una rete GPS ha consentito il rilievo sistematico e continuo del campo delle deformazioni sia verticali che orizzontali. Nello stesso periodo, sempre per il controllo delle deformazioni, sono stati anche installati alcuni clinometri automatici. A partire dal 1992 è stato possibile confrontare i dati deformativi rilevati al suolo con quelli ottenuti tramite Interferometria Satellitare (InSAR).

La rete sismica, piuttosto ridotta in concomitanza della crisi bradisismica del 1970, è stata progressivamente ampliata a partire dagli anni '80. Alla fine degli anni 90 la rete è stata progressivamente integrata anche da stazioni con acquisitori digitali e sismometri a larga banda, con un ampliamento della dinamica sia in ampiezza che in frequenza dei segnali rilevabili.

Infine il monitoraggio dei gas, iniziato negli anni '80 con campagne di misure, è stato potenziato solo in epoca successiva, dopo gli anni '90, installando anche sistemi automatici per il rilevamento dei flussi di CO₂.

I primi dati forniti della rete di livellazione mostrano che tra il 1905 ed il 1945 l'area dei Campi Flegrei è stata caratterizzata da un continuo abbassamento, pari circa ad un metro misurato al caposaldo di massima deformazione prossimo al Serapeo, quindi con un velocità media di circa -25 mm/anno. Da questi dati è stata anche evidenziata una inversione dell'andamento della deformazione tra il 1945 ed il 1953, con un valore di sollevamento relativo superiore a 0,5 m (Del Gaudio et al., 2010).

La crisi bradisismica avvenuta tra il 1968 ed il 1972 è stata caratterizzata da un sollevamento complessivo di circa 1,77 metri (livello di massima deformazione rilevata al caposaldo CS25 nel novembre 1972, rispetto ai valori del maggio 1968), con una velocità massima di sollevamento di +62 mm/mese rilevata nel maggio del 1970. L'attività sismica che ha accompagnato il sollevamento è stata caratterizzata da sciame di bassa magnitudo.

L'attività seguente la crisi è stata caratterizzata da un fenomeno di lenta subsidenza, con un abbassamento complessivo, rilevato dalla livellazione del gennaio 1982, di circa -21 cm rispetto al massimo sollevamento. La velocità massima di subsidenza rilevata è stata di -14 mm/mese. Durante tale periodo si è verificato un solo episodio di breve inversione della deformazione (dalle livellazioni di novembre 1976-maggio 1977), con un sollevamento relativo di circa 10 cm.

La successiva crisi bradisismica (1982-1985), inizialmente evidenziata dalla livellazione del gennaio 1982, ha raggiunto un sollevamento relativo massimo di 1,79 m nel gennaio 1985, per un totale di 3,34 m rispetto al 1968. La velocità massima rilevata è stata di +145 mm/mese, nell'ottobre del 1983. Il sollevamento è stato accompagnato da intensi sciame sismici, con due eventi di magnitudo 4.0. Quello del 4 ottobre 2003 è stato oggetto di un rilievo macrosismico con una intensità massima $I_0=VII$ a Pozzuoli (Marturano et al., 1988). Interpretazioni successive suggeriscono che il sollevamento dell'area flegrea sia stato dovuto alla messa in posto, ad una profondità tra 4 e 6 km, di un corpo magmatico di volume da centinaia (Bodnar et al., 2007) a decine (Trasatti et al., 2011) fino a pochi (Amoruso et al., 2007) milioni di metri cubi. Altre interpretazioni suggeriscono tuttavia un ruolo preponderante del sistema idrotermale, interessato da flussi di gas e calore provenienti da magma più profondo (p.es., Chiodini et al., 2003; Lima et al., 2009).

L'attività seguente è stata caratterizzata nuovamente da subsidenza, con un abbassamento complessivo al novembre 2004 di circa 94 cm rispetto al sollevamento massimo del 1985. La velocità massima di subsidenza è stata di -16 mm/mese. Durante tale periodo si sono verificati tre brevi episodi di sollevamento, nel 1989, nel 1994 e nel 2000, tutti inferiori ai 10 cm, accompagnati da sciame sismici di bassa magnitudo. L'andamento complessivo delle deformazioni dal 1905 è riportato in Fig. 5.1.1.

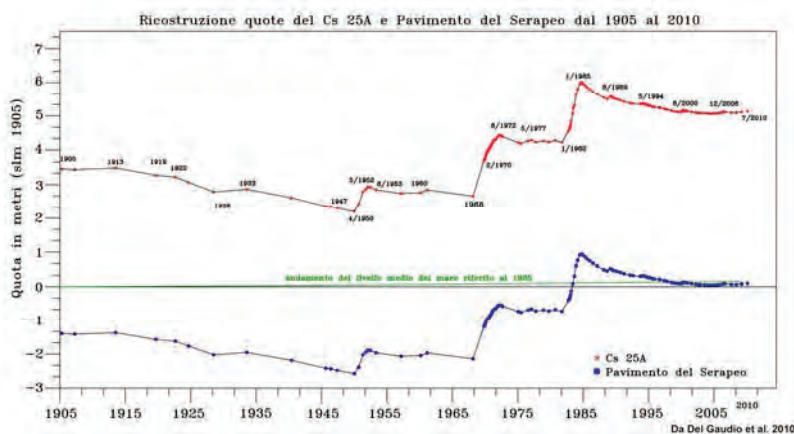


Figura 5.1.1. Andamento complessivo delle deformazioni verticali a partire dal 1905 (da Del Gaudio et al., 2010).

Dopo un breve periodo di stasi tra il 2004 e 2005, a partire dalla seconda metà del 2005 è iniziata una nuova fase di lento sollevamento, ancora in corso, con un incremento complessivo di circa 11 cm fino al maggio 2012 (Fig. 5.1.2), ed una velocità massima di sollevamento pari a +5 mm/mese nel settembre 2006. La sismicità manifestatasi nello stesso periodo, sempre di bassa energia ($M < 2.0$),

mostra una frequenza di accadimento bassa e maggiormente distribuita nel tempo rispetto a quanto rilevato negli anni precedenti (Fig. 5.1.3) .

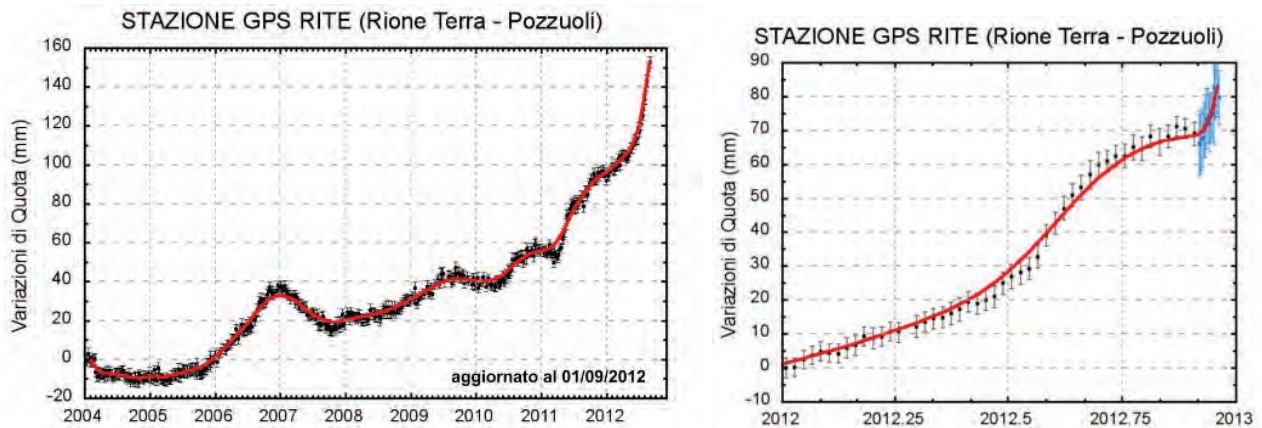


Figura 5.1.2. Deformazioni del suolo rilevate a partire dal 2000 tramite la rete GPS (componente verticale stazione RITE Rione Terra a Pozzuoli). Il pannello di destra riporta il dettaglio del 2012, comprensivo del periodo fino al 18 dicembre 2012 (punti con barra di errore più ampia, in azzurro, per i quali alla data di redazione del presente rapporto non sono ancora disponibili dati ricalcolati con maggiore precisione). (da: Bollettini di Sorveglianza Campi Flegrei INGV-OV, da settembre a dicembre 2012).

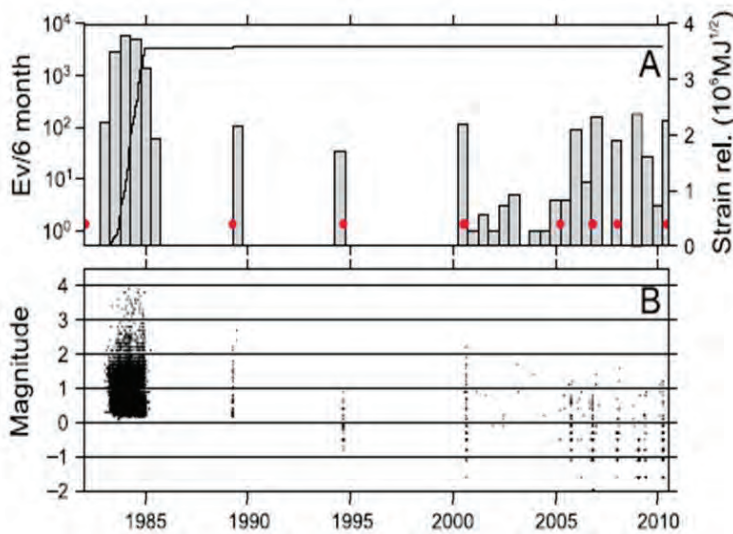


Figura 5.1.3. Sismicità a partire dal 1980. A) Frequenza di accadimento e rilascio di strain (scala log)- B) Distribuzione delle Magnitudo nel tempo. (da: Bollettini di Sorveglianza Campi Flegrei INGV-OV, anno 2010).

componente magmatica delle emissioni gassose, evidenziata dal rapporto CO_2/H_2O , ha avuto picchi che hanno sistematicamente seguito gli eventi bradisismici e che sono stati interpretati, simulandoli numericamente, come la manifestazione superficiale di immissioni di gas magmatici nel sistema idrotermale che alimenta le fumarole (Fig. 5.1.4).

Dopo il 2000 questi rilievi geochimici mostrano un cambiamento nell'andamento osservato in precedenza. Infatti dopo l'ultimo episodio di temporanea inversione del bradisismo del 2000, all'epoca ancora in fase discendente, la frazione di fluidi magmatici delle fumarole della Solfatara ha iniziato un lento processo di crescita, tuttora in corso. Tale andamento ha anticipato l'altrettanto lento processo di sollevamento, già descritto, iniziato nel 2005 e divenuto sistematico dal 2008 in poi (Fig. 5.1.2). Sempre dal 2000, l'andamento del degassamento diffuso della CO_2 dal suolo, rilevato con campagne periodiche in un'area che comprende la Solfatara, mostra una progressiva estensione spaziale, interessando maggiormente alcuni settori esterni alla Solfatara, tra cui l'area di Pisciarelli (Fig. 5.1.5),

dove è stato rilevato, a partire dal 2006, un incremento della temperatura e dei flussi delle emissioni fumaroliche.

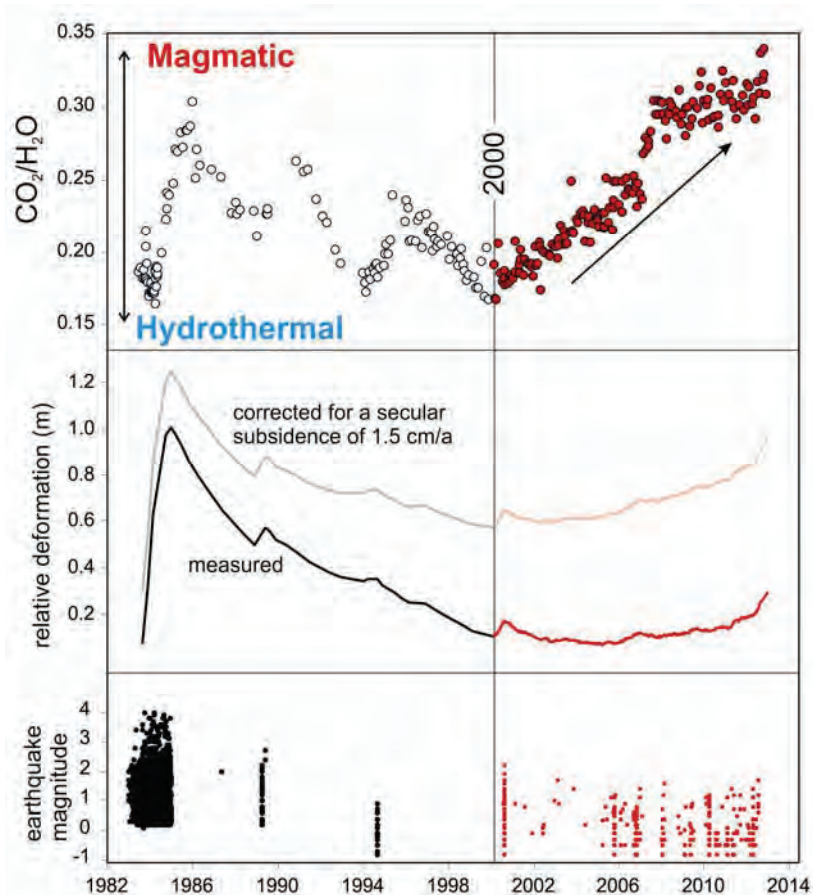


Figura 5.1.4. Andamento della composizione chimica delle fumarole, della deformazione, e della sismicità (Chiodini et al. 2012, ridisegnato).

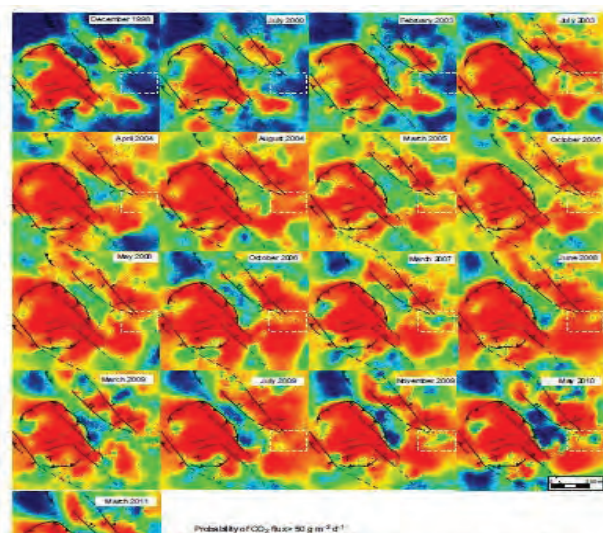


Figura 5.1.5. Variazioni nel tempo del degassamento diffuso della CO₂ dai suoli nell'area che circonda la Solfatara. (da Chiodini et al., 2010).

La fenomenologia in corso è stata recentemente interpretata come dovuta, almeno in parte, a ripetuti episodi di iniezione di fluidi magmatici nel sistema idrotermale con frequenza che aumenta nel tempo. Questo avrebbe prodotto anche un significativo aumento della pressione delle parti più superficiali del sistema, con i conseguenti fenomeni sismici e deformativi osservati. Alcuni risultati delle simulazioni numeriche del processo di degassamento (Fig. 5.1.6) indicano che ogni evento è causato da una quantità di fluidi pari a quelli coinvolti in eruzioni di media-bassa taglia, e che le quantità di fluidi magmatici iniettati nel sistema

idrotermale, dopo un primo periodo di diminuzione che ha caratterizzato gli anni successivi alla crisi del 1982-1984 fino al 2000, sta aumentando (Chiodini et al., 2012).

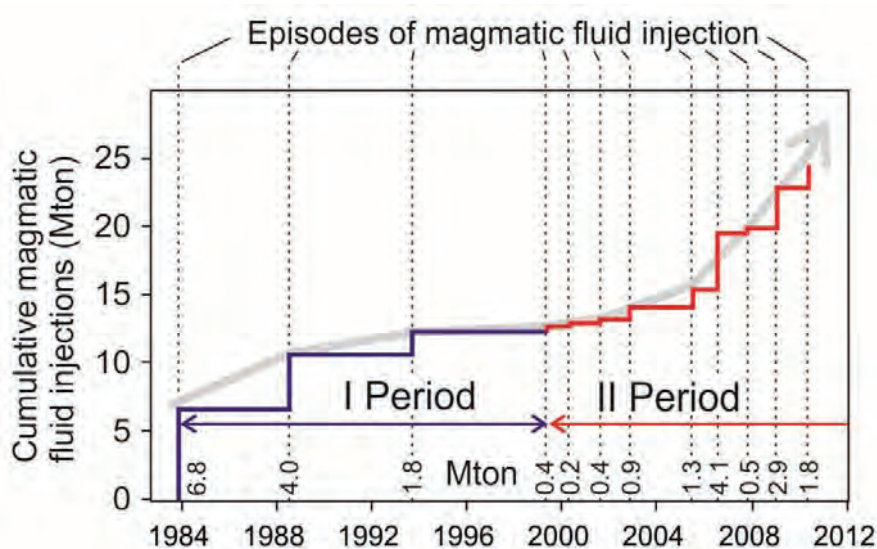


Figura 5.1.6. Risultati delle simulazioni degli eventi di iniezione di fluidi magmatici nel sistema dei Campi Flegrei. La curva cumulativa delle quantità di fluidi magmatici iniettati nel sistema mostra 2 periodi, il primo terminato nel 2000 ed il secondo, tuttora in corso, caratterizzato dall'aumento nelle quantità di fluidi magmatici coinvolti nel processo (rielaborato da Chiodini et al., 2012).

L'inversione dei dati deformativi ottenuti sia a terra che dalla interferometria satellitare InSAR ha consentito, nel periodo 2000-2006, l'individuazione di una sorgente delle deformazioni estesa e variabile nel tempo, in grado di giustificare le osservazioni realizzate. Per il periodo analizzato sono state distinte almeno due sorgenti localizzate a diversa profondità. Una più superficiale, che risulta attivata in un secondo tempo rispetto all'inizio agli episodi di sollevamento rilevati, ed una più profonda, più immediata ed associabile alla parte del sistema geotermico profondo, che si espande nella fase iniziale del sollevamento, verosimilmente in risposta ad un input di massa e/o calore dalla sorgente magmatica sottostante. Una interpretazione (D'Auria et al., 2011) suggerisce che la migrazione verso la sorgente più superficiale, che si attiva espandendosi, avviene solo quando la pressione dei fluidi della sorgente profonda eccede una determinata soglia. In questa fase di trasferimento si genererebbero alcuni particolari fenomeni rilevati, come alcuni eventi sismici di tipo LP, associabili a una migrazione di fluidi in fratture, e la microsismicità superficiale, quest'ultima associabile alla graduale diffusione dei fluidi nelle rocce circostanti che abbasserebbe la resistenza di un sistema di fratture pervasivo. Infine i fluidi, raggiungendo la superficie, darebbero origine alle variazioni geochimiche rilevate e ad alcuni fenomeni macroscopici osservati, quale il notevole incremento dell'attività fumarolica nell'area di Pisciarelli, manifestatosi a partire dal 2006 (Fig. 5.1.7).

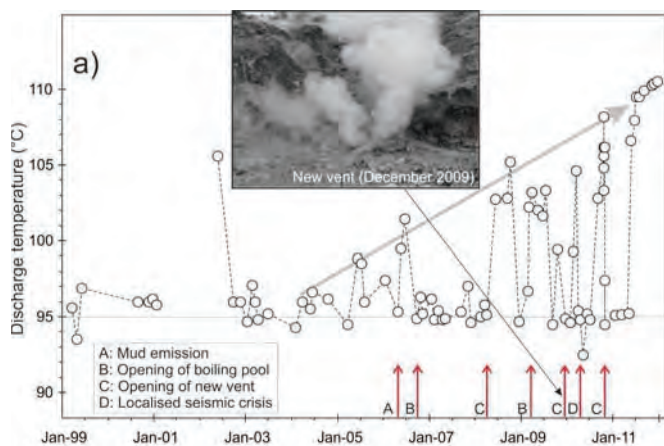


Figura 5.1.7. Cronogramma delle temperature della fumarola di Pisciarelli, e dei maggiori eventi in relazione all'aumento dell'attività idrotermale. La temperatura di 95 °C rappresenta la temperatura di ebollizione per i fluidi fumarolici di Pisciarelli. Nella foto è riportata la nuova vigorosa fumarola sorta il 20 dicembre 2009 (dal Rapporto di Sorveglianza Campi Flegrei INGV-OV 2011).

5.2 SISMICITA' DEI CAMPI FLEGREI

In epoca storica e in tempi recenti l'area flegrea è stata più volte interessata da fenomeni sismici significativi che hanno generato danni agli edifici e vittime tra la popolazione. Questi eventi, nella maggioranza, sono avvenuti in concomitanza di evidenti fenomeni di deformazione del suolo. Di seguito sono riportate, in primo luogo, sintetiche informazioni sulla sismicità storica, ossia relative a terremoti del passato avvertiti dalla popolazione e agli effetti da essi prodotti riportati dalle cronache del tempo, con una documentazione essenzialmente concentrata nel periodo 1468 - 1582 che precede e segue l'eruzione del Monte Nuovo. Sono, poi, riportate informazioni sulla sismicità più recente, ricavate dalle osservazioni strumentali che iniziano a partire dal 1970, in occasione della prima crisi di bradisismo che ha comportato l'evacuazione di parte dell'abitato di Pozzuoli. Da allora in poi la rete sismica dei Campi Flegrei ha visto un costante sviluppo anche in relazione ai fenomeni bradisismici più recenti.

5.2.1 Sismicità Storica

I fenomeni sismici macroscopici riportati dalle cronache passate e la distribuzione dei danni da essi prodotti vanno valutati sulla base del livello di urbanizzazione che caratterizzava il territorio all'epoca degli eventi. Per il periodo di maggiore attività sismica storica, la concentrazione delle abitazioni era localizzata nel "Rione Terra" di Pozzuoli, il cui nucleo originario è stato fondato circa 530 anni A.C., e, fuori dall'area flegrea propriamente detta, nel "Centro Storico" di Napoli, quest'ultimo posto ad una distanza di circa 12 km dal primo.

Le cronache si hanno a partire dal VIII secolo e nel XI-XII. In questo ultimo periodo è segnalato il manifestarsi di un'attività sismica nell'area, messa in relazione con l'attività freatica della Solfatara del 1198 (Scipione Mazzella, 1591). Studi recenti (Guidoboni e Ciuccarelli, 2011) considerano un errore la datazione di questi fenomeni sismici, riferendosi in realtà al 1498, quando si ebbero diversi terremoti, tutti associati alle fasi pre-eruttive del M. Nuovo.

Dalla ricostruzione dei fenomeni che hanno preceduto l'eruzione del Monte Nuovo (Fig. 5.2.1) è possibile risalire già nel 1468 ad un'attività sismica significativa, associata ad un incremento dell'attività fumarolica della Solfatara (Guidoboni e Ciuccarelli, 2011). In questo periodo le cronache riportano uno degli eventi sismici maggiori dell'area (1488, Io=VIII), considerato però un falso evento da Boschi et al. (1997) e da Guidoboni et al., (2007).

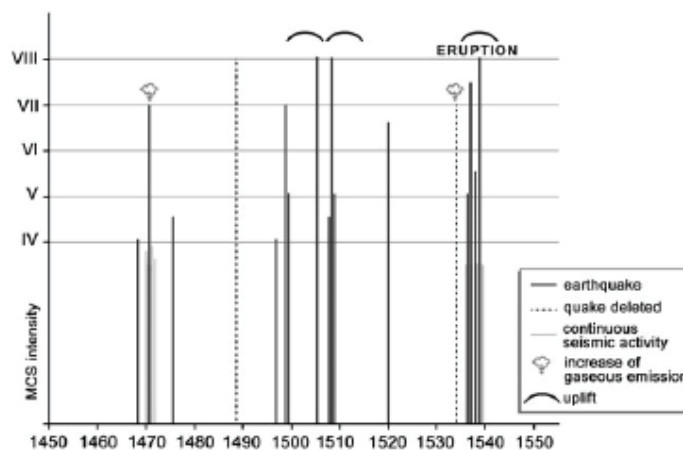


Figura 5.2.1. Ricostruzione dei fenomeni sismici che hanno preceduto l'eruzione di Monte Nuovo del 1538 (da Guidoboni e Ciuccarelli, 2011)

Già nel 1503, durante la fase di sollevamento che precedette l'eruzione di Monte Nuovo, gli abitanti della "Rocca" di Pozzuoli (attuale Rione Terra) chiesero fondi a Ferdinando II d'Aragona per costruire le loro case in luoghi più sicuri, essendo danneggiate dai terremoti. In risposta a questa richiesta si costruì sulle terre emerse nell'area della "marina".

La fase finale pre-eruttiva dell'eruzione del 1538, che possiamo considerare quella dei precursori "a breve termine", inizia nel 1536 con terremoti frequenti e ben avvertiti, con un crescendo in numero ed intensità nell'ultima settimana prima dell'eruzione (Pacca, 1561), durante la quale il mare si ritira di 200 passi, circa 370 metri (Francesco del Nero, 1538). L'ultimo giorno prima dell'eruzione la gente abbandona la zona per l'intensa attività sismica. Alla fine, le case di Pozzuoli sono in maggioranza "sconquassate" o seriamente danneggiate. La chiesa maggiore risulta semi-distrutta (Marchesino, 1538).

Nel 1540, a soli due anni dall'eruzione, la città si ripopola, anche con nuovi cittadini provenienti da Napoli, attratti dalla sospensione delle tasse decretata da Don Perdo da Toledo (Miccio, 1600). E' evidente che l'attività sismica avvertibile doveva essere terminata rapidamente dopo l'eruzione.

L'attività sismica riprende nel 1564 con terremoti avvertiti anche a Napoli, dove però non sono riportati danni alle abitazioni (Mercalli, 1891). Nel 1570, il 17 giugno, è riportato un terremoto che produce molti danneggiamenti ("rovinarono" gli edifici) a Pozzuoli, ancora con spavento ma senza danni a Napoli (Bonito, 1691). Tale periodo di attività, durante il quale l'andamento delle deformazioni del suolo è poco noto, si conclude nel 1582 con la descrizione di terremoti a Pozzuoli, con possibili distruzioni e morti, alcuni avvertiti anche a Napoli. Per l'evento maggiore è riportata un'intensità VIII MCS a Pozzuoli e V a Napoli (Guidoboni e Ciuccarelli, 2011). In questo caso alcuni documenti citano dei danni a Napoli, in particolare alle strutture sotterranee dell'acquedotto, ma senza morti (Costo, 1616; Danza 1632). E' anche ipotizzato in alcune cronache che danni ad alcune strutture a Napoli (Villa di Poggioreale; fontana del Formiello a Piazza Enrico de Nicola) verificatisi nello stesso anno, siano stati causati proprio da questo evento sismico.

Dopo gli eventi del XV-XVI secolo, è riportato un sisma nel 1832 (Baratta, 1901) che sembra abbia causato alcuni danni locali a Pozzuoli ("earthquake slightly felt in Pozzuoli and surrounding area; some damage occurred to farmhouses northeast of Campi Flegrei, in the district of Monte S. Angelo", da Dvorak- Gasparini, 1991), anche se l'intensità massima attribuita all'evento è del V grado MCS. All'epoca l'architetto Niccolini effettuava misure settimanali del livello marino sulle colonne del Serapeo (dal 1822 al 1838). Nel corso dell'1800 la subsidenza rilevata era, in media, di circa 14 mm/anno. Questo sembrerebbe l'unico caso di evento sismico significativo, in grado di danneggiare edifici, riportato in una fase accertata di assenza di sollevamento. Altri eventi sismici tra il 1908 ed il 1913 sono riportati da de Fiore (1917) come "avvertiti" (Dvorak e Gasparini, 1991)

In sintesi le informazioni ricavabili dalla sismicità storica indicano che:

- Terremoti locali, anche distruttivi, non solo per il livello di intensità ma anche per l'effetto cumulativo sulle abitazioni, si sono verificati nel corso di intensa attività deformativa, raggiungendo l' VIII grado MCS a Pozzuoli.
- Gli eventi sismici maggiori sono associati al periodo pre-eruttivo del 1538.
- Alcuni degli eventi maggiori sono stati avvertiti anche a Napoli, senza particolari danni segnalati, al massimo con "grande spavento". L'intensità raggiunta a Napoli è stata stimata non superiore al V-VI grado MCS.
- Dopo l'eruzione del Monte Nuovo si sono verificati, a partire dal 1564, una serie di eventi sismici culminati con quello del 1582, assimilabile agli eventi maggiori dell'area, con un grado pari all' VIII. Non è chiaro se abbia prodotto reali danni a Napoli e quale sia stato l'andamento del moto del suolo nell'area flegrea all'epoca.
- In fase di accertato abbassamento del suolo, è riportato un evento sismico isolato nel 1832, avvertito

a Pozzuoli, con qualche danno locale (V-VI grado MCS).

5.2.2 Sismicità Strumentale

A seguito della crisi bradisismica del 1970-1972, venne installata una rete sismica permanente di 3 stazioni (Pozzuoli, Lago d’Averno e Baia) che, a partire dal 15.6.1970, fu affiancata da una rete mobile di 8 stazioni del Geolab CNR-Milano, di cui tre collocate in siti stabili (Accademia Aeronautica, Anfiteatro Pozz. e Castello di Baia).

Furono registrate circa 2600 scosse nel periodo 28.2.1970-30.10.1970, tutte di bassa magnitudo (inferiori a 2.0), concentrate nella zona centrale di massimo sollevamento della caldera, con una distribuzione epicentrale a nuvola, ed in prossimità della costa Baia-Miseno, con un allungamento NW-SE.

Successivamente, nel corso della crisi bradisismica del 1982-1985 furono registrati circa 10.000 eventi sismici, concentrati nella zona centrale di massimo sollevamento (Fig. 5.2.2), sempre con distribuzione epicentrale simile a quella del 1970 nella parte centrale dei Campi Flegrei, e con allungamento NW-SE in prossimità della costa Baia-Miseno, solo in parte simile al 1970-1971, epoca in cui le localizzazioni risentivano di forte contaminazione per la presenza di frequenti eventi artificiali imputabili ad esplosioni a mare a causa di una intensa attività di pesca di frodo.

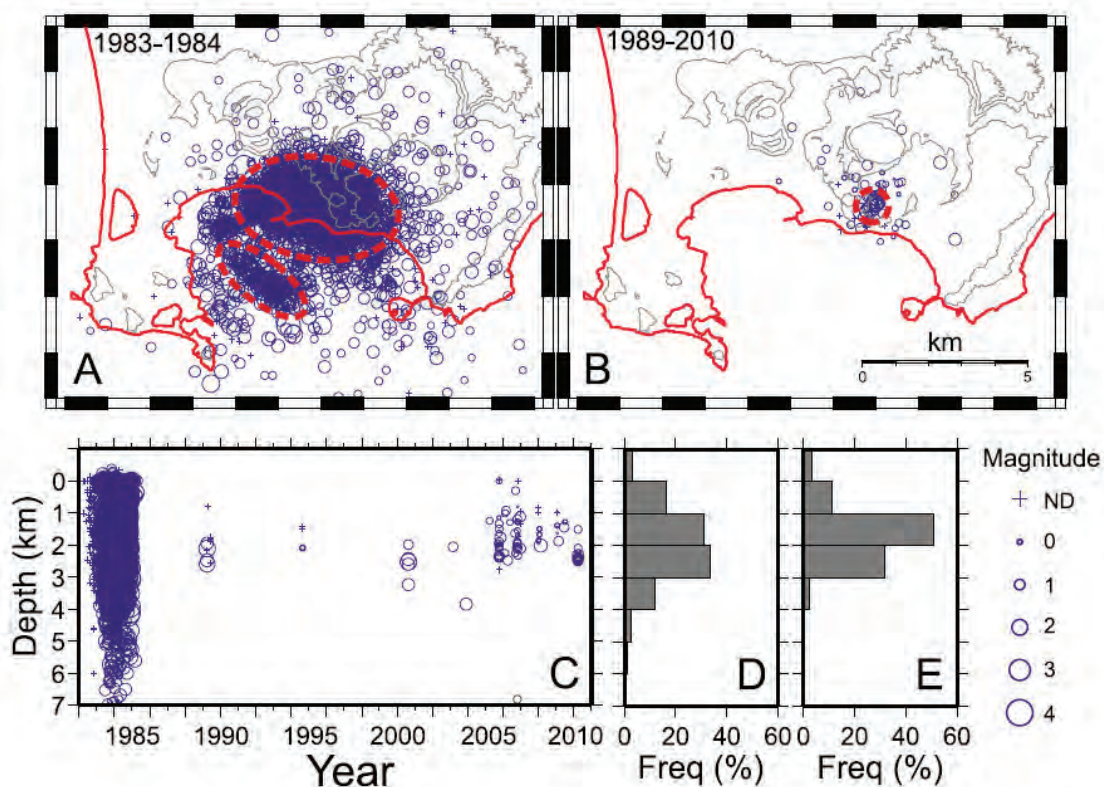


Figura 5.2.2. Distribuzione epicentrale e andamento delle profondità nel tempo della sismicità dal 1982 al 2010 (da D’Auria et al, 2011)

Nel corso del 1982-1985 furono registrati diversi eventi con magnitudo prossima a 4.0. Questi i maggiori:

- 4 Ottobre 1983 Md=4.0, il solo evento per il quale è stata realizzata una ricerca sulla distribuzione delle intensità tramite questionari distribuiti su una vasta area. L’ intensità massima, pari al VII grado MCS è stata rilevata in un’area molto ristretta a Pozzuoli (Fig. 5.2.3) . Al Centro di Napoli

è stato rilevato un V grado.

- 8 Dicembre 1984, con una magnitudo stimata pari a $M_d=4.2$ (comunicazione personale del dott. Giovanni Ricciardi, responsabile al tempo della rete di monitoraggio dell'Osservatorio Vesuviano).

Successivamente alla crisi bradisismica terminata nel 1985, nel 1989, 1994 e 2000, in concomitanza della temporanea inversione del generale andamento discendente del suolo, si sono verificati brevi sciami sismici, tutti di bassa magnitudo. Dopo il 2000 inizia ed è tuttora presente un'attività sismica di magnitudo molta bassa ($M_d < 2.0$) che, pur manifestandosi sotto forma di sequenze a sciami, è più diffusa nel corso del tempo rispetto al passato. In alcune sequenze sismiche registrate dal 2000 in poi sono stati evidenziati anche degli eventi sismici LP, localizzati in aree prossime alla Solfatara, la cui genesi è associabile alla presenza di fluidi del sistema idrotermale.

Anche se agli eventi sismici dell'area Flegrea sono assegnati i seguenti valori di Magnitudo Momento (M_w) : 1198 $M_w=5.17$, 1538 $M_w=5.37$, 1582 $M_w=5.37$, 1832 $M_w=4.83$ (vedi Convertito e Zollo, 2011), selezionati dal catalogo CPTI04 (Gruppo di Lavoro CPTI 2004), dal confronto dei dati strumentali con quelli storici si rileva che, considerando la valutazione di intensità massima VII MCS attribuita all'evento sismico del 3 Ottobre 1983 $M_d=4.0$, l'attività sismica storica, valutata di intensità massima pari a VIII, ha mostrato una magnitudo certamente non superiore a 5.0, molto verosimilmente prossima a 4.5. Inoltre, dal confronto con la distribuzione delle intensità tra Pozzuoli e Napoli "Centro Storico" del terremoto 3 Ottobre 1983 $M_d=4.0$, è da ritenere che tutti gli eventi storici di maggiore intensità abbiano interessato l'area centrale della caldera, che permane l'area di maggiore concentrazione della sismicità. Per questo è anche da escludere che il movimento di faglie maggiori, localizzabili per motivi strutturali lungo in bordi del collasso calderico, siano state le sorgenti degli eventi sismici di maggiore energia.

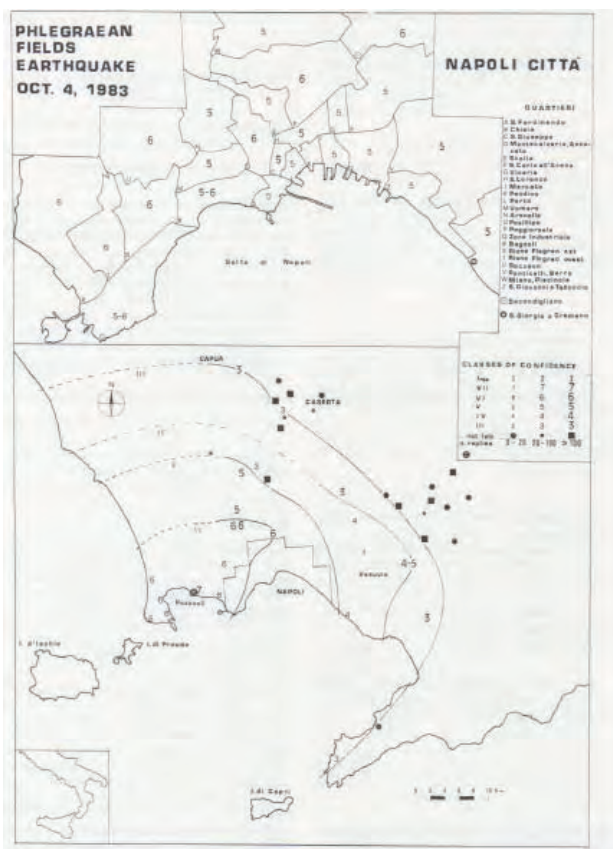


Figura 5.2.3. Distribuzione delle intensità del terremoto 3 Ottobre 1983 $M_d=4.0$ (da Branno et al, 1984).

6. SCENARI PRE-ERUTTIVI

I Campi Flegrei sono tra i vulcani più monitorati al mondo. I principali parametri monitorati possono essere raggruppati in:

- parametri sismici (numero degli eventi sismici e loro localizzazione epi- e ipocentrale, meccanismi di sorgente, forme d'onda e spettro di frequenze, etc.);
- parametri geodetici (livellazioni, tiltmetri, GPS, InSAR, variazioni gravimetriche attraverso survey periodici, etc.);
- parametri geochimici (temperatura, composizione, estensione, e stima dei flussi dei campi fumarolici della Solfatara e di Pisciarelli).

A queste misure si aggiungono ulteriori campagne periodiche durante le quali vengono effettuate misure di potenziali elettromagnetici, sebbene tali misure siano ad oggi troppo saltuarie per costituire un valido strumento di monitoraggio.

Per la gestione di una futura crisi vulcanica è necessario riconoscere prontamente i segnali anomali e relazionarli ai processi fisici in corso, nonché fornire rapide risposte a possibili eventi inattesi. A fronte di queste necessità, ciò che si ha a disposizione è: i) una conoscenza ampia ma incompleta delle fenomenologie vulcaniche, in special modo di quelle profonde relative alle fasi pre-eruttive; ii) una notevole varietà di interpretazioni delle fenomenologie osservate, in particolar modo in relazione al coinvolgimento o meno di magma come causa diretta di tali fenomenologie; iii) nessun dato di monitoraggio strumentale relativo a fasi pre-eruttive ai Campi Flegrei. Ne deriva che la valutazione dei fenomeni osservati nell'ottica di una possibile futura eruzione ai Campi Flegrei è necessariamente soggetta a significativa incertezza. Tale incertezza è ulteriormente accresciuta dal fatto stesso che i Campi Flegrei sono un sistema calderico. E' noto infatti che la valutazione delle fenomenologie osservate in sistemi calderici può essere assai più complessa che per i vulcani centrali. La letteratura internazionale mostra infatti che:

- i sistemi calderici possono mostrare dinamiche che quando osservate con la stessa intensità a vulcani centrali invariabilmente culminano in una eruzione; tuttavia, ciò spesso non avviene alle caldere;
- in contrasto, una eruzione calderica può seguire una fase caratterizzata da dinamiche di entità decisamente minore di altre precedentemente osservate e non seguite da alcuna eruzione (come appare essere stato il caso per l'eruzione della caldera di Rabaul, in Papua Nuova Guinea, nel 1994);
- un ulteriore elemento di grande incertezza è rappresentato dalla localizzazione della eventuale bocca eruttiva, che può manifestarsi in una caldera in aree distanti tra loro svariati chilometri, e può non rivelarsi dalle fenomenologie osservate fino a un tempo molto breve, anche poche ore, prima dell'eruzione. A queste incertezze si aggiunge la possibilità di eruzione simultanea da più bocche, fatto osservato nel caso della sopracitata eruzione di Rabaul, e documentato in almeno un caso nella storia passata dei Campi Flegrei.

Le ragioni di una tale complessità di comportamento per i sistemi calderici sono ancora largamente dibattute, sebbene debbano in qualche misura coinvolgere uno o più dei seguenti elementi:

- la topografia di una caldera è profondamente diversa da quella di uno strato vulcano (quali il Vesuvio, lo Stromboli, etc.) essendo sostanzialmente "negativa" invece che "positiva" (ovvero caratterizzata da una depressione più o meno riempita da depositi vulcanici successivi, in contrapposizione a un accumulo di prodotti vulcanici a formare una vera e propria montagna);
- la struttura del fondo calderico è solitamente caratterizzata dall'accumulo più o meno caotico di rocce vulcaniche spesso scarsamente coese, a vari gradi di porosità, e largamente

eterogenee dal punto di vista del comportamento meccanico, determinando una complessità di comportamento in risposta agli stress meccanici e termici derivanti dal sistema magmatico e/o da quello geotermale (vd punto successivo);

- la topografia depressa e la natura del sottosuolo favoriscono lo sviluppo di un'imponente circolazione geotermale all'interno delle caldere in generale e della caldera dei Campi Flegrei nello specifico. Le variazioni nello stato chimico-fisico del sistema geotermale, sia dovute all'azione di magmi profondi sia a fattori esterni (p. es. variazioni nell'entità delle precipitazioni) possono a loro volta causare dinamiche visibili in superficie, anche di grande entità;
- le caldere presentano sistemi di faglie dirette che ne bordano i confini, e che possono avere un ruolo importante sia nel determinare i pattern deformativi, sia nel delimitare la circolazione idrotermale;
- l'assetto strutturale dei sistemi calderici può in generale essere estremamente complesso, con presenza di aree soggette a sforzi compressivi (come l'area occidentale dei Campi Flegrei) ed altre a sforzi distensivi (area orientale), ed aree soggette invece a sforzi verticali che si manifestano nel fenomeno della risorgenza calderica (di cui un esempio, sebbene probabilmente caratterizzato da ulteriori complessità, è dato dal terrazzo della Starza prospiciente l'area della Solfatara).

In particolare, durante una crisi ai Campi Flegrei è critico, sebbene possa essere estremamente complesso, identificare i ruoli relativi del sistema magmatico e di quello idrotermale nel determinare le fenomenologie osservate. A titolo di esempio, esistono in letteratura un numero consistente di pubblicazioni che propongono un'origine sia principalmente magmatica, sia principalmente geotermale, per la crisi del 1982-84.

Durante una futura crisi ai Campi Flegrei la comunità scientifica reagirà anche attraverso una intensificazione delle attività di monitoraggio, sia in numero (installazione di ulteriori strumenti) che in frequenza (surveys più ravvicinati nel tempo). E' legittimo quindi attendersi una grande quantità di informazioni, che permetterà di descrivere in dettaglio l'evolvere della situazione in relazione alle fenomenologie osservate. Fermo restando che le valutazioni sono necessariamente demandate alle fasi durante le quali la crisi si manifesterà, l'insieme delle conoscenze suggerisce alcuni elementi come maggiormente critici per l'evolversi della crisi stessa. In particolare, sono rilevanti eventuali accelerazioni nelle quantità misurate, come ad esempio accelerazioni nel numero dei terremoti registrati e accelerazioni RSAM (Real-time Seismic Amplitude Measurement), quest'ultima particolarmente rilevante durante le fasi di intensa attività sismica quando distinguere diversi eventi in tempo reale può essere difficoltoso. L'eventuale presenza di gas acidi (HF, HCl, SO₂) nelle fumarole è un ulteriore elemento ritenuto di grande criticità. Infatti, tali componenti non sono normalmente presenti nei gas delle fumarole in quanto tamponati dal sistema geotermale. Il loro riconoscimento rappresenterebbe un elemento nuovo tale da suggerire un apporto di gas magmatici nel sistema geotermale sufficiente per superare le capacità di tamponamento di quest'ultimo, e che potrebbe correlarsi all'arrivo di importanti volumi di magma in regioni superficiali con conseguente rilascio di abbondanti gas magmatici. Variazioni importanti nella geometria della deformazione, e migrazioni nella localizzazione del massimo della deformazione, rappresenterebbero anch'essi elementi mai osservati nel corso degli ultimi decenni, e che potrebbero lasciar presupporre l'arrivo a basse profondità di masse di magma e una conseguente maggiore probabilità del verificarsi di una eruzione.

Va tenuto presente che se le fenomenologie attese in caso di evoluzione del sistema verso una nuova eruzione sono caratterizzate da incertezze, ancor più incerta è la loro evoluzione temporale. Il magma deve necessariamente aprirsi una strada verso la superficie per originare un'eruzione, producendo segnali associati alla fratturazione delle rocce, all'accumulo di pressione e al rilascio di gas a profondità

progressivamente minori, che ci si aspetta di riconoscere. Tuttavia, mentre ci si attende sequenze di segnali che perdurano più o meno a lungo nel tempo (ordine di mesi) prima di una futura eruzione, non si può escludere la possibilità che chiari segnali dell'imminenza dell'eruzione divengano tali solo immediatamente a ridosso dell'eruzione stessa. In altre parole, una nuova crisi simile a quella del 1982-84 (vedi capitolo 5) continuerebbe a lungo ad avere un esito incerto, potendo sia progressivamente scemare come avvenuto allora, sia evolvere rapidamente verso l'eruzione anche solo nel giro di pochissimi giorni o persino ore. Questo è quanto sembra essersi verificato nel caso dell'eruzione della caldera di Rabaul, in Papua Nuova Guinea, nel 1994. Tale eruzione venne preceduta, nel decennio precedente, da forti sciami sismici ed episodi di sollevamento del fondo calderico tali da indurre ripetuti episodi di evacuazione della popolazione, per il timore di una imminente eruzione che poi non si manifestò. Al contrario, il 18 settembre 1994 l'eruzione contemporanea da due centri all'interno della caldera distanti parecchi chilometri fu preceduta da intensi segnali che iniziarono a manifestarsi meno di un giorno prima dell'eruzione stessa (http://hvo.wr.usgs.gov/volcanowatch/1994/94_09_23.html). Le variazioni macroscopiche osservate ai Campi Flegrei prima dell'eruzione del 1538 che dette origine al Monte Nuovo sembrano suggerire un'evoluzione non dissimile: sebbene fenomeni di sollevamento del fondo calderico si susseguissero ormai da decenni, e da almeno uno-due mesi forti terremoti si susseguissero nell'area, un rapido sollevamento del suolo nell'area dell'attuale Monte Nuovo tale da far percepire alla popolazione che l'eruzione era ormai imminente si verificò solo alcune ore prima dell'eruzione stessa (Guidoboni e Ciuccarelli, 2011). Indicazioni di brevi tempi associati all'ultima risalita magmatica prima di una eruzione sono state riconosciute dallo studio dei prodotti di altre eruzioni ai Campi Flegrei, sulla base dei disequilibri liquido-cristalli che in alcuni casi suggeriscono tempi dell'ordine delle ore o decine di ore tra l'arrivo di nuovo magma in una camera magmatica superficiale, e l'eruzione stessa (Rutherford, 2004).

Con l'obiettivo di descrivere l'evoluzione del processo pre-eruttivo in termini quantitativi e cercando di considerare anche le incertezze in gioco, nell'ambito delle Convenzioni INGV-DPC 2004-06 e 2007-09, è stato sviluppato un albero degli eventi per le fasi pre-eruttive dei Campi Flegrei. La tematica è stata affrontata nel quadro di quello più generale costituito dal *decision making under uncertainty*, attraverso l'utilizzo della *expert opinion* (Kahneman, 1982; Cooke, 1991; G. Parmigiani, 2009; esempi dell'utilizzo di tecniche simili in campo vulcanologico sono costituiti da Marzocchi and Woo, 2007, 2009; Baxter et al., 2008a,b; Woo, 2008; Neri et al., 2008). Tale obiettivo è stato perseguito attraverso il metodo "Delphi", che consiste in una procedura d'indagine iterativa che si svolge attraverso più fasi di espressione e valutazione delle opinioni di un gruppo di esperti ed ha l'obiettivo di far convergere in un'unica espressione più completa e condivisa la varietà delle opinioni esistenti.

L'intera procedura, articolatasi nel corso di cinque anni, ha coinvolto oltre 30 ricercatori, includendo la maggior parte dei responsabili delle attività di sorveglianza e monitoraggio strumentale nonché degli esperti della storia vulcanica e del comportamento dei Campi Flegrei. L'albero degli eventi risultante (Selva et al., 2012) permette la stima della probabilità che i Campi Flegrei si trovino in uno stato anomalo (Nodo 1: "Unrest") rispetto a quello definito "normale" nel quadro delle dinamiche osservate nel corso degli ultimi decenni; che tale stato anomalo sia dovuto all'azione prevalente del magma rispetto a quella del sistema geotermale (Nodo 2: "Magmatic"); e che esso possa portare al verificarsi di una eruzione nell'arco di un mese (Nodo 3: "Eruption"). I parametri dell'albero degli eventi emersi come rilevanti, e che quindi assumono particolare importanza ai fini della valutazione dello stato del vulcano, sono riprodotti nella Tab. 6.1 seguente. Per ulteriori dettagli si rimanda a Selva et al. (2012).

Tabella 6.1. Parametri dell'albero degli eventi per le fasi pre-eruttive ai Campi Flegrei (da Selva et al., 2012).

Node 1: Unrest	Node 2: Magmatic	Node 3: Eruption
1) Number of VT ($M > 0.8$) 2) Number of LP / VLP / ULP 3) Uplift 4) Uplift rate 5) New fractures 6) Extension of degassing structures or increase in flux 7) Presence of acid gases (HF, HCl, SO ₂) 8) Temperature at fumarole "Pisciarelli"	1) Number of deep VT (> 3.5 km, $M > 0.8$) 2) Number of deep LP (> 2.0 km) 3) Number of VLP / ULP 4) Presence of tremor 5) Presence of deep tremor (> 3.5 km) 6) Uplift 7) New fractures 8) Macroscopic variation on the deformation pattern (tens of m) 9) Presence of acid gases (HF, HCl, SO ₂) 10) Variation of magmatic component in fumarolic fluids	1) Acceleration in number of seismic events 2) Acceleration in RSAM 3) Presence of tremor 4) Hypocenter dispersion (depth range) (10 th – 90 th percentiles) 5) Macroscopic variation on the deformation pattern (tens of m) 6) Migration of incremental maximum (m) 7) New fractures 8) Presence of acid gases (HF, HCl, SO ₂) 9) Phreatic activity

Appare particolarmente rilevante il fatto che sebbene i parametri in tabella rappresentino la sintesi delle opinioni di un'ampia comunità, essi mostrino in un'analisi a-posteriori una logica d'insieme. Infatti:

- la proporzione dei parametri di tipo booleano (caratterizzati da una soglia di tipo YES/NO) aumenta regolarmente dal nodo "Unrest" al nodo "Eruption". Questo è consistente sia con l'ovvia mancanza di dati strumentali relativi alle fasi immediatamente precedenti un'eruzione ai Campi Flegrei, sia con la visione secondo cui man o a mano che ci si avvicina all'eruzione le variazioni osservate divengono macroscopiche, ed è quindi la loro presenza o assenza ad essere determinante per le valutazioni;
- i parametri di tipo sismico, presenti in tutti i nodi dell'albero degli eventi, sono distribuiti in maniera tale da contribuire nel seguente modo: i) una fase di unrest è riconosciuta essenzialmente dal verificarsi di eventi (superiori a soglie definite), ii) il coinvolgimento attivo del magma in tali fasi di unrest può essere rivelato sia dalla profondità degli ipocentri che dalle forme d'onda associate, iii) l'evoluzione verso l'eruzione è associata ad un'accelerazione dell'attività;
- in generale per tutti i tipi di parametri, il verificarsi di una eruzione risulta associato ad una sostanziale accelerazione delle dinamiche associate.

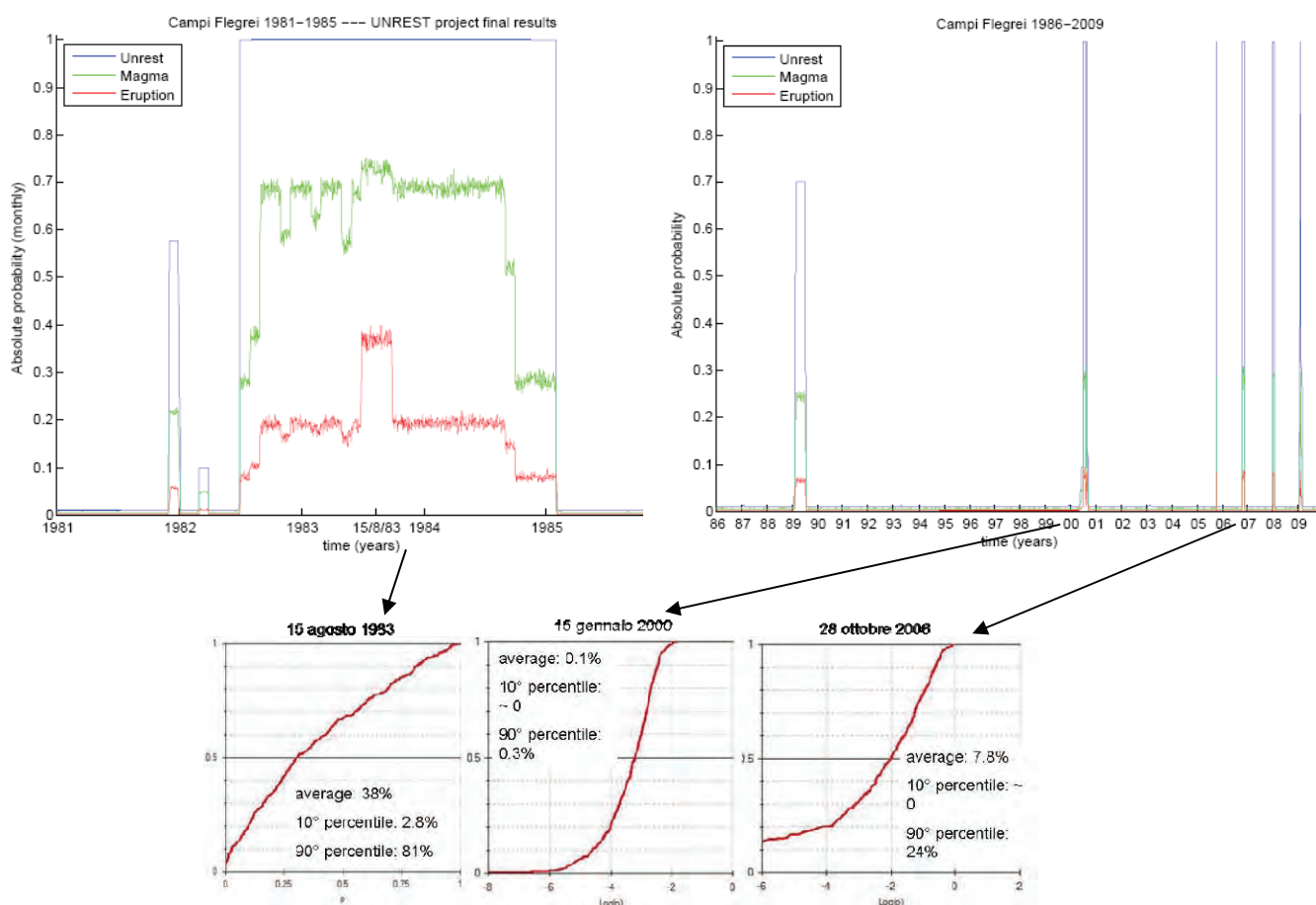


Figura 6.1. Applicazione retrospettiva dell'albero degli eventi (a) alla fase di unrest del 1982-84, e (b) alle fasi cosiddette di "mini-uplift" degli anni seguenti fino al 2009. I pannelli a) e b) riportano i valori medi della probabilità. La Fig. (c) indica, per alcuni giorni specifici indicati, la distribuzione cumulativa della probabilità (notare le diverse scale in ascissa, lineare nel primo caso, logaritmica negli altri due). Da Selva et al. (2012).

La Fig. 6.1 mostra un'applicazione retrospettiva dell'albero degli eventi alle osservazioni effettuate ai Campi Flegrei nel corso degli ultimi 30 anni circa. I periodi 1981-85 e 1986-2009 sono riportati in pannelli separati, mostrando per ciascun nodo dell'albero degli eventi il valore medio della probabilità. Con riferimento al periodo 1981-1985, l'albero riconosce come sicuramente "anomalo" l'intero periodo da circa metà 1982 fino all'inizio del 1985 (probabilità al nodo "Unrest" = 1), suggerendo una elevata probabilità del coinvolgimento attivo di magma nelle fenomenologie osservate (probabilità al nodo "Magmatic" che oscilla intorno a un valore medio di circa 0.7, o 70%), e massime probabilità del verificarsi di una eruzione fino a quasi 0.4 (o 40%) a cavallo dell'agosto 1983. Per ciascuna delle fasi cosiddette di "mini-uplift" nel periodo seguente fino al 2009, riportate nel pannello di destra, la probabilità del verificarsi di una eruzione, come stimata dall'albero degli eventi, è sempre rimasta inferiore al 10%.

L'incertezza di tali stime è rappresentata dalla loro distribuzione di probabilità. La distribuzione di probabilità relativa al nodo Eruption per tre date selezionate è riportata nei pannelli più piccoli. Tali date corrispondono rispettivamente ad un periodo di massima crisi (agosto 1983), ad una fase caratterizzata da valori di background (gennaio 2000), e ad un periodo cosiddetto di mini-uplift (ottobre 2006).

L'albero degli eventi sopra descritto può rappresentare un ulteriore strumento a disposizione della comunità scientifica a supporto del difficile processo di valutazione in tempo reale delle fenomenologie osservate. Tra gli elementi che lo rendono particolarmente utile vi sono i seguenti:

- le stime di probabilità e incertezza ottenute attraverso l'albero degli eventi sono quantitative, eliminando quindi le ambiguità legate a definizioni vaghe e soggettive come "bassa" o "alta" probabilità; tali ambiguità possono compromettere l'efficienza delle comunicazioni durante la crisi, con conseguenze negative sull'efficacia delle operazioni;
- una volta calibrato, le stime ottenute attraverso l'albero degli eventi sono riproducibili, favorendo quindi la trasparenza nelle procedure di valutazione;
- tali stime rappresentano lo stato delle conoscenze distillato da un'ampia comunità di esperti, introducendo quindi un positivo elemento di partecipazione e condivisione;
- l'utilizzo di un albero degli eventi precedentemente calibrato, come ulteriore strumento di valutazione durante la crisi vulcanica, minimizza i potenziali effetti negativi legati alla pressione da parte dei media, e più in generale della società, che sono potenzialmente in grado di alterare la serenità e l'oggettività delle valutazioni;
- sebbene l'albero degli eventi si riferisca a un orizzonte temporale di un mese al fine di produrre stime quanto più possibile stabili, tali stime variano in tempo reale in funzione delle osservazioni che vengono aggiunte, fornendo quindi un quadro dell'evoluzione del sistema su una scala dei tempi uguale a quella delle osservazioni.

Per contro, alcuni limiti nell'utilizzo sono i seguenti:

- le tecniche utilizzate sono ancora oggetto di ricerca e la stima dell'incertezza rimane comunque molto difficile;
- eventuali eventi inattesi, non contemplati cioè nell'albero degli eventi, potrebbero renderne l'utilizzo meno efficace; è utile comunque rimarcare che per come è strutturato, il fallimento dell'albero degli eventi sopra descritto richiede che una eruzione avvenga senza che nessuna delle anomalie in esso rappresentate si verifichi;
- per essere efficace, l'albero degli eventi dovrebbe comunque essere frequentemente aggiornato al fine di comprendere le conoscenze derivanti da nuove idee e nuovi risultati scientifici (che si riflettono nell'albero degli eventi attraverso il filtro esercitato dal grado di accettazione e condivisione di tali idee e risultati da parte della comunità di esperti).

Conclusioni:

In risposta alle richieste da parte del DPC, il GdL ritiene che sia opportuno riferirsi a una scala di livelli di allerta analoga a quella già prevista nel Piano di Emergenza del Vesuvio:

- 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 osservativo del vulcano e del sistema di Protezione Civile. Va notato che tali quattro livelli non sono immediatamente assimilabili ai quattro stati (Background, Unrest, Magmatic, Eruption) relativi all'albero degli eventi descritto in questo capitolo; va inoltre notato che l'albero degli eventi produce, per ciascun insieme di osservazioni, le probabilità di trovarsi in ciascuno dei quattro stati da esso previsti. Al contrario, i livelli di allerta qui riportati rappresentano una discretizzazione a scopo operativo. La definizione delle soglie di criticità, il cui superamento comporta l'attivazione dei vari livelli di allertamento, è operazione

complessa e delicata che dovrebbe trovare supporto in analisi oggettive, per esempio di tipo costi/benefici, al fine di giustificare le azioni intraprese in un processo decisionale (Dolce e Di Bucci, 2012). Si ritiene che solo per il passaggio dal livello base al livello di attenzione lo stato delle conoscenze permetta valutazioni robuste, in quanto esiste una significativa esperienza al proposito determinata dai dati e analisi del monitoraggio vulcanico ai Campi Flegrei nel corso degli ultimi decenni, durante i quali più volte il vulcano ha manifestato comportamenti che si discostavano sensibilmente da uno stato di background (si veda la Fig. 6.1). Durante tali fasi vengono normalmente attivate procedure di vigilanza straordinaria, durante le quali si procede ad un'analisi di dettaglio dei parametri che hanno mostrato delle variazioni, anche con l'ausilio di strumentazioni aggiuntive e campagne di misura dedicate. In ogni caso il passaggio a livelli di allerta superiori richiede valutazioni che possono essere effettuate solo durante la crisi, attraverso un processo decisionale che dovrebbe coinvolgere esperti in discipline che spaziano dalla vulcanologia alle scienze sociali, e che includano opportune valutazioni sui modi, i tempi, e le problematiche specifiche associati a ciascun intervento operativo corrispondente a ciascun successivo livello di allerta.

Alberico et al. (2002) presentano un'analisi quantitativa basata su una serie di parametri di seguito indicati:

Parametri geofisici:

- distribuzione dei terremoti
- pattern della deformazione
- distribuzione dell'anomalia di Bouguer

Parametri geologici:

- distribuzione di bocche eruttive per eruzioni passate
- presenza di faglie recenti

Parametri geochimici:

- distribuzione dell'anomalia nella concentrazione dell'elio
- presenza di fumarole

L'intera area dei Campi Flegrei viene divisa in celle di 1 km di lato, il cui grado di anomalia è quantificato da 0 a 7 in funzione del numero dei sette parametri sopra indicati che presentano un'anomalia nella data cella. Attraverso normalizzazione si ottiene quindi una funzione di densità della probabilità spaziale di apertura di una bocca eruttiva. La Fig. 7.1.2 mostra il risultato ottenuto.

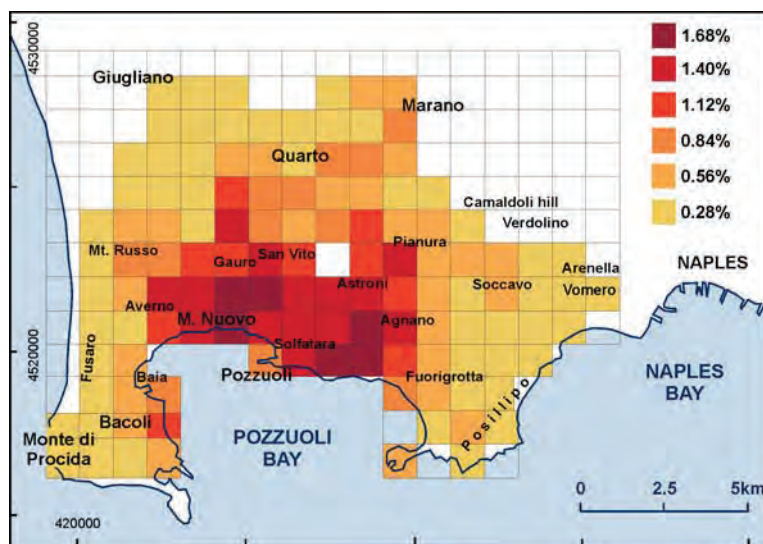


Figura 7.1.2. Probabilità condizionata di apertura di centri eruttivi ai Campi Flegrei. Da Alberico et al. (2002, ridisegnato). Il riquadro bianco al centro dell'area in colore riflette verosimilmente un errore di trascrizione nell'articolo pubblicato.

Selva et al. (2011) presentano una mappa di probabilità spaziale di apertura di bocche eruttive, basata su uno schema Bayesiano che incorpora una distribuzione a-priori successivamente modificata inserendo dati geologici, e che permette la stima delle incertezze aleatorie (o intrinseche) ed

epistemiche (o dovute a scarsa conoscenza). La procedura seguita può essere schematizzata in tre fasi:

1. l'area dei Campi Flegrei viene individuata e suddivisa in una griglia regolare, identificando così 700 quadrati di 500 m di lato;
2. la distribuzione di probabilità a-priori viene definita in riferimento alla griglia di cui sopra, utilizzando i seguenti parametri geologici e pesi relativi:
 - fondo calderico: peso 1
 - presenza di strutture tettoniche: peso 2
 - presenza di bocche eruttive passate (indipendentemente dalla loro età): peso 3
3. il modello a-priori viene combinato con dati ritenuti rappresentativi al fine di definire la distribuzione a-posteriori. I dati rappresentativi sono costituiti dal numero di bocche eruttive in ciascuna cella, in riferimento alla sola terza epoca di attività (migrazioni della bocca eruttiva durante le eruzioni di Averno 2 e Monte Nuovo sono state trascurate considerando solo la bocca principale; le sette eruzioni discrete del vulcano poligenico di Astroni sono invece state considerate come eventi distinti).
4. il modello a-posteriori così ottenuto viene infine filtrato al fine di ottenere una distribuzione continua delle probabilità, eliminando salti improvvisi tra celle adiacenti.

Attraverso la procedura di cui sopra vengono quindi incluse nell'analisi le bocche eruttive di ogni epoca di attività ai Campi Flegrei, ma le bocche della terza epoca esercitano un ruolo diverso (più "pesante") in quanto vengono utilizzate nella definizione della distribuzione di probabilità a-posteriori. La Fig. 7.1.3 mostra i risultati dell'analisi.

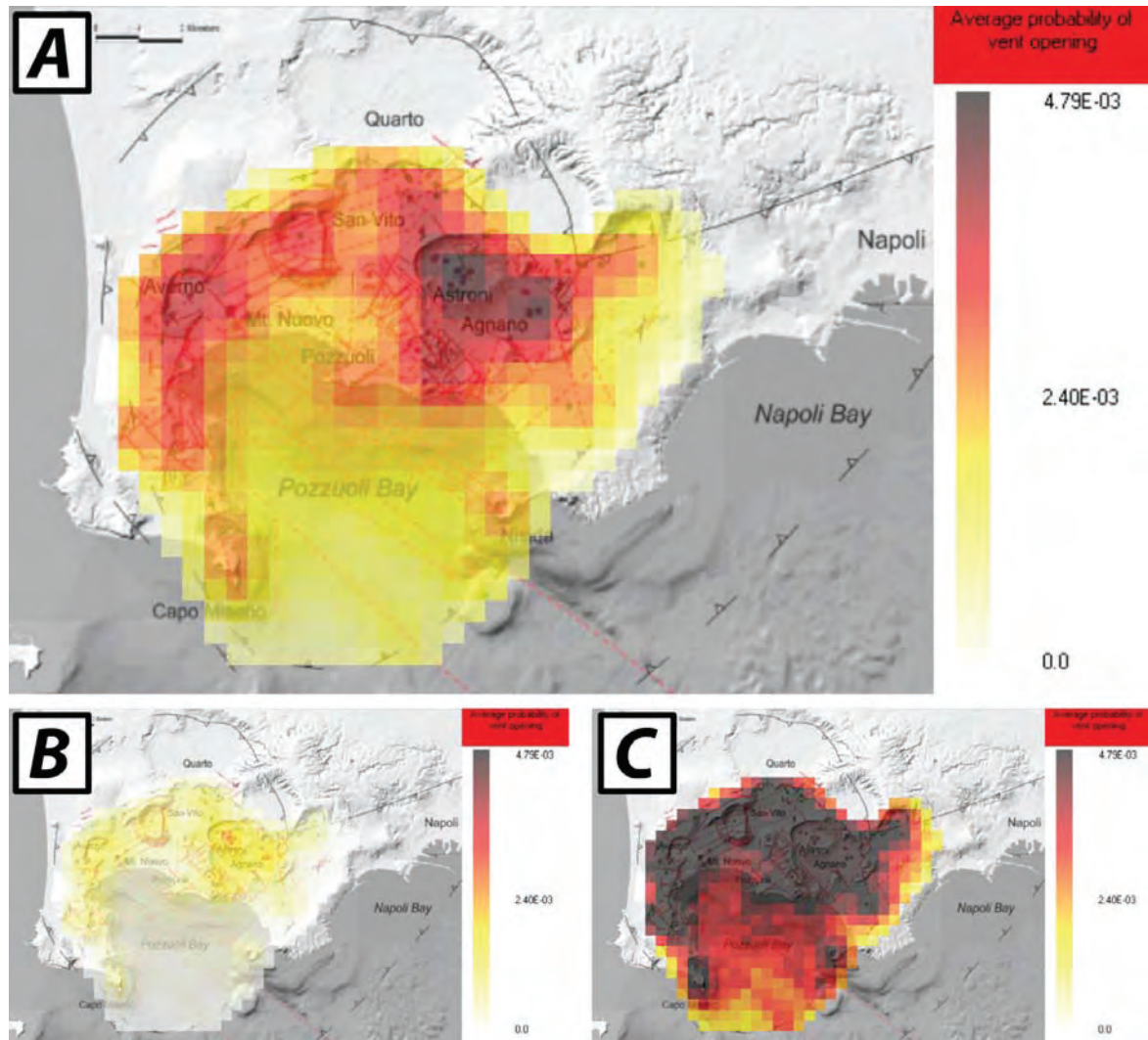


Figura 7.1.3. Distribuzione della probabilità di apertura di bocche eruttive ai Campi Flegrei (da Selva et al., 2011). A) "best guess"; B) e C): decimo e novantesimo percentile, rispettivamente. La scala dei colori è la stessa nei tre pannelli. Le due eruzioni di Capo Miseno e Nisida, recentemente incluse nella terza epoca (Di Renzo et al., 2011), sono incluse in questo studio. La scala di valori si riferisce a celle quadrate di 500 m di lato (moltiplicando tali valori per quattro si ottiene la probabilità per km^2).

Alcune note sulla procedura seguita da Selva et al. (2011) sono necessarie:

- la procedura per la definizione della probabilità a-priori implica una probabilità diversa da zero per l'intero fondo calderico, indipendentemente dalla presenza di strutture tettoniche o bocche eruttive passate;
- la procedura di normalizzazione utilizzata implica l'assunzione di apertura di bocca eruttiva in una unica cella individuata dalla griglia con la quale è stata suddivisa l'area dei Campi

Flegrei. Di conseguenza, la distribuzione di probabilità non è adeguata in caso di bocche eruttive multiple (come anche per gli studi in Alberico et al. 2002 e Orsi et al. 2004);

- l'intera procedura assume che le conoscenze siano omogenee e complete sull'intera area (come anche per gli studi in Alberico et al. 2002 e Orsi et al. 2004).

L'ultimo punto è particolarmente critico. Infatti, a) il ripetersi di eruzioni nell'area calderica e nel corso delle diverse epoche di attività potrebbe aver oscurato la presenza di bocche eruttive, in particolare della prima e seconda epoca, indebolendo quindi la distribuzione della probabilità a-priori; b) la presenza del mare in un'ampia porzione della caldera implica una minore conoscenza delle strutture tettoniche in tale area, ancora indebolendo la distribuzione della probabilità a-priori.

Una nota ulteriore riguarda le motivazioni che hanno portato Selva et al. (2011) ad escludere i parametri di tipo geofisico e geochimico utilizzati invece da Alberico et al. (2002). Tali motivazioni risiedono sostanzialmente in un criterio di semplicità e solidità: in mancanza di una forte evidenza che certe anomalie siano spazialmente relazionabili all'apertura di una bocca eruttiva, gli autori hanno preferito affidarsi a parametri più robusti e generalmente accettati dalla comunità vulcanologica, rinunciando a ipotesi più sofisticate ma questionabili. Il criterio seguito è esemplificato nel seguente ragionamento: sebbene una deformazione intensa e localizzata durante un episodio di unrest possa dare indicazioni sulla posizione di una bocca eruttiva nel breve termine, deformazioni registrate anni prima di una eruzione o durante fasi di unrest non culminate in una eruzione non sono utilizzabili allo stesso scopo.

Più recentemente, in continuazione delle attività realizzate nel progetto SPEED e degli studi finalizzati alla stima della pericolosità delle colate piroclastiche (discussi nella sezione 7.5), Bevilacqua et al. (2012) hanno cercato di considerare esplicitamente le incertezze in gioco nella stima della probabilità di apertura bocche. In questo caso la distribuzione della probabilità di apertura è stata ottenuta basandosi sui dati di Smith et al. (2011) e Fourmentraux (2011). La Fig. 7.1.4 riporta la distribuzione media della distribuzione. I risultati preliminari indicano una maggiore probabilità di apertura bocche nell'area di Agnano-SanVito rispetto alla stima di Selva et al. (2011) compensata da una minore probabilità stimata nel settore occidentale della caldera. In ogni caso lo studio sembra non mutare radicalmente il quadro derivante dallo studio di Selva et al (2011).

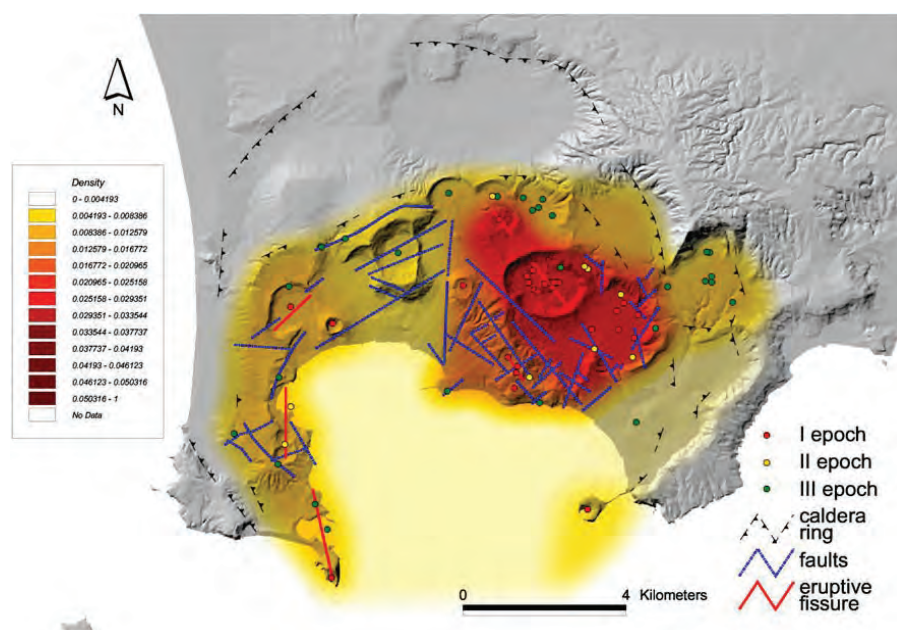


Figura 7.1.4. Distribuzione media della probabilità di apertura bocche secondo Bevilacqua et al. (2012). La densità è espressa in probabilità di apertura bocche per km².

Considerazioni conclusive

Le stime di probabilità sopra descritte forniscono un quadro sostanzialmente consistente, seppur con differenze non trascurabili. In tutti i casi vengono identificate all'interno della caldera flegrea due aree principali a maggiore probabilità di apertura di future bocche eruttive. L'area a massima probabilità è localizzata grossomodo nella zona di Astroni-Agnano, mentre la seconda area per valori di probabilità è localizzata in corrispondenza di Averno – Monte Nuovo. Si può quindi concludere che l'insieme delle conoscenze oggi disponibili è concorde nell'individuare tali due aree come quelle caratterizzate dalla più elevata probabilità di apertura di future bocche eruttive, con l'area a est (Astroni-Agnano) caratterizzata da maggiori valori di probabilità. Tuttavia, in questo quadro vi sono altre aree caratterizzate da elevata probabilità di apertura di bocche eruttive, lasciando quindi una elevata incertezza complessiva. Ad oggi sembra quindi necessario tenere conto del fatto che una futura bocca eruttiva ai Campi Flegrei potrà aprirsi in un'area complessivamente vasta, sebbene la zona Astroni-Agnano, e secondariamente la zona Averno-Monte Nuovo, emergano come quelle a maggiore probabilità.

Va notato infine che in tutti i casi sopra descritti ci si riferisce alla probabilità vincolata, ovvero, alla probabilità di apertura di una bocca eruttiva assumendo il verificarsi di una eruzione. In altre parole, non vi è riferimento temporale nelle mappe considerate (la somma delle probabilità è uguale a 1 – eccetto ovviamente il caso puramente qualitativo della mappa di Orsi et al., 2004). In nessun caso si analizza se e come le informazioni provenienti dalle reti osservative e di monitoraggio possano intervenire nel modificare la distribuzione di probabilità a breve termine – sebbene all'atto pratico questo aspetto possa divenire cruciale ai fini della gestione scientifica e logistica dell'emergenza. Come discusso nel capitolo 6, la possibilità che le ultime fasi di risalita magmatica immediatamente precedenti l'eruzione avvengano in tempi anche molto brevi (giorni o ore) può rappresentare un notevole limite alla possibilità effettiva di stimare la posizione della futura bocca in tempi utili per la gestione dell'emergenza. Tuttavia, studi specifici su questi argomenti per i Campi Flegrei non sono disponibili.

7.2 SCALA ERUTTIVA ATTESA

In questo capitolo vengono considerate le scale eruttive attese in caso di prossima eruzione ai Campi Flegrei. La base conoscitiva di partenza è rappresentata largamente dagli studi di terreno pluri-decennali compiuti soprattutto dal gruppo di vulcanologi dell'INGV-OV.

In Orsi et al. (2009) viene studiata la scala eruttiva attesa ai Campi Flegrei, selezionando come periodo di riferimento gli ultimi 5 ka di storia eruttiva della caldera. Tale periodo corrisponde all'ultima epoca del terzo periodo di attività, esteso a comprendere l'eruzione di Monte Nuovo del 1538 AD. Lo studio si basa su i) una ricostruzione delle caratteristiche delle eruzioni di tale epoca (essenzialmente estensione areale e volumi/masse eruttate), e ii) una trattazione statistica della frequenza dei vari eventi, suddivisi in scale di grandezza.

Sulla base delle osservazioni di movimento del suolo e degassamento ai Campi Flegrei, Bodnar et al. (2007) definiscono un modello concettuale dell'evoluzione del sistema magmatico e idrotermale dei Campi Flegrei, e concludono che la probabilità di una eruzione è oggi minore di quanto lo sia mai stata nel corso degli ultimi 500 anni. In questo capitolo i) vengono considerate le assunzioni di base e le scelte effettuate nel lavoro di Orsi et al. (2009), e ii) l'analisi statistica viene estesa a considerare a) gli ultimi 15 ka di attività post-eruzione del Tufo Giallo Napoletano, e b) gli eventi di scala eruttiva molto grande, ovvero le eruzioni del Tufo Giallo e dell'Ignimbrite Campana, datate rispettivamente a circa 15 e 39 ka BP.

La Fig. 4.5.1 (capitolo 4) riporta la ricostruzione degli eventi eruttivi ai Campi Flegrei nel corso degli ultimi 60 ka. In generale, il terzo periodo seguente l'eruzione del Tufo Giallo è ben noto, mentre per il secondo e primo periodo sono note solo alcune eruzioni.

La Tab. 7.2.1 (da Orsi et al., 2009) riporta il dettaglio delle 22 eruzioni esplosive della più recente terza epoca di attività, cui vanno aggiunte 3 eruzioni effusive per un totale di 25 eruzioni (compresa quella del 1538 AD). Su queste eruzioni si concentra l'analisi statistica effettuata in tale lavoro. Qui viene assunto che le quantità fisiche riportate nella tabella siano corrette, sebbene si nota che esse non rappresentano quantità direttamente misurabili, ma stime ottenute attraverso l'utilizzo di modelli ed estrapolazioni. Va notato inoltre che i parametri eruttivi riportati non sono corredati da una stima dell'incertezza ad essi associata.

Tabella 7.2.1. Caratteristiche principali delle eruzioni esplosive della terza epoca di attività ai Campi Flegrei. E' inclusa l'eruzione di Monte Nuovo (1538 AD). Da Orsi et al. (2009).

Measured physical parameters for the explosive eruptions of the past 5 ka at Campi Flegrei caldera.

Eruption	Age (ka bp)	Area _{100m} (km ²)	Area _{100m} (km ²)	Volume Tephra (km ³)	Volume DRE (km ³)	Density (kg/m ³)	Total Erupted Mass (kg*10 ¹¹)	Magnitude	Mass Discharge Rate (kg/sec)
Agnano 1	4.80 ^a	107	56	0.033	0.018	1400	0.46	3.66	
Averno 1	4.70 ^a	262	103	0.095	0.053	1400	1.33	4.12	
Agnano 2	4.60 ^a	58	19	0.025	0.014	1400	0.35	3.54	
Agnano 3	4.55 ^a	872	414	0.333	0.186	1400	4.66	4.67	
Gigliano	4.50 ^a	91	54	0.093	0.052	1400	1.30	4.11	
Pignatiello 2	4.45 ^a	29	18	0.028	0.016	1400	0.39	3.59	
Monte S. Angelo	4.40 ^a	230	121	0.125	0.070	1400	1.75	4.24	
Paleo Astroni 1	4.30 ^a	159	82	0.090	0.050	1400	1.26	4.10	
Paleo Astroni 2	4.20 ^a	648	218	0.178	0.100	1400	2.49	4.40	
Agnano-Monte Spina	4.10 ^a	2,237	882	1.940	0.854	1100	2,130	5.33	1.2*10 ⁴
Paleo Astroni 3	3.95 ^a	45	29	0.033	0.018	1400	0.46	3.66	
Solfatara	3.90 ^a	78	31	0.046	0.026	1400	0.64	3.81	
Astroni 1	3.88 ^a	223	127	0.108	0.060	1400	1.51	4.18	
Astroni 2	3.87 ^a	78	46	0.035	0.020	1400	0.49	3.69	
Astroni 3	3.86 ^a	593	274	0.281	0.157	1400	3.93	4.59	
Astroni 4	3.85 ^a	710	226	0.242	0.135	1400	3.39	4.53	
Astroni 5	3.84 ^a	817	427	0.184	0.103	1400	2.58	4.41	
Astroni 6	3.83 ^a	893	365	0.233	0.121	1300	3.03	4.48	7.4*10 ⁶
Astroni 7	3.82 ^a	110	50	0.116	0.065	1400	1.62	4.21	
Averno 2	3.80 ^a	85	45	0.139	0.067	1200	1.67	4.22	3.2*10 ⁶
Fossa Lupara	3.75 ^a	24	11	0.041	0.016	1000	0.41	3.61	
Monte Nuovo	0.50	28	17	0.052	0.029	1400	0.73	3.86	2.0*10 ⁶

^a Measured and ^b inferred ages from Di Vito et al. (1999) and Orsi et al. (2004).

L'analisi statistica in Orsi et al. (2009) si basa su una suddivisione in classi di scala eruttiva, quest'ultima definita essenzialmente sulla base di massa/volume eruttati. Le tre classi "small" (piccola), "medium" (media) e "large" (grande) in cui sono raggruppate le eruzioni degli ultimi 5 ka (vedi Tab. 7.2.2) sono quindi classi di magnitudo.

Physical parameters variation and type eruption(s) for each of the defined size classes for explosive events.

Size	A_{1cm} (km^2)	V_{topha} (km^3)	V_{out} (km^3)	TEM ($kg \cdot 10^{11}$)	Magnitude	Type eruption(s)
Large	>500	>0.40	>0.3	>5	>5	Agrano-Monte Spina
Medium	500-1000	0.15-0.40	0.1-0.3	2-5	4.3-5	Astroni 6
Small	0-500	0-0.15	0-0.1	0-2	<4.3	Monte Nuovo; Avem2

Tabella 7.2.2. Definizione delle tre scale "large" (grande), "medium" (media) e "small" (piccola). Da Orsi et al. (2009). Si noti che l'area coperta dall'isopaca corrispondente a 1 cm di spessore (seconda colonna) dei depositi per le eruzioni di tipo "large" non è consistente con la stessa area per le eruzioni di tipo "medium", né con quanto mostrato in Fig. 7.2.1. Una verifica con gli autori conferma che si tratta di un errore di stampa. Il valore corretto è >1000 km^2 .

La Fig. 7.2.1 mostra una rappresentazione grafica, utilizzata da Orsi et al. (2009) a sostegno di un simile raggruppamento. E' comunque da notare come le classi "piccola" e "media" siano contigue e difficilmente distinguibili se si considerano le distribuzioni della massa eruttata.

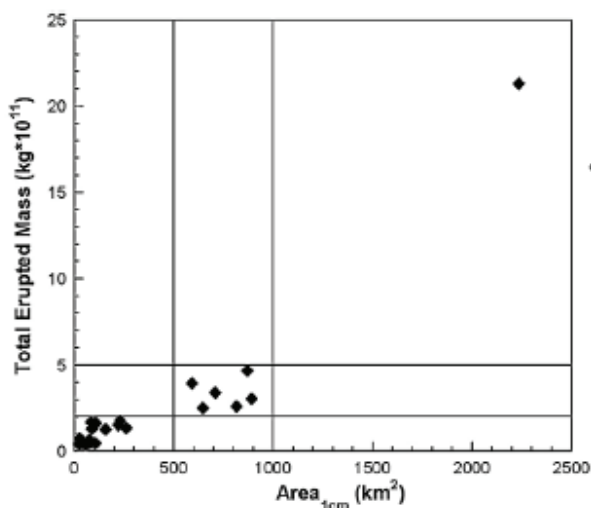


Figura 7.2.1. Distribuzione delle eruzioni della terza epoca di attività ai Campi Flegrei, in termini di massa totale eruttata e area coperta dall'isopaca di 1 cm di spessore di ceneri vulcaniche. Da Orsi et al. (2009).

Una suddivisione in classi di intensità (riferita cioè ai tassi eruttivi) non è possibile, in quanto solo per un numero limitato di eruzioni sono stimati i tassi eruttivi di picco (si veda la Tab. 7.2.1). Si nota che sebbene in generale vi sia una relazione diretta tra massa eruttata e tasso di emissione di picco, sono anche possibili deviazioni da tale proporzionalità (es., eruzioni con un elevato tasso di emissione che durano poco e quindi emettono poca massa). Tali deviazioni sono rilevanti, in quanto l'impatto di una eruzione dipende in maniera sostanziale sia dalla massa emessa che dal tasso di emissione realizzato, in particolare in relazione all'impatto da flussi piroclastici. Una classificazione delle scale eruttive attese in termini di intensità (flusso di massa) è riportata nel capitolo 7.4.1.

Orsi et al. (2009) presentano una analisi statistica basata su un approccio Bayesiano, i cui risultati consentono di stimare la distribuzione di probabilità per ciascuna scala eruttiva attesa. L'assunzione di base è che la taglia delle eruzioni ai Campi Flegrei segua una distribuzione casuale, ovvero che non esista nessuna memoria della dimensione delle eruzioni passate. I valori medi di tali distribuzioni sostanzialmente coincidono con una semplice analisi delle frequenze delle diverse scale eruttive, come mostrato in Tab. 7.2.3, mentre la stima delle incertezze fa riferimento alla qualità dei dati disponibili. Da notare che la tipologia "effusiva" si riferisce allo stile eruttivo (le altre scale sono rappresentate da eruzioni di tipo esplosivo) piuttosto che alla scala, sebbene la scala degli eventi di tipo effusivo osservati ai Campi Flegrei possa facilmente essere identificata come "molto piccola".

Tabella 7.2.3. Probabilità condizionata (ovvero, nell'assunzione che una eruzione si verifichi) per quattro diverse scale eruttive ai Campi Flegrei (da Orsi et al., 2009), e frequenza degli eventi eruttivi per ciascuna scala nel corso della terza epoca di attività (ultimi 5 ka).

Scala eruttiva	Probabilità condizionata (Orsi et al., 2009) in %				Frequenza (ultimi 5 ka) in %
	Media	10° perc.	50° perc.	90° perc.	
Effusiva	10.7	3.89	9.84	18.6	12
Piccola	60.6	49.9	61.4	72.2	60
Media	25.0	14.9	23.6	35.5	24
Grande	3.73	0.58	2.67	7.50	4

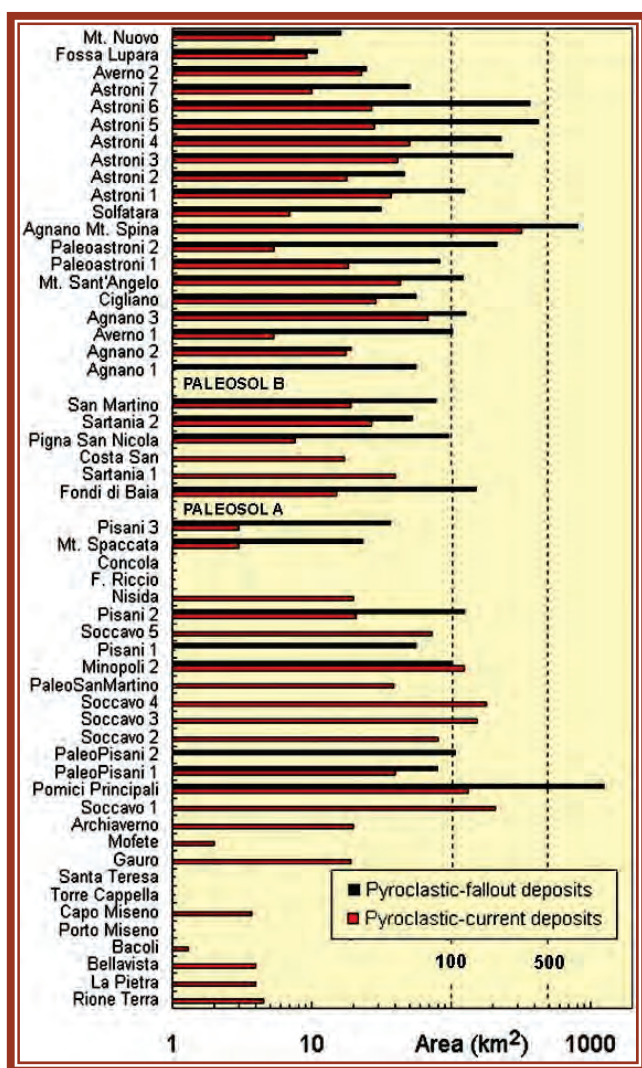
Analizzando la frequenza temporale, è anche possibile ottenere la probabilità media annua per ciascuna scala eruttiva, nell'assunzione che le frequenze osservate corrispondano alle probabilità effettive. La sommatoria di tali probabilità dà la probabilità media annua di eruzione ai Campi Flegrei. Tale probabilità (basata sugli ultimi 5 ka di attività, e indipendente dallo stato del vulcano - se in unrest o meno) risulta essere del 5‰ (Tab. 7.2.4).

Tabella 7.2.4. Frequenza delle eruzioni di varia scala ai Campi Flegrei, riferita agli ultimi 5 ka di attività. Dati da Orsi et al. (2009)..

Scala eruttiva	frequenza in eventi per anno
Effusiva	6.0×10^{-4}
Piccola	3.0×10^{-3}
Media	1.2×10^{-3}
Grande	2.0×10^{-4}
TOTALE	5.0×10^{-3}

Va notato che la storia eruttiva dei Campi Flegrei è caratterizzata dal manifestarsi di periodi ed epoche ad elevata frequenza eruttiva, separati da lunghi (migliaia di anni) periodi quiescenti. Tale comportamento riduce l'utilità di una probabilità media annua come sopra determinata. Va altresì notato che dal 1950 i Campi Flegrei si trovano in una fase di unrest caratterizzata da dominante sollevamento del fondo calderico, che interrompe il trend secolare di subsidenza dominante fin dal 1800 e probabilmente fin dalla seconda parte del XVI secolo (Fig. 5.1.1, capitolo 5). Una analisi della probabilità annua di eruzione riferibile al particolare periodo attuale non è attualmente disponibile.

L'analisi presentata in Orsi et al. (2009) si basa sul principio che solo l'ultima (terza) epoca (<5 ka) debba essere considerata ai fini del comportamento attuale e futuro dei Campi Flegrei, in quanto il campo di stress attivo nella caldera sarebbe significativamente mutato con la terza epoca. Si mostra nel seguito che una semplice analisi delle frequenze nelle diverse classi di scala eruttiva, estesa a comprendere l'intero periodo (prima, seconda, e terza epoca) <15 ka, o post-eruzione del Tufo Giallo, non mostra sostanziali differenze rispetto a quella sopra riportata e riferita alla sola terza epoca. L'estensione all'intero periodo comporta la necessità di riferirsi a parametri diversi da quelli sopra descritti per l'assegnazione delle varie eruzioni alle diverse scale eruttive, in quanto le eruzioni pre-5 ka non sono note con lo stesso dettaglio delle eruzioni più recenti. Una valutazione approssimata delle



scale eruttive può comunque essere effettuata a partire dalla Fig. 7.2.2 (da Orsi et al., 2004). In questo caso le aree coperte dai depositi di caduta si riferiscono ad uno spessore di 10 cm (e sono quindi significativamente inferiori a quelle riportate nella prima tabella due pagine indietro). Semplicemente raggruppando tutte le eruzioni esplosive con area <100 km² come “piccola”, quelle con area tra 100 e 500 km² come “media”, e quelle con area >500 km² come “grande”, ne emerge l’ultima colonna in Tab. 7.2.5 (le altre colonne coincidono con quelle in Tab. 7.2.3).

Figura 7.2.2. Distribuzione delle aree coperte dall’isopaca di 10 cm per le eruzioni post-Tufo Giallo Napoletano ai Campi Flegrei (da Orsi et al., 2004).

Tabella 7.2.5. Frequenza degli eventi eruttivi di varia scala ai Campi Flegrei nel corso degli ultimi 15 ka (ultima colonna), e confronto con il valore medio della distribuzione di probabilità ottenuto da Orsi et al. (2009) e con le frequenze osservate nel corso degli ultimi 5 ka.

Scala eruttiva	Probabilità condizionata (Orsi et al., 2009) Media in %	Frequenza (ultimi 5 ka) in %	Frequenza (ultimi 15 ka) in %
Effusiva	10.7	12	14
Piccola	60.6	60	52.5 – 57.5
Media	25	24	25 - 30
Grande	3.63	4	3.5

Il range di valori nell’ultima colonna a destra riflette il fatto che alcune eruzioni si posizionano estremamente vicino al limite tra “piccola” e “media” come sopra definito, rendendo difficile una netta divisione tra queste due classi. Come si vede, il quadro globale che ne emerge non è sostanzialmente diverso da quello ottenuto considerando soltanto gli ultimi 5 ka. In ogni caso l’evento più frequente (più probabile) è una eruzione di piccola scala, seguito da una eruzione di media scala, e l’insieme delle eruzioni di scala inferiore o uguale a quella media copre circa il 96% di probabilità. Allo stesso modo, è

possibile valutare la frequenza annua media per ciascuna scala eruttiva nell'arco degli ultimi 15 ka (Tab. 7.2.6).

Tabella 7.2.6. Frequenza media delle eruzioni di varia scala ai Campi Flegrei, riferita agli ultimi 5 ka e agli ultimi 15 ka di attività.

Scala eruttiva	Frequenza (ultimi 5 ka) in eventi per anno	Frequenza (ultimi 15 ka) in eventi per anno
Effusiva	6.0×10^{-4}	5.3×10^{-4}
Piccola	3.0×10^{-3}	$2.0 - 2.2 \times 10^{-3}$
Media	1.2×10^{-3}	$0.93 - 1.1 \times 10^{-3}$
Grande	2.0×10^{-4}	1.3×10^{-4}
TOTALE	5.0×10^{-3}	$3.6 - 4.0 \times 10^{-3}$

Anche in questo caso le frequenze annue riferite agli ultimi 5 ka o agli ultimi 15 ka non sono sostanzialmente diverse, le ultime mostrando valori solo leggermente più bassi in quanto comprendenti i periodi quiescenti tra le varie epoche.

In sostanza, pur con le notevoli approssimazioni e incertezze sopra riportate, sulla base delle stime di frequenza sopra discusse si può concludere che non esistono allo stato attuale delle conoscenze ragioni forti che inducano a pensare che il riferirsi agli ultimi 5 ka introduca differenze sostanziali che il riferirsi agli ultimi 15 ka, per quanto concerne la stima delle probabilità associate alle diverse scale eruttive attese in caso di futura eruzione ai Campi Flegrei.

Sulla stessa linea di pensiero, sembra legittimo pensare che il quadro non si modificherebbe sostanzialmente estendendosi ancora più indietro nel tempo. In tal caso diventerebbe necessario tenere conto nell'analisi anche di eruzioni di scala ancora maggiore, quali quelle del Tufo Giallo (ca. 15 ka) e dell'Ignimbrite Campana (ca. 39 ka). I volumi di magma emessi in tali eruzioni sono di 2-3 ordini di grandezza maggiori di quelli che hanno caratterizzato le eruzioni sopra definite come "grande", e conducono ad una definizione "molto grande" per tali eruzioni. Senza entrare nel merito delle questioni legate alla struttura e dinamica del sistema magmatico, che possono aggiungere ulteriori vincoli alla possibilità del verificarsi in futuro di eventi di tale scala, ci si limita nel seguito ad analizzare la probabilità di tali eventi estendendo l'assunzione di comportamento Poissoniano fino a 60 ka. Tale limite temporale appare ragionevole per questa analisi, in quanto non vi sono evidenze fino a tale epoca di eventi di scala "molto grande" ulteriori rispetto ai due sopra indicati.

Su questa base, la frequenza media per le eruzioni di scala "molto grande" risulta essere 3.3×10^{-5} eventi per anno, quasi un ordine di grandezza inferiore a quella degli eventi di scala "grande". Un'idea della rilevanza per tale frequenza temporale si può avere confrontandola con la probabilità massima accettata secondo la pratica internazionale per la fusione del nucleo nei reattori nucleari, dell'ordine di 10^{-5} eventi per anno (http://en.wikipedia.org/wiki/Core_damage_frequency).

Considerazioni conclusive

Utilizzando questa frequenza temporale media insieme a quelle relative alle altre scale eruttive riportate in Tab. 7.2.6 (p. es., quelle riferite agli ultimi 5 ka, che come già visto non differiscono sostanzialmente da quelle riferite agli ultimi 15 ka), e considerato che le frequenze normalizzate non differiscono sostanzialmente dal valore medio della probabilità condizionata come sopra mostrato, si

ottiene una stima delle probabilità condizionate per una futura eruzione ai Campi Flegrei includendo le eruzioni di scala "molto grande" (la Tab. 7.2.7 riporta i valori medi, mentre una stima dell'intervallo di confidenza per le prime quattro scale è riportata in Tab. 7.2.3).

Tabella 7.2.7. Probabilità condizionata (assunta coincidere alla frequenza osservata) per scale eruttive da "Effusiva" a "molto grande". Sono riportati i valori medi, mentre una stima dell'intervallo di confidenza per le prime quattro classi è riportata in Tab. 7.2.3.

Scala eruttiva	Probabilità condizionata in %
Effusiva	11.9
Piccola	59.6
Media	23.8
Grande	4.0
Molto grande	0.7

L'analisi suggerisce quindi che una prossima eruzione ai Campi Flegrei sia (valore medio) al 95% circa di probabilità di scala minore o uguale a quella media.

Ancora una volta vale la pena ricordare l'assunzione base di comportamento Poissoniano per il sistema vulcanico dei Campi Flegrei. Se da una parte la sostanziale coincidenza delle frequenze per le diverse scale eruttive in riferimento agli ultimi 5 o 15 ka appare consistente con tale assunzione (suggerendo quindi che le eruzioni degli ultimi 5 ka sono un campione rappresentativo delle eruzioni degli ultimi 15 ka), dall'altra parte l'osservazione che le eruzioni si siano concentrate in periodi di tempo separati da più o meno lunghe fasi quiescenti richiama il controllo che i processi fisici esercitano sulle dinamiche, stabilendo una relazione tra il verificarsi di eruzioni diverse che male si accorda con una distribuzione Poissoniana. Come già ricordato, una analisi più completa che includa le ulteriori complessità della storia eruttiva ai Campi Flegrei e le peculiarità dello stato attuale non è al momento disponibile.

7.3 FENOMENI ATTESI

I fenomeni attesi in caso di ripresa dell'attività eruttiva ai Campi Flegrei sono di intensità e impatto diversi a seconda della tipologia e della scala dell'evento. Al fine di fornire all'operatore di protezione civile il quadro delle possibilità conviene commentare quattro diversi tipologie di scenari. Scenario n.1: eruzione esplosiva (evento eruttivo magmatico di scala: piccola, media, grande e molto grande); Scenario n.2: eruzione multipla (attività eruttiva contemporanea da diverse bocche); Scenario n.3: esplosione freatica in aree idrotermali; Scenario n.4: eruzione effusiva.

I quattro scenari configurano fenomeni e impatti diversi che è opportuno analizzare e commentare separatamente al fine della migliore predisposizione dei piani di intervento per la tutela delle persone e per il disegno organizzativo dei piani di evacuazione. Lo scenario n.1 prevede impatti sul territorio di scala diversa in rapporto alla scala dell'eruzione considerata, ma anche in funzione delle condizioni locali dove la bocca eruttiva si apre (presenza o meno di acqua) e delle condizioni topografiche intorno alla bocca stessa (vedi i successivi capitoli relativi alla pericolosità).

Resta implicito che la descrizione dei fenomeni attesi costituisce un esercizio in parte speculativo affetto da notevoli margini di incertezza. I fenomeni attesi e il loro sviluppo sequenziale, di seguito presentati, derivano in parte dallo studio dei depositi vulcanici ai Campi Flegrei, e in parte dall'insieme delle conoscenze e osservazioni relative a crisi avvenute recentemente in altri distretti vulcanici.

Particolare importanza, come sorgente di informazione e di confronto, assumono i distretti vulcanici con caratteristiche simili all'area flegrea, come ad esempio la caldera di Rabaul, in Papua - Nuova Guinea. Il distretto vulcanico di Rabaul è costituito da una caldera il cui ultimo sprofondamento è avvenuto circa 1400 anni fa in seguito ad una grande eruzione esplosiva. Anche la caldera di Rabaul, come quella dei Campi Flegrei, si sviluppa a livello del mare e ospita una profonda baia (Nairn et al. 1995). La caldera ha inoltre prodotto diverse eruzioni in epoca storica le cui caratteristiche presentano elementi di forte somiglianza con alcune delle eruzioni flegree.

Eruzione esplosiva

Si farà qui riferimento alle classi eruttive da "piccola" a "molto grande", come discusse nel capitolo precedente. In aggiunta al fattore di scala dell'eruzione, fenomeni di tipo particolare, derivanti dal coinvolgimento di acqua esterna, possono verificarsi per eventi eruttivi le cui bocche si aprano in aree che sono sede di intensa attività idrotermale (area Solfatarata/Pisciarelli), o dove esistono attualmente disponibilità significative o rilevanti di acqua superficiale, quali zone umide residuo di ambienti lacustri (Conca di Agnano), laghi intra-craterici (Averno), e mare (Golfo di Pozzuoli). Questo tipo di evenienza non è preso in esame nelle modellazioni presentate nei capitoli sulla pericolosità (cap. 7.4 e 7.5), che fanno unicamente riferimento a condizioni "secche" (assenza di coinvolgimento di acqua di origine esterna al magma).

Per eventi eruttivi prodotti dalla risalita di una massa magmatica dell'ordine di 10 -100 milioni di metri cubi (ovvero dell'ordine dei volumi eruttati durante la maggior parte delle eruzioni della terza epoca dei Campi Flegrei, si veda la Fig. 4.5.2, cap. 4), contenente una quantità di gas magmatici dell'ordine di alcuni percento in peso (valori comunemente riscontrati in eventi avvenuti in passato ai Campi Flegrei), i fenomeni attesi consistono in una serie di fasi (fasi eruttive) che si manifestano tipicamente secondo la seguente sequenza idealizzata:

- 1) fase di apertura;
- 2) fase di emissione esplosiva sostenuta, con sviluppo di una colonna eruttiva convettiva;
- 3) fase pulsante con formazione di correnti di densità piroclastica (surge e flussi piroclastici);
- 4) fase prolungata di emissione di ceneri e vapore acqueo (deposizione di fango e possibile formazione di lahar);
- 5) eventuale emissione di lava degassata.

Durante la fase 1 si possono avere esplosioni che lanciano blocchi e bombe, anche di grosse dimensioni (decimetri/metri), fino a distanze di 1,5-2 km di distanza, accumuli di spessori significativi (decimetri) di ceneri e lapilli entro 1 km dalla bocca, e rilevanti (metri) entro 500 m dalla bocca. Le esplosioni possono essere accompagnate dalla formazione di onde di shock. Limitati fenomeni di flusso piroclastico / surge piroclastico possono verificarsi entro 2 km di distanza dalla bocca eruttiva. La fase 1 ha generalmente durata breve (da decine di minuti a poche ore) e la colonna eruttiva convettiva si mantiene nell'ordine dei chilometri. L'esistenza in tutta l'area flegrea di acquiferi sotterranei rende possibile/probabile in questa fase la vaporizzazione di acqua esterna e la deposizione di limitate quantità di ceneri umide.

Durante la fase 2 si ha il pieno sviluppo di una colonna convettiva sostenuta (Fig. 7.3.1) che può raggiungere altezze da alcuni chilometri fino a oltre 30 km a seconda dell'intensità eruttiva ovvero della scala dell'evento (con i valori massimi associati ad eruzioni di tipo "Pliniano"). Lo sviluppo della colonna eruttiva e della sovrastante nube a forma di "ombrello", che si allarga normalmente in tutte le direzioni espandendosi in maniera preponderante lungo la direzione dei venti dominanti in alta quota, producono oscuramento. Quando l'oscuramento si accompagna alla caduta di cenere dalla colonna stessa, le condizioni divengono fortemente stressanti per la popolazione in un raggio di alcune decine di chilometri dalla bocca. Dai margini della colonna e dalla nube a forma di ombrello si attiva una

continua pioggia (caduta) di lapilli per lo più freddi. Il tasso di accumulo al suolo varia in funzione della scala dell'eruzione. Per gli eventi di grande scala il tasso può essere relativamente elevato (da centimetri a decimetri per ora) in funzione della distanza, direzione del vento e intensità dell'eruzione. L'accumulo al suolo di ceneri e lapilli limita in modo rilevante l'agibilità delle strade, e il sovraccarico sui tetti può causare il collasso delle coperture. La caduta di bombe calde (incandescenti all'interno) può causare l'innescio di incendi entro i primi chilometri di distanza dalla bocca. Le ceneri che ricadono al suolo sono tipicamente secche e investono aree molto vaste sottovento (anche centinaia di km dalla bocca). La colonna convettiva si mantiene attiva mediamente per 5-10 ore e può essere replicata più volte. Durante le fasi eruttive sostenute si verifica un continuo tremore del suolo la cui ampiezza decresce rapidamente allontanandosi dalla bocca.

Durante la fase 3 l'attività tende a divenire pulsante, con ripetuti collassi della colonna eruttiva e generazione di correnti di densità piroclastica (flussi piroclastici) che possono irradiarsi a 360° intorno alla bocca eruttiva o preferenzialmente lungo specifici settori (Fig. 7.3.2). La distanza che i flussi possono percorrere dipende dall'intensità dell'eruzione, dal regime di collasso della colonna (incipiente, parziale o totale) che a sua volta controlla il flusso di massa che alimenta le correnti, e dalla posizione della bocca rispetto al contesto topografico. I rilievi limitano e/o deviano la corsa dei flussi, i bassi topografici ne favoriscono lo scorrimento. Nell'area di propagazione dei flussi la possibilità di sopravvivenza è molto scarsa, le strutture sono danneggiate in modo grave fino alla totale distruzione, le temperature elevate possono causare incendi anche di vaste proporzioni. L'ingresso in mare dei flussi può produrre vaporizzazioni di acqua su vasta scala con successive piogge di lapilli accrezionali (palline umide di cenere fine aggregata) e piogge fangose sottovento. La fase 3 può avere una durata da parecchie ore a giorni. Va rimarcato che nel caso di eruzioni di scala "grande", durante questa fase si possono verificare collassi della struttura circostante la bocca eruttiva, fino a diametri della struttura in sprofondamento di alcuni chilometri, e dislivelli finali dell'ordine delle centinaia di metri.

Durante la fase 4 l'intensità eruttiva diminuisce in modo sostanziale. Il fenomeno principale consiste nell'emissione di gas e ceneri con formazione di una colonna eruttiva di altezza di pochi chilometri. Sottovento rispetto alla bocca l'atmosfera può essere carica di cenere fine e polveri, con visibilità ridotta; la permanenza all'esterno delle strutture può essere resa difficile a causa di difficoltà respiratorie e irritazione degli occhi (necessità di indossare maschere antipolvere e occhiali chiusi) Con il passare delle ore si possono depositare strati di ceneri umide contenenti lapilli accrezionali. L'accumulo delle ceneri umide al suolo ostacola l'utilizzo delle strade; l'uso dei tergi cristalli per la pulizia dei vetri ne causa l'abrasione ostacolando o impedendo la visibilità. Il peso delle ceneri umide, eventualmente aggiunto a quello dei lapilli, può causare ulteriore sovraccarico ed eventuale collasso delle coperture. La deposizione di strati di ceneri umide può causare interruzione della corrente per corto circuito prodotto sugli isolatori delle linee aeree (si veda l'eruzione del vulcano Cordon-Caulle 2010 e suoi effetti in territorio argentino) (Fig. 7.3.1). Le ceneri umide possono infine contenere quantità significative di sostanze acide in grado di attaccare i metalli (corrosione).



Figura 7.3.1. Colonne eruttive di tipo Pliniano, ricaduta di cenere, ed esempi di danni e difficoltà causate. a,b,c) Formazione dell'ombrello pliniano dell'eruzione del vulcano Cordón Caulle (Cile) sul confine Cile/Argentina il 4 giugno 2011. d) Colonna Pliniana dell'eruzione del vulcano Piñatubo, Filippine, 1991. e-i) Effetti dell'eruzione del vulcano Cordón Caulle (Cile), nel giugno 2011, presso Villa La Angostura, Argentina. e) Casa collassata sotto il peso delle ceneri vulcaniche. f,g) Accumulo di ceneri e disagi causati alla circolazione stradale. h,i) Protezione e pulizia degli isolatori elettrici, per evitare corti circuiti a causa della deposizione di ceneri umide.

Il verificarsi di una eruzione in aree idrotermali o in aree caratterizzate dalla presenza di acqua può presentare caratteristiche significativamente diverse da quelle sopra descritte. L'eventuale riattivazione di bocche in zone soggette a forte risalita di fluidi idrotermali può infatti essere preceduta dal verificarsi di esplosioni freatiche che immettono nell'atmosfera nubi cariche di vapore acqueo e ceneri ricche di minerali di alterazione idrotermale. Esplosioni di vapore e/o gas in sistemi rocciosi alterati dall'azione idrotermale determinano lo sbriciolamento di rocce friabili che tendono a rilasciare una grande quantità di materiali fini (soprattutto minerali argillosi). La deposizione sottovento di queste ceneri accentua i

problemi di agibilità della rete stradale a causa del forte “effetto sapone” dei minerali argillosi umidi. Fenomeni di questo genere sono stati descritti durante la crisi eruttiva di Tavurvur (1994) nella caldera di Rabaul (Papua - Nuova Guinea). Eventi come quelli descritti a Rabaul nel 1994 potrebbero facilmente verificarsi per apertura di bocche eruttive nell'area della Solfatara ma anche nella conca di Agnano. La conca di Agnano, anticamente occupata da un lago, contiene al suo interno spessori importanti di sedimenti fini, incoerenti e intrisi d'acqua, che possono determinare scenari fenomenologici e di impatto simili a quelli ipotizzati per bocche che si aprano in aree idrotermali.

Se la bocca eruttiva si apre a mare, a ridosso della costa o in un lago (Averno), la vaporizzazione dell'acqua superficiale porta a caduta precoce della cenere umida in conseguenza della condensazione del vapore. In caso di attività a mare o in prossimità della costa, un ulteriore problema è rappresentato dalla possibile generazione di onde di maremoto. Nel caso di forte vaporizzazione dell'acqua superficiale sono plausibili precipitazioni intense di pioggia fangosa con attivazione quasi contemporanea di colate di fango la cui importanza è legata all'estensione del bacino idrografico e all'intensità della precipitazione. Poiché il fenomeno della caduta di ceneri umide e fango comporta anche l'impermeabilizzazione del suolo, sono da attendersi anche importanti fenomeni di alluvionamento dei bassi topografici a causa della ridotta capacità di infiltrazione dell'acqua nel sottosuolo.

La fase eruttiva 4 può avere durate da giorni a settimane, fino a mesi. I fenomeni sismici sono tipicamente sporadici e in fase di forte attenuazione, tipicamente profondi alcuni chilometri e di magnitudo bassa-intermedia.

La fase eruttiva 5 non è una costante nelle eruzioni flegree. L'emissione di lava, di solito in quantità modesta, si verifica quando l'apporto di magma verso la superficie prosegue a ritmo ridotto dando modo al gas di separarsi dal liquido magmatico. Questo processo di separazione della fase gas può portare alla formazione di un piccolo ammasso di lava viscosa (duomo) all'interno del cratere, o una piccola colata. Durante l'emissione di magma degassato si possono verificare occlusioni del condotto e accumuli di pressione che causano fasi esplosive molto violente. Un fenomeno simile si verificò nella parte finale dell'eruzione del Monte Nuovo nel 1538, alcuni giorni dopo l'apparente conclusione dei fenomeni esplosivi, e costò la vita a un gruppo che si era avventurato sul cono per una ispezione visiva del cratere.

Pur non esistendo una sostanziale differenza nei fenomeni attesi e nella loro successione temporale tra gli eventi di scala bassa, media e grande, le differenze sono rilevanti in termini di impatto prodotto sul territorio, come illustrato nei successivi capitoli 7.4 e 7.5, e nel capitolo 9 sugli scenari di danno. Nel caso di eruzione di scala “molto grande”, la cui probabilità è circa 5 volte più bassa di quella per un evento “grande”, e minore dell'1% (si veda il cap. 7.2), la sequenza di eventi attesi può non differire sostanzialmente da quella per eventi di scala grande per quanto riguarda le fasi da 1 a 3 sopra descritte; tuttavia, a tale scala eruttiva si associa la possibilità di generare collassi calderici di grandi dimensioni, confrontabili con quelli che hanno generato la stessa caldera dei Campi Flegrei. Durante tali collassi è ipotizzabile l'attività eruttiva contemporanea da numerose bocche lungo il sistema di faglie che bordano la struttura di collasso, e la formazione di flussi piroclastici fortemente alimentati e in grado di percorrere distanze dell'ordine delle decine di chilometri.

Va infine ricordata l'eventualità della formazione di onde di tsunami, che possono generarsi a seguito di collassi calderici o anche nel caso in cui flussi piroclastici particolarmente energetici penetrino in mare.

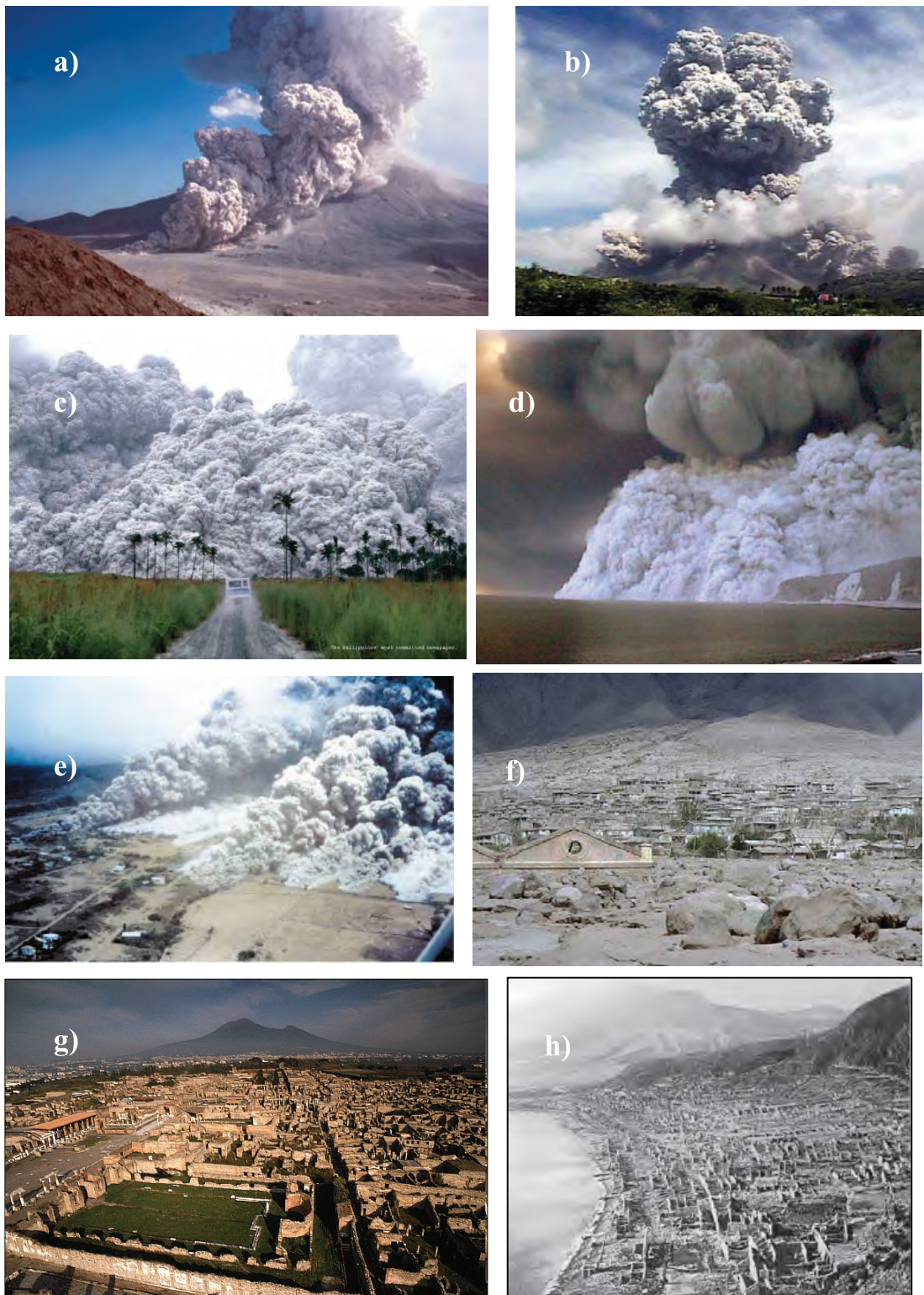


Figura 7.3.2. Flussi piroclastici, e loro effetti. a) Mount St. Helens (Washington, USA), 7 agosto 1980; b) Soufriere Hills, isola di Montserrat, West Indies; c) Piñatubo, Filippine, eruzione del 1991; d) flussi piroclastici del vulcano Oyama, nell'isola giapponese di Miyakejima, si riversano in mare; e) Soufriere Hills, isola di Montserrat, West Indies: flussi piroclastici minacciano la cittadina di Betel, giugno 1997; f) la capitale Plymouth, nell'isola di Montserrat, distrutta dai flussi piroclastici; g) Pompei, ai piedi del Vesuvio, distrutta dai flussi piroclastici durante l'eruzione del 79 d.C.; h) St. Pierre, Martinica, distrutta dai flussi piroclastici dell'eruzione del Mount Pelée nel 1902.

Eruzione multipla

La possibilità di apertura di più bocche in contemporanea, o in un breve lasso di tempo, in siti anche lontani tra loro alcuni chilometri non è remota per le strutture calderiche. L'esempio recente più noto è quello della caldera di Rabaul (Papua Nuova Guinea) del 19 Settembre 1994, durante il quale si verificò l'eruzione contemporanea dai centri di Tavurvur e Vulcan, situati ai due estremi opposti del bordo calderico, a otto chilometri di distanza l'uno dall'altro. Anche ai Campi Flegrei, è stata accertata la contemporaneità eruttiva tra i centri di Solfatara e Averno situati a 5,4 km di distanza, 3800 anni fa (Isaia et al., 2009). Un secondo caso quantomeno sospetto di quasi contemporaneità o contemporaneità è costituito dalle eruzioni di Montagna Spaccata, Fondo Riccio e Concola i cui crateri sono allineati lungo la stessa frattura e i cui prodotti presentano età stratigrafiche coeve (Rosi e Sbrana, 1987). Poiché nella caldera di Rabaul il fenomeno della contemporaneità eruttiva si è ripetuto più volte, è prudente considerare la riattivazione contemporanea di più centri eruttivi all'interno della caldera flegrea come una eventualità all'interno degli scenari possibili. Il manifestarsi in contemporanea di attività eruttiva in bocche distanti tra loro alcuni chilometri comporta un incremento delle aree di impatto all'interno e all'esterno della caldera dei Campi Flegrei che l'organizzazione dei piani di evacuazione deve considerare.

Esplosione freatica in aree idrotermali

Le aree di forte attività idrotermale costituiscono luoghi ad elevata concentrazione di fluidi (in fase liquida e/o gas). Durante le fasi di cosiddetto "unrest" i sistemi vulcanici attivi rilasciano maggiori quantità di fluidi, e tale incremento può comportare un corrispondente aumento della pressione sotterranea. Laddove la pressione dei fluidi supera la resistenza della copertura rocciosa, possono verificarsi fenomeni esplosivi che vengono in vulcanologia definiti "freatici", ad indicare che il componente principale responsabile dell'energia esplosiva è il vapore acqueo prodotto dalla vaporizzazione della falda freatica. Le eruzioni freatiche possono precedere un evento eruttivo magmatico, tuttavia in generale il numero di esplosioni freatiche non seguite da eruzione magmatica è largamente prevalente (Barberi et al 1992).

Le esplosioni freatiche possono essere di scala diversa, da piccoli eventi che producono crateri metrici a grandi eventi in grado di generare crateri di diverse centinaia di metri e fino al chilometro di diametro. Nei casi più energetici le esplosioni possono lanciare blocchi di roccia fino a distanze notevoli (da centinaia di metri a chilometri) insieme a grandi quantità di materiali fini in gran parte composti da minerali di alterazione (argille e altri minerali prodotti dall'alterazione idrotermale superficiale). Oltre al lancio di blocchi di roccia le esplosioni freatiche possono produrre piccole correnti di densità piroclastica che si disperdono ad anello intorno alla bocca (base surge). I pennacchi convettivi di ceneri, gas e vapore prodotti da attività esplosiva freatica sono bassi (normalmente < 1 km) e producono la caduta al suolo di ceneri umide particolarmente scivolose.

E' opportuno sottolineare come alcuni eventi esplosivi freatici avvenuti in passato in altre aree idrotermali siano stati accompagnati dall'improvvisa emissione di grandi quantità di gas tossici (in prevalenza CO₂) in superficie, e che in alcune circostanze tali emissioni hanno causato l'accumulo locale di tale gas e la morte di persone e animali per asfissia (Le Guern et al., 1982). La possibilità di accumulo al suolo di CO₂ è legata alla densità relativa tra il gas e l'atmosfera: se la CO₂ emessa è fredda essa tende a concentrarsi al suolo, se è calda tende a disperdersi in atmosfera. Il comportamento dei due gas (CO₂ e atmosfera) è quindi legato alla temperatura relativa, ma anche le condizioni di ventilazione al momento dell'esplosione possono giocare un ruolo rilevante, complicando la valutazione dell'esistenza di condizioni favorevoli all'accumulo.

Molte esplosioni freatiche hanno durata breve (ore/giorni); sono tuttavia noti casi di eruzioni che hanno avuto durate di settimane e in casi particolare anche di mesi. Gli eventi più violenti e pericolosi si collocano solitamente all'inizio della sequenza eruttiva e sono seguiti da una fase di progressiva attenuazione.

E' doveroso segnalare come le esplosioni freatiche possano essere più difficili da prevedere delle eruzioni prodotte dalla risalita di magma, e il loro verificarsi possa essere del tutto improvviso. In un numero significativo di casi esse non sono state infatti precedute da alcun fenomeno precursore rilevabile dalle normali reti di sorveglianza. Non è un caso che un gran numero di incidenti anche mortali che hanno coinvolto vulcanologi siano stati causati proprio da esplosioni freatiche.

Il sistema della Solfatara-Pisciarelli costituisce il sistema idrotermale più importante dell'area flegrea e quello dove possono, con maggiore probabilità, verificarsi fenomenologie esplosive di tipo freatico in caso di incremento dell'attività idrotermale. Il consistente aumento di flusso di gas e vapore verificatosi negli anni passati nell'area dei Pisciarelli rende già oggi possibile che improvvise risalite di masse di gas (ad esempio in coincidenza con prolungati sciami sismici locali) possano essere accompagnate/seguite da eventi esplosivi di tipo freatico e da improvvisi rilasci di CO₂.

Eruzione effusiva

Eventi effusivi ai Campi Flegrei sono rari e una parte di essi consistono nell'emissione di piccole quantità di lava nelle fasi finali di eruzioni esplosive, all'interno di strutture crateriche. Esistono tuttavia alcuni ammassi di lava (duomi lavici) che hanno ricoperto estensioni considerevoli e che non sono stati accompagnati o sono stati accompagnati solo in modo accessorio da attività esplosiva. L'estrusione di masse di lava costituisce di norma un pericolo locale intorno all'area di emissione, tuttavia durante il processo di messa in posto non è da escludere il possibili verificarsi di fenomeni esplosivi improvvisi, anche di tipo laterale.

Considerazioni conclusive

Come emerge dalle descrizioni qualitative sopra riportate, le fenomenologie in grado di costituire elementi di pericolosità sono molteplici, e vanno dall'accumulo di gas tossici e dal verificarsi di esplosioni freatiche, anche senza concomitanza con un evento eruttivo, fino alla varietà di fenomenologie connesse con le grandi eruzioni di tipo esplosivo sopra descritte. Nel seguito viene analizzata in maggiore dettaglio la pericolosità associata alla ricaduta di ceneri e alla propagazione di flussi piroclastici, e in misura minore, alla formazione di colate di fango (lahar). Queste sono infatti le fenomenologie cui si fa solitamente riferimento nell'analisi della pericolosità da eruzioni di tipo esplosivo, fermo restando che esistono ulteriori possibili sorgenti di pericolosità quali il verificarsi di collassi calderici di diversa entità, o la generazione di onde di tsunami a seguito degli stessi collassi o della propagazione di flussi piroclastici nel golfo di Pozzuoli. Quest'ultimo elemento è particolarmente critico, in quanto potrebbe investire aree esterne all'area flegrea tra le quali, in principio, il golfo di Napoli. Poiché non esistono studi specifici sull'argomento, questo elemento di pericolosità non è analizzato nel presente rapporto.

7.4 PERICOLOSITA' DA RICADUTA DI PIROCLASTI E CENERI

In questo capitolo vengono descritti sinteticamente i risultati di studi finalizzati alla descrizione del trasporto e caduta delle ceneri prodotte da colonne eruttive convettive per i Campi Flegrei. Tali studi

hanno esaminato il problema seguendo due approcci diversi e complementari: i) ricostruzione dei depositi di ricaduta da eruzioni nella storia dei Campi Flegrei; ii) simulazioni numeriche del processo di dispersione e caduta di piroclasti. Le simulazioni numeriche sono utilizzabili per effettuare stime della dispersione in condizioni di vento anche diverse da quelle esistenti durante le eruzioni passate. In particolare, esse permettono di effettuare stime previsionali del carico al suolo delle ceneri, basate sulle previsioni meteorologiche, anche diverse ore in anticipo rispetto ad un potenziale evento eruttivo.

7.4.1 Mappe di pericolosità dallo studio dei depositi di ricaduta

In numerosi lavori, Orsi e collaboratori (Orsi et al., 2004a,b, e citazioni incluse) hanno ricostruito le mappe di dispersione e di spessore di un elevato numero di depositi di ricaduta da eruzioni esplosive nel terzo periodo (< 15 ka) della storia eruttiva dei Campi Flegrei. In Fig. 7.4.1 sono mostrate le ricostruzioni della dispersione dei depositi di ricaduta di piroclasti e ceneri vulcaniche relativi alle eruzioni della terza epoca di attività dei Campi Flegrei.

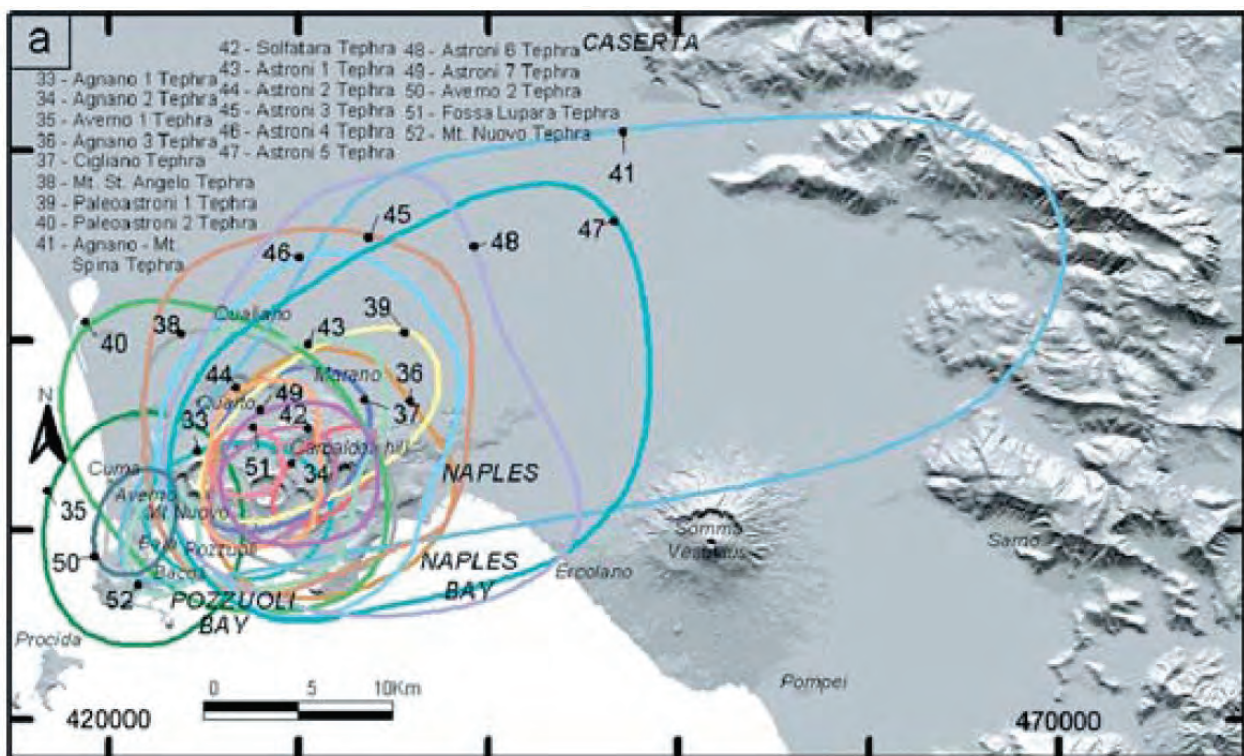


Figura 7.4.1. Ricostruzione dei depositi di ricaduta prodotti dalle eruzioni della terza epoca di attività. (da Orsi et al., 2004). Le curve indicano le isopache relative ai frammenti piroclastici di 10 cm di diametro).

L'insieme di tali mappe permette di ottenere una visione d'insieme del fenomeno della ricaduta e accumulo di ceneri vulcaniche, consentendo un'analisi di pericolosità basata sulla conoscenza dei depositi passati. La Fig. 7.4.2 (da Orsi et al, 2004a,b) mostra una serie di mappe di frequenza di carico al suolo per accumulo di particelle di caduta, per le eruzioni della terza epoca di attività (ultimi 5 ka).

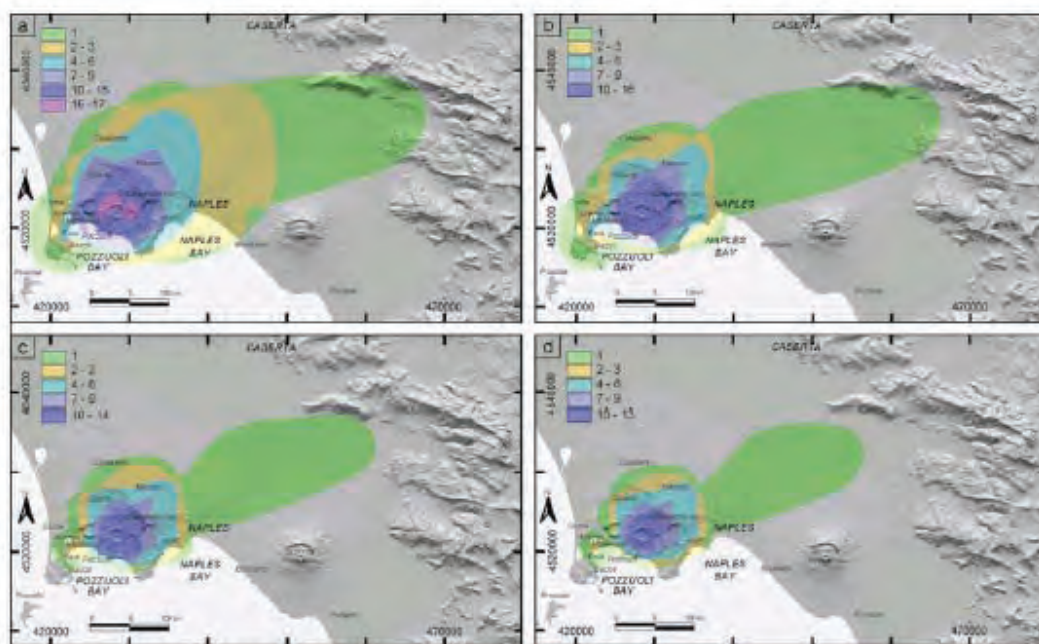


Figura 7.4.2 (Da Orsi et al., 2004a,b). Mappe di frequenza dei depositi da caduta della terza epoca di attività, con carico al suolo superiore a 2 kN/m² (a), 3 kN/m² (b), 4 kN/m² (c), e 5 kN/m² (d). Queste soglie sono equivalenti rispettivamente a 200, 300, 400 e 500 kg/m². Il forte allungamento verso est (aree verdi) corrisponde alla sola eruzione di Agnano Monte Spina.

L'insieme delle informazioni ottenute attraverso lo studio dei depositi vulcanici ha permesso a Orsi et al. (2004a,b) di realizzare una mappa sintetica, prodotta sulla base della frequenza dei depositi della terza epoca di attività, indicata dagli stessi autori come "carta della pericolosità per caduta di particelle", e che è riportata in Fig. 7.4.3. Le isolinee su tale mappa appaiono grossomodo coincidenti con quelle corrispondenti in Fig. 7.4.2 e aventi frequenza di 2-3 eventi (aree in marrone chiaro).

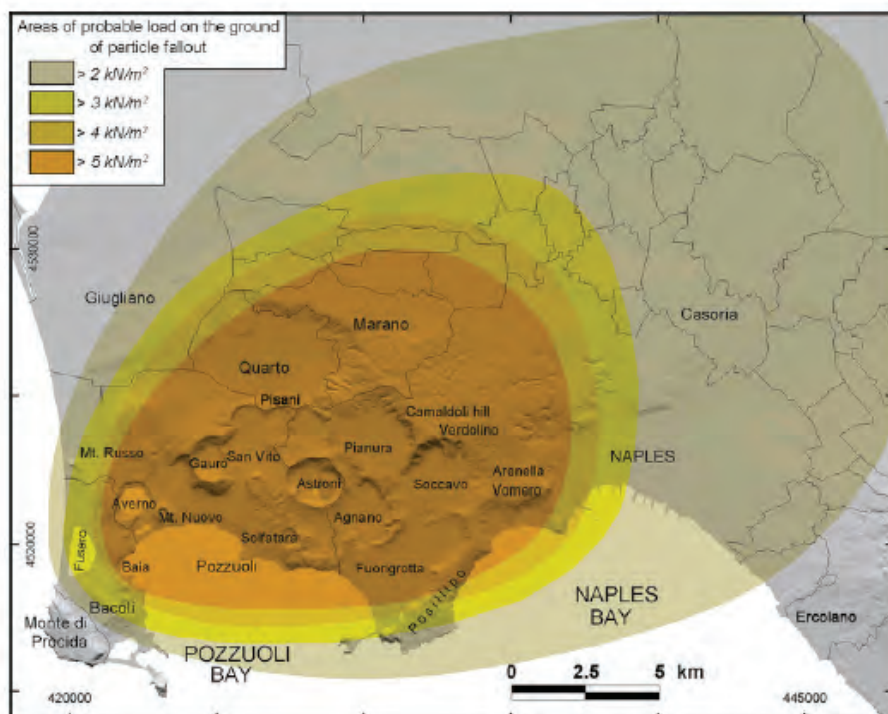


Figura 7.4.3 (Da Orsi et al., 2004a). Carta della pericolosità per caduta di particelle, sulla base della frequenza dei depositi della terza epoca di attività (< 5 ka). La dispersione delle aree a diverso colore riflette sia la variabilità nella posizione della bocca eruttiva, sia i venti dominanti nell'area, in direzione prevalentemente verso ENE.

7.4.2 Mappe di pericolosità da simulazioni numeriche

Scala dell'eruzione

La simulazione del processo di ricaduta di cenere associata ad eventi vulcanici esplosivi è stata affrontata in Costa et al. (2009), basandosi sull'individuazione di tre scale di fenomeni esplosivi analoghe a quelle definite nel lavoro di Orsi et al. (2009) e le cui probabilità di accadimento sono discusse nel capitolo 7.2. Lo studio fa quindi riferimento alla terza epoca di attività del vulcano (< 5 ka). Per ciascuna delle tre scale grande, media e piccola, sono stati definiti i parametri fisici di un evento tipo attraverso la ricostruzione di una corrispondente eruzione rappresentativa (Tab. 7.4.1).

Tabella 7.4.1: Parametri delle eruzioni di riferimento (Costa et al., 2009).

Parametro fisico (Eruzione di riferimento)	Grande scala (Agnano Monte Spina)	Media scala (Astroni 6)	Piccola scala (Averno 2)
Massa totale (kg)	5.2×10^{11}	1.2×10^{11}	2.3×10^{10}
Altezza colonna (km)	26	12	7
Portata eruttiva (kg/s)	$\leq 10^8$	$\leq 10^7$	$\leq 10^6$

Studi precedenti (es: Orsi et al., 2004a, Mastrolorenzo et al., 2008, Costa et al., 2009; Orsi et al., 2009; Selva et al., 2010), ipotizzano che l'eruzione esplosiva si realizzi da una bocca eruttiva posta all'interno della caldera flegrea, con una probabilità di apertura che varia in funzione della posizione. In particolare, sulla base della posizione delle bocche eruttive degli ultimi 5ka, Mastrolorenzo et al. (2008) assumono che la futura bocca eruttiva sia situata entro un raggio di 3-5 km dalla città di Pozzuoli, mentre gli studi di Orsi et al., 2009 e di Selva et al., 2010 considerano un'area molto più vasta con diversa probabilità di apertura al suo interno (vedi cap. 7.1 e mappa in Fig. 7.1.3).

È importante sottolineare che per lo studio della caduta di cenere prodotto da eruzioni esplosive di scala grande o media, è possibile trascurare gli effetti topografici, mentre per l'analisi delle eruzioni a scala minore la topografia può avere un effetto non trascurabile sulla distribuzione dei venti e quindi sulla dispersione delle ceneri. Costa et al. (2009) assumono trascurabili gli effetti topografici per tutte le scale eruttive. Nell'ipotesi aggiuntiva che il campo dei venti sia uniforme all'interno della caldera flegrea, la variazione della posizione della bocca eruttiva determina una semplice traslazione del deposito. Questa semplificazione permette di generare una mappa di probabilità di carico di cenere al suolo come la somma pesata delle probabilità di carico prodotte da eruzioni che hanno la bocca eruttiva in posizioni diverse.

Campo dei venti

I profili medi giornalieri del vento sono stati analizzati da Costa et al (2009) per il punto della griglia globale NOAA più vicino a Napoli (40N,15E, a sud del Golfo di Salerno) dal dataset "Reanalysis NCEP/NCAR" (Kalnay et al., 1996) per il periodo 1968–2003. La distribuzione statistica delle intensità e direzioni dei venti per il periodo considerato, a differenti quote rappresentative, è riportata in Fig. 7.4.4. Questa figura mostra che per una colonna eruttiva di circa 30 km di altezza, i venti prevalenti soffiano verso il settore compreso tra NNE e SSE, mentre solo il 10% ha una direzione verso il settore compreso tra SSW e NNW. Tuttavia, esiste un'evidente variazione stagionale che nel

periodo estivo consiste in una riduzione generalizzata delle intensità del vento e un aumento della probabilità di venti che soffiano verso Ovest. Al di sotto dei 10 km, la distribuzione del vento ha un carattere più isotropo, sebbene continui ad essere prevalente il vento che soffia in direzione Est. La prevalenza della direzione dei venti verso Est è evidente anche nel lavoro di Mastrolorenzo et al. (2008) che utilizza dati misurati nella stazione di Brindisi nel periodo dal 1953 al 2000 tra 0 e 34 km di quota.

Mappe di probabilità di carico di ceneri

La stima della probabilità di superamento di una specifica soglia di carico di ceneri vulcaniche al suolo può essere effettuata sia mediante lo studio della frequenza di accadimento dei depositi passati (es: Orsi et al., 2004), sia mediante la simulazione numerica (vedi ad esempio Cioni et al., 2003; Mastrolorenzo et al., 2008, Alberico et al., 2011). Nel secondo caso sono stati utilizzati in passato i codici HAZMAP (Pfeiffer et al., 2005; Folch et al., 2008; Macedonio et al., 2008) i modelli semi analitici di Suzuki (1983) e di Bonadonna et al., (2005) (Mastrolorenzo et al., 2008) e il modello FALL3D (Pfeiffer et al., 2005; Costa et al., 2006; Folch et al., 2008, 2009). In particolare, i due codici HAZMAP e FALL3D presentano caratteristiche diverse, essendo il codice HAZMAP un codice semi-analitico molto rapido (simile ai modelli di Suzuki del 1983 e di Bonadonna et al., 2005), ma semplificato rispetto al codice FALL3D, molto più completo dal punto di vista fisico ma meno idoneo per gli studi statistici che necessitano di centinaia o migliaia di simulazioni. In questo capitolo le mappe di probabilità di superamento di una soglia di carico sono tratte dal lavoro di Costa et al. (2009), ottenute simulando ripetutamente il deposito vulcanico con condizioni iniziali e al contorno diverse, ciascuna pesata con la corrispondente probabilità di accadimento, utilizzando il codice HAZMAP. Le simulazioni sono state effettuate per scenari eruttivi diversi, raggruppabili nelle tre scale grande, media e piccola, (prendendo sempre a riferimento la terza epoca di attività, in accordo con l'ipotesi di Orsi et al. 2004; Mastrolorenzo et al., 2008; Orsi et al., 2009 e Selva et al, 2010) Per semplicità, seguendo il lavoro di Selva et al. (2010), nei paragrafi seguenti sono mostrati esempi di mappe di pericolosità per scenari eruttivi di scala diversa e bocca posizionata in due aree ad elevata probabilità di apertura (Monte Nuovo e Agnano) (vedi Fig. 7.1.3, capitolo 7.1). Come si potrà notare, una traslazione della bocca comporta una corrispondente traslazione della mappa di pericolosità, in quanto come sopra discusso il campo dei venti non viene considerato ad un dettaglio tale da variare da punto a punto nell'area calderica.

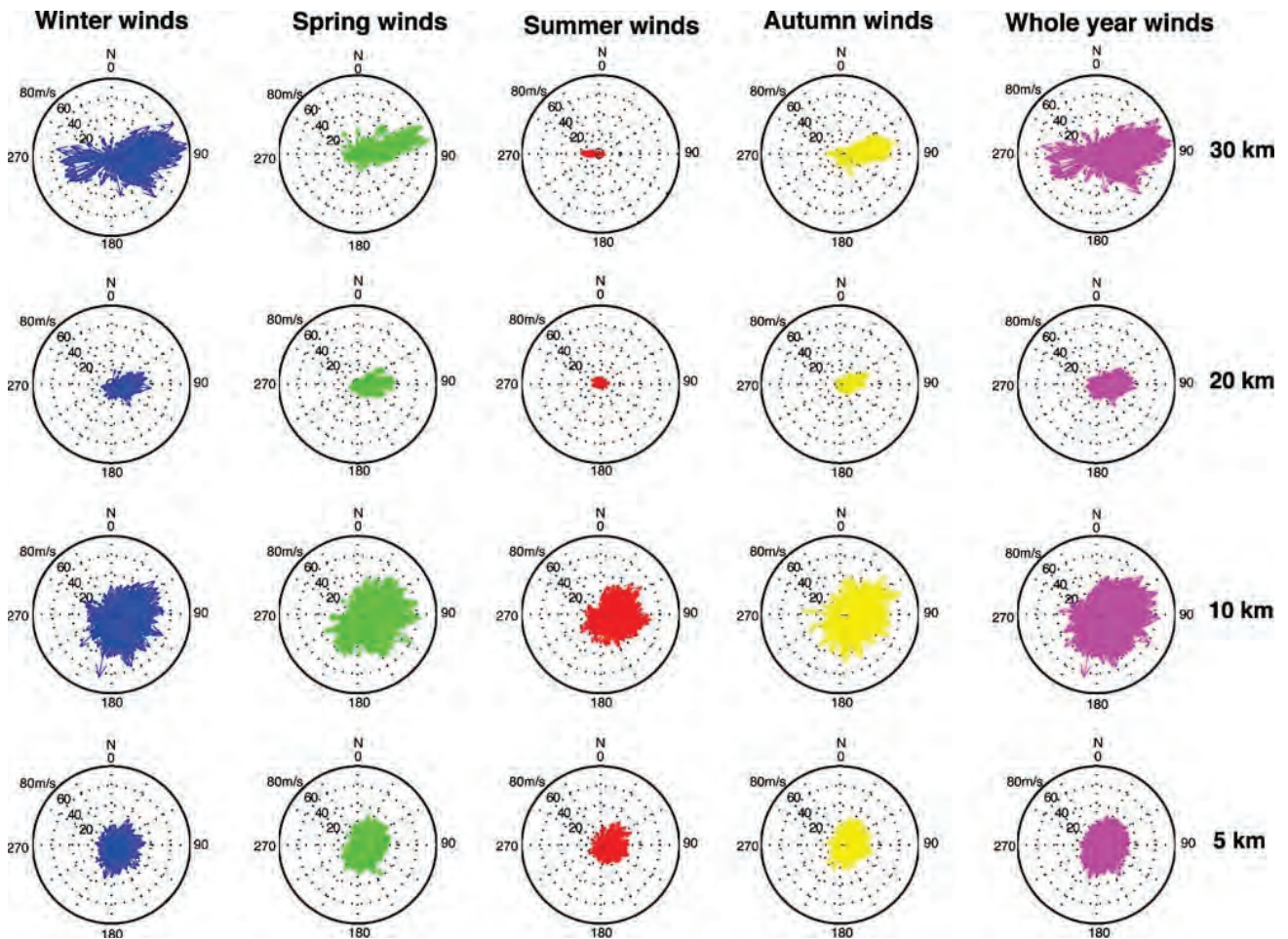


Figura 7.4.4. Diagrammi polari dell'intensità (m/s) e direzione dei venti (freccie) a diverse quote (righe) e per diverse stagioni (colonne). I profili si riferiscono al periodo 1968-2003 nel punto di coordinate 40N, 15E (da Costa et al., 2009).

Eruzione di scala grande

Le probabilità di superamento di una soglia di carico di cenere per un'eruzione di larga scala, con i parametri indicati in Tab. 7.4.1, sono riportate in Fig. 7.4.5. Per la posizione della bocca eruttiva sono stati considerati due casi: bocca nella zona di Averno-Monte Nuovo e nella zona di Agnano-San Vito. Le soglie di carico considerato sono 200, 300 e 400 kg/m² pari, rispettivamente, a circa 2, 3 e 4 kPa.

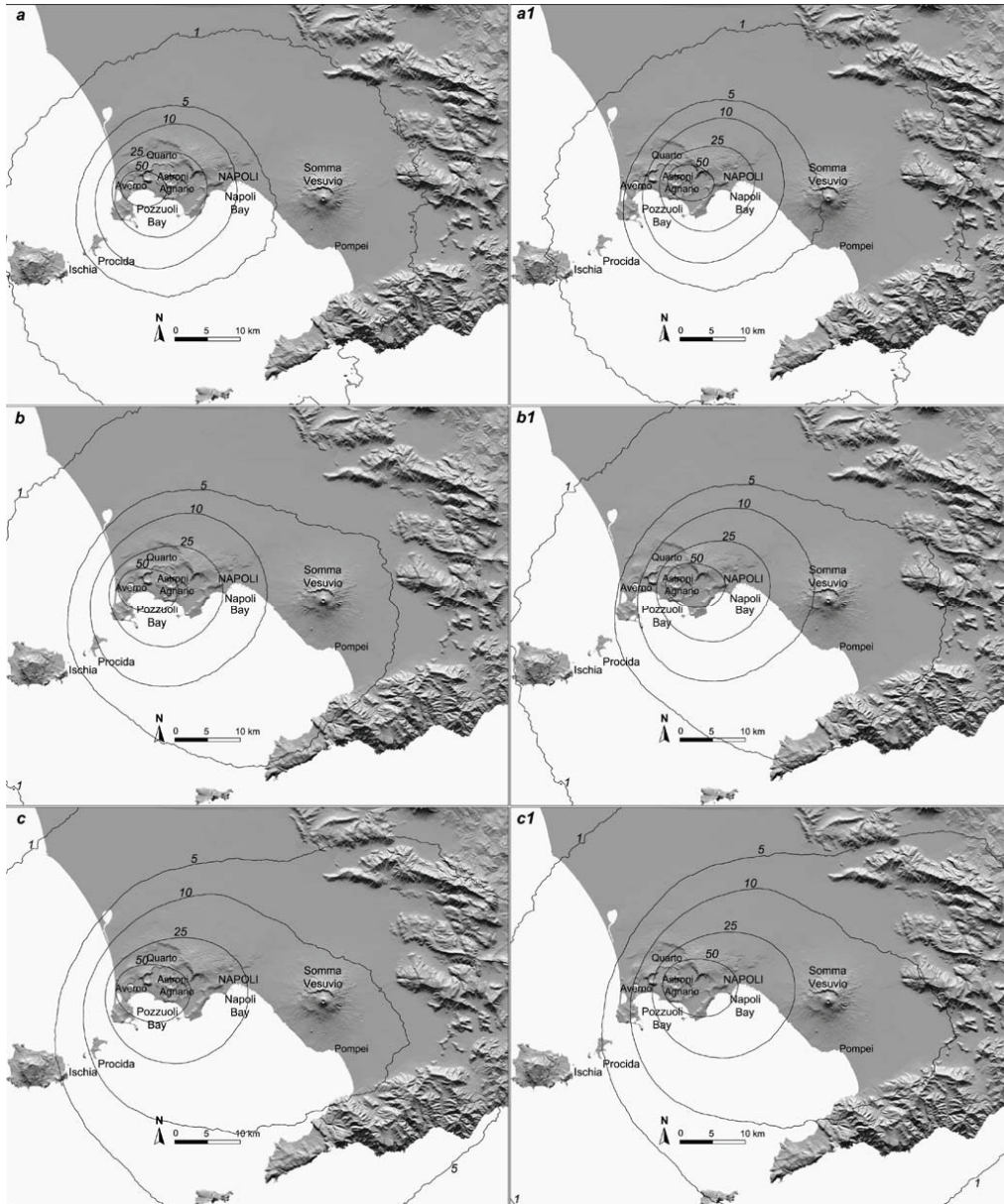


Figura 7.4.5: Probabilità di carico di cenere al suolo per un'eruzione di scala grande con una bocca eruttiva situata nell'area di Averno-Monte Nuovo: a) 400 kg/m², b) 300 kg/m², c) 200 kg/m², e nell'area di Agnano-San Vito: a1) 400 kg/m², b1) 300 kg/m², c1) 200 kg/m² (da Costa et al., 2009).

Eruzione di scala media

Nel caso di eruzione di media scala (vedi Tab. 7.4.1), le probabilità di superamento di una soglia di carico di cenere sono riportate in Fig. 7.4.6. Analogamente al caso precedente, per la posizione della bocca eruttiva sono stati considerati due casi: bocca nella zona di Averno-Monte Nuovo e nella zona di Agnano-San Vito. Le soglie di carico considerato sono 200, 300 e 400 kg/m² pari, rispettivamente, a circa 2, 3 e 4 kPa.

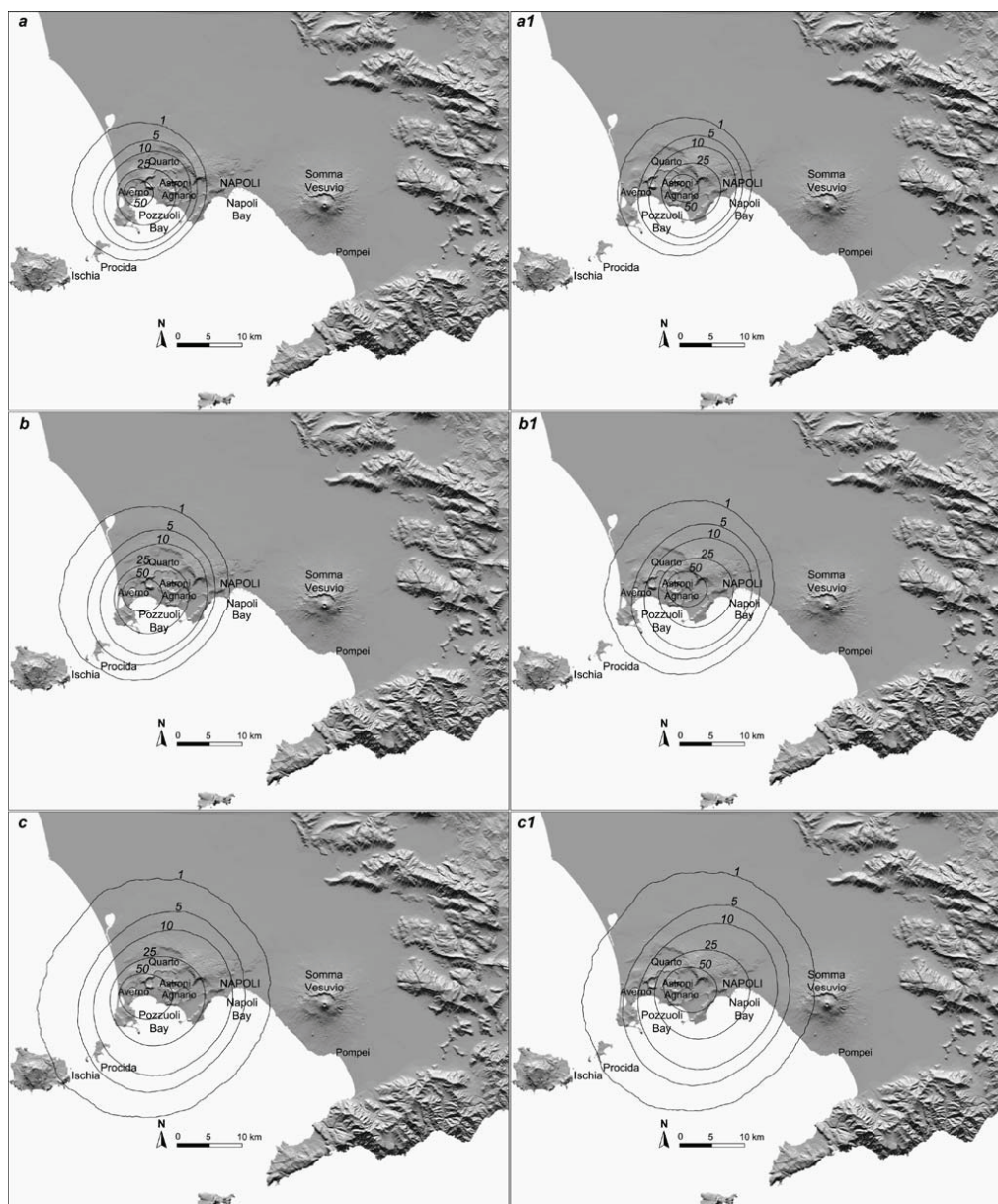


Figura 7.4.6: Probabilità di carico di cenere al suolo per un'eruzione di scala media con una bocca eruttiva situata nell'area di Averno-Monte Nuovo: a) 400 kg/m², b) 300 kg/m², c) 200 kg/m², e nell'area di Agnano-San Vito: a1) 400 kg/m², b1) 300 kg/m², c1) 200 kg/m² (da Costa et al., 2009).

Eruzione di scala piccola

Per le eruzioni di piccola scala (vedi Tab. 7.4.1), le probabilità di superamento di una soglia di carico di cenere sono riportate in Fig. 7.4.7. Ancora, per la posizione della bocca eruttiva sono stati considerati due casi: bocca nella zona di Averno-Monte Nuovo e nella zona di Agnano-San Vito. Le soglie di carico considerato sono 200, 300 e 400 kg/m² pari, rispettivamente, a circa 2, 3 e 4 kPa.

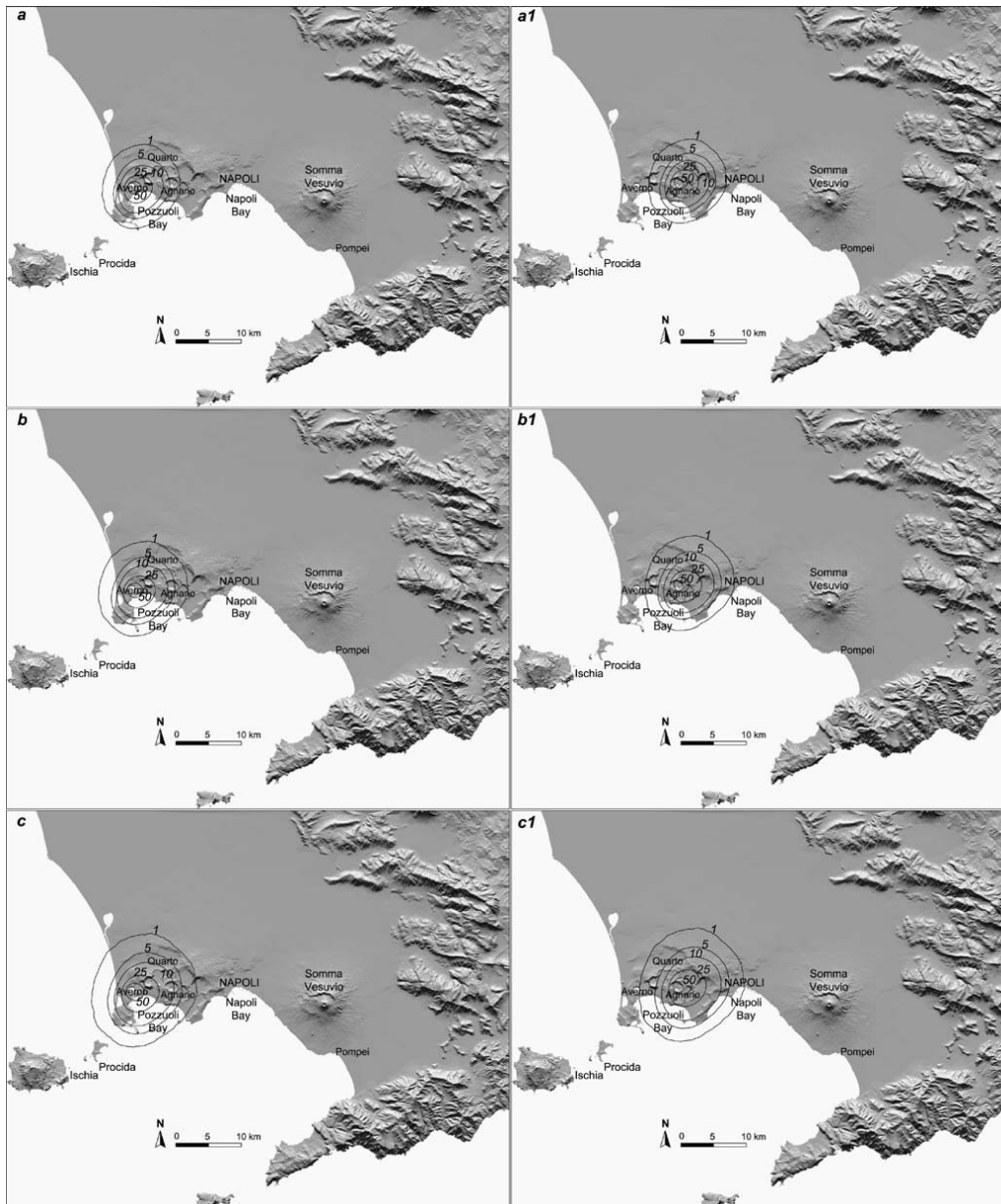


Figura 7.4.7: Probabilità di carico di cenere al suolo per un'eruzione di scala piccola con una bocca eruttiva situata nell'area di Averno-Monte Nuovo: a) 400 kg/m², b) 300 kg/m² c) 200 kg/m², e nell'area di Agnano-San Vito: a1) 400 kg/m², b1) 300 kg/m², c1) 200 kg/m² (da Costa et al., 2009).

Mappe di pericolosità combinate

Gli effetti della posizione della bocca eruttiva per la valutazione della pericolosità a lungo termine da caduta di cenere vulcanica sono stati affrontati da Selva et al. (2010). Gli autori, sulla base di precedenti studi (es: Orsi et al., 2004, 2009), disegnano una mappa con le probabilità di apertura di bocche eruttive ai Campi Flegrei, riportata in Fig. 7.1.3 (capitolo 7.1). Successivamente, eseguono simulazioni di caduta di cenere variando la scala dell'eruzione, il vento e la posizione della bocca, ottenendo mappe di probabilità combinate. I risultati ottenuti mostrano che la pericolosità vulcanica basata sulla media pesata di tutti i possibili casi (variando la taglia dell'eruzione, il campo dei venti e la posizione della bocca eruttiva) è sostanzialmente diversa da quella ottenuta utilizzando un singolo scenario (Selva et al., 2010). Risultati analoghi sono stati ottenuti anche da Mastrolorenzo et al. (2008)

combinando sei scale eruttive (da VEI 0 a VEI 5), con una bocca eruttiva casuale all'interno di un cerchio di 3-5 km di raggio con centro a Pozzuoli, nella zona di massimo sollevamento.

Nel recente lavoro di Selva et al. (2010) sono riportati i risultati dello studio degli effetti della variazione dei parametri di una possibile eruzione ai Campi Flegrei prendendo a riferimento l'attività della terza epoca. Nella mappa a sinistra di Fig. 7.4.8 viene riportato l'effetto combinato (pesato) della scala dell'eruzione, del vento e della posizione della bocca eruttiva nella caldera flegrea. Questa figura è stata ottenuta ridisegnando la figura 7b del lavoro di Selva et al., 2010, utilizzando curve di livello, anziché una scala di colori. Essa rappresenta la probabilità che il carico di cenere derivante da un'eruzione esplosiva di una scala arbitraria (tra piccola, media e grande secondo la loro diversa probabilità associata), con localizzazione della bocca eruttiva nell'area flegrea (secondo la distribuzione di probabilità in Fig. 7.1.3) produca un carico di cenere al suolo superiore a 300 kg/m^2 . In pratica, rappresenta la mappa di pericolosità per un deposito di cenere di 300 kg/m^2 in caso di eruzione esplosiva ai Flegrei. Nella mappa a destra di Fig. 7.4.8 viene rappresentata la mappa di pericolosità nelle stesse ipotesi della mappa rappresentata a sinistra, ma con esclusione delle bocche eruttive localizzate in mare. Infatti, pur non escludendo la possibilità di apertura di una bocca eruttiva in mare, si ritiene che un'eruzione con bocca sottomarina possa produrre una colonna eruttiva significativamente diversa da quella prodotta da un'eruzione con bocca eruttiva sulla terraferma. Si può notare che l'esclusione delle bocche in mare comporta una modifica delle probabilità di superamento del carico di 300 kg/m^2 con un apprezzabile spostamento verso Est dell'area a rischio.

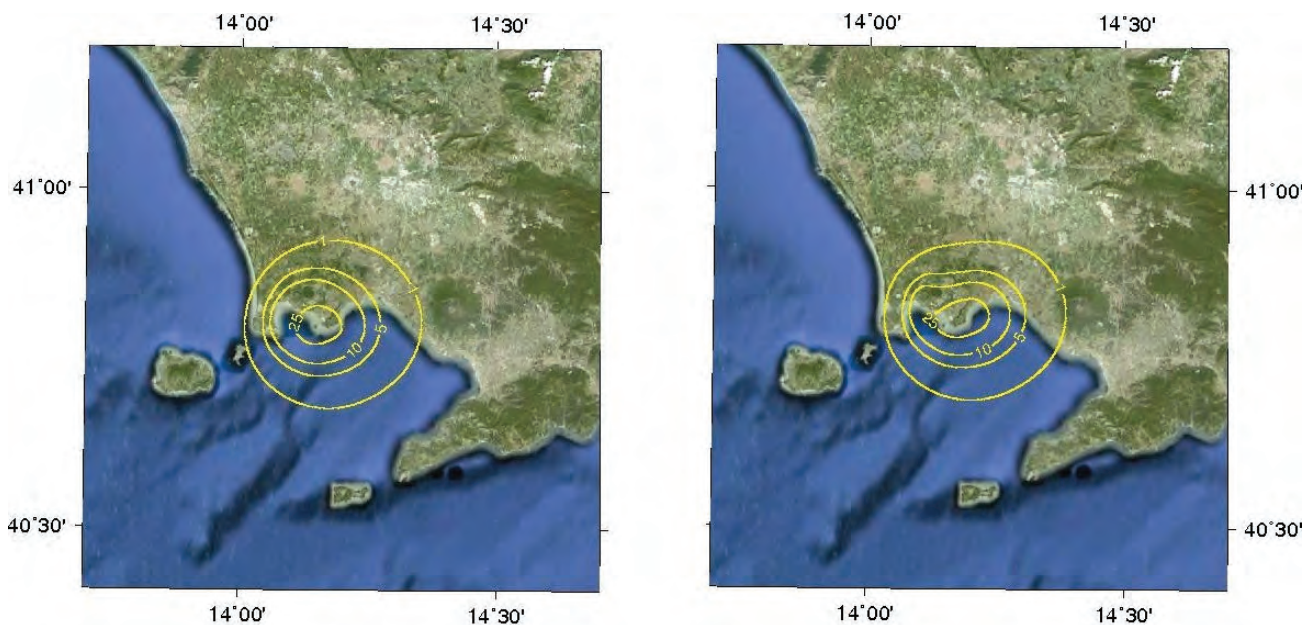


Figura 7.4.8: (A sinistra) Probabilità di carico di cenere al suolo superiore a 300 kg/m^2 , ottenuta considerando la variabilità del vento, della scala dell'eruzione, e della bocca eruttiva all'interno della caldera flegrea (ridisegnato sulla base del lavoro di Selva et al., 2010). (A destra) Figura simile a quella rappresentata a sinistra, ma ottenuta escludendo le bocche eruttive situate in mare.

Rappresentazione degli scenari per settori

In questo paragrafo viene fornita una diversa rappresentazione degli scenari di pericolosità da caduta di cenere. I calcoli sono stati effettuati dividendo il territorio secondo una griglia con celle di $250 \times 250 \text{ m}$. I dati calcolati su questa griglia sono stati utilizzati anche per il calcolo degli scenari di danno descritti

al capitolo 9 di questo documento. Il valore atteso del carico sulle coperture si riferisce ad eruzioni di scala media e grande, caratterizzate da valori dell'altezza della colonna eruttiva e della massa eruttata riportati in Tab. 7.4.1.

Lo studio ha preso in considerazione 32 possibili direzioni del vento, omogeneamente spaziate di $360^\circ/32 = 11,25^\circ$. I venti stratosferici di riferimento sono quelli ottenuti dalla NOAA per un periodo di 10 anni compreso tra il 01/01/1991 ed il 31/12/2000. In Fig. 7.4.9 viene riportato, a scopo esemplificativo, il caso di una eruzione di taglia media con bocca eruttiva in località Agnano. Ulteriori analisi utilizzate nel cap. 9 hanno preso in considerazione diverse taglie dell'eruzione e una ulteriore bocca eruttiva localizzata nel settore occidentale della caldera.

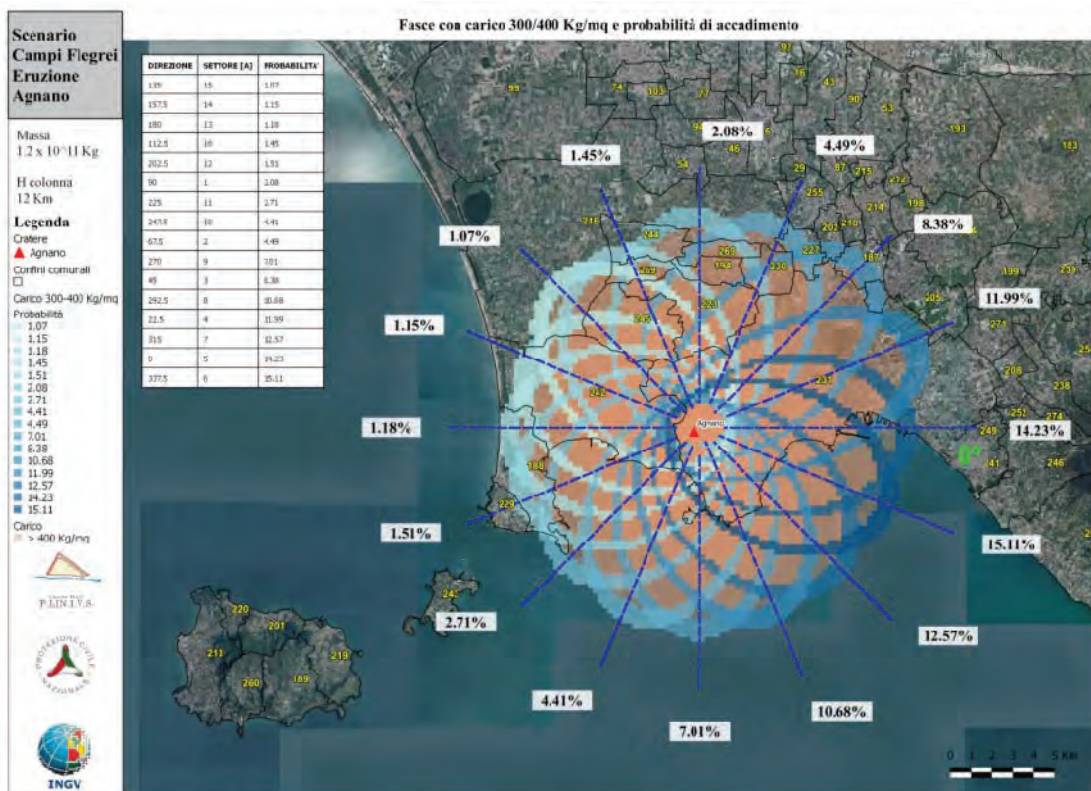


Figura 7.4.9. Depositi da caduta di cenere per una eruzione di scala media con bocca eruttiva in Agnano. Ciascuna ellisse si riferisce a una singola eruzione corrispondente ad una direzione del vento lungo l'asse maggiore dell'ellisse (linee tratteggiate). I numeri, e la gradazione di azzurro, indicano le diverse probabilità associate a ciascuna direzione del vento. Ciascun punto all'interno del campo indicato con il colore azzurro corrisponde ad un carico al suolo $> 300 \text{ kg/m}^2$. Ciascun punto all'interno del campo indicato con il colore beige corrisponde ad un carico al suolo $> 400 \text{ kg/m}^2$ (da Zuccaro et al., 2011).

Stima del carico della cenere umida

Durante o dopo le eruzioni esplosive, l'acqua delle piogge viene assorbita dalla cenere depositata sul terreno e sui tetti delle abitazioni, aumentandone sensibilmente il carico. Questo effetto è stato recentemente stimato da Macedonio e Costa (2012), con alcune considerazioni semplificatrici per la stima del carico massimo che può avere una cenere imbevuta di acqua. La prima stima del carico massimo è quella che si basa sulla quantità di pioggia che può cadere in una data regione, calcolata sulla base di record storici (dati meteo della Regione Campania). L'altra considerazione riguarda l'osservazione che la quantità massima di acqua che può assorbire un deposito deve essere inferiore alla

quantità sufficiente a mobilizzare il deposito. Ad esempio, la cenere caduta su un tetto può aumentare il suo carico a causa dell'assorbimento di acqua; tuttavia, quando quest'acqua raggiunge un limite critico, il deposito si mobilizza originando una colata di fango e viene rimosso dal tetto.

In sintesi, considerando le piogge della Regione Campania, una stima dell'aumento del carico sulle coperture da caduta di cenere è rappresentata in Fig. 7.4.10.

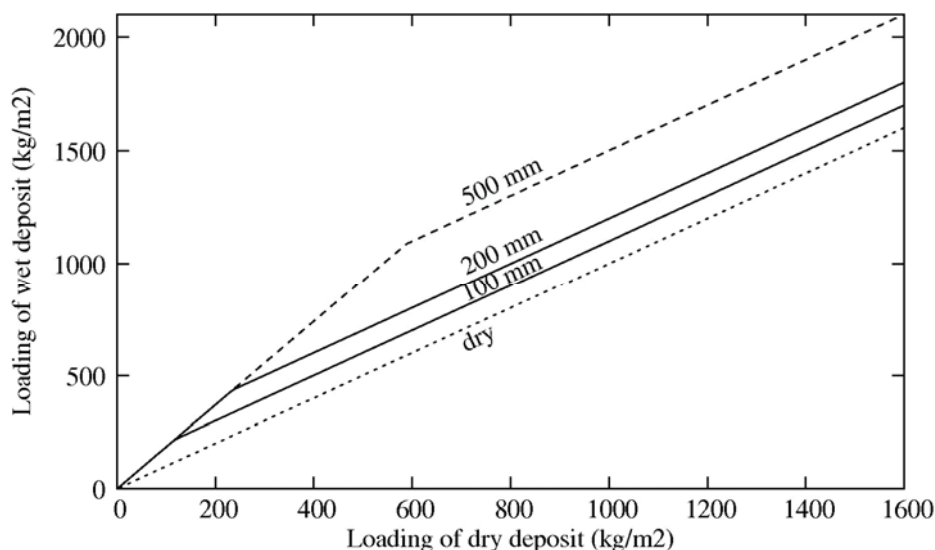


Figura 7.4.10. Relazione tra il carico del deposito di cenere asciutto (dry) e il corrispondente deposito imbevuto di acqua (wet). La relazione, tratta dal lavoro di Macedonio e Costa (2012), tiene conto delle possibili piogge nell'area Flegrea (Regione Campania) e della quantità massima di acqua che può assorbire un deposito prima di essere mobilizzato. Le curve si riferiscono a diversi valori di millimetri di pioggia. I valori oltre 100 mm devono essere considerati estremi.

7.4.3 Stime del carico di cenere al suolo basate su previsioni meteorologiche

Mediante l'uso di modelli e di previsioni meteorologiche, è possibile effettuare, con alcune ore di anticipo, stime dell'area interessata dalla caduta di cenere e delle zone aeree interessate dalla presenza della nube eruttiva. Ovviamente, non essendo possibile prevedere con precisione le caratteristiche della colonna convettiva (es: altezza della colonna, dimensioni e densità delle particelle di cenere, ecc.), la stima delle concentrazioni di cenere in aria e al suolo saranno condizionate al verificarsi dei diversi scenari eruttivi. Ai fini pratici, è ragionevole predisporre uno o più scenari definiti in termini dei parametri fisici dell'eruzione, ed effettuare ogni 12 o 24 ore le simulazioni della dispersione di cenere utilizzando i dati forniti dai Servizi Meteorologici. Questa procedura permette di ottenere, pur con la loro incertezza, le aree e le zone aeree a maggior pericolosità associate alla presenza delle ceneri, per le ore successive. Tra i diversi esempi di simulazioni di scenari eruttivi di riferimento combinate con previsioni meteorologiche, già utilizzate all'Etna o nell'ambito di progetti scientifici ed esercitazioni di protezione civile realizzati al il Vesuvio (es: Esercitazione MESIMEX nel 2006) ricordiamo i lavori di Costa et al. (2006), Barsotti et al. (2008), Folch et al. (2009) e Scollo et al. (2009).

Considerazioni conclusive

La ricaduta di materiale vulcanico è un tipico fenomeno associato alle eruzioni esplosive dei Campi Flegrei. In particolare, nelle zone prossimali cadono materiali di dimensioni maggiori (anche blocchi

dell'ordine del metro) mentre nelle zone distali si ha la caduta di particelle di dimensioni dell'ordine del millimetro e inferiore.

Il trasporto e la ricaduta del materiale piroclastico sono comunque influenzati da numerosi fattori quali l'intensità e direzione del vento alle diverse quote, le caratteristiche microscopiche delle particelle vulcaniche, l'altezza della colonna eruttiva (nonché la sua variabilità nel tempo) e la massa totale di materiale eruttato. Attualmente, sono disponibili diverse ricostruzioni della dispersione dei prodotti vulcanici emessi dalle eruzioni dei Campi Flegrei nonché vari modelli fisico-numeriche per la descrizione quantitativa del processo di dispersione delle ceneri e per la stima del carico al suolo. In particolare i modelli sono stati utilizzati per stimare la probabilità associata a diversi valori di carico di cenere al suolo in funzione dello scenario di evento e del campo dei venti (storico o previsto) ipotizzati. Mappe della distribuzione della probabilità di superamento di specifiche soglie di carico sono state realizzate per tre possibili scenari eruttivi (denominati piccolo, medio e grande) rappresentativi dell'attività avvenuta ai Campi Flegrei negli ultimi 5.000 anni ed utilizzando i campi di vento medio giornaliero. Dalle mappe emerge come il livello di pericolosità per l'Area Flegrea e i territori circostanti sia fortemente influenzato dalla scala eruttiva e dai venti (che soffiano prevalentemente verso Est). Una mappa integrata della probabilità di ricaduta di cenere, ottenuta considerando la variabilità del vento, della scala dell'eruzione, e della bocca eruttiva all'interno della caldera flegrea, mostra in particolare come, in caso di eruzione, accumuli dell'ordine di 300 kg/m^2 possano interessare gran parte della caldera con una probabilità dell'ordine del 10% e che valori superiori all'1% possano interessare la città di Napoli e i territori a Nord-Est della caldera.

Si ricorda, infine, che il deposito di cenere costituisce anche elemento di rischio per la possibile formazione di colate di fango (lahar) ove sussistano le condizioni per la rimobilizzazione delle ceneri ad opera delle piogge (vedi cap. 7.6) e che la presenza di cenere in aria o al suolo è in grado di compromettere il traffico aereo e stradale, di produrre danni alle reti di distribuzione (elettricità, acqua, fognature), agli animali, all'agricoltura nonché di rappresentare un significativo fattore di rischio per le persone coinvolte (vedi anche cap. 7.3 e cap. 9).

7.5 PERICOLOSITA' DA FLUSSI PIROCLASTICI

Come descritto nelle precedenti sezioni, i Campi Flegrei sono caratterizzati da attività eruttiva a carattere prevalentemente esplosivo. Questa attività si manifesta nell'area flegrea e in gran parte della regione campana attraverso importanti depositi piroclastici da ricaduta o di flusso piroclastico¹. Quest'ultimo fenomeno rappresenta la principale sorgente di rischio associata a questo sistema vulcanico. A causa della loro velocità, temperatura e concentrazione di particelle, i flussi piroclastici possono infatti produrre ingenti danni alle strutture urbane coinvolte nonché condizioni letali per le persone investite. Assume quindi fondamentale importanza definire le aree potenzialmente interessate da questo fenomeno al fine di operare i necessari interventi preventivi.

In questa sezione si analizzano le attuali conoscenze sulla stima della pericolosità da flussi piroclastici ai Campi Flegrei e si fornisce una descrizione quantitativa delle aree potenzialmente interessate da questo fenomeno.

In linea di principio, la pericolosità da flussi piroclastici può essere rappresentata come la probabilità che determinate condizioni pericolose associate ai flussi (ad esempio in termini di pressione dinamica, temperatura, concentrazione di cenere, spessore del deposito, ecc.) possano verificarsi in una determinata località e in un determinato intervallo temporale. Tali probabilità dovrebbero tener conto anche delle numerose incertezze che influenzano il sistema vulcanico e il processo eruttivo stesso. Purtroppo ad oggi tale rappresentazione non è disponibile e gli studi finora realizzati sulla stima della pericolosità dei flussi piroclastici si sono basati su tutta una serie di ipotesi semplificatrici.

Gli studi che sono stati presi in considerazione sono i seguenti: Lirer et al. (2001), Alberico et al. (2002), Rossano et al. (2004), Orsi et al. (2004), Todesco et al. (2006), Esposti Ongaro et al. (2008, 2012), Alberico et al. (2011) e Bevilacqua et al. (2012). Tali studi utilizzano diverse metodologie quali la ricostruzione dei depositi prodotti e/o l'utilizzo di modelli teorici di simulazione del fenomeno. La maggior parte di essi fa riferimento a specifici eventi passati o a una specifica categoria eruttiva (espressa ad esempio in termini di Volcanic Explosivity Index – VEI). Soltanto in alcuni casi gli autori cercano di produrre una mappa “globale” o “integrata” di pericolosità da flussi piroclastici sebbene, in diversi casi, soltanto in termini qualitativi. In tutti gli studi analizzati si prescinde comunque dalle informazioni che potrebbero arrivare dalle reti di monitoraggio durante una crisi, ovvero si tratta sempre di cosiddette stime di pericolosità “a lungo termine”.

Numerose altre pubblicazioni attinenti alla tematica dei flussi piroclastici ai Campi Flegrei sono state prese in considerazione (e.g. de Vita et al, 1999; Dellino et al., 2004a,b; Orsi et al., 2009; Lirer et al., 2010). Ugualmente considerate sono state le relazioni scientifiche prodotte dai diversi esperti ascoltati dal gruppo durante i lavori (P. Dellino, M. di Vito, R. Isaia, P. Marianelli, W. Marzocchi, A. Sbrana).

Il lavoro di Lirer et al. (2001) si concentra sulla ricostruzione dei depositi piroclastici dei maggiori eventi avvenuti negli ultimi 5.000 anni. Di particolare interesse è la ricostruzione delle aree interessate dai flussi piroclastici prodotti dall'eruzione di Agnano Monte Spina (Fig. 7.5.1). Gli autori interpretano i flussi come prodotti dal collasso della colonna eruttiva e, nella maggioranza dei casi, riconoscono evidenze di interazione tra il magma e acqua di origine esterna. Mappe analoghe sono riportate per le eruzioni di Astroni, Averno 2 e Monte Nuovo (qui non riportate).

¹ In questo rapporto si indica con “flusso piroclastico” qualunque tipo di corrente di densità costituita da gas e particelle vulcaniche ad alta temperatura, indipendentemente dalle specifiche caratteristiche del flusso o dai meccanismi di origine.

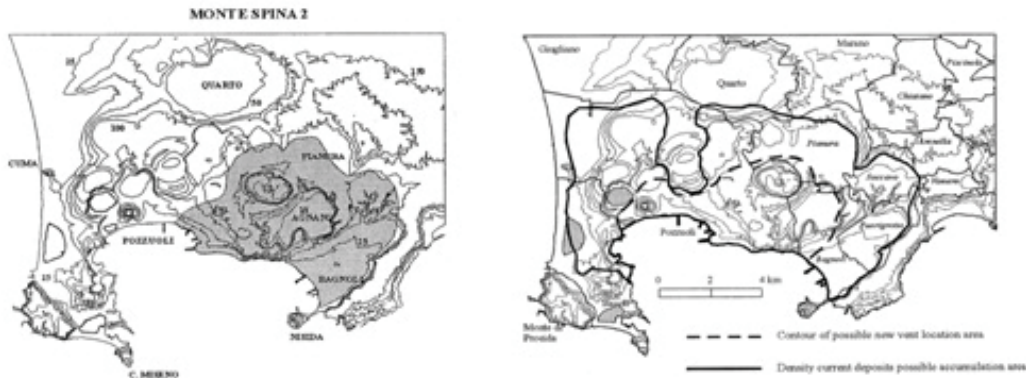


Figura 7.5.1. (a) Estensione delle aree interessate da flussi piroclastici dell'eruzione di AMS (Lirer et al., 2001). (b) Estensione delle aree potenzialmente interessate da accumulo di depositi di flussi piroclastici con riferimento all'attività degli ultimi 5.000 anni (Lirer et al., 2001). La linea in tratteggio indica l'area di possibile apertura di nuove bocche eruttive mentre la linea continua indica l'area di possibile accumulo di depositi da flusso piroclastico.

Gli autori propongono inoltre una mappa globale di pericolosità da flussi piroclastici basata sulla storia eruttiva, con riferimento agli ultimi 5.000 anni (vedi Fig. 7.5.1b). Gli autori sottolineano come la regione orientale sia soggetta a una pericolosità maggiore rispetto a quella occidentale e come l'area interessata dai flussi potrebbe essere circoscritta a est dalla Collina di Posillipo, dal Vomero e dalla Collina di Camaldoli.

Lo studio di Alberico et al. (2002) produce due mappe di probabilità di invasione da flussi piroclastici corrispondenti a eventi esplosivi di categoria VEI 3 (e.g. Monte Nuovo) e 4 (e.g. Averno 2) (vedi Fig. 7.5.2). Le mappe presentate tengono conto di una distribuzione di probabilità delle bocche eruttive assunta sulla base di una serie di indicatori geofisici, geochimici e geologici (vedi Fig. 7.1.2, capitolo 7.1) e del modello della *energy-line* per la stima delle aree invase dal flusso. Tale modello non risolve le equazioni di trasporto della miscela eruttiva ma stima la distanza raggiunta dai flussi sulla base di due parametri, l'altezza del collasso e l'angolo di dissipazione dell'energia assumendo moto monodimensionale e dissipazione costante.

Sulla base di questo approccio vengono definite, in termini qualitativi, quattro zone a diversa probabilità di invasione (bassa, media, alta e molto alta). E' da sottolineare che rilevanti zone di Napoli situate al di fuori della caldera sono interessate da probabilità "medio-bassa" anche nel caso di VEI pari a 3. Questo risultato è dovuto all'estensione dell'area di probabile apertura della bocca a quelle zone di Napoli (vedi Fig. 7.1.2). E' da notare infine che questi risultati sono in parte stati superati dal lavoro di Alberico et al (2011) discusso nel seguito.

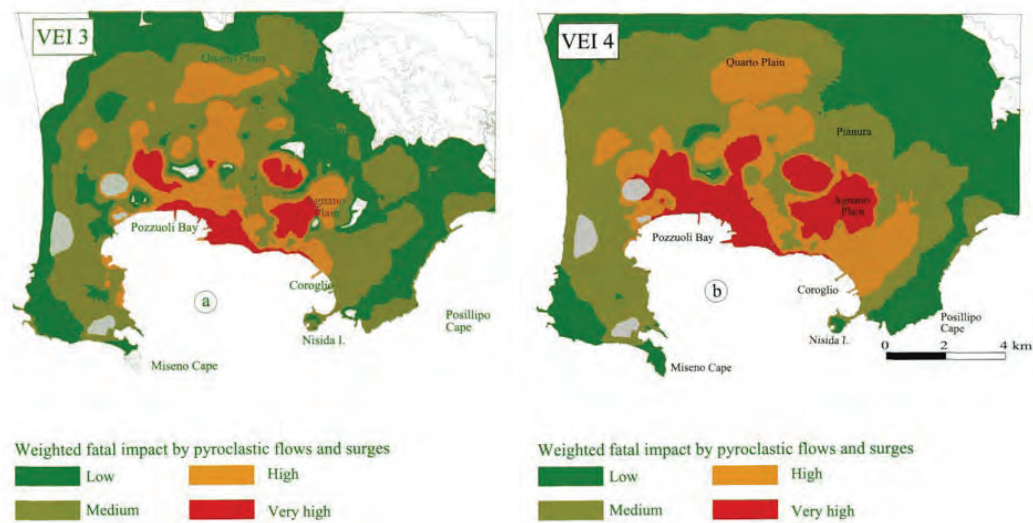
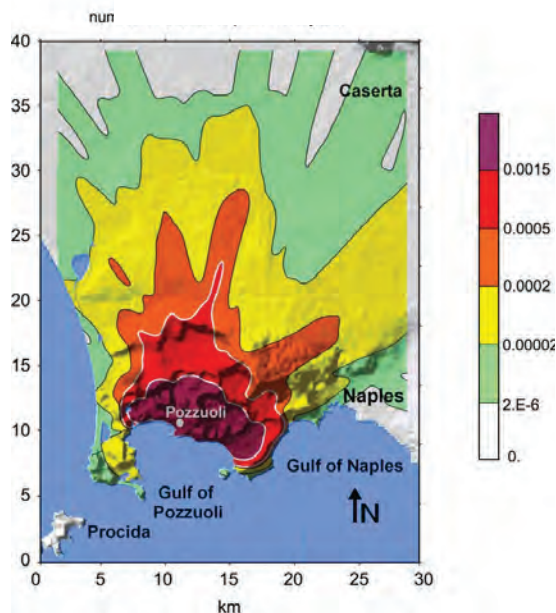


Figura 7.5.2. Mappe di invasione da flussi piroclastici corrispondenti ad eventi di scala VEI 3 (a) e VEI 4 (b) (Alberico et al., 2002).



Rossano et al. (2004) propongono una mappa di pericolosità da flussi basata sull'utilizzo di un modello dinamico. In questo caso il modello risolve le equazioni di trasporto in 1D, assume un flusso stazionario e omogeneo di tipo Newtoniano/Binghamiano e trascura effetti multidimensionali e processi fisici come l'inglobamento di aria nel flusso e la sedimentazione delle particelle.

Figura 7.5.3. Mappa della probabilità annua di invasione da flussi piroclastici prendendo a riferimento gli ultimi 12.000 anni (Rossano et al., 2004).

La mappa in Fig. 7.5.3 riporta una probabilità annua di invasione sulla base degli eventi avvenuti negli ultimi 12.000 anni. I dati di input del modello sono stati assunti prendendo a riferimento tutta la varietà di eventi eruttivi avvenuti ai Campi Flegrei inclusi quelli di scala molto grande in grado di generare ignimbriti e collassi calderici. E' da notare che le bocche eruttive in questo studio sono state assunte distribuite (e a pari probabilità di attivazione) su tre cerchi concentrici centrati sulla cittadina di Pozzuoli.

Lo studio di Orsi et al. (2004a,b) ricostruisce la dispersione dei depositi di flussi piroclastici sulla base di indagini di terreno. In particolare vengono ricostruite le aree invase dai flussi nelle tre diverse epoche degli ultimi 15.000 anni (vedi Fig. 4.6.1, capitolo 4.6). Gli autori evidenziano come le stime areali riportate sono comunque stime minime a causa della inevitabile irregolarità degli affioramenti e dei processi erosivi avvenuti nel tempo.

La Fig. 7.5.4 riporta l'estensione ricostruita dei depositi da flusso nella terza epoca. I flussi sono interpretati come prodotti da livelli variabili di attività magmatica e freatomagmatica. Gli autori

evidenziano come la maggior parte dei flussi sia confinata all'interno della caldera e, subordinatamente, alla Collina di Camaldoli sul pendio nord. Solo l'evento di Agnano Monte Spina sembra mostrare flussi con runout di circa 20 km in direzione nord-est.

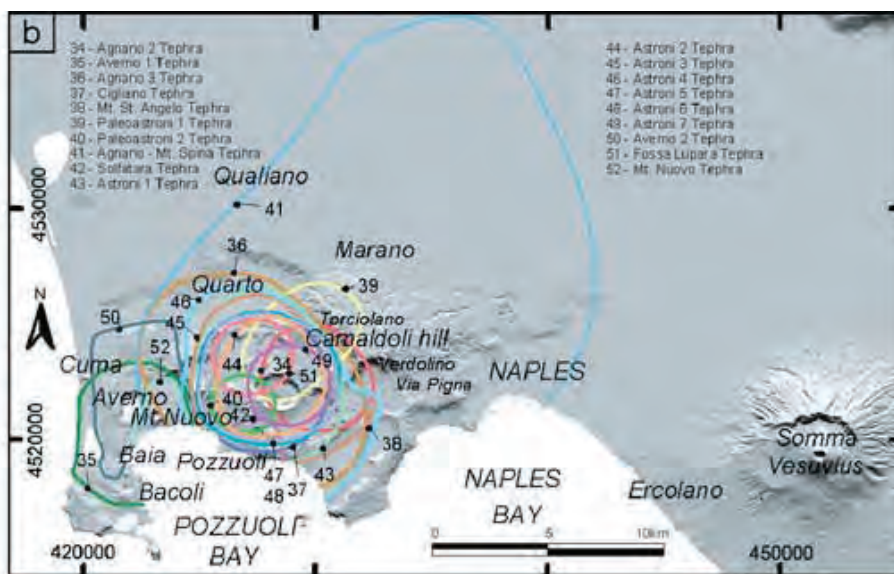
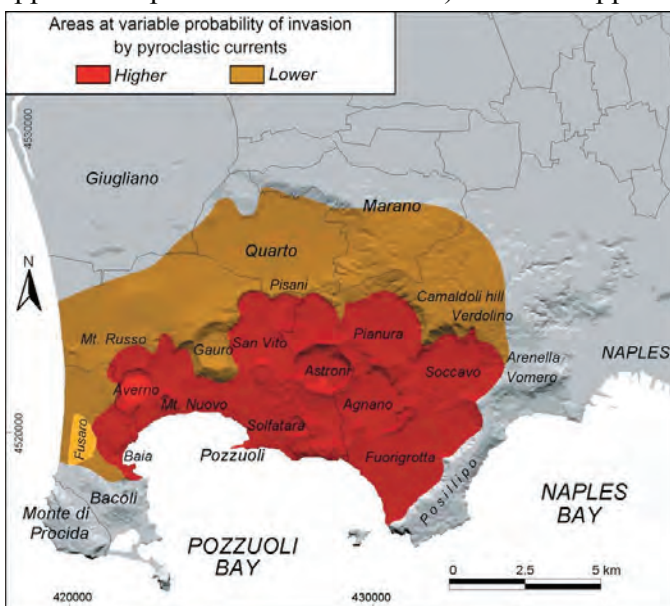


Figura 7.5.4. Estensione delle aree interessate da flussi piroclastici durante la terza epoca di attività e per l'eruzione di Monte Nuovo (da Orsi et al., 2004a,b).

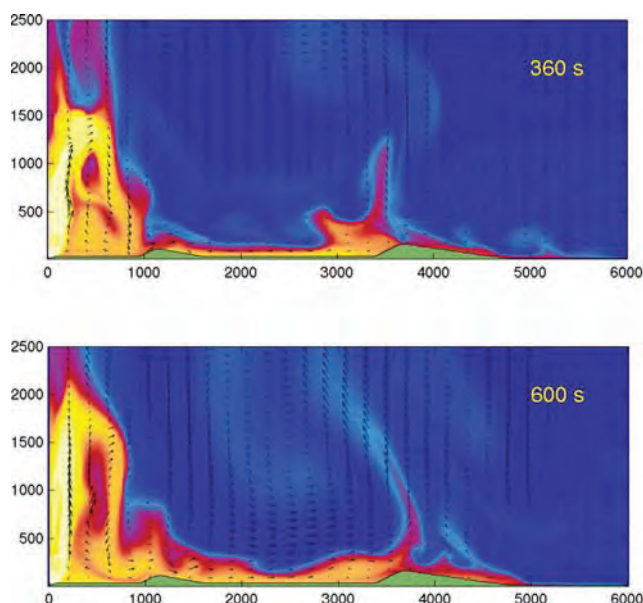
Orsi et al. (2004a,b) inoltre propongono una mappa di pericolosità da invasione da flussi piroclastici sulla base della distribuzione dei depositi degli ultimi 5.000 anni. La Fig. 7.5.5 mostra le aree individuate a più alta e più bassa probabilità di invasione, sebbene non quantifichi i corrispondenti valori di probabilità. E' da notare che, pur facendo riferimento alla terza epoca, gli autori sembrano non aver considerato l'evento di Agnano Monte Spina come da loro riportato in Fig. 7.5.4 (o di averlo supposto di probabilità trascurabile). Dalla mappa risulta che il settore occidentale della caldera è



esposto a una minore pericolosità rispetto al settore orientale. Si evidenzia inoltre come la Collina di Posillipo e le aree del Vomero e di Arenella non siano state incluse nelle zone di possibile invasione e come, verso est, esista un brusco passaggio dalle aree a maggior pericolosità ad aree a pericolosità trascurabile. Gli autori tuttavia evidenziano come anche alcune aree di Napoli del settore orientale (ad esempio Vomero e Arenella), per alcune posizioni della bocca eruttiva e per le scale eruttive più intense, potrebbero essere interessate dal fenomeno dei flussi.

Figura 7.5.5. Mappa di pericolosità da flussi piroclastici (da Orsi et al., 2004a,b).

Todesco et al. (2006) analizzano la dinamica di propagazione dei flussi piroclastici nel settore est della caldera flegrea. Lo studio adotta un modello numerico 2D in grado di simulare la natura transiente e multifase del fenomeno. Il modello fa riferimento ad un meccanismo di generazione dei flussi da collasso parziale di colonna e assume condizioni alla bocca eruttiva stazionarie e calcolate simulando la risalita e frammentazione del magma lungo il condotto vulcanico. In particolare lo studio approfondisce

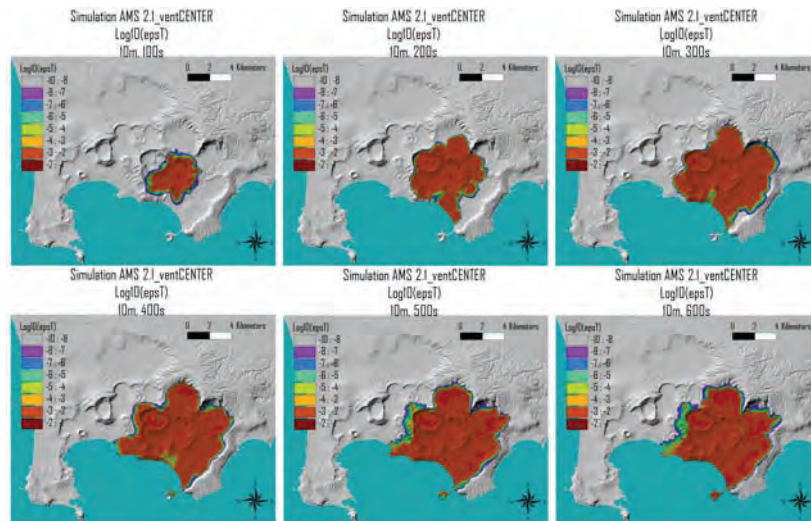


la complessa dinamica delle interazioni tra flussi e barriere topografiche ed evidenzia l'estrema sensibilità del *runout* dei flussi alla posizione della bocca eruttiva e alla presenza di asperità topografiche prossimali anche minime. In riferimento al settore est della caldera, le simulazioni confermano, come osservato dai depositi, che per opportune posizioni della bocca eruttiva e regimi di collasso della colonna, i flussi piroclastici prodotti da un evento di taglia analoga all'eruzione di Agnano Monte Spina (assunto con intensità eruttiva nell'ordine di 10^8 kg/s) sono in grado di superare la Collina di Posillipo (Fig. 7.5.6).

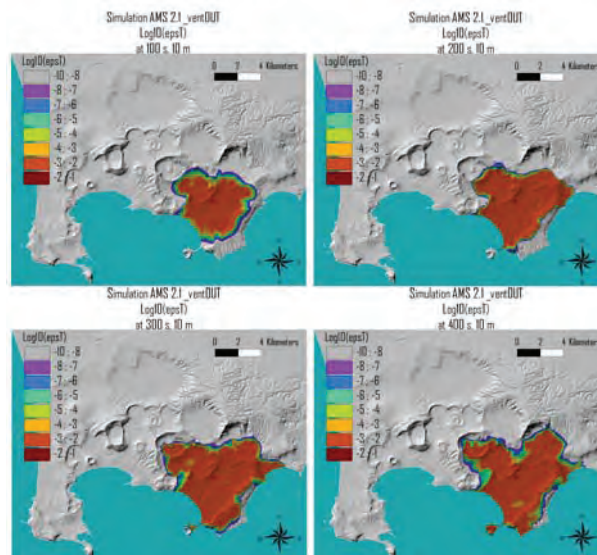
Figura 7.5.6. Distribuzione della temperatura del gas e della velocità dei flussi calcolata tramite una simulazione numerica 2D di un evento di collasso di colonna ai Campi Flegrei. Le due distribuzioni si riferiscono a 360 e 600 sec dall'inizio del collasso della colonna. La scala dell'evento è analoga a quella dell'eruzione di Agnano Monte Spina. I due rilievi topografici rappresentano il bordo della Conca di Agnano (a sinistra) e la Collina di Posillipo (a destra) (Todesco et al., 2006).

Più recentemente, nell'ambito del progetto SPEED (cofinanziato dal DPC e dalla Regione Campania), le suddette simulazioni rappresentative di un evento della stessa taglia di Agnano Monte Spina sono state realizzate in 3D, assumendo diverse localizzazioni della bocca eruttiva (Esposti Ongaro et al., 2007, 2008, 2012). In Fig. 7.5.7 sono rappresentate le aree interessate dai flussi piroclastici nel caso di bocca eruttiva al centro della Conca di Agnano (Fig. 7.5.7a) e sul bordo esterno della stessa conca in direzione sud-est (Fig. 7.5.7b).

Le simulazioni 3D confermano ancora il forte controllo delle strutture calderiche sulla dispersione dei flussi e, allo stesso tempo, l'estrema sensibilità delle aree invase a piccoli spostamenti della bocca eruttiva. In particolare dalle simulazioni emerge che mentre la maggior parte dei flussi simulati rimane confinata nell'area calderica, è comunque possibile il superamento della Collina di Posillipo, che nelle simulazioni effettuate si verifica nel caso in cui la bocca eruttiva si trovi sul bordo esterno in direzione sud-est della conca di Agnano.



(a)



(b)

Figura 7.5.7. Aree interessate dai flussi piroclastici, in funzione del tempo trascorso dal momento del collasso della colonna, calcolate sulla base di simulazioni numeriche 3D e transienti. La figura si riferisce a due diverse localizzazioni della bocca eruttiva: (a) bocca al centro della Conca di Agnano, (b) bocca sul bordo esterno della Conca di Agnano in direzione sud-est (modificate da Esposti Ongaro et al., 2008, 2012).

La pericolosità da flussi piroclastici ai Campi Flegrei è stata recentemente analizzata anche da Lirer et al. (2010) e Alberico et al. (2011). In questi studi si estende la metodologia adottata da Alberico et al. (2002) arrivando a definire una mappa di pericolosità vulcanica globale per la città di Napoli (Fig. 7.5.8). Attraverso l'integrazione di dati stratigrafici e modelli teorici (basati ancora sull'*energy line* per i flussi e sul modello HAZMAP per il fallout), gli autori, assumendo le probabilità di accadimento medie delle tre categorie eruttive definite da Orsi et al. (2009) per gli ultimi 5.000 anni, classificano qualitativamente la regione napoletana in 5 diversi livelli di pericolosità da invasione di flussi piroclastici (molto basso, basso, medio-basso, medio e alto).

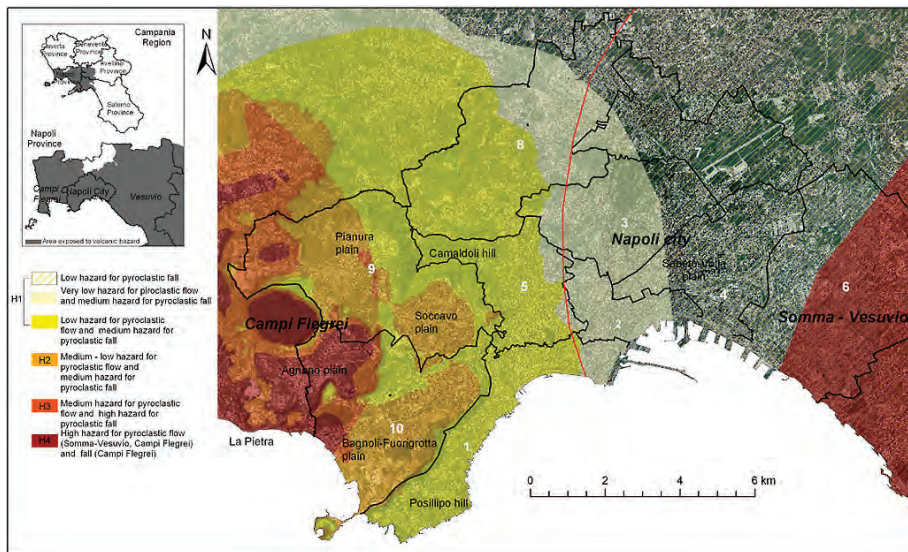


Figura 7.5.8. Mappa di pericolosità vulcanica della Città di Napoli (Alberico et al. 2011).

Lo studio ipotizza la distribuzione di probabilità apertura bocche di Alberico et al. (2002) ma non associa esplicitamente dei valori numerici alle probabilità di invasione dei flussi delle diverse aree (Alberico, comunicazione personale). Per quanto riguarda i flussi piroclastici è da notare come le zone a pericolosità alta, media e medio-bassa siano tutte confinate all'interno della caldera. Ai quartieri centro-occidentali della città di Napoli la mappa assegna pericolosità da flussi piroclastici bassa o molto bassa.

In continuazione delle attività iniziate nell'ambito del progetto SPEED, Bevilacqua et al. (2012) hanno recentemente prodotto delle distribuzioni preliminari di probabilità delle aree di invasione da flussi piroclastici utilizzando le ricostruzioni della dispersione dei flussi (Fig. 7.5.4) e la distribuzione di probabilità di apertura delle bocche eruttive stimata nello stesso studio (Fig. 7.1.4) e dal lavoro di Selva et al (2011). Sulla base dei suddetti dati di terreno è stata costruita una distribuzione di probabilità delle aree di invasione. Assumendo, in prima approssimazione, una forma circolare dell'area di invasione dei flussi, sono state quindi costruite una serie di mappe di pericolosità da flussi piroclastici. Si evidenzia che l'assunzione di circolarità delle aree invase, sebbene permetta di approssimare al primo ordine le distribuzioni dei flussi considerando una sorta di topografia storica media dei flussi, è certamente semplificatrice e non conservativa in quanto non tiene esplicitamente conto dei complessi effetti della topografia attuale sulla propagazione dei flussi (vedi anche Fig. 7.5.7). A puro titolo indicativo, sulla base delle suddette ricostruzioni di terreno, è possibile approssimare a 3, 5 e 10 km i raggi delle aree invase rispettivamente da eventi di scala piccola, media e grande.

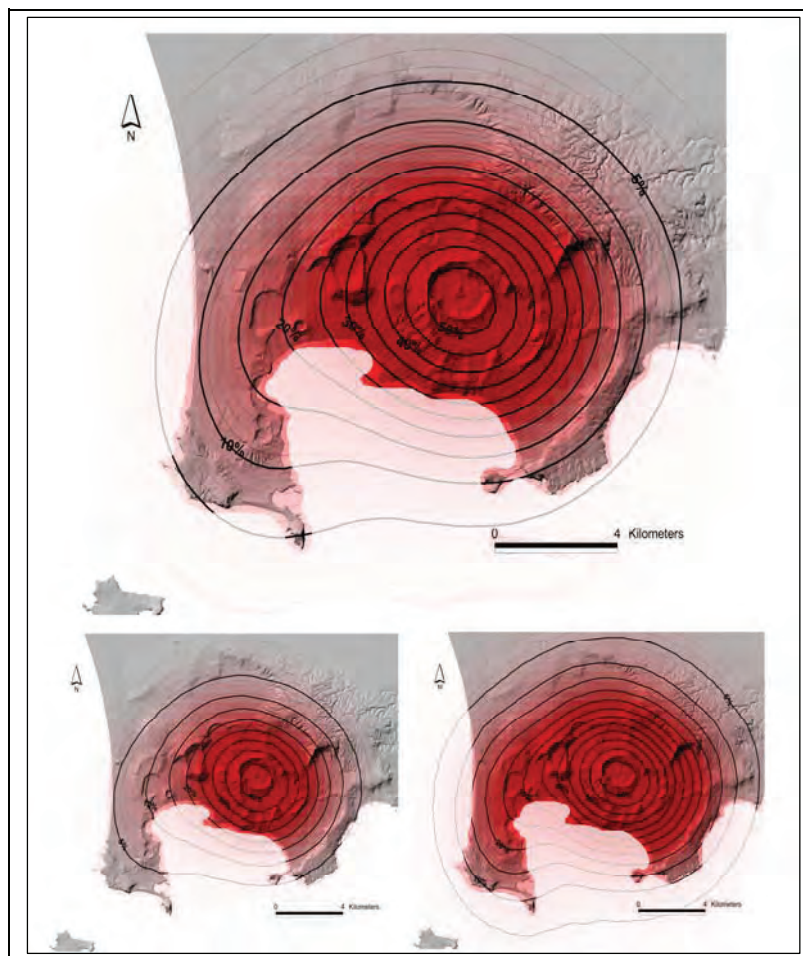


Figura 7.5.9: Distribuzione media (in alto), con relativi percentili del 5 (in basso a sinistra) e 95% (in basso a destra), della probabilità di invasione da flussi piroclastici relativa all'occorrenza di eruzioni di scala piccola, media e grande (corrispondente al 100% della curva di distribuzione cumulativa delle aree di invasione dei flussi degli ultimi 15 ka) (modificato da Bevilacqua et al., 2012). La diversa gradazione di rosso evidenzia i diversi valori di probabilità riportati sulle isolinee.

Nella Fig. 7.5.9 sono illustrate le distribuzioni di probabilità di invasione da flussi piroclastici considerando la distribuzione delle aree invase dai flussi degli ultimi 15 ka (modificato da Bevilacqua et al., 2012). La mappa può essere quindi considerata rappresentativa della pericolosità associata all'occorrenza di eventi esplosivi di scala piccola, media e grande. Nella figura le tre mappe illustrano la distribuzione media di probabilità di invasione e quelle corrispondenti ai percentili 5° e 95°. È da sottolineare che in queste mappe dei percentili l'incertezza stimata è rappresentativa della sola incertezza associata alla localizzazione della bocca eruttiva mentre l'incertezza sull'area di invasione dei flussi non è stata considerata dallo studio.

Analogamente, la Fig. 7.5.10 illustra la stessa distribuzione di probabilità di invasione da flussi piroclastici assumendo però questa volta la distribuzione di probabilità di apertura bocche di Selva et al. (2011). E' da notare come la mappa ottenuta usando i dati di Selva et al. (2011) riduce la probabilità di invasione nella parte centro-orientale della caldera mentre la aumenta nella parte occidentale (modificato da Bevilacqua et al., 2012). Ciò nonostante, le due distribuzioni non mostrano macroscopiche differenze nella localizzazione delle isolinee corrispondenti al 10, 5 e 1% di probabilità di invasione.

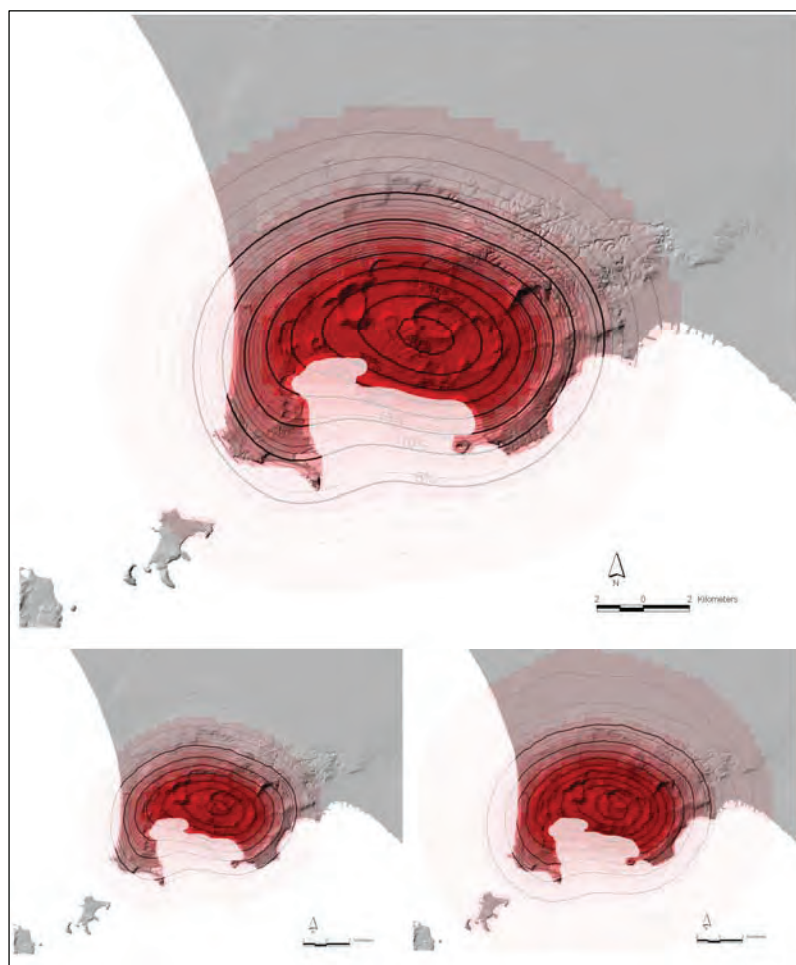


Figura 7.5.10: Distribuzione media (in alto), con relativi percentili del 5 (in basso a sinistra) e 95% (in basso a destra), della probabilità di invasione da flussi piroclastici relativa all'occorrenza di eruzioni di scala piccola, media e grande (corrispondente al 100% della curva di distribuzione cumulativa delle aree di invasione dei flussi degli ultimi 15 ka), assumendo la distribuzione di probabilità di apertura bocche di Selva et al. (2011) (modificato da Bevilacqua et al., 2012). La diversa gradazione di rosso evidenzia i diversi valori di probabilità riportati sulle isolinee.

Dagli studi sopra descritti si possono dedurre le seguenti considerazioni generali:

- Tutte le analisi fin qui realizzate considerano la stima della pericolosità da flussi piroclastici indipendente dalle informazioni che provengono dalle reti di monitoraggio. Tale assunzione riflette l'attuale impossibilità di definire sia la tipologia (o anche la sola scala) dell'eruzione attesa che la posizione della bocca eruttiva in funzione dei dati di monitoraggio. Nel primo caso infatti, non esiste ad oggi un sistema sufficientemente accurato per ipotizzare la taglia dell'eruzione in funzione dei dati registrati. Nel secondo caso, l'esperienza derivante da altri sistemi calderici evidenzia chiaramente l'estrema complessità nel determinare la posizione della bocca (o delle bocche) dai segnali precursori. La presenza contemporanea di due o più bocche, localizzate anche a diversi chilometri di distanza, è stata inoltre osservata in diversi sistemi calderici inclusi i Campi Flegrei.

- La natura calderica del vulcano fa sì che la funzione probabilità di apertura della bocca eruttiva sia distribuita su un'area significativamente vasta (vedi capitolo 7.1). In particolare la variabilità spaziale della localizzazione della bocca eruttiva è confrontabile, se non in alcuni casi maggiore, alla stessa scala spaziale su cui può avvenire la propagazione dei flussi piroclastici.

- Dalle due suddette considerazioni segue una importante implicazione. Stimare l'area di invasione dei flussi come l'area interessata dai flussi prodotti dall'evento di tipologia (o scala) più probabile assumendo una bocca localizzata nell'area a più elevata probabilità di apertura produce una sostanziale sottostima dell'area potenzialmente interessata dai flussi. E' quindi necessario che la stima della pericolosità da flussi piroclastici tenga conto, almeno in prima approssimazione, della variabilità sia della tipologia (scala) eruttiva che della localizzazione della bocca eruttiva. La mappa di pericolosità dovrebbe prendere in considerazione numerosi altri parametri che influenzano il fenomeno (e.g. le proprietà della miscela eruttiva, l'attuale topografia del vulcano, le condizioni meteorologiche, ecc.) ma gran parte di queste analisi non sono oggi complete o disponibili.

Sulla base dei suddetti studi è possibile trarre una prima zonazione a terra della pericolosità da flussi piroclastici ai Campi Flegrei che tenga conto della variabilità della scala dell'evento e della localizzazione della bocca eruttiva. In particolare, la mappa di Fig. 7.5.11 riporta una sintesi delle suddette Figg. 7.5.9 e 7.5.10 ed è quindi rappresentativa della pericolosità da flussi prodotti da eventi esplosivi di scala piccola, media e grande con riferimento ancora agli ultimi 15 ka. La mappa riporta sia le curve associate al valore medio di isoprobabilità sia quelle associate al 5° e 95° percentile a seguito dell'incertezza associata alla probabilità di apertura bocche. Si evidenzia inoltre che la mappa si riferisce solo a eventi esplosivi con bocca eruttiva localizzata a terra. In questa mappa è possibile individuare le seguenti due zone:

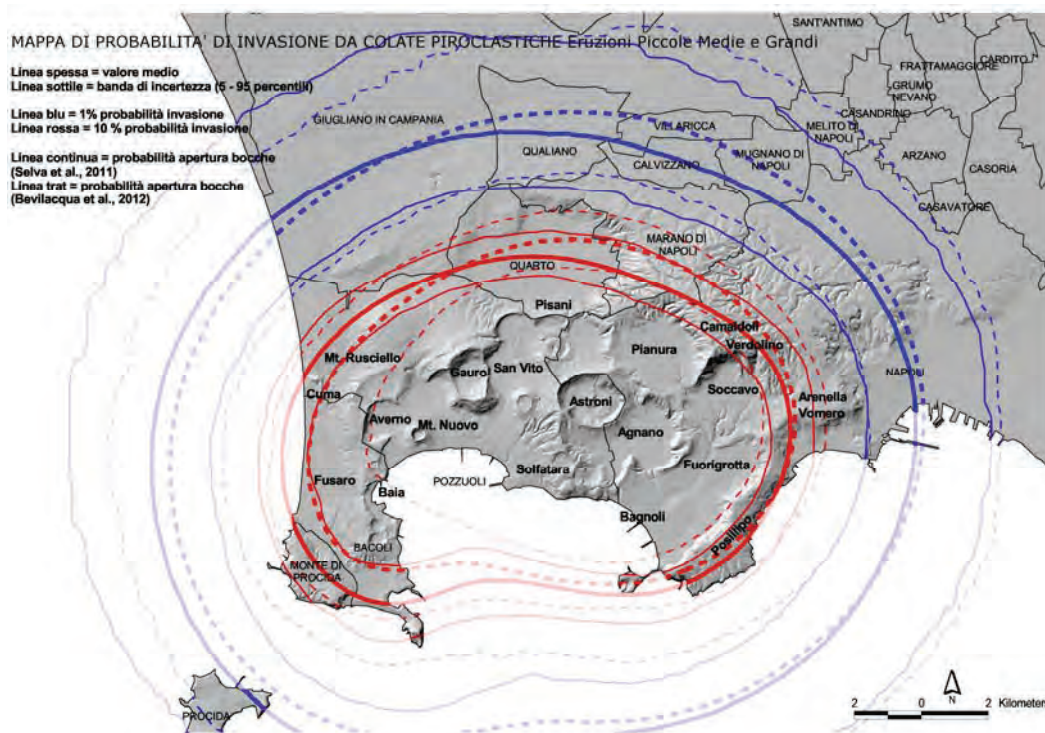


Figura 7.5.11. Zonazione della probabilità di invasione da flussi piroclastici relativa all'occorrenza di eruzioni di scala piccola, media e grande (corrispondente al 100% della curva di distribuzione cumulativa delle aree di invasione dei flussi degli ultimi 15 ka). Le curve di isoprobabilità tracciate a mare non tengono conto della diversa dinamica dei flussi che scorrono sulla superficie del mare nè della possibilità di generazione di onde di tsunami. Si veda la legenda per il significato delle diverse linee.

- Una zona a più alta probabilità di invasione, con valori che variano tra oltre il 50% e il 10%, che comprende la regione indicativamente delimitata (da est a ovest) dalle aree di Posillipo, Vomero,

Arenella, Soccavo, Verdolino, Camaldoli, Pianura, parte del territorio di Marano e Quarto, Monteruscello, Cuma, Fusaro, Monte di Procida e Bacoli. I valori più alti di probabilità di invasione, stimati intorno al 50%, sono localizzati nell'area di Astroni-Agnano. Si evidenzia che la grande maggioranza degli eventi eruttivi avvenuti nella terza epoca hanno prodotto flussi piroclastici i cui depositi sono compresi in questa zona. In particolare, flussi piroclastici prodotti da eruzioni di scala piccola e media dovrebbero prevalentemente essere circoscritti in questa area.

- Una zona a più bassa probabilità di invasione, con valori indicativamente compresi tra il 10% e l'1%, che è rappresentata da una fascia, di circa 4-5 chilometri di spessore, che circonda la suddetta zona a più alta probabilità di invasione. Questa fascia esterna comprende indicativamente (da est a ovest) il Vomero, Arenella, parte dei quartieri centrali e settentrionali di Napoli, Marano, e gran parte dei territori di Mugnano, Calvizzano, Villaricca, Qualiano e Giugliano. Flussi piroclastici prodotti da eruzioni di scala piccola e media, ma con bocca eruttiva situata in prossimità del bordo della caldera potrebbero interessare parte di questa zona a più bassa probabilità di invasione. Si evidenzia inoltre come l'evento di Agnano Monte Spina nella terza epoca, e gli eventi di Pomici Principali, Soccavo 1-2-3-4 e Minopoli 2 nella prima epoca, abbiano prodotto flussi piroclastici che si sono propagati significativamente oltre i bordi della caldera Flegrea. In particolare, sebbene i meccanismi di trasporto dei flussi siano ancora oggetto di discussione e di approfondimento, appare accertata la presenza di significativi depositi di cenere correlati alla dinamica dei flussi prodotti dall'eruzione di Agnano Monte Spina fino a distanze di circa 20 km dalla sorgente.

È infine importante sottolineare le seguenti limitazioni nelle zonazioni sopra descritte (Fig. 7.5.11):

1. Le suddette mappe sono state realizzate assumendo una dispersione media "storica" dei flussi piroclastici ai Campi Flegrei e non tengono quindi esplicitamente conto dell'attuale topografia della caldera. Una zonazione di maggior dettaglio delle aree interessate dai flussi non è attualmente disponibile a causa della forte influenza della posizione della bocca eruttiva, delle condizioni eruttive della miscela alla bocca e della complessa topografia della caldera sulle aree investite dalle correnti.

2. La stima dell'incertezza riportata nella mappa tiene conto di prime stime dell'incertezza associata alla localizzazione della bocca eruttiva ma non di quella associata alla propagazione dei flussi. In particolare si sottolinea come le stime delle aree invase dai flussi ricostruite sulla base dei depositi, e la stessa assunzione di circolarità delle aree invase, non siano ipotesi conservative. E' quindi verosimile che l'incertezza reale sia maggiore di quella sopra rappresentata.

3. La vicinanza del mare alle aree della caldera con elevata probabilità di apertura bocche rende possibile la propagazione dei flussi piroclastici sulla superficie del mare. Ad oggi non sono disponibili studi che analizzino questo fenomeno ai Campi Flegrei ma studi teorici indicano una ridotta capacità di propagazione dei flussi sul mare rispetto alla terra (Dufek e Bergantz, 2007). A puro titolo indicativo, nella mappa di Fig. 7.5.11, sono state riportate le isolinee ottenute trascurando l'effetto della superficie marina sulla propagazione dei flussi.

Considerazioni conclusive

I flussi piroclastici rappresentano la fenomenologia vulcanica di più alto rischio per le persone. Di conseguenza, le aree interessate da questo fenomeno solitamente coincidono con le aree che è necessario evacuare preventivamente. E' quindi evidente come la capacità di stimare, con elevati livelli di confidenza, le aree soggette a invasione da flussi piroclastici sia di fondamentale importanza. Tuttavia, gli studi sopra descritti evidenziano elevate incertezze, non sempre quantificate, derivanti da una combinazione di fattori che comprendono le incertezze sulla localizzazione della bocca eruttiva, sulla scala e tipologia dell'eruzione, sulle caratteristiche della miscela eruttiva alla bocca, sugli effetti

della topografia nel determinare il percorso e le distanze raggiunte dai flussi, ecc. E' possibile comunque estrarre una serie di indicazioni su cui i vari studi tendono a convergere:

1. il bordo calderico tende ad agire come una barriera per la propagazione dei flussi piroclastici. La barriera è tanto più efficace quanto minore è la scala eruttiva e quanto maggiore è la distanza della bocca dal bordo calderico o comunque in contesti topografici sfavorevoli alla propagazione dei flussi;
2. sia le ricostruzioni dei depositi delle eruzioni passate che le simulazioni numeriche mostrano comunque che il bordo calderico può essere superato dai flussi piroclastici quando si verificano combinazioni di fattori favorevoli, principalmente legati alla scala dell'eruzione e alla localizzazione della bocca eruttiva;
3. una propagazione dei flussi fino a distanze maggiori di 20 km dal centro della caldera, verosimilmente associata ad eventi eruttivi di scala superiore alla Pliniana (indicata con "molto grande" nei precedenti capitoli), non può essere esclusa *a priori* sebbene la probabilità di accadimento di questi eventi risulta essere circa cinque volte più bassa rispetto a quella di un evento Pliniano (vedi capitolo 7.2), ovvero inferiore all'1%;
4. tra i rischi secondari associati alla formazione delle colate piroclastiche si evidenzia inoltre la possibilità di innesco di onde di tsunami prodotte dall'interazione dei flussi piroclastici con il mare o da eruzioni sottomarine. La pericolosità di questo fenomeno potrebbe non essere affatto trascurabile. Al momento non è comunque possibile delineare una zonazione delle aree interessate da questo fenomeno pericoloso;
5. è infine possibile che l'invasione di aree densamente urbanizzate da parte di flussi piroclastici ad elevata temperatura possa produrre l'innesco di incendi di dimensioni più o meno vaste (Baxter et al., 2005, 2008b). Fenomeni di questo tipo sono stati osservati durante gli eventi del Mount Pelée (Martinique, 1902), Soufriere Hills (Montserrat, 1995-98), e Merapi (Indonesia, 2010) ma ad oggi non sono disponibili studi specifici relativi a questo tipo di rischio indotto.

7.6 ZONAZIONE DELLE AREE ESPOSTE A FLUSSI DI FANGO (LAHAR)

In questa sezione viene discussa la zonazione delle aree esposte al pericolo di colate rapide di fango, o lahar. In particolare, si farà riferimento a fenomeni sin-eruttivi ovvero a fenomeni di rimobilizzazione, causati da piogge intense, del materiale piroclastico depositato durante l'evento eruttivo o in un periodo immediatamente successivo. Questi fenomeni possono comunque avvenire anche in periodi relativamente distanti in termini temporali dall'evento eruttivo, da mesi ad anni, e quindi rappresentano una sorgente di rischio anche nel medio-lungo periodo.

Nella presente sezione non viene trattato il pericolo da alluvionamenti che pure possono verificarsi nelle zone topograficamente depresse anche durante l'evento eruttivo a causa dell'effetto combinato delle intense piogge e della ridotta permeabilità del suolo causata dalla deposizione di cenere fine.

Per quanto riguarda la pericolosità dei flussi di fango sin-eruttivi ai Campi Flegrei la letteratura disponibile è molto limitata e solo recentemente, nell'ambito del progetto SPEED si è iniziato ad analizzare nel dettaglio questa sorgente di pericolosità. Le pubblicazioni esistenti discutono infatti solo marginalmente questo tipo di rischio (e.g. Orsi et al., 2004).

Le aree maggiormente interessate da queste fenomenologie sono prevalentemente le *aree prossimali*, intra-calderiche, caratterizzate dalla presenza di bacini con pendii significativi nonché le *aree medio-distali* soggette a significativa ricaduta di cenere. Relativamente a queste ultime, nel capitolo 7.4 è stato mostrato che un evento eruttivo di scala medio-grande ai Campi Flegrei può interessare anche l'Area Vesuviana e Appenninica, sebbene con probabilità limitate.

Il pericolo di colate di fango è stato quindi analizzato in tre aree distinte, ovvero:

- L'Area Flegrea
- L'Area Vesuviana
- L'Area Appenninica

L'Area Flegrea

Una prima analisi dell'area Flegrea potenzialmente soggetta al pericolo di colate di fango è stata realizzata tramite un'indagine delle proprietà morfologiche della regione (Mazzarini et al., 2008). Il modello digitale del terreno (DEM) ad alta risoluzione utilizzato nell'analisi ricopre un'area di circa 298 km² ed è costituito da una matrice (1765 righe x 2473 colonne) avente risoluzione di 10 m. Tale modello è stato ricavato dal più ampio modello topografico della Regione Campania (Tarquini et al., 2007). Dal modello del terreno è stato possibile derivare alcuni modelli e mappe in grado di fornire utili informazioni sulla possibilità di formazione delle colate rapide di fango. In particolare sono stati realizzati i seguenti modelli (Mazzarini et al., 2008):

- *Modello delle pendenze*. Tale modello è rappresentato da una matrice in formato GRID avente anch'essa risoluzione di 10 m dove ogni cella riporta il valore dell'angolo di pendenza in gradi decimali. Tale matrice è stata derivata tramite un algoritmo che calcola il valore di pendenza su ogni singola cella del DEM considerando un intorno costituito dalle 8 celle adiacenti (Burrough and McDonell, 1998). In Fig. 7.6.1 è mostrata la mappa delle pendenze combinata con il modello ombreggiato del DEM;

- *Modello delle concavità*. Tale modello permette di distinguere le zone concave da quelle convesse individuando così le aree che potrebbero essere soggette a fenomeni di erosione o di deposito. Tale modello, illustrato in Fig. 7.6.2, è stato ottenuto applicando l'algoritmo "curvature" sulla matrice dell'elevazione avente risoluzione planimetrica di 10 m. Tale algoritmo calcola la derivata seconda

della superficie su ogni singola cella del DEM considerando un intorno costituito dalle 8 celle adiacenti; i valori positivi, negativi e nulli indicano rispettivamente aree convesse, concave o piatte.

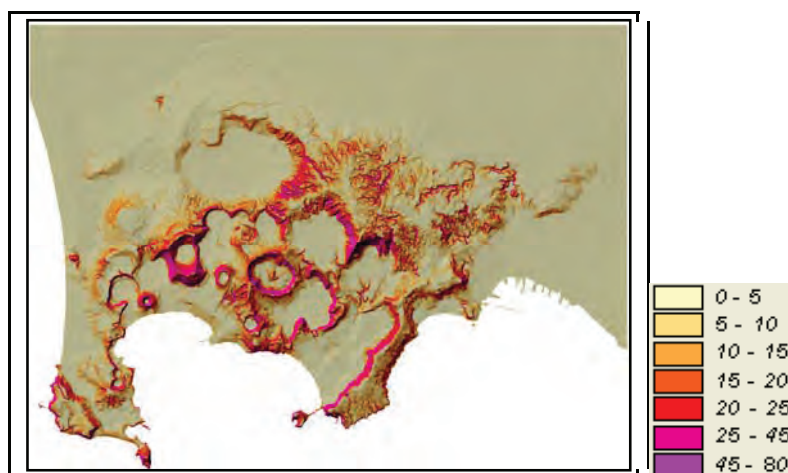


Figura 7.6.1. Mappa delle pendenze combinata con il modello ombreggiato del terreno. I valori espressi in legenda sono in gradi (tratta da Mazzarini et al., 2008).

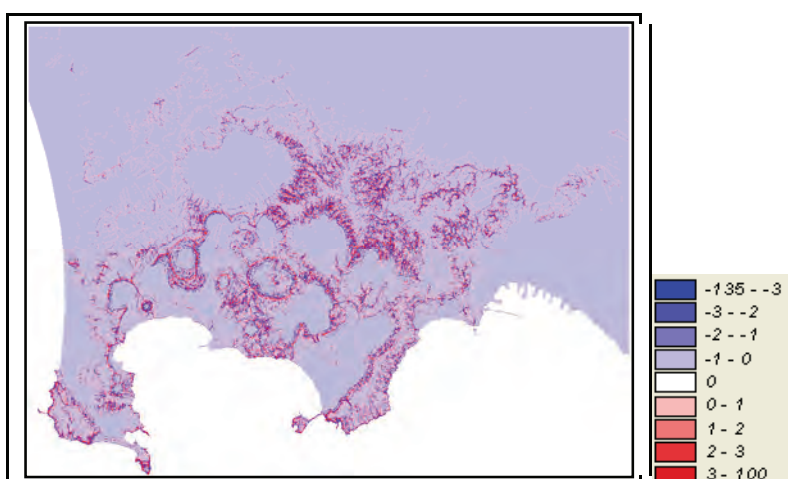


Figura 7.6.2. Mappa delle concavità dell'area flegrea (tratta da Mazzarini et al., 2008).

- *Mappa di propensione al dissesto*. Sulla base del modello digitale del terreno è stato inoltre possibile ricavare un primo parziale censimento dei bacini idrografici dell'area Flegrea (Mazzarini et al., 2008, e successive integrazioni) e una prima mappa di propensione al dissesto. I bacini sono stati ottenuti tramite una procedura semi-automatica di elaborazione del DEM e successivamente rivisti tramite ispezione diretta della base topografica. Utilizzando questa procedura è stato possibile costruire la matrice dei bacini (con risoluzione di 10 m). Sono stati così ottenuti 174 bacini memorizzati in formato vettoriale. Il relativo database prodotto riporta per ciascun bacino le seguenti informazioni: identificativo univoco (ID), area (espressa in m²), perimetro (espresso in metri), il valore massimo (H_max), minimo (H_min) e medio (H_media) dell'altezza sul livello del mare, la pendenza media (Pendenza), la concavità media (Conc) e la propensione al dissesto (PD) definita attraverso tre classi ovvero bassa, media, e alta propensione.

La mappa di propensione al dissesto, riportata in Fig. 7.6.3, è stata realizzata facendo riferimento ad alcune soglie significative per il parametro pendenza, quali 15° e 25° (de Riso et al., 1999; Pareschi et al., 2002; Bisson et al., 2007a,b), e al valore positivo o negativo del parametro concavità. Sono state così individuate:

- Aree a *bassa propensione* al dissesto (in giallo): bacini con pendenza < 15° e concavità negativa;
- Aree a *media propensione* al dissesto (in arancio): bacini con pendenza < 15° e concavità positiva; bacini con pendenza compresa tra 15° e 25° caratterizzati da concavità sia positive che negative;
- Aree ad *alta propensione* al dissesto (in rosso): bacini con pendenza $\geq 25^\circ$ caratterizzati da concavità sia positiva che negativa.

La mappa di propensione al dissesto per i bacini individuati nell'area Flegrea riportata in Fig. 7.6.3 rappresenta solo un primo passo per la zonazione del pericolo da colate di fango in questa regione. Si evidenzia infatti come la mappa non contenga alcuna informazione sulle aree potenzialmente invadibili dalle colate. Tale mappa deve quindi essere considerata solo come una zonazione preliminare delle aree con propensione al dissesto basata unicamente su parametri morfometrici quali il valore della pendenza e concavità media dei bacini individuati. Vista la complessa morfologia e struttura dell'area Flegrea nonché la scarsa risoluzione del modello digitale del terreno attualmente disponibile, nel futuro sarà necessario estendere lo studio tramite la realizzazione di un modello del terreno a più alta risoluzione, l'applicazione di modelli matematici in grado di descrivere la dinamica delle colate sulla topografia e l'approfondimento delle evidenze di terreno di questi fenomeni.

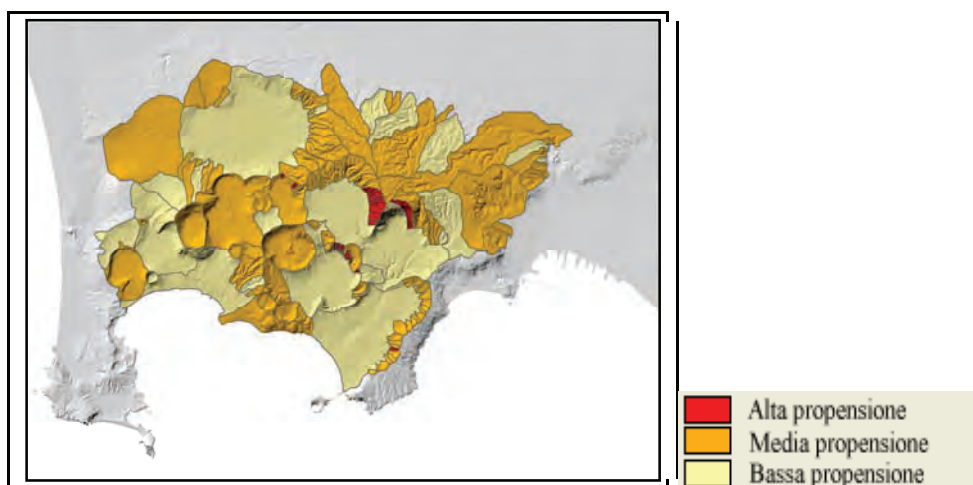


Figura 7.6.3. Mappa preliminare di propensione al dissesto per i bacini individuati nell'area Flegrea (modificata da Mazzarini et al., 2008).

L'Area Vesuviana

In questo caso l'area potenzialmente soggetta allo scorrimento di colate di fango è costituita dalle zone circumvesuviane (Mazzarini et al., 2007, vedi anche il Piano Nazionale di Emergenza dell'Area Vesuviana). I bacini principali in grado di generare lahar comprendono gran parte dell'edificio vulcanico del Somma-Vesuvio (vedi Fig. 7.6.4). In particolare depositi di lahar sono compresi all'interno della zona dell'apron, ovvero di un'area a bassa pendenza che raccorda le pendici del

vulcano con le piane alluvionali circostanti. L'apron definisce quindi, su basi morfologiche e geologiche, il limite entro il quale è ragionevole attendersi colate di fango provenienti dall'edificio vulcanico del Somma-Vesuvio. L'area del cono a più elevata pendenza ha un'estensione di 75 km². 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 circa 179 km². Come per l'area Flegrea, si sottolinea anche in questo caso che non è al momento disponibile una zonazione delle aree inadibili da questo fenomeno realizzata tramite modelli numerici in grado di descrivere la dinamica delle colate. Questi studi appaiono comunque necessari se si vuole individuare le zone più marginali dell'apron maggiormente esposte a questo pericolo e che corrispondono alle aree depresse e valli.

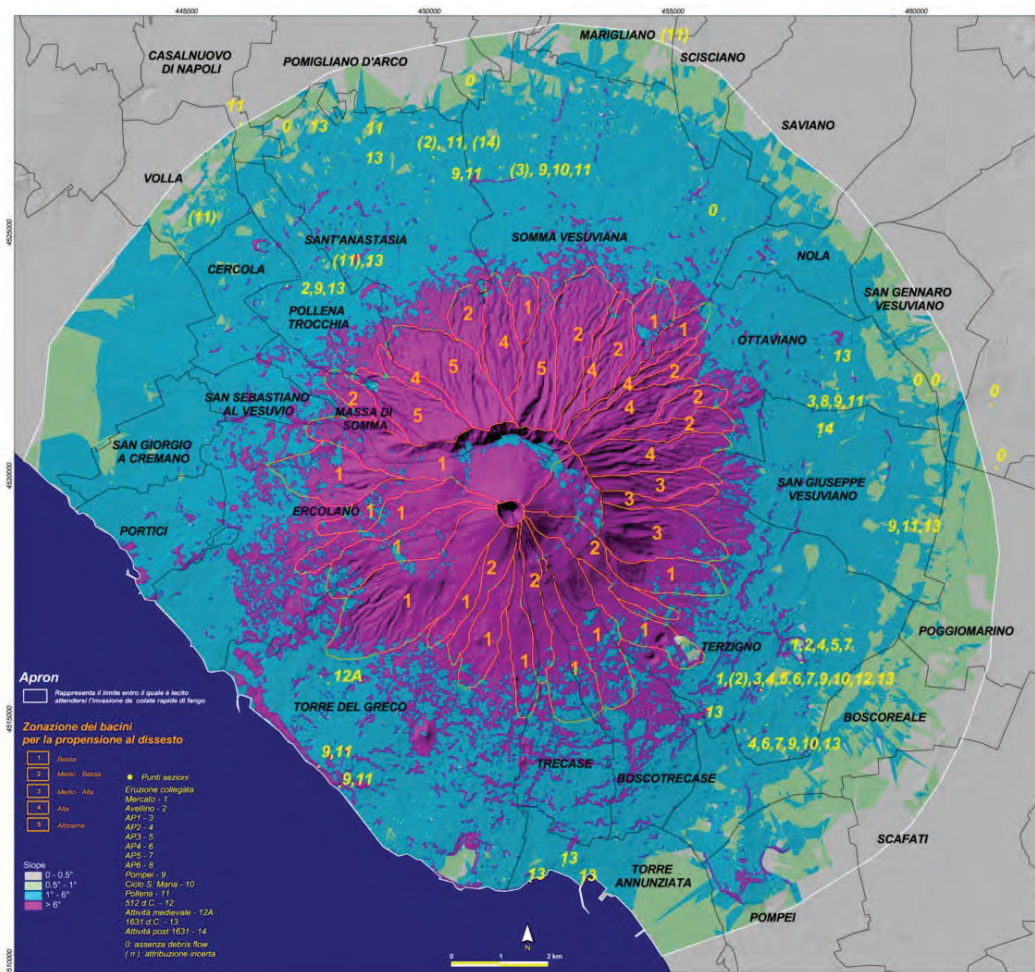


Figura 7.6.4: Zona dell'apron caratterizzata da una pendenza superiore a 0.5° (corrispondente al limite di pendio ben risolubile dal modello digitale del terreno). Nella figura sono anche riportati i limiti dei bacini sorgente delle colate di fango (Mazzarini et al., 2007).

L'Area Appenninica

Il rischio di formazione di colate di fango interessa anche le aree appenniniche sottovento ai Campi Flegrei e al Vesuvio (Bisson et al., 2010, 2012a,b, vedi anche il Piano Nazionale di Emergenza dell'Area Vesuviana). La deposizione per ricaduta di piroclastiti sciolte in aree ad elevata pendenza

come i contrafforti appenninici è una situazione molto favorevole per la generazione di colate di fango sia durante un evento eruttivo che nei periodi successivi. Il materiale piroclastico incoerente depositato è infatti facilmente erodibile e divenga instabile su alte pendenze qualora diventi saturo ad opera della pioggia (Zanchetta et al., 2004).

La mappa di pericolosità da lahar sin-eruttivi è riportata in Fig. 7.6.5. In essa sono riportati:

- a) i bacini sorgente con la relativa propensione al dissesto;
- b) le aree di invasione delle colate di fango definite sulla base di criteri geomorfologici.

Relativamente ai bacini, sono stati distinti bacini con propensione al dissesto molto alta, alta, media, e bassa. È da evidenziare che 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 ricoperti dai prodotti di ricaduta (e quindi sottovento rispetto ai Campi Flegrei durante l'evento eruttivo).

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

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

Anche in questo caso si evidenzia come la mancanza di una rappresentazione quantitativa della dinamica del flusso non permetta di arrivare ad una zonazione più accurata delle aree potenzialmente invadibili.

Considerazioni conclusive

Fenomeni di formazione di flussi di fango sin-eruttivi o generati da ri-mobilizzazione, causata da piogge intense, del materiale piroclastico depositato in un periodo immediatamente successivo, rappresentano eventi possibili ai Campi Flegrei.

Sebbene la letteratura disponibile su questa fenomenologia sia molto limitata, le aree maggiormente interessate da questi processi sembrano essere prevalentemente le aree prossimali intra-calderiche, caratterizzate dalla presenza di bacini con pendii significativi, nonché le aree medio-distali, soggette a significativa ricaduta di cenere. Relativamente a queste ultime, si è visto come un evento eruttivo di scala medio-grande ai Campi Flegrei possa potenzialmente interessare anche l'Area Vesuviana e l'Area Appenninica, sebbene con probabilità limitate.

Si evidenzia infine come le mappe ad oggi disponibili rappresentano una zonazione preliminare delle aree con propensione al dissesto basata unicamente su parametri morfometrici, quali il valore della pendenza e la concavità media dei bacini individuati, e non contengano viceversa alcuna informazione sulle aree potenzialmente invadibili dalle colate di fango (ad eccezione dell'Area Appenninica dove le aree di invasione delle colate di fango sono state definite sulla base di criteri geomorfologici).

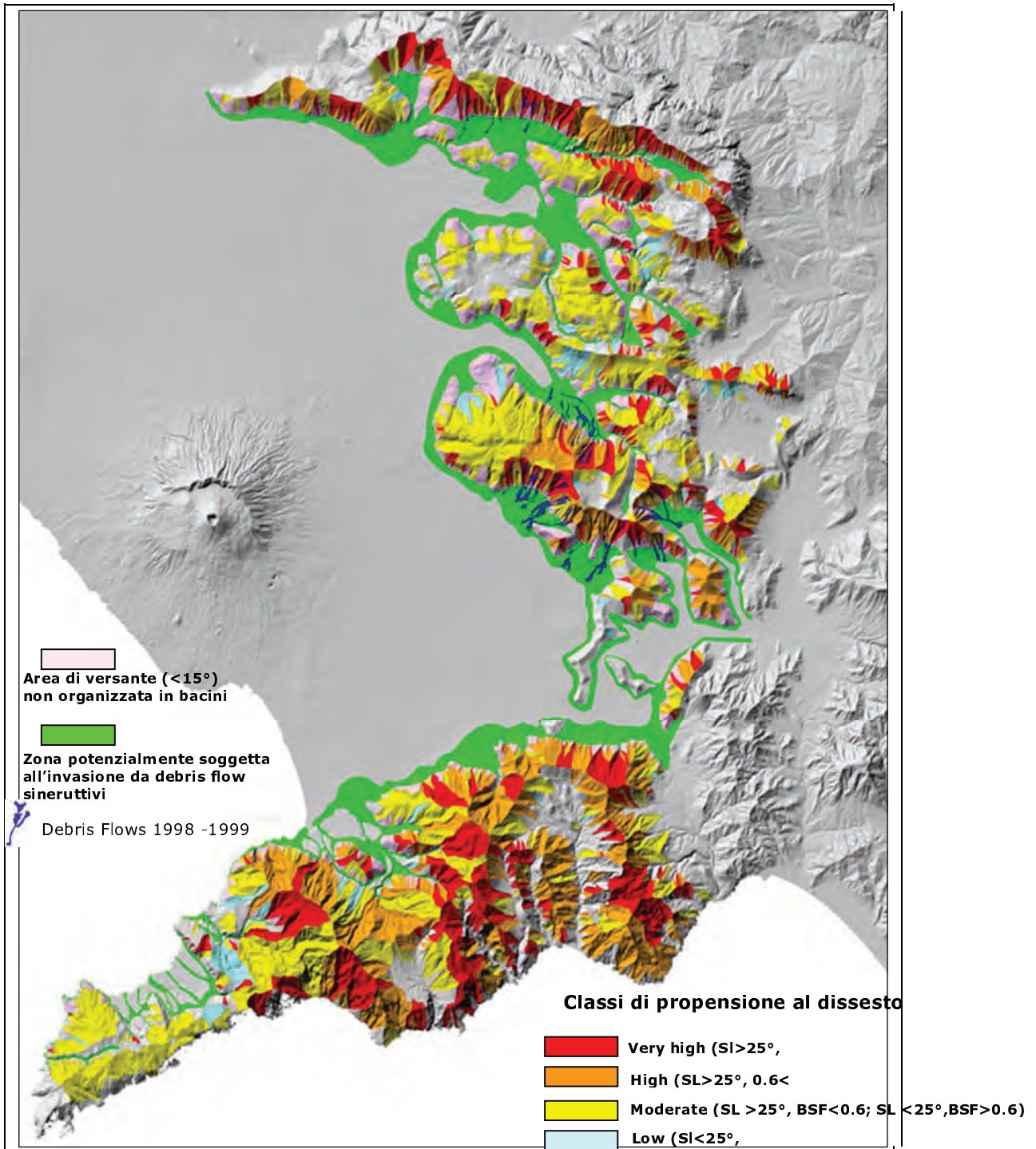


Figura 7.6.5: Mappa di zonazione dei bacini idrografici e delle aree esposte a colate di fango per i contrafforti appenninici sottovento rispetto ai Campi Flegrei e per la Penisola Sorrentina. La propensione al dissesto dei bacini è stata ottenuta considerando il parametro SL (slope) e BSF (fattore di forma del Bacino) (modificata da Bisson et al., 2010, 2012a).

8. VULNERABILITÀ

8.1 LA VULNERABILITÀ VULCANICA

8.1.1.Premessa

La *Vulnerabilità* nei confronti di un evento vulcanico è costituita dalla propensione di persone, manufatti, attività o beni a subire danni o modificazioni per effetto dell'evento stesso.

Un'eruzione vulcanica si presenta come il susseguirsi di una serie di fenomeni fisici diversi seppur strettamente collegati, ognuno dei quali contribuisce in modo diverso all'impatto sul territorio.

Nel caso di un'eruzione del sistema vulcanico dei Campi Flegrei, i principali eventi attesi sono: terremoti, ricaduta di cenere, flussi piroclastici, balistici, lahars e alluvionamenti. Ciascuno dei fenomeni suddetti può produrre diversi danni agli elementi esposti come indicato in Tab. 8.1.1 e Fig. 8.1.1.

Tabella 8.1.1 Elementi a rischio e danni attesi per le diverse fenomenologie pericolose considerate nel presente rapporto. Le sigle nell'ultima colonna si riferiscono alla classificazione dell'entità del danno, secondo la Tabella 8.2.1 sotto riportata.

Fenomeno	Elemento a rischio	Danni attesi
Terremoti	Edifici	Danni medio gravi diffusi (D3 EMS98)
		Possibili collassi parziali (D4 EMS98)
		Limitati collassi totali (D5 EMS98)
	Popolazione	Feriti coinvolti nei collassi D4 e D5 EMS98
		Morti coinvolti nei collassi D4 e D5 EMS98
	strade, vie di fuga	Possibili interruzione di link per ingombro macerie da sisma
Caduta di cenere	Edifici	Danni diffusi ai tetti delle strutture collassi D4 - D5 EMS98
	Popolazione	Feriti da trauma per collassi dei tetti
		Feriti da inalazione delle ceneri
	strade, vie di fuga	Possibili interruzioni per ingombro da ceneri
Flussi Piroclastici	Edifici	Danni gravi alle strutture edilizie: collassi D4 - D5
		Danni alle aperture e devastazioni interne alle abitazioni
		Danni da incendi diretti o indotti da incendi della vegetazione
	Popolazione	Nessuna probabilità di sopravvivenza per persone in esterno
		Medio-scarse probabilità di sopravvivenza per persone in interno
	strade, vie di fuga	Possibili interruzioni per ingombro da ceneri anche ad alta temperatura
Lahars	Edifici	Danni diffusi alle aperture e alle tamponature edifici c.a.
		Collassi diffusi delle strutture anche a seguito di missili trasportati
	Popolazione	Morti tra le persone colpite dal flusso
		Feriti tra le persone colpite dal flusso
	strade, vie di fuga	Possibili interruzioni per ingombro da macerie e missili



Figura 8.1.1. Danni alle costruzioni prodotti dai diversi fenomeni generati da un'eruzione vulcanica. a) terremoto: 2002, Santa Venerina, vulcano Etna, Italia; b) ricaduta di ceneri: 1991, vulcano Pinatubo, Filippine; c) flussi piroclastici: 1997, vulcano *Soufrière Hills*, Montserrat, Caraibi, UK; d) ricaduta di balistici e missili: 1997, vulcano *Soufrière Hills*, Montserrat, Caraibi, UK ; e) lahars: 1991, vulcano *Pinatubo*, Filippine.

Le valutazioni di impatto di seguito illustrate si riferiscono soltanto a due dei sei fenomeni suddetti, ossia terremoti e caduta di cenere. Non si sono condotte valutazioni di impatto da flussi piroclastici poiché, secondo le indicazioni del Dipartimento di Protezione Civile, l'area interessata dagli stessi sarà completamente evacuata prima dell'inizio dell'eruzione. Per quanto concerne l'impatto da balistici e missili gran parte dell'area coinvolta ricade all'interno di quella investita dai flussi piroclastici. Manca ad oggi un'analisi di dettaglio della distribuzione attesa per i balistici in area flegrea. L'effetto dovuto ai lahars ed agli alluvionamenti, invece, non è stato valutato in quanto le relative analisi di pericolosità risultano al momento ancora insufficienti per un'analisi di impatto dettagliata.

I beni esposti a rischio considerati nelle analisi illustrate sono: persone, edifici e rete viaria principale. Altre tipologie di infrastrutture non vengono prese in considerazione.

8.1.2. Classificazione dei livelli di danno

Sulla base delle tipologie edilizie dell'area relativa al sistema vulcanico dei Campi Flegrei, per terremoti e caduta di cenere, sono state individuate le classi di vulnerabilità alle quali ricondurre le costruzioni investite e le relative curve di vulnerabilità con riferimento alla scala di danno di Tab. 8.1.2.

Tabella 8.1.2. Scala di danno.

Livello di danno	Descrizione
<i>D0</i>	Assenza di danno
<i>D1</i>	Danno leggero
<i>D2</i>	Danno moderato
<i>D3</i>	Danno severo
<i>D4</i>	Collasso parziale
<i>D5</i>	Collasso totale

8.2 CLASSI E CURVE DI VULNERABILITÀ NEI RIGUARDI DEI SINGOLI FENOMENI VULCANICI

Gli studi di vulnerabilità e di impatto riportati nei paragrafi seguenti sono la sintesi delle attività di ricerca condotte al Centro Studi PLINVS nell'ambito di progetti nazionali ed internazionali finanziati dall'Unione Europea e dal DPC.

8.2.1 La vulnerabilità degli edifici nei confronti del sisma

Le classi di vulnerabilità sismica sono quelle della European Macroseismic Scale (EMS -98), indicate in Fig. 8.2.1.

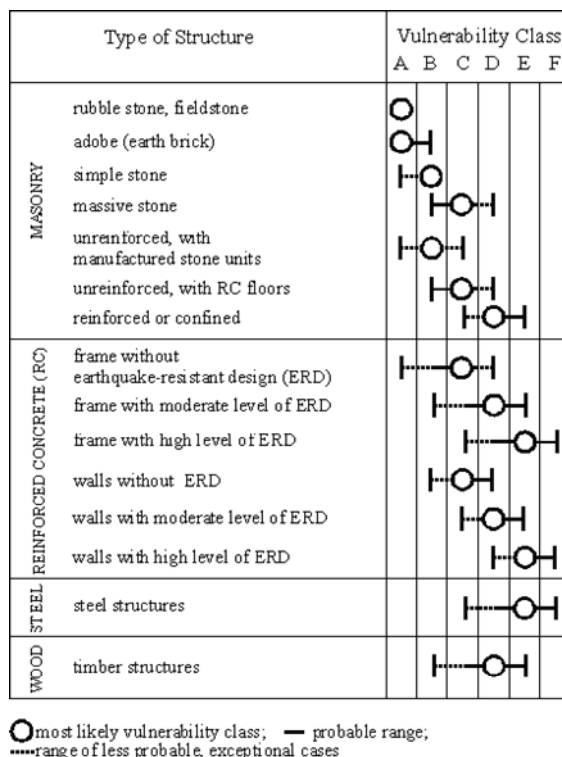


Figura 8.2.1. European Macroseismic Scale (Ed. G. Grünthal, Luxembourg, 1998). Classi di vulnerabilità sismica degli edifici.

L'assegnazione di queste classi agli edifici esposti al rischio nell'area dei Campi Flegrei richiede la messa a punto di una metodologia a scala regionale, rapida ed al contempo affidabile, in grado di identificare la sensibilità sismica di centinaia di migliaia di edifici. Allo scopo gli studi hanno integrato tre fonti di informazioni differenti per grado decrescente di conoscenza del tessuto edilizio (progetto SPEED *Scenari di Pericolosità e Danno dei Vulcani della Campania (2007- 2009)*):

- 1) per circa 42.000 edifici rilevati sul campo, l'assegnazione è stata condotta sulla base del metodo SAVE di I livello (Zuccaro e Cacace, 2006; Zuccaro, 2005), fondato sulla correlazione fra le caratteristiche tipologiche ed il danno osservato in occasione di eventi sismici passati;
- 2) per circa 50.000 edifici, l'assegnazione è stata condotta sulla base di osservazioni da aerofotografia stereografica, con controllo a terra di affidabilità su un campione del 10%;
- 3) per i restanti edifici, l'assegnazione è stata condotta elaborando opportune correlazioni tra le informazioni contenute nel data-base ISTAT 2001 sugli edifici e le caratteristiche degli edifici noti da rilievo sul campo (Fig. 8.2.2).

La quantificazione della vulnerabilità sismica viene condotta determinando il legame tra l'intensità sismica ed il parametro discreto di danno D_i (Tab. 8.1.2) per le diverse classi (Fig. 8.2.3), attraverso un approccio probabilistico- osservazionale, basato su calcoli statistici sui dati da danneggiamento raccolti in occasione di precedenti eventi sismici.

Si osservi che le classi tipologiche indicate in Fig. 8.2.3 sono soltanto quattro (As, Bs, Cs, Ds – s=seism). Ciò è dovuto al fatto che nell'area geografica a "rischio Campi Flegrei", le classi E ed F sono presenti in numero trascurabile.

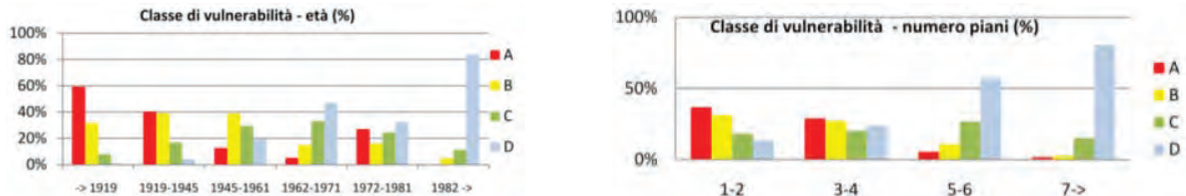


Figura 8.2.2. Esempio di correlazioni tra le informazioni del database ISTAT (età e numero di piani) e le classi di vulnerabilità sismica (Zuccaro et al., 2012).

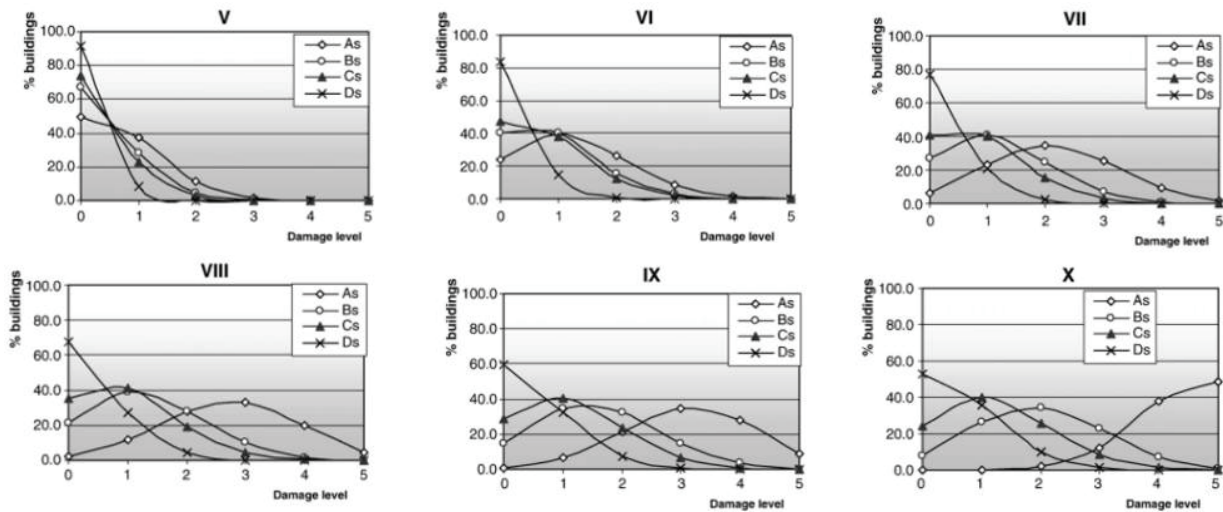


Figura 8.2.3. Funzioni di probabilità di danno sismico per diverse tipologie strutturali e diverse intensità sismiche (Zuccaro et al., 2008).

8.2.2 La vulnerabilità degli edifici nei confronti dell'accumulo di ceneri

Il principale elemento di vulnerabilità di un edificio in relazione all'accumulo di ceneri è costituito dalle coperture. Una classificazione tipologica, messa a punto sulla base del rilievo sul campo di 19.000 tetti dell'area napoletana, è indicata in Tab. 8.2.2 (Spence et al., 2005).

La quantificazione della vulnerabilità da accumulo di ceneri è stata condotta determinando le relazioni tra il carico per unità di superficie prodotto dai depositi e la probabilità di collasso della copertura (danni D_4 e D_5 di Tab. 8.2.1) per le diverse classi (Fig. 8.2.4), attraverso un approccio ibrido meccanico-probabilistico, basato su analisi numeriche, prove sperimentali e calcoli statistici.

Tabella 8.2.2. AF. Classificazione tipologica delle coperture (r = roof).

Classe	Descrizione
A_r	Copertura a falde in legno di scarsa resistenza
B_r	Copertura piana in legno
	Copertura piana latero- cementizia tipo SAP
	Copertura piana in ferro e voltine (povere)

$C1_r$	Copertura piana in c.a. o latero- cementizia non recente (età>20anni)
$C2_r$	Copertura piana in c.a. o latero- cementizia recente (età<20anni)
	Copertura piana in acciaio di moderna concezione (con soletta armata)
D_r	Copertura a falda in c.a. di recente realizzazione
	Copertura a falda in acciaio di recente realizzazione e di buona resistenza

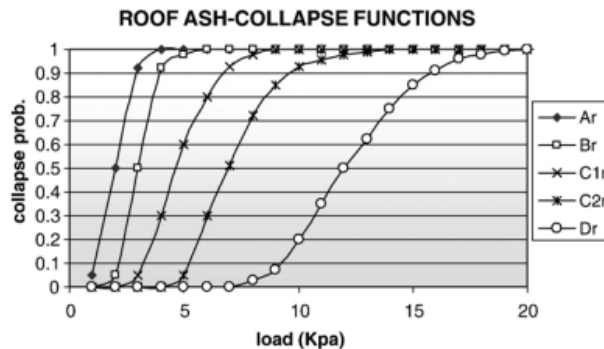


Figura 8.2.4. Funzioni di probabilità di collasso per diverse tipologie di coperture (Spence et al., 2005).

Per stimare a livello territoriale la vulnerabilità da ricaduta di ceneri, non essendo possibile effettuare un rilievo puntuale in sito dell'intero set di edifici interessati, si è fatto ricorso ad opportune estrapolazioni statistiche calibrate su un robusto numero di dati rilevati, indagando la correlazione fra "vulnerabilità delle coperture" e "vulnerabilità sismica". Quest'ultima, indipendentemente dalla finalità per la quale è calcolata, esprime un giudizio globale di resistenza dell'edificio sulla base dell'osservazione di tutte le caratteristiche note, per cui è lecito supporre che vi sia una correlazione fra la risposta sismica e la robustezza delle coperture. Da un'analisi statistica sul campione rilevato, è emersa una correlazione stabile.

8.2.3 La vulnerabilità degli edifici nei confronti dei flussi piroclastici

L'azione esercitata sugli edifici dai flussi piroclastici è costituita dalla pressione dinamica esplicata sulle superfici verticali (facciate) dalla miscela gas-particelle e dalla sollecitazione termica dovuta alle elevate temperature in gioco (150-400 °C).

La pressione laterale può essere responsabile del collasso parziale o totale della struttura o semplicemente dello sfondamento di aperture e/o tamponature (elementi non strutturali). In questo secondo caso, il danneggiamento può essere legato a due diversi fenomeni: uno propriamente meccanico, legato al "sollevamento" di orizzontamenti o coperture per effetto della pressione generatasi all'interno all'edificio, ed un altro, di tipo termico, legato all'insorgere di incendi causati dal contatto tra flusso e materiali infiammabili. In particolare, questo secondo fenomeno è strettamente dipendente dalla temperatura del flusso e dalla durata dell'impulso, che fortunatamente non sempre è tale da innescare un incendio di grandi dimensioni.

La metodologia di valutazione degli effetti dovuti ai flussi piroclastici è stata messa a punto nel corso di tre progetti di ricerca europei e nazionali: CASUALRUPT ("Human and structural vulnerability assessment for emergency planning in a future eruption of Vesuvius using volcanic simulation and casualty modelling", 1998-2000), EXPLORIS ("EXPLOsive Eruption RISK and Decision Support for EU Populations Threatened by Volcanoes", 2002-2005) e SPEED (2007-2009).

Come già detto, questo tipo di analisi non è stato tuttavia inserito nella presente relazione in quanto non ritenuto dal Dipartimento della Protezione Civile di interesse ai fini della stesura del Piano di Emergenza, che si baserà sul rischio per le persone nelle aree invase dai flussi piroclastici.

8.2.4 La vulnerabilità degli edifici nei confronti delle colate di fango (lahar)

Nel caso dei *lahar* l'azione sulle costruzioni è costituita dall'impatto dinamico laterale (Faella e Nigro, 2002), generalmente più intenso di quello prodotto da un flusso piroclastico a causa della maggiore densità, ma con fronte che difficilmente supera i quattro metri di altezza. Da considerare, inoltre, è la possibilità da parte del lahar di trascinare con sé gli oggetti incontrati lungo il percorso (automobili etc.), producendo sulle strutture un'azione concentrata non trascurabile.

Come per i flussi piroclastici, il danno prodotto da un lahar può essere rilevante anche in assenza di crisi degli elementi strutturali. La quantificazione della vulnerabilità da lahar è stata condotta nell'ambito del progetto europeo SAFELAND ("Living with landslide risk in Europe: Assessment effects of global change, and risk management strategies", 2009-2011), attraverso un approccio ibrido meccanico-probabilistico.

Come nel caso dei flussi piroclastici, questo tipo di analisi non è stato inserito nella presente relazione in quanto le analisi di pericolosità sono ad oggi insufficienti.

8.2.5 Perdite umane

Nella valutazione del rischio vulcanico, la stima delle perdite umane assume una fondamentale importanza nella costruzione degli scenari di impatto, sia allo scopo di fornire utili indicazioni alla elaborazione delle strategie di gestione dell'emergenza, sia per la messa a punto di possibili strategie di mitigazione. Nell'ambito del progetto SPEED sopra menzionato, sono state stimate le probabilità del registrarsi di senzatetto (per effetto del sisma e dei depositi da caduta) e di morti e feriti (per effetto del sisma).

9. SCENARI DI DANNO E MAPPE DI RISCHIO

In questo capitolo vengono presentati i risultati di analisi di danno prodotti da accumulo di ceneri vulcaniche e dal verificarsi di terremoti. Tali risultati si riferiscono sia a singoli scenari possibili (ad esempio, una eruzione che avviene da una definita bocca eruttiva, con una determinata intensità e un dato campo dei venti), sia a mappe di rischio che combinano in maniera probabilistica un gran numero di scenari possibili. Le mappe di rischio non vanno pertanto intese come danno atteso a seguito di un singolo evento, piuttosto sono utili a fini dell'utilizzo del territorio e dei piani di sviluppo dello stesso. Gli scenari di danno ad oggi disponibili sono quelli prodotti dal Centro PLINIVS e consegnati al DPC in accordo con la Convenzione Quadro annuale DPC- PLINIVS "Approfondimento degli scenari di danno per eruzioni al Vesuvio e ai Campi Flegrei" (Zuccaro et al., 2011).

9.1 SCENARI DI DANNO E MAPPE DI RISCHIO DA ACCUMULO DI CENERE VULCANICA

La previsione dei possibili effetti sul territorio di un'eruzione vulcanica e la costruzione di possibili scenari di danno dipendono da numerose variabili. Lo scenario, infatti, può presentarsi sensibilmente diverso in funzione della scala e tipo di eruzione, della localizzazione della bocca eruttiva, delle modalità di sviluppo dei diversi eventi che caratterizzano l'eruzione, del campo dei venti durante l'eruzione, nonché delle peculiarità urbanistiche e tipologico-strutturali dell'edificato dell'area interessata. Da ciò consegue che gli scenari possibili non possono essere tutti rappresentati.

L'impatto della ricaduta di cenere vulcanica sul territorio è stato analizzato attraverso tre diverse metodologie:

- I. la prima prende in considerazione la distribuzione dei venti in 16 diversi settori e fornisce, per ognuno di essi, per diverse scale eruttive e con riferimento alle due localizzazioni più probabili della bocca eruttiva (Agnano e Monte Nuovo, par. 7.1), il danno atteso per ciascuna cella della griglia con cui si è discretizzato il territorio;
- II. la seconda valuta un indice di rischio espresso in termini di numero di tetti collassati, saturando l'impatto sulla singola cella per tutte le probabilità di direzione del vento associate ai 16 settori considerati. Queste analisi sono disponibili per eventi a diversa intensità sia con riferimento ad assegnate localizzazioni della bocca eruttiva (Agnano e Monte Nuovo) e sia con riferimento alle mappe di probabilità di localizzazione di apertura di una qualsiasi possibile bocca eruttiva come discusso al par. 7.1.
- III. la terza, in analogia a quanto espresso al punto precedente, ma limitatamente alle sole due localizzazioni più probabili della bocca eruttiva in Agnano e Monte Nuovo, calcola l'indice di rischio, in termini di numero di tetti collassati per cella, assumendo come input tre predefinite soglie di probabilità di superamento del carico atteso nella generica cella (10, 50 e 90%).

Si tratta di tre diverse metodologie di valutazione del danno atteso, che si prestano a differenti letture. La prima metodologia fornisce scenari di danno possibili in relazione a determinate condizioni eruttive e ambientali; in questo caso i valori di danno atteso per cella corrispondono a quelli attesi al verificarsi dell'evento ipotizzato (in termini di scala eruttiva, posizione della bocca eruttiva, e campo dei venti).

La seconda metodologia non rappresenta scenari attesi al verificarsi di un particolare evento; permette invece la rappresentazione di un indice di rischio, o in altre parole l'identificazione delle aree soggette a maggior rischio alla luce delle probabilità associate alle diverse condizioni eruttive e ambientali (ancora in termini di scala eruttiva, posizione della bocca eruttiva, e campo dei venti).

La terza metodologia, potendo ricondursi ad un'analisi di rischio per prefissate probabilità di superamento del carico (10, 50 e 90%), è forse la meno utile in termini di previsione del danno, ma è rilevante per fornire livelli di attendibilità di tali previsioni.

Nel seguito saranno mostrati a titolo esemplificativo alcuni risultati relativi a ciascuna di tali metodologie, in relazione al danno atteso per le coperture a seguito dell'accumulo su di esse di cenere vulcanica. A tale proposito, i livelli di danno assunti sono D4 e D5 (Tab. 8.2.1), assimilabili, rispettivamente, a collasso parziale e totale del tetto. In entrambi i casi l'edificio è considerato distrutto.

Un numero assai maggiore di scenari di danno e mappe di rischio da ricaduta di cenere vulcanica è disponibile presso il DPC negli Album e nelle Tabelle riepilogative (che quantizzano i danni degli elementi a rischio considerati) prodotte dal Centro Studi PLINIVS dell'Università degli Studi di Napoli (Zuccaro et al., 2011).

9.1.1 Scenari di danno da accumulo di ceneri vulcaniche

Al fine di rappresentare la variabilità nella possibile posizione della bocca eruttiva (si veda il cap. 7.1), pur mantenendo il numero delle elaborazioni sufficientemente contenuto, gli scenari analizzati considerano due localizzazioni, rappresentative di aree a maggiore probabilità di apertura della bocca come da Fig. 7.1.3a, e corrispondenti all'area della conca di Agnano ad est, e di Averno-Monte Nuovo ad ovest (Fig. 9.1.1).



Figura 9.1.1. Localizzazione delle bocche eruttive di Agnano e Monte Nuovo, e direzioni del vento (= settori) assunte nelle analisi di impatto.

Nelle Figg. 9.1.2-5, viene mostrato lo scenario di danno riferito a tali due posizioni della bocca eruttiva, alla scala eruttiva "media" e "grande" (si veda cap. 7.4), e alla direzione del vento corrispondente a quella più probabile nell'area

flegrea e riportata nelle figure. E' importante notare che le due posizioni della bocca eruttiva rappresentano unicamente due casi tra i molti possibili, rappresentati in maniera probabilistica nel cap. 7.1, sebbene in una certa misura rappresentativi di due situazioni schematizzabili come "bocca eruttiva nell'area est" (Agnano) e "bocca eruttiva nell'area ovest" (Monte Nuovo) dei Campi Flegrei. Chiaramente, gli scenari di danno attesi nel caso di apertura della bocca eruttiva in diverse località si discosteranno più o meno sensibilmente da quelli sotto riportati a titolo puramente esemplificativo.

La scala eruttiva "piccola", sebbene associata ad alti valori della probabilità (cap. 7.2), non viene rappresentata in quanto per tali scale i modelli di dispersione di cenere utilizzati (cap. 7.4) sono meno adeguati; infatti per tali scale diviene rilevante la dinamica della colonna convettiva di gas e ceneri vulcaniche al di sopra della bocca eruttiva, che è in grado di influenzare una porzione significativa del deposito di ricaduta di ceneri. In tali casi ci si attende che le aree nelle quali possano verificarsi crolli delle coperture vadano da alcune centinaia di metri fino ad alcuni chilometri dalla bocca eruttiva.

E' importante sottolineare il fatto che tutte le valutazioni condotte sono relative a caduta di ceneri asciutte. L'impatto sugli elementi a rischio considerato procurato dalla caduta di ceneri umide, invece, non è stato valutato. Tuttavia sulla base di recenti pubblicazioni (Macedonio e Costa, 2012) questo sarà possibile in futuro.

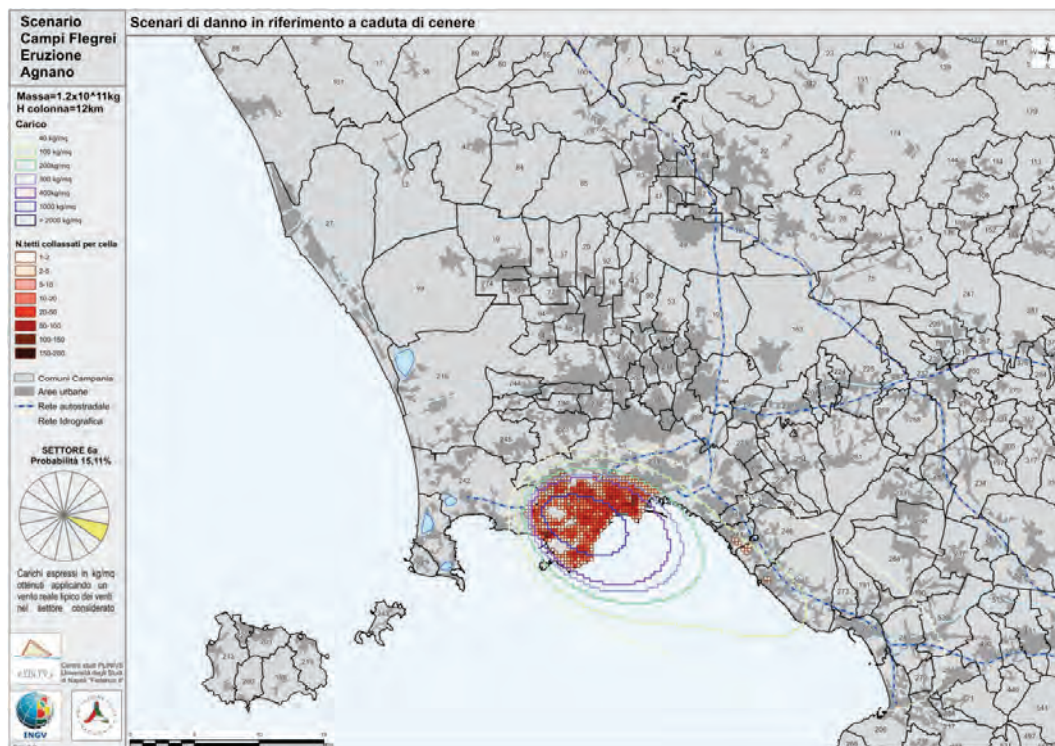


Figura 9.1.2. Scenario di danno da accumulo di ceneri vulcaniche, prodotto da una eruzione “media” con bocca eruttiva localizzata nella conca di Agnano. I colori indicano, per ciascuna cella di 250x250 m in cui è stato suddiviso il territorio, il numero di tetti collassati. La direzione del vento assunta, indicata in giallo nel quadrante a sinistra, è quella a più alta probabilità (Zuccaro et al., 2011).

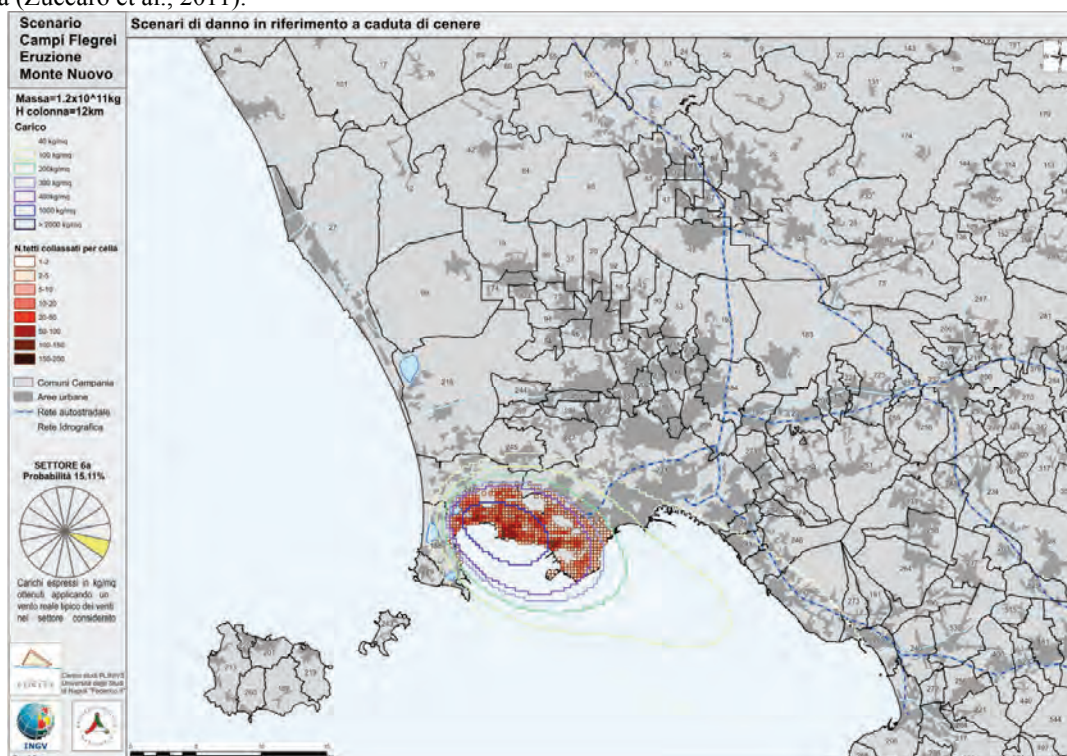


Figura 9.1.3. Scenario di danno da accumulo di ceneri vulcaniche, prodotto da una eruzione “media” con bocca eruttiva localizzata nell’area di Monte Nuovo. I colori indicano, per ciascuna cella di 250x250 m in cui è stato suddiviso il territorio, il numero di tetti collassati. La direzione del vento assunta, indicata in giallo nel quadrante a sinistra, è quella a più alta probabilità (Zuccaro et al., 2011).

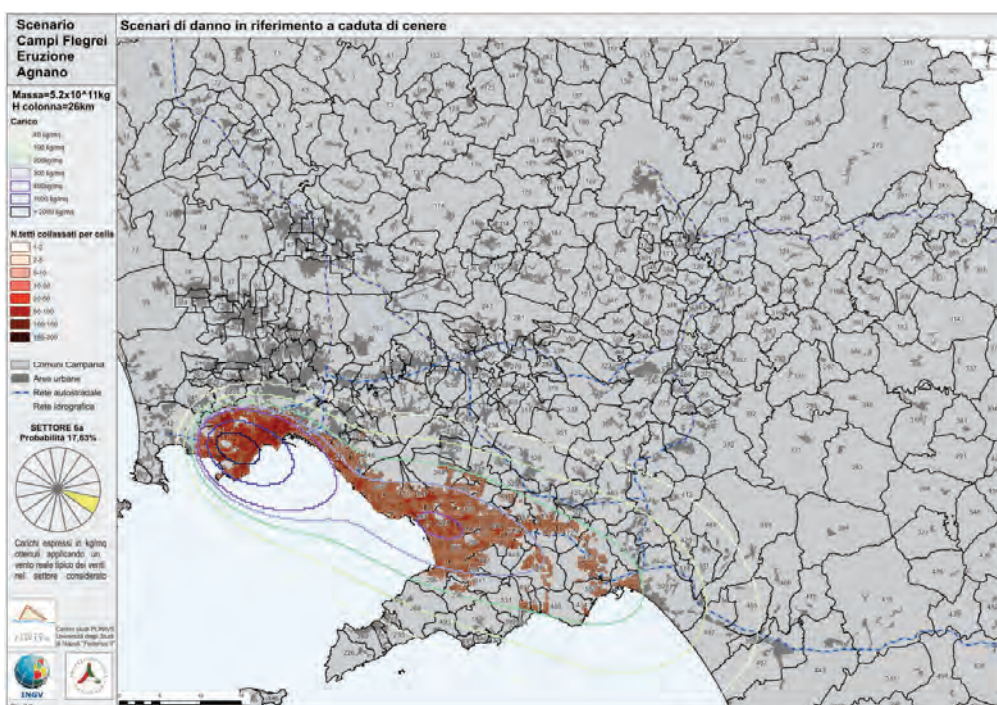


Figura 9.1.4. Scenario di danno da accumulo di ceneri vulcaniche, prodotto da una eruzione “grande” con bocca eruttiva localizzata nella conca di Agnano. I colori indicano, per ciascuna cella di 250x250 m in cui è stato suddiviso il territorio, il numero di tetti collassati. La direzione del vento assunta, indicata in giallo nel quadrante a sinistra, è quella a più alta probabilità (Zuccaro et al., 2011).

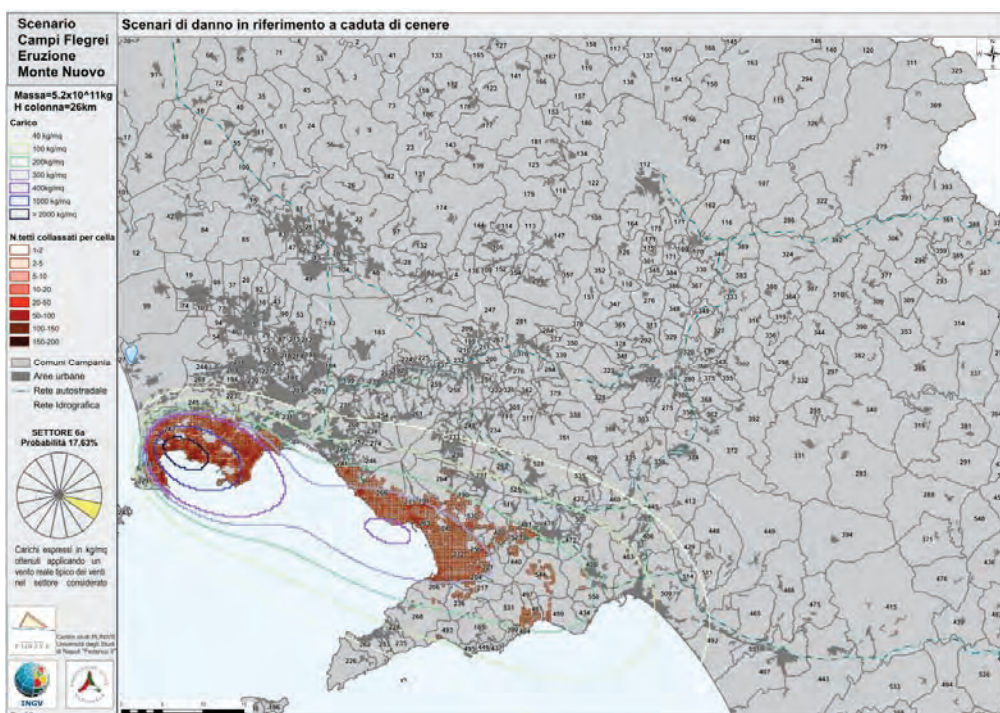


Figura 9.1.5. Scenario di danno da accumulo di ceneri vulcaniche, prodotto da una eruzione “grande” con bocca eruttiva localizzata nell’area di Monte Nuovo. I colori indicano, per ciascuna cella di 250x250 m in cui è stato suddiviso il territorio, il numero di tetti collassati. La direzione del vento assunta, indicata in giallo nel quadrante a sinistra, è quella a più alta probabilità (Zuccaro et al., 2011).

9.1.2 Mappe di rischio da accumulo di ceneri vulcaniche

Le stime di pericolosità da accumulo di cenere mostrate nel cap. 7.4 sono state integrate con i dati di vulnerabilità delle coperture per ottenere mappe di rischio di collassi. Per la pericolosità sono state valuate le probabilità medie di superamento di soglie di carico. Le soglie di riferimento sono 25 (100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1100, 1200, 1300, 1400, 1500, 1600, 1700, 1800, 1900, 2000, 2200, 2400, 2600, 2800, 3000 kg/m²). Per ciascuna cella di 250x250 m, la probabilità di superamento del carico decresce al crescere del valore del carico stesso, come mostrato in Fig. 9.1.6, dove, a titolo di esempio, si riporta il diagramma delle probabilità P_i in funzione della soglia di carico q_i per una generica cella.

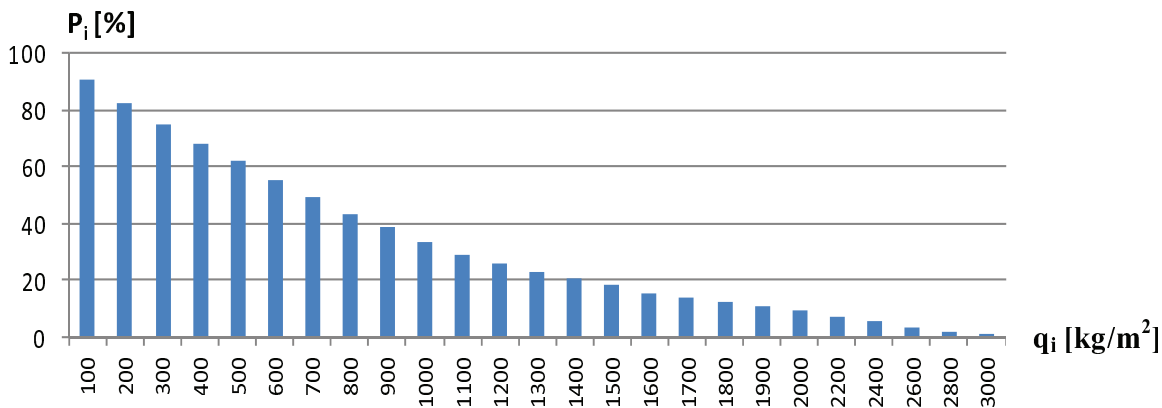


Figura 9.1.6. Probabilità medie di superamento P_i di assegnate soglie di carico q_i (kg/m²) per una generica cella (Zuccaro et al., 2011).

Sulla base di queste informazioni, per ciascuna cella e per ciascuna classe di eruzione, è stato determinato il numero dei collassi attesi delle coperture. Questo valore, denominato Indice di Rischio (R_c), è fornito dalla seguente relazione:

$$R_c = \sum_{i=1}^{n-1} Nc(q_i) \cdot (P_i - P_{i+1}) + Nc(q_n) \cdot P_n$$

dove:

- P_i = probabilità di superamento del livello di carico q_i ;
- $Nc(q_i)$ = numero di tetti collassati per effetto del carico q_i (stimato sulla base delle curve di fragilità di Fig. 8.2.4);
- n = numero totale dei livelli di carico considerati, nel caso in esame $n=25$.
- $P_i - P_{i+1}$ = probabilità che il carico prodotto dai depositi da caduta sia compreso tra q_i e q_{i+1} .

I valori degli indici di rischio sono riportati nelle Figg. 9.1.7-8, con riferimento alle eruzioni di scala "media" e "grande", considerando la distribuzione media di probabilità della bocca eruttiva (Fig. 7.1.3) e la distribuzione dei venti (Fig. 7.4.4). Ulteriori analisi di rischio da collasso di coperture ad oggi disponibili vengono consegnate al Dipartimento della Protezione Civile nel succitato Album e Tabelle riepilogative prodotte dal Centro Studi PLINIVS (Zuccaro et al., 2011).

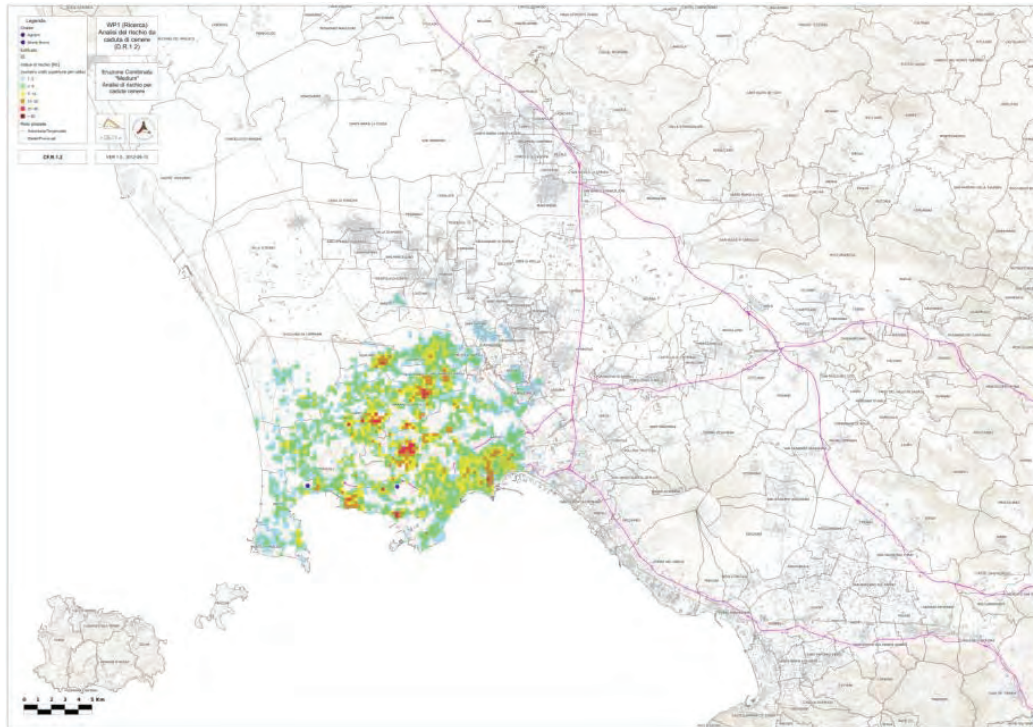


Figura 9.1.7. Indice di Rischio (numero di collassi attesi) per accumulo di ceneri vulcaniche. Eruzione di scala “media”, distribuzioni di probabilità della bocca eruttiva e dei venti come dalle Figg. 7.1.3 e 7.4.4 (Zuccaro et al., 2011).

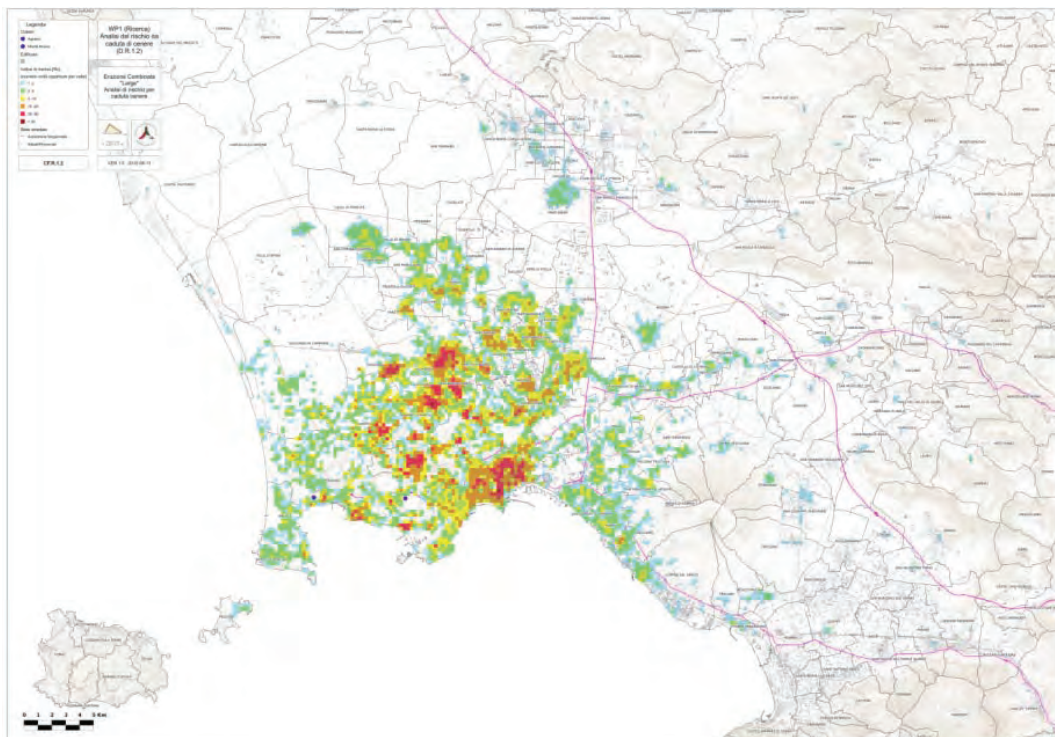


Figura 9.1.8. Indice di Rischio (numero di collassi attesi) per accumulo di ceneri vulcaniche. Eruzione di scala “grande”, distribuzioni di probabilità della bocca eruttiva e dei venti come dalle figure 7.1.3 e 7.4.4 (Zuccaro et al., 2011).

9.1.3 Mappe di danno per prefissate probabilità di superamento del carico

Su esplicita indicazione del DPC, sono state prodotte dal Centro Studi PLINIVS ulteriori analisi di danno atteso.

Per ciascuna cella, è disponibile la probabilità media di superamento per ogni soglia di carico. Pertanto, per ciascuna cella, si è operata la scelta di tre diversi livelli di probabilità P_i , pari a 10, 50 e 90%, cui corrispondono tre soglie di carico q_i , come indicato a titolo di esempio, in Fig. 9.1.9, con riferimento ad una generica cella.

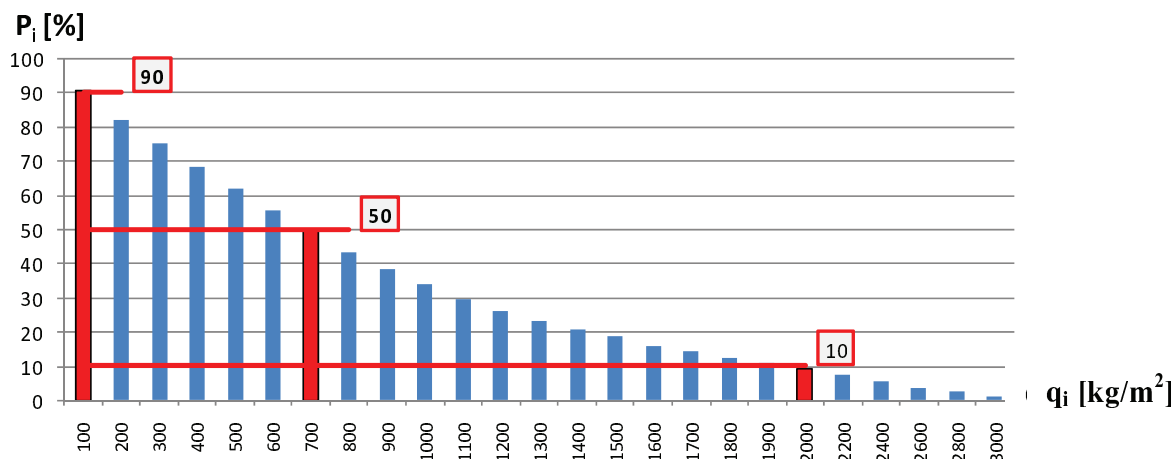


Figura 9.1.9. Probabilità medie di superamento P_i , pari a 10, 50 e 90%, di assegnate soglie di carico q_i (kg/m^2) per una generica cella (Zuccaro et al., 2011).

Sulla base di questi dati, è stato possibile individuare tre scenari di danno corrispondenti a tre curve di isoprobabilità del carico, 10, 50 e 90%. A titolo di esempio, in Fig. 9.1.10, è riportata la mappa di impatto con riferimento ad un'eruzione di scala grande con bocca eruttiva in Agnano.

Come sopra notato, la metodologia utilizzata nella produzione della Fig. 9.1.10, potendo ricondursi ad un'analisi per prefissate probabilità di superamento del carico (10, 50 e 90%), è forse la meno utile in termini di previsione del danno. Infatti, le stime relative alle soglie del 10 e del 90% risultano scarsamente probabili perché, rispettivamente, troppo cautelative o troppo imprudenti, mentre i risultati legati alla soglia del 50% possono essere utili in termini euristici di confronto relativo, anche se ad essi sono da preferirsi le valutazioni condotte attraverso la metodologia illustrata nel cap. 9.1.2, che non ignora le celle caratterizzate da bassa probabilità di avere carichi alti. A riprova di ciò, in Fig. 9.1.11 è proposto un confronto tra le mappe degli indici di rischio (colonna a sinistra di Fig. 9.1.11) e le mappe relative agli scenari per carichi con probabilità di superamento del 50% (colonna a destra di Fig. 9.1.11), che mostra chiaramente come, utilizzando l'isoprobabilità, si trascuri il rischio nelle aree ad est del vulcano.

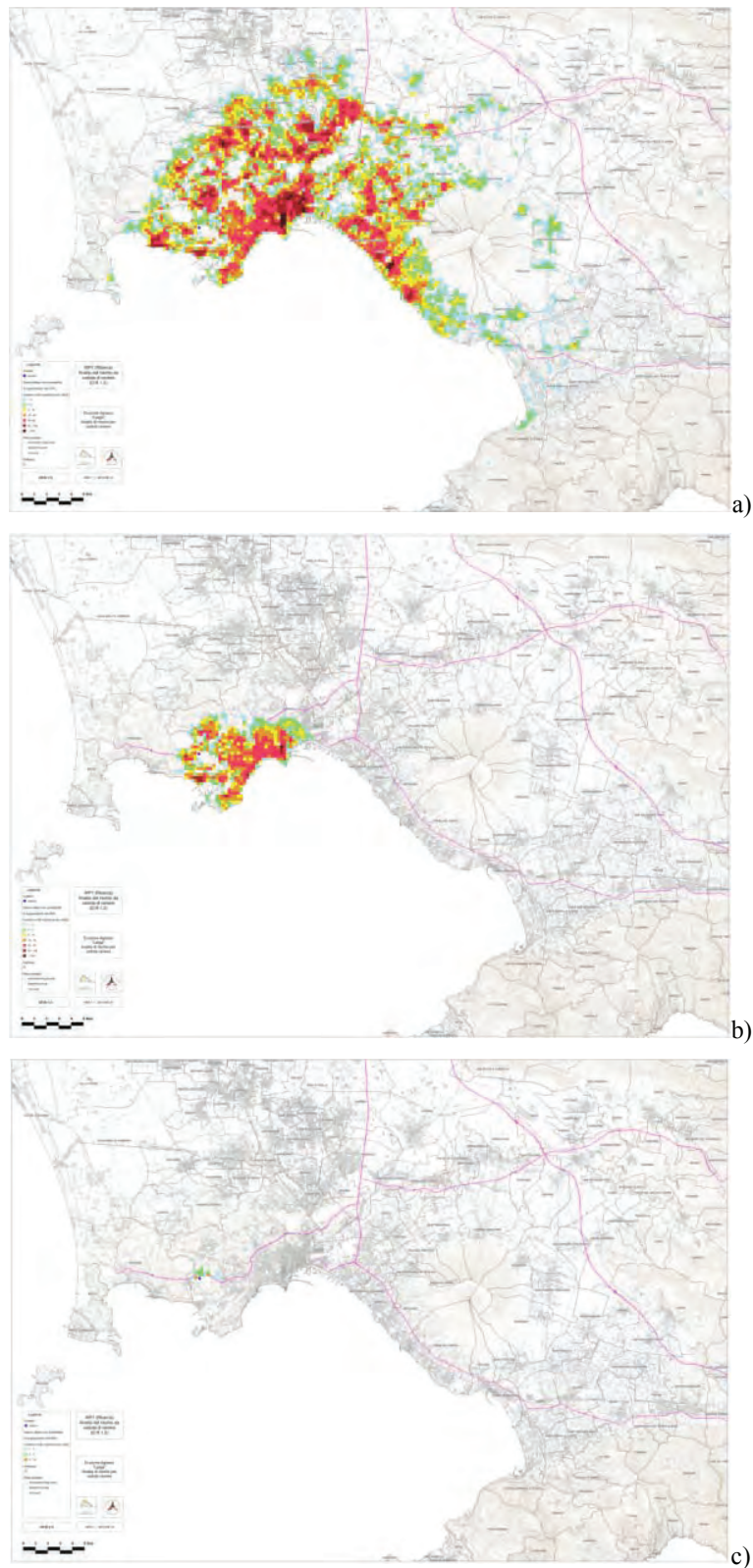


Figura 9.1.10. Eruzione di scala grande con bocca in Agnano: danno atteso (n° coperture collassate per cella) per carichi con probabilità di superamento pari a: a) 10%; b) 50%; c)90% (Zuccaro et al., 2011).

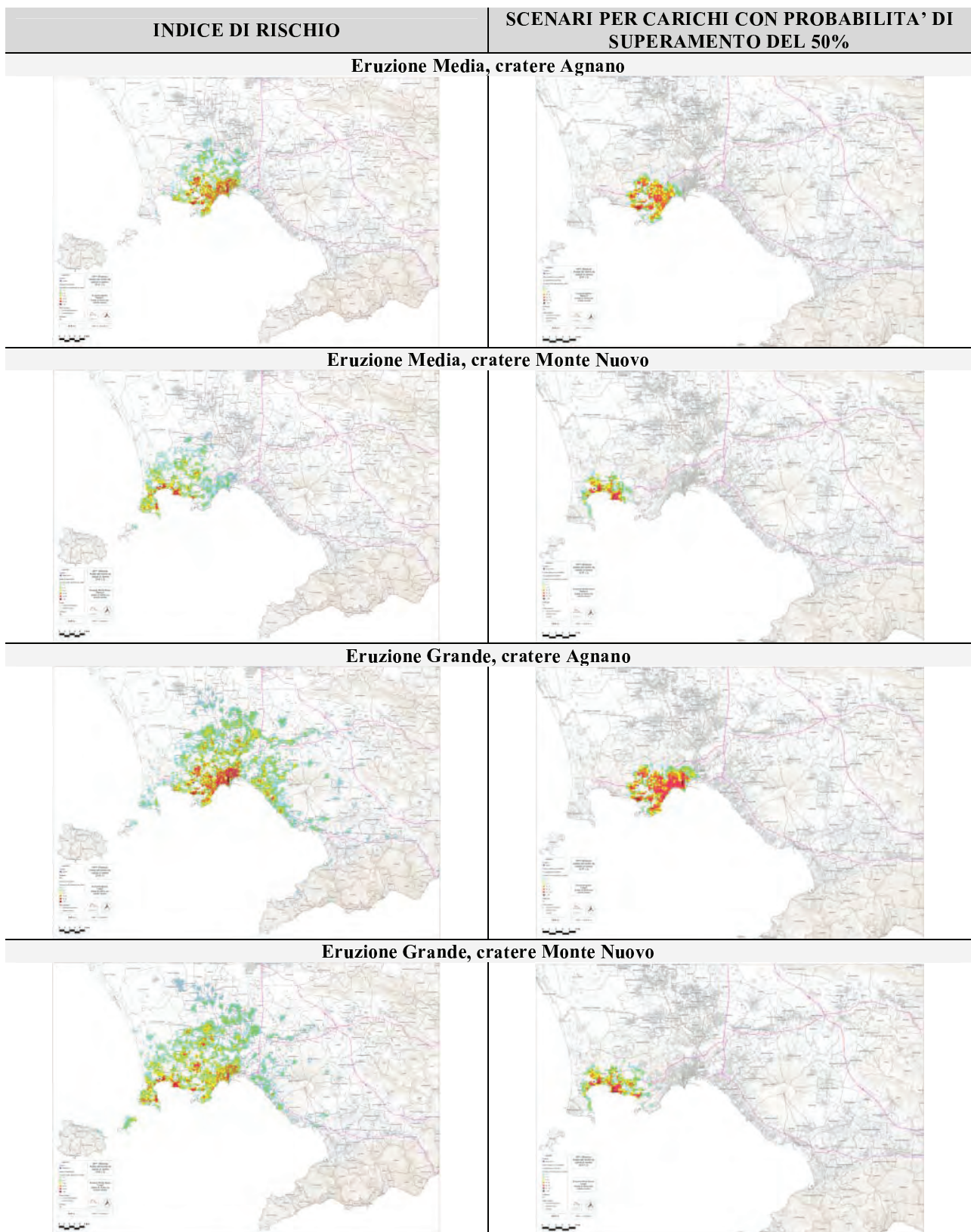


Figura 9.1.11. Confronto tra le mappe degli indici di rischio (colonna a sinistra), e quelle relative agli scenari causati da carichi con probabilità di superamento del 50% (colonna a destra) (Zuccaro et al., 2011).

Considerazioni conclusive

Nella determinazione del danno atteso, rispetto agli altri fenomeni vulcanici, l'effetto dei depositi da caduta di cenere riguarda un'area decisamente più vasta e un numero di edifici di molto superiore. In questo capitolo sono state fornite valutazioni in termini di scenari di danno (cap. 9.1.1) e mappe di rischio (cap. 9.1.2). che hanno valori e significati diversi che vale la pena sottolineare ancora:

- Gli scenari di danno si riferiscono a singoli eventi, tra i molti possibili, e forniscono un'immagine di quello che potrebbe essere l'impatto di una eruzione sull'edificato in relazione all'accumulo di cenere. Da notare che gli scenari di danno qui riportati sono unicamente esemplificativi; un alto numero di scenari possibili sono forniti al Dipartimento della Protezione Civile in un documento separato (Zuccaro et al., 2011).
- Le mappe di rischio indicano la probabilità del verificarsi di collassi delle coperture utilizzando le probabilità relative di numerosi possibili scenari. Non forniscono quindi un'immagine dell'impatto di una singola eruzione. La loro utilità risiede nell'evidenziare dove si concentra il rischio alla luce delle incertezze che caratterizzano la previsione delle caratteristiche dell'eruzione, combinata con le incertezze nella direzione e intensità del vento e nella valutazione della vulnerabilità delle coperture.

I risultati nel complesso mostrano che un'eruzione di scala media o maggiore è in grado di impattare in maniera significativa vaste aree che comprendono la città di Napoli, posta sottovento rispetto ai Campi Flegrei quando si considerino le direzioni dominanti dei venti nell'area. L'elevato numero di crolli per unità di cella nell'area di Napoli deriva anche dall'elevata concentrazione di coperture di bassa qualità (altamente vulnerabili), soprattutto nel centro storico cittadino. Nel caso di eruzione di scala grande possono essere interessate da importanti collassi numerose strutture fino a distanze rilevanti, corrispondenti ai contrafforti della Penisola Sorrentina. Un'eruzione di scala media è comunque in grado di causare abbondanti collassi nel centro di Napoli, fino all'area del porto (e oltre) in funzione della posizione della bocca eruttiva e del campo dei venti.

9.2 SCENARI SISMICI

9.2.1 Pericolosità sismica

Nell'ambito della Convenzione Quadro annuale DPC- PLINIVS "Approfondimento degli scenari di danno per eruzioni al Vesuvio e ai Campi Flegrei" (Zuccaro et al., 2011), Zollo e Convertito (in Zuccaro et al., 2011) hanno studiato un probabile scenario di pericolosità sismica per l'area dei Campi Flegrei.

Il terremoto scelto come riferimento è quello avvenuto il 4 Ottobre 1983 con magnitudo $M_L=4.0$. La localizzazione dell'evento è stata ricavata dal lavoro di Branno et al. (1984) ed è caratterizzata dai seguenti parametri:

- Epicentro: $40^{\circ}49.55'N-14^{\circ}7.92'E$
- Profondità: 2.46km

Nello stesso lavoro, Branno et al. (1984) forniscono una mappa macrosismica dei valori di intensità I rilevati dopo il terremoto, utilizzando la scala MSK-64 (Figura 9.2.1). Viene inoltre fornita una relazione di attenuazione con la distanza epicentrale (R , in km) la cui formulazione è:

$$I(R) - I_0 = 0.25 - 0.00R - 0.52\log(R+D)$$

Dove: Io ha un valore medio pari a 7 ed il parametro D rappresenta una profondità media pari a 3 km.

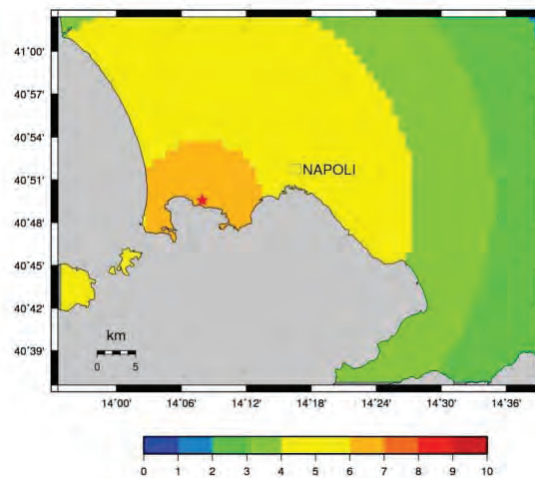


Figura 9.2.1 Mappa di intensità sismica dell'evento del 4 Ottobre 1983 (magnitudo $M_L=4.0$) (da Zuccaro et al., 2011).

Per come è stata ricavata, la relazione di cui sopra è valida “solo” per l'evento di magnitudo 4.0 considerato.

D'altra parte, le analisi di scenario che si vogliono effettuare richiedono la scelta più eventi sismici con magnitudo da selezionare all'interno di un range compatibile con le caratteristiche sismotettoniche dell'area in esame. E' necessario pertanto utilizzare una formulazione della relazione di attenuazione dell'intensità macrosismica che contenga il parametro magnitudo e che sia compatibile con i valori di intensità osservati in occasione dell'evento scelto come riferimento. Convertito e Zollo (2011) (anche in Zuccaro et al., 2011), attraverso analisi sismiche di dettaglio, hanno fornito l'equazione predittiva del moto del suolo (GMPE) per l'accelerazione di picco (PGA) da utilizzarsi:

$$\text{LogPGA} = -3.799 + 1.045M - 0.5\log(R^2 + 5.115^2)^{1/2} - 0.028R$$

Dove: PGA è espressa in m/s^2 , M è la magnitudo locale e R è la distanza epicentrale espressa in km. I valori di PGA sono poi convertiti in intensità macrosismica utilizzando la relazione di Faenza e Michelini (2010) che si riporta di seguito:

$$I_{\text{MCS}} = 1.68 + 2.58\log\text{PGA} \quad (\text{sig}=0.35)$$

Dove: i valori di PGA sono espressi in cm/s^2 e l'intensità macrosismica è espressa nella scala MCS.

9.2.2 Terremoto di scenario per l'area dei Campi Flegrei

Per le analisi di scenario, sono stati adottati due eventi sismici di riferimento di magnitudo 4 e 4.5. Le rispettive mappe in termini di intensità (Figg. 9.2.2 e 9.2.3) sono state ricavate sulla base di quanto indicato nel paragrafo precedente.

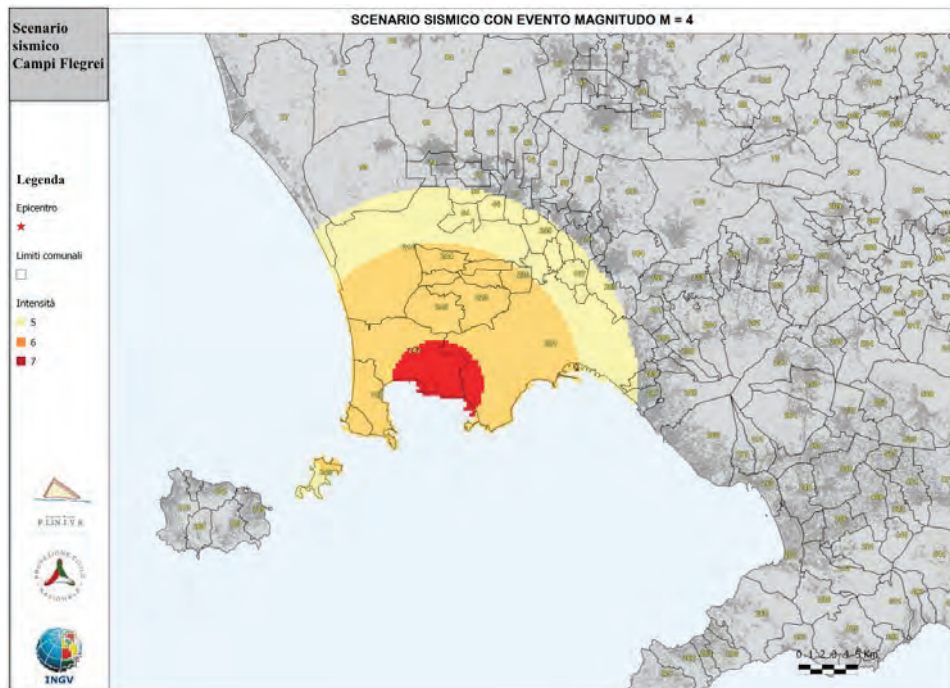


Figura 9.2.2. Mappa di pericolosità sismica, in termini di intensità, per un evento sismico di magnitudo M=4 (da Zuccaro et al., 2011).

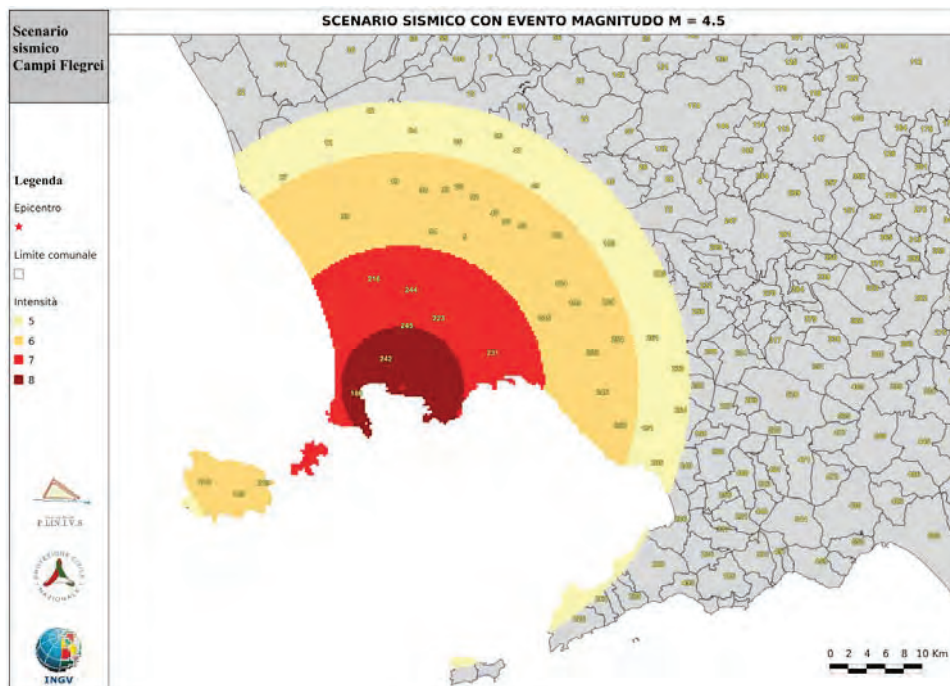


Figura 9.2.3. Mappa di pericolosità sismica, in termini di intensità, per un evento sismico di magnitudo M=4.5 (da Zuccaro et al., 2011).

Con riferimento alle curve di vulnerabilità sismica di Fig. 8.2.3, è stato determinato il numero di collassi per cella, con riferimento ai due eventi di magnitudo 4 (Fig. 9.2.4) e 4.5 (Fig. 9.2.5).

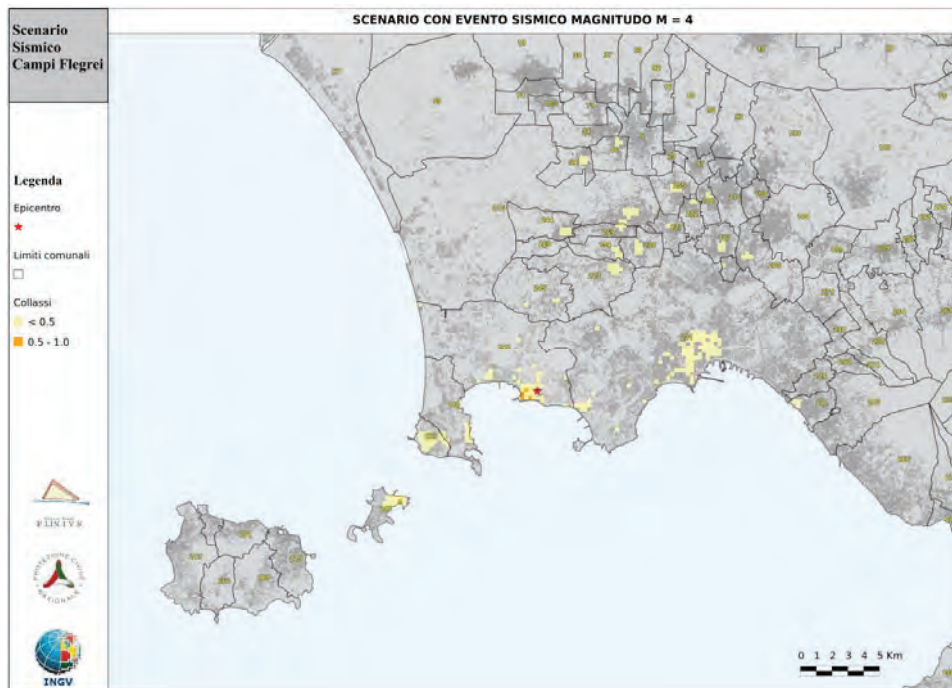


Figura 9.2.4. Mappa del numero di collapsi per cella causati da un evento sismico di magnitudo $M=4$ (da Zuccaro et al., 2011).

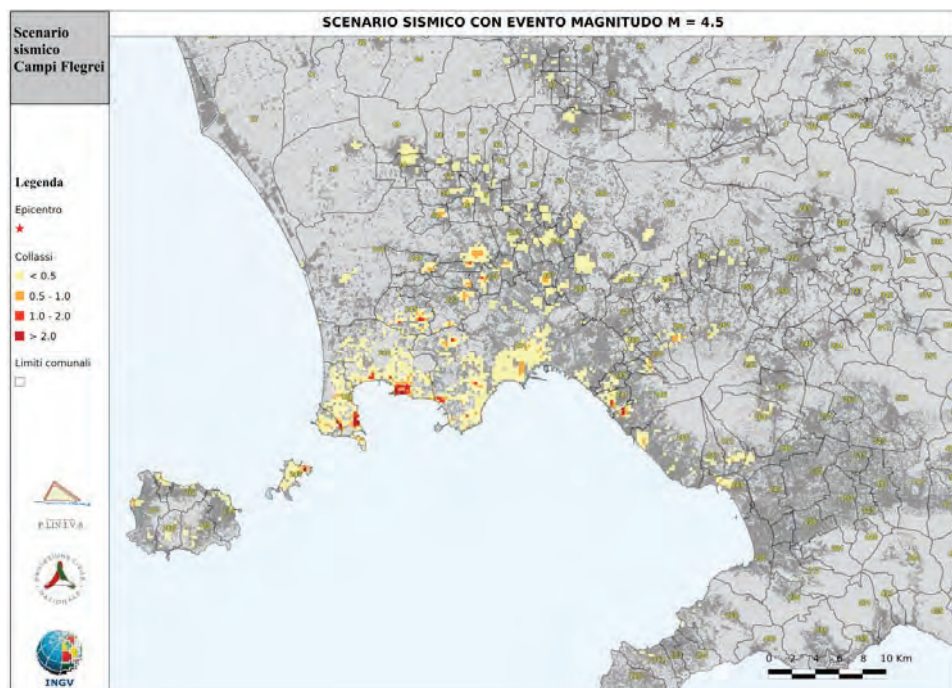


Figura 9.2.5. Mappa del numero di collapsi per cella causati da un evento sismico di magnitudo $M=4.5$ (da Zuccaro et al., 2011).

9.3 SCENARI SISMICI PRE- ERUTTIVI: TRATTI VIARI INTERROTTI

Per l'area flegrea, sulla base dello studio commissionato dal DPC all'Università di Roma "La Sapienza", è stato individuato una rete di vie di fuga per l'evacuazione (da effettuarsi prima dell'inizio dell'eruzione) della zona immediatamente circostante il vulcano. Tale grafo viario è riportato (in magenta) in Fig. 9.3.1.

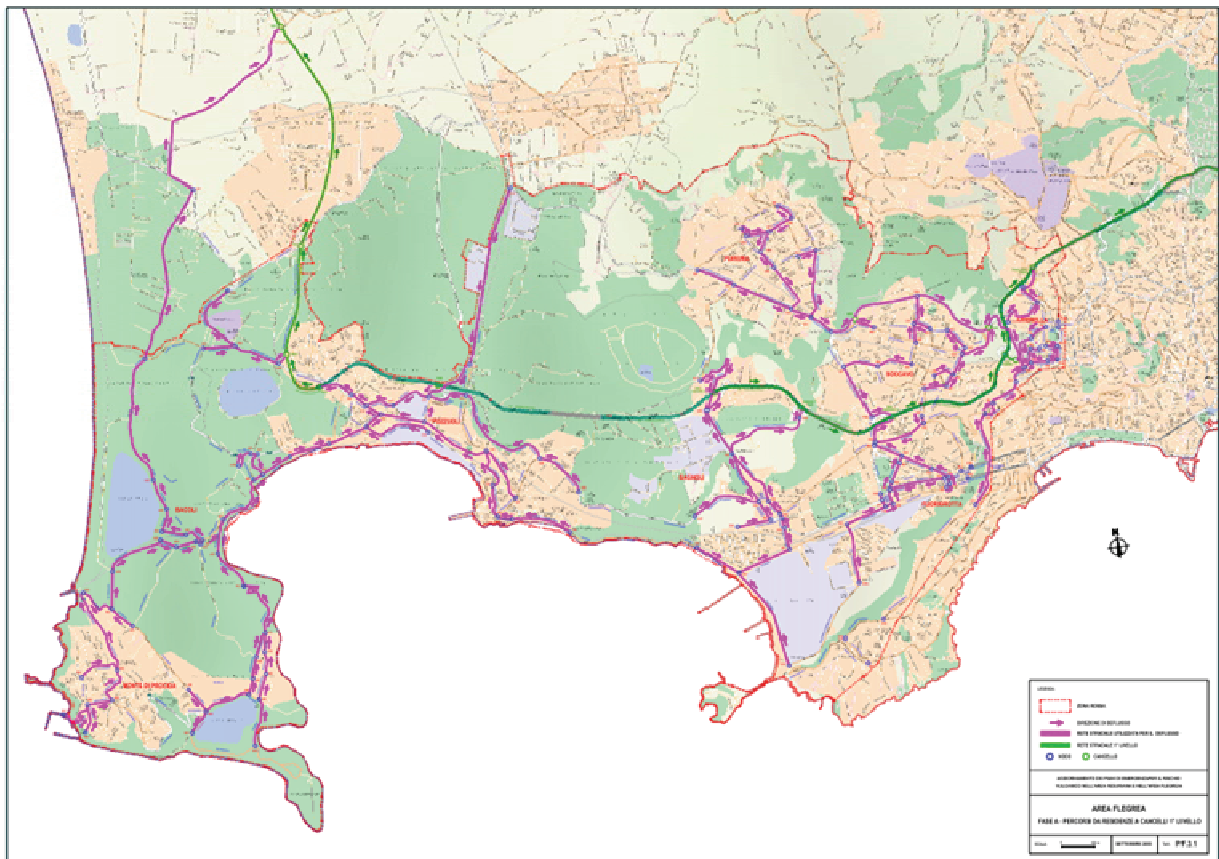


Figura 9.3.1. Mappa delle vie di fuga dell'area flegrea (Mappa realizzata dall'Università di Roma "La Sapienza").

I primi eventi sismici potrebbero manifestarsi prima dell'avvio della procedura di evacuazione. In tal caso, i danni alle costruzioni prodotti da questi terremoti precursori potrebbero essere tali da condizionare lo svolgersi dell'evacuazione stessa. Eventuali crolli (totali e parziali) di edifici posti a ridosso delle vie di fuga potrebbero causare, infatti, l'interruzione dei percorsi con serie conseguenze sul deflusso dall'area.

In quest'ottica, si sono stimate le probabilità di interruzione delle vie di fuga con riferimento a due singoli eventi sismici di intensità macrosismiche I pari a VII e VIII (EMS '98). L'intensità I si è assunta costante sull'intera area del grafo viario, in modo da prescindere dalla posizione dell'epicentro degli eventi sismici pre-eruttivi e dare una valutazione ad input uniforme.

Il grafo delle vie di fuga è stato suddiviso in link (link = tratto stradale compreso tra due intersezioni viarie, dette *nodi*). Per ciascun link *i*-esimo, è stata valutata la probabilità di interruzione P_i per una data intensità sismica I, in funzione del numero atteso (N_c) di edifici interessati da collasso parziale o totale per effetto dell'azione sismica I.

Nella valutazione rientrano tutti gli edifici prospicienti il link viario, distanti non più di 15m dall'asse stradale.

Nel dettaglio, la procedura adottata per la stima della probabilità di interruzione dei tratti viari è la seguente (Fig. 9.3.2):

- Sul grafo delle vie di fuga dei Comuni dell'area flegrea, sono stati individuati tutti i tratti stradali (link) di dimensioni variabili, compresi fra due nodi. Ad ognuno di essi è stato attribuito un codice univoco.
- Lungo ciascun link, sono stati raggruppati gli edifici posti ai lati della strada, ad una distanza massima di 15m dall'asse stradale.
- Per ciascun gruppo di edifici prospicienti il singolo link, si è determinata la distribuzione di vulnerabilità sismica, sulla base di quanto indicato nel paragrafo 8.2.1.
- Per ciascuna intensità macrosismica assunta I (VII e VIII) e per ciascun gruppo di edifici, si è calcolata la distribuzione del danno atteso, attraverso le curve di vulnerabilità sismica di Fig. 6.3, e dunque, per ciascun link, il numero di edifici (NC) interessati da collasso parziale o totale per effetto dell'azione sismica I.
- Per ognuno dei link analizzati, la probabilità di interruzione del link per una data intensità macrosismica è stata stimata in funzione di NC:

$$P_i = 1 - 1/e^{Nc}$$

I risultati ottenuti sono riportati in Fig. 9.3.3, con riferimento a terremoti di intensità VII (a) e VIII (b). Per maggiore chiarezza, in Fig. 9.3.4, è indicato un dettaglio relativo allo scenario di intensità VIII.

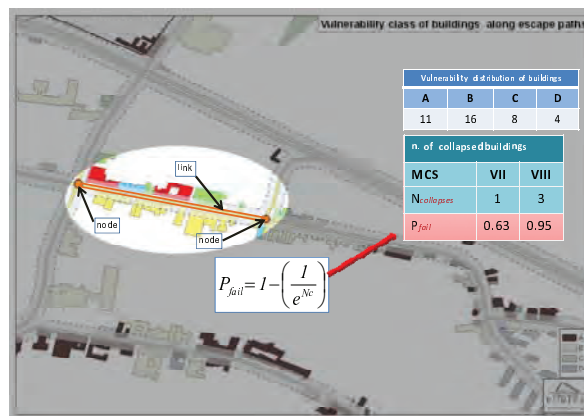
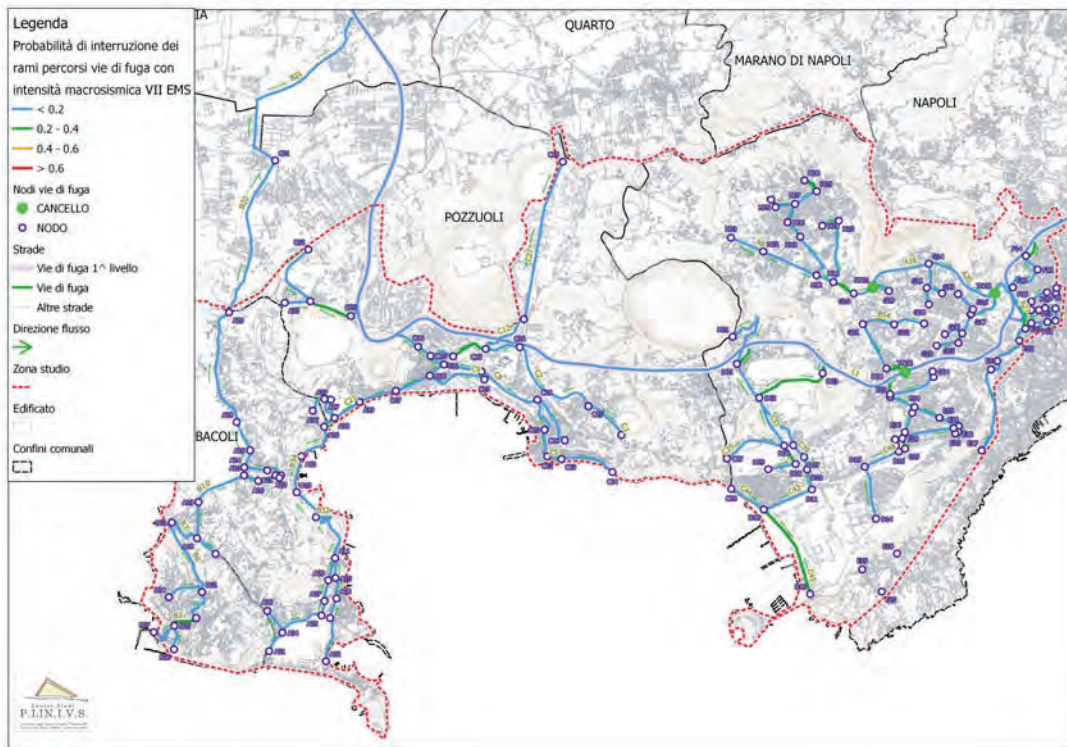
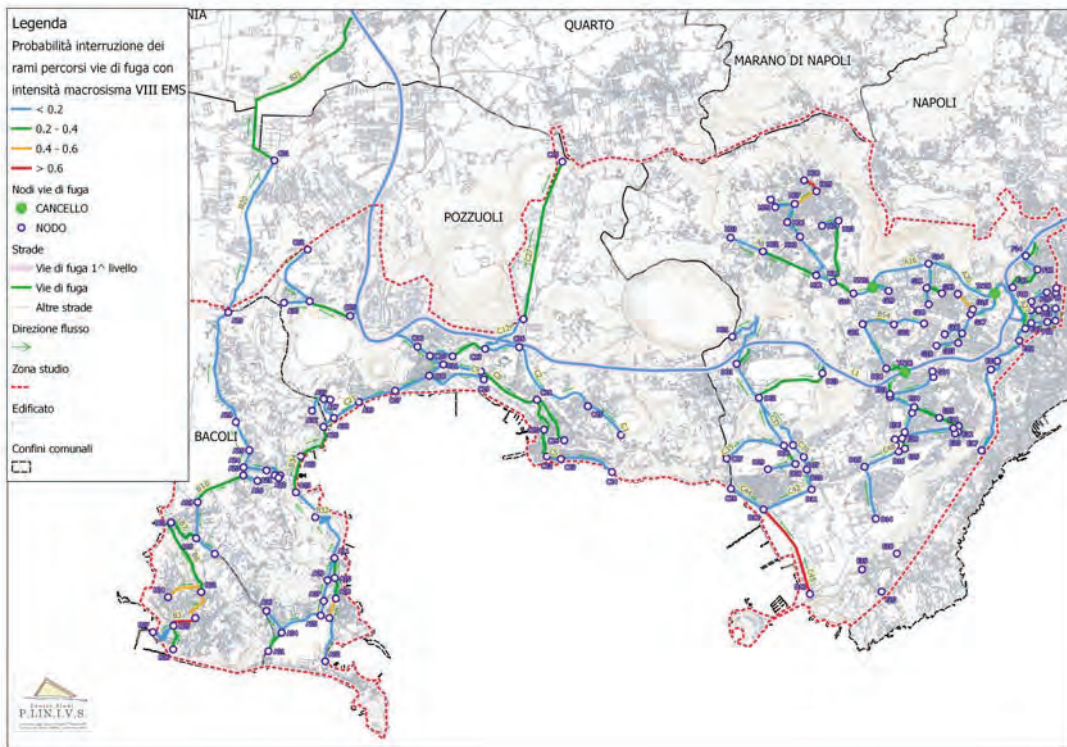


Figura 9.3.2. Descrizione della procedura per la valutazione della probabilità di interruzione dei link viari (da Zuccaro et al., 2011).



a)



b)

Figura 9.3.3.. Mappa di interruzione delle vie di fuga per effetto di un sisma pre-eruttivo di intensità : a) VII; b) VIII (da Zuccaro et al., 2011).

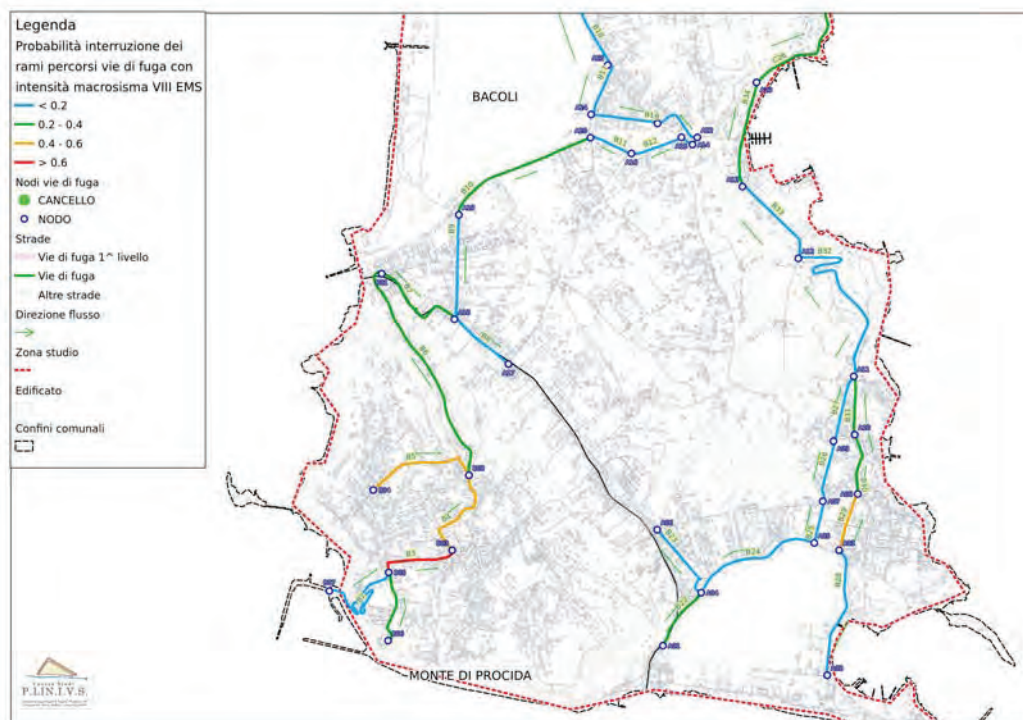


Figura 9.3.4. Dettaglio della mappa di interruzione delle vie di fuga per effetto di un terremoto di intensità VIII (da Zuccaro et al., 2011).

Considerazioni conclusive

Dalle analisi di scenario condotte si osserva che il danno atteso procurato da un evento sismico di magnitudo 4 (corrispondente ad un'intensità VII- EMS'98) con epicentro nella città di Pozzuoli è significativo ma non rilevante sia per numero di edifici danneggiati che per estensione territoriale. I collassi infatti risultano maggiormente localizzati nel centro storico di Pozzuoli.

Nel caso in cui si assuma il verificarsi di un evento di magnitudo 4,5 (corrispondente ad un'intensità VIII- EMS'98), i danni attesi sono più significativi sia per numero che per estensione territoriale, coinvolgendo nell'emergenza sismica in fase pre-eruttiva aree comprese tra il centro di Monte di Procida e i quartieri più ad ovest di Napoli.

In analogia, anche l'impatto sismico sui percorsi viari del grafo previsto dal DPC in caso di allarme e conseguente evacuazione dell'area, non risulta rilevante. Tuttavia, da un'attenta analisi quantitativa delle tabelle di dettaglio a disposizione del DPC, si rileva che per eventi di massima intensità attesa la probabilità di interruzione dei tratti viari non è trascurabile nell'ottica del buon funzionamento del Piano di Emergenza.

Nel presente rapporto gli effetti sulle costruzioni del bradisismo che accompagna gli altri fenomeni della fase pre-eruttiva non sono stati considerati.

Per maggiore dettaglio, le mappe di scenario e di rischio descritte nel capitolo 9 sono disponibili presso il DPC negli Album e nelle Tabelle riepilogative (che quantizzano i danni degli elementi a rischio considerati) prodotte dal Centro Studi PLINIVS dell'Università degli Studi di Napoli, in accordo con la Convenzione Quadro annuale DPC- PLINIVS "Approfondimento degli scenari di danno per eruzioni al Vesuvio e ai Campi Flegrei" (Zuccaro et al., 2011).

APPENDICE. Limitazioni dello studio

1. E' necessario evidenziare che lo studio è stato soggetto ad alcune limitazioni generali. Lo studio è stato infatti realizzato impiegando una frazione limitata del tempo lavoro dei membri del gruppo e con vincoli di tempo definiti (due anni, poi estesi a tre). Le attività svolte non hanno inoltre riguardato la realizzazione di nuove ricerche originali bensì la revisione critica e la sintesi delle conoscenze ad oggi disponibili relative alla stima della pericolosità e rischio dei Campi Flegrei.
2. E' importante sottolineare l'intrinseca imprevedibilità dei fenomeni vulcanici, dovuta alle numerose incertezze insite nella conoscenza scientifica del comportamento dei sistemi vulcanici e delle implicazioni di questa incertezza per la previsione della loro evoluzione e per i processi decisionali associati. Esistono infatti numerose sorgenti di incertezza nel sistema vulcanico, tra cui:
 - la sostanziale, intrinseca complessità dei processi che determinano l'eruzione dei vulcani e la loro evoluzione compresa la natura e l'intensità delle loro eruzioni;
 - le incertezze nella nostra comprensione del comportamento dei sistemi vulcanici e dei processi eruttivi (per esempio, della fisica dei flussi piroclastici o dei processi di risalita del magma nella crosta);
 - le incertezze associate ai dati e alle osservazioni dei processi vulcanici (per esempio, la conoscenza incompleta dell'attività eruttiva passata, della geometria stessa del sistema magmatico, dei sistemi rocciosi sotterranei che ospitano tali sistemi, unita all'impossibilità di conoscere in anticipo e con la dovuta precisione la composizione e il contenuto in gas del magma che si prepara a dar vita a un'eruzione);
 - le incertezze legate alle simulazioni numeriche dovute alle limitazioni o alle semplificazioni delle tecniche di modellizzazione utilizzate e alla scelta delle condizioni iniziali e al contorno.
3. Le suddette sorgenti di incertezza sono presenti anche quando si considerano tutti gli altri rischi naturali nelle Scienze della Terra (quali terremoti, uragani, alluvioni, frane, ecc.). In questi contesti è quindi convenzione considerare la possibilità di accadimento di questi eventi pericolosi in termini probabilistici. L'attività vulcanica non è diversa da questi rischi naturali. E' necessario inoltre chiarire, a chiunque utilizzerà le informazioni contenute in questo rapporto, un ulteriore aspetto fondamentale relativo alla validazione, verifica e conferma dei modelli per la stima della pericolosità. Tale validazione, verifica o conferma è infatti non-univoca per modelli numerici o probabilistici dei sistemi naturali, una limitazione che è stata esplicitamente affermata per i modelli che rappresentano i rischi naturali².
4. Questo rapporto può contenere "affermazioni previsionali" basate sulle aspettative dei membri del gruppo di lavoro e relative al futuro comportamento del vulcano. Affermazioni che contengono le parole "si ritiene", "ci si aspetta", "si prevede", o espressioni simili, sono affermazioni previsionali che, per loro natura, sono affette da incertezza perché sono relative a eventi e circostanze future, la maggior parte delle quali sono al di fuori del controllo di ciascuno. Eventuali studi e nuove future conoscenze e osservazioni possono portare a mutamenti delle assunzioni fatte per determinare la pericolosità e il rischio e, di conseguenza, gli accadimenti che si verificheranno realmente nel futuro possono differire sostanzialmente dalle previsioni riportate in questo rapporto. Rispetto a tale eventualità gli autori non assumono alcun obbligo di aggiornare le suddette affermazioni contenute in questo rapporto.

² Oreskes, N., Schrader-Frechette, K. and Belitz, K., 1994. Verification, validation, and confirmation of numerical models in the Earth Sciences. *Science*, 263: 641-646.

5. Ciò premesso, i membri del gruppo di lavoro credono di aver svolto il loro incarico onestamente e in buona fede, e che le informazioni contenute in questo rapporto siano state fornite, senza alcun pregiudizio, con l'obiettivo di informare il Dipartimento della Protezione Civile, quale committente dello studio, della pericolosità e rischio connessi a scenari probabili che potrebbero verificarsi nel prossimo futuro a seguito di una riattivazione dei Campi Flegrei. E' comunque importante sottolineare che, allo stato dell'arte attuale, nessuno studio di questa natura può eliminare le incertezze quali quelle sopra descritte. Di conseguenza, a scanso di ogni dubbio, nessuna informazione contenuta in questo rapporto dovrà essere interpretata come espressione o implicita garanzia o assicurazione da parte dei membri del gruppo di lavoro, della sua adeguatezza al suo utilizzo, e quindi la parte committente deve assumersi piena responsabilità delle decisioni associate. I membri del gruppo di lavoro non accettano quindi alcuna responsabilità, individuale o di gruppo, per ogni forma di utilizzo o assunzione di decisione o azione presa dal Dipartimento della Protezione Civile o da altre autorità nazionali regionali o locali, risultanti, derivanti o influenzate, direttamente o indirettamente, dall'informazione fornita in questo rapporto, ne possono accettare, in alcun modo o forma, alcuna responsabilità verso terze parti. La responsabilità dei membri del gruppo di lavoro è limitata esclusivamente alla rettifica di errori materiali.
6. Questa appendice deve essere considerata parte integrante del rapporto.

BIBLIOGRAFIA CITATA

- AGIP 1987. Geologia e geofisica del sistema geotermico dei Campi Flegrei. Servizi Centrali per l'Esplorazione, SERG-MMESG, San Donato.
- Alberico, I., L. Lirer, P. Petrosino, R. Scandone (2002). A methodology for the evaluation of long-term volcanic risk from pyroclastic flows in Campi Flegrei (Italy). *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 116, 63-78.
- Alberico, I., Petrosino P. and Lirer L. (2011). Volcanic hazard and risk assessment in a multi-source volcanic area: the example of Napoli city (Southern Italy), *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 11, 1057–1070.
- Amoruso, A., Crescentini, L., Linde, A. T., et al. (2007). A horizontal crack in a layered structure satisfies deformation for the 2004-2006 uplift of Campi Flegrei. *Geophys. Res. Lett.*, 34, DOI: 10.1029/2007GL031644.
- Amoruso, A., Crescentini, L., Berrino, G. (2008). Simultaneous inversion of deformation and gravity changes in a horizontally layered half-space: evidences for magma intrusion during 1982–1984 unrest at Campi Flegrei caldera (Italy). *Earth Planet. Sci. Lett.* 272, 181–188, doi:10.1016/j.epsl.2008.04.040.
- Aster, R. C., and Meyer, R. P. (1988). Three-dimensional velocity structure and hypocenter distribution in the Campi Flegrei caldera, Italy, *Tectonophysics*, 149, 195–218.
- Arienzo, I., Civetta, L., Heumann, A., Wörner, G., Orsi, G. (2009). Isotopic evidence for open system processes within the Campanian Ignimbrite (Campi Flegrei-Italy) magma chamber. *Bulletin of Volcanology* 71 (3), 285–300. doi:10.1007/s00445-008-0223-0.
- Arienzo, I., Moretti, R., Civetta, L., Orsi, G., Papale, P. (2010). The feeding system of Agnano–Monte Spina eruption (Campi Flegrei, Italy): Dragging the past into present activity and future scenarios. *Chemical Geology*, 270, 135–147.
- Barberi, F., Bertagnini A., Landi P., Principe C. (1992). A review on phreatic eruptions and their products. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 52:231-246.
- Barberi, F., Cassano, E., Latorre, P., Sbrana, A. (1992). Structural evolution of Campi Flegrei caldera in light of volcanological and geophysical data. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 48, 33-49.
- Barsotti, S., Neri, A., Scire, J.S. (2008). The VOL-CALPUFF model for atmospheric ash dispersal. I. Approach and physical formulation, *J. Geophys. Res.*, 113, B03208, doi:10.1029/2006JB004623.
- Battaglia, M., C. Troise, F. Obrizzo, F. Pingue, and G. De Natale (2006). Evidence for fluid migration as the source of deformation at Campi Flegrei caldera (Italy), *Geophys. Res. Lett.*, 33, L01307, doi:10.1029/2005GL024904.
- Battaglia, J., Zollo, A., Virieux, J. and Dello Iacono D. (2008). Merging active and passive data sets in travelttime tomography: The case study of Campi Flegrei caldera (Southern Italy). *Geophysical Prospecting*, 2008, 56, 555–573 doi:10.1111/j.1365-2478.2007.00687.x
- Baxter P.J., Boyd, R., Cole, P., Neri, A., Spence, R., Zuccaro G. (2005). The impacts of pyroclastic surges on buildings at the eruption of the Soufriere Hills Volcano, Montserrat. *Bulletin of Volcanology*, 67, 292-313.
- Baxter, P.J., Neri, A., Blong, R. (2008a). Evaluating explosive eruption risk at European volcanoes. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 178, doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2008.11.012.
- Baxter, P.J., Aspinall, W.P., Neri A., Zuccaro, G., Spence, R.J.S., Cioni, R., Woo, G. (2008b). Emergency planning and mitigation at Vesuvius: A new evidence-based approach. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 178, http://dx.doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2008.08.015.
- Berrino, G., Corrado, G. and Riccardi, U. (1998). Sea gravity data in the Gulf of Naples: A contribution to delineating the structural pattern of the Vesuvian area, *J. Geophys. Res.*, 82, 139–150, 1998.

- Bevilacqua, A., Fourmentraux, C., Bertagnini, A., Bisson, M., Esposti Ongaro, T., Flandoli, F., Isaia, R., Neri, A., Rosi, M. (2012). Mapping pyroclastic flow hazard in a caldera setting: application to Campi Flegrei caldera. EGU General Assembly 2012, Vienna, Austria.
- Bisson, M., Fornaciai, A. and Mazzarini, F. (2007a). SITOGEO: A geographic database used for GIS applications, *Il Nuovo Cimento C - Note Brevi* - DOI 10.1393/ncc/i2007-10243-9.
- Bisson, M., Pareschi, M.T., Zanchetta, G., Sulpizio, R. and Santacroce, R. (2007b). Volcanoclastic debris flow occurrences in the Campania region (southern Italy) and their relation to Holocene - late Pleistocene pyroclastic fall deposits: implications for large scale hazard mapping, *Bulletin of Volcanology*. DOI: 10.1007/s00445-007-0127-4.
- Bisson, M., Sulpizio, R., Zanchetta, G., Demi, F. and Santacroce, R. (2010). Rapid terrain based mapping of volcanoclastic flow hazard using gis-based automated methods: a case study from southern Campania, Italy, *Natural Hazards*, vol. 55:371–387, DOI 10.1007/s11069-010-9533-6.
- Bisson, M., Fubelli, G. and Sulpizio, R. (2012a). A GIS-based approach to estimate debris flow triggering susceptibility: a case study from Sorrentina Peninsula (Campania Region). *Geoitalia 2011*, Torino, 19-23 settembre 2011, articolo sottomesso.
- Bisson, M., Paolillo, A., Zanchetta, G., Sulpizio R. (2012b). Volcanoclastic debris flows in densely inhabited areas: the case of the Somma-Vesuvius municipalities (Southern Italy), articolo sottomesso.
- Bodnar, R. J., Cannatelli, C., De Vivo, B., et al. (2007). Quantitative model for magma degassing and ground deformation (bradyseism) at Campi Flegrei, Italy: Implications for future eruptions. *Geology*, 35, 791-794.
- Bohrson, W.A., Spera, F.J., Fowler, S.J., Belkin, H.E., De Vivo, B., Rolandi, G. (2006). Petrogenesis of the Campanian Ignimbrite: implications for crystal–melt separation and open-system processes from major and trace elements and Th isotopic data. In: DeVivo, B. (Ed.), *Volcanism in the Campania Plain: Vesuvius, Campi Flegrei and Ignimbrites*. *Developments in Volcanology*, vol. 9, pp. 249–288.
- Bonadonna, C., Connor, C.B., Houghton, B.F., Connor, L., Byrne, M., Laing, A. and Hincks, T.K. (2005). Probabilistic modeling tephra dispersal: Hazard assessment of a multiphase rhyolitic eruption at Tarawera, New Zealand, *J. Geophys. Res.*, 110, B03203, doi:10.1029/2003JB002896.
- Bonafede, M. (1990). Axi-symmetric deformation of a thermo-poro-elastic halfspace: inflation of a magma chamber. *Geophys. J. Int.* 103, 289–299.
- Bonafede, M. (1991). Hot fluid migration: an efficient source of ground deformation: application to the 1982–1985 crisis at Campi Flegrei-Italy. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 48, 187–198.
- Boschi, E., Guidoboni, E., Ferrari, G., Valensise, G., Gasparini, P. (1997). *Catalogo dei Forti Terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1990*, vol. 2 with CD-ROM, ING-SGA, Bologna.
- Branno, et al. (1984). The october 4th 1983 Magnitude 4 earthquake in Phlegraean Fields: macroseismic survey. *Bull. Vulcanol.*, 47.
- Burrough, P.A., e McDonell, R.A. (1998). *Principles of Geographical Information Systems* (Oxford University Press, New York), p. 190.
- Caliro, S., Chiodini, G., Moretti, R., Avino, R., Granirei, D., Russo, M., Fiebig, J. (2007). The origin of the fumaroles of La Solfatara (Campi Flegrei, South Italy). *Geochim. Cosmochim. Acta* 71, 3040-3055.
- Cannatelli, C., Lima, A., Bodnar, R.J., De Vivo, B., Webster, J.D., Fedele, L. (2007). Geochemistry of melt inclusions from the Fondo Riccio and Minopoli 1 eruptions at Campi Flegrei (Italy). *Chemical Geology* 237 (3–4), 418–432.
- Capuano, P. and Achauer, U. (2003). Gravity field modeling in the vesuvius and campanian area, in *The TomoVes Seismic Project: Looking Inside Mt. Vesuvius*, edited by A. Zollo et al., Cuen, Napoli.

- Chiarabba, C., Moretti, M. (2006). An insight into the unrest phenomena at the Campi Flegrei caldera from Vp and Vp/Vs tomography. *Terra Nova* 18, 373-379.
- Chiodini, G., Frondini, F., Cardellini, C., Granieri, D., Marini, L., and Ventura, G. (2001). CO₂ degassing and energy release at Solfatara volcano, Campi Flegrei, Italy. *Journal of Geophysical Research*, v. 106, no. B8, p.16213–16221, doi:10.1029/2001JB000246.
- Chiodini, G., Todesco, M., Caliro, S., Gaudio, C.D., Macedonio, G., Russo, M. (2003). Magma degassing as a trigger of bradyseismic events: the case of Phlegrean fields (Italy). *Geophys. Res. Lett.* 30 (8), 1434–1437.
- Chiodini, G., Caliro, S., Cardellini, C., Granieri, D., Avino, R., Baldini, A., Donnini, M. and Minopoli C. (2010). Long term variations of the Campi Flegrei (Italy) volcanic system as revealed by the monitoring of hydrothermal activity, *Journal of Geophysical Research*, 115, B03205, doi:10.1029/2008JB006258.
- Chiodini, G., Caliro, S., De Martino, P., Avino, R., Gheparadi, F. (2012). Early signals of new volcanic unrest at Campi Flegrei caldera? Insights from geochemical data and physical simulations. *Geology* 40, 943-946.
- Cioni, R., Longo, A., Macedonio, G., Santacroce, R., Sbrana, A., Sulpizio, D. and Andronico, D. (2003). Assessing pyroclastic fall hazard through field data and numerical simulations: Example from Vesuvius, *J. Geophys. Res.*, 108, 2063–2073.
- Civetta, L., Orsi, G., Pappalardo, L., Fischer, R., Heiken, G. and Ort, M. (1997). Geochemical zoning, mingling, eruptive dynamics and depositional processes: the Campanian Ignimbrite, Campi Flegrei caldera, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 75, 183–219.
- Civetta, L., Del Pezzo, E. (2010). Progetto UNREST, Rapporto Finale per il Dipartimento della Protezione Civile.
- Convertito, V., Zollo, A. (2011). Assessment of pre-crisis and syn-crisis seismic hazard at Campi Flegrei and Mt. Vesuvius volcanoes, Campania, southern Italy *Bull Volcanol*, DOI 10.1007/s00445-011-0455-2
- Cooke, R.M. (1991). *Experts in Uncertainty: Opinion and Subjective Probability in Science*, Oxford University Press.
- Corrado, G., De Lorenzo, S., Monelli, F., Tramacere, A., Zitop, G. (1998). Surface heat flow density at Phlegraean Fieldscaldera (Southern Italy) *Geothermics* 27, 469-484
- Costa, A., Macedonio, G. and Folch, A. (2006). A three-dimensional Eulerian model for transport and deposition of volcanic ashes, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 241, 634–647.
- Costa, A., Dell’Erba, F., Di Vito, M., Isaia, R., Macedonio, G., Orsi, G. and Pfeiffer, T. (2009). Tephra fallout hazard assessment at the Campi Flegrei caldera (Italy), *Bull. Volcanol.*, 71, 259–273.
- Costo, T. (1616). *Compendio della Storia di Napoli, parte terza*. Bernardo Giunti (Venezia).
- D’Antonio, M., Civetta, L., Orsi, G., Pappalardo, L., Piochi, M., Carandente, A., De Vita, S., Di Vito, M.A., Isaia, R. (1999). The present state of the magmatic system of the Campi Flegrei caldera based on a reconstruction of its behaviour in the past 12 ka. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 91, 247–268.
- D’Antonio, M., Tonarini S., Arienzo, I., Civetta, L. and Di Renzo, V. (2007). Components and processes in the magma genesis of the Phlegrean Volcanic District, southern Italy, *Spec. Pap. Geol. Soc. Am.*, 418, 203– 220.
- Deino, A.L., Orsi, G., De Vita, S. and Piochi, M. (2004). The age of the Neapolitan Yellow Tuff caldera-forming eruption (Campi Flegrei caldera— Italy) assessed by 40Ar/39Ar dating method, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 133(1–4), 157– 170.
- De Librias G., Di Paola G.M., Rosi M., Santacroce R. (1979). La storia eruttiva del complesso vulcanico Somma-Vesuvio ricostruita dalle successioni piroclastiche del Monte Somma. *Rend. Soc. Miner. Petrol.* 35, 411-438.

- Dellino, P., Isaia, R., La Volpe, L. and Orsi, G. (2001). Statistical analysis of textural data from complex pyroclastic sequences: implications for fragmentation processes of the Agnano-Monte Spina tephra (4.1 ka), Phlegraean Fields, southern Italy, *Bull. Volcanol.*, 63, 453–461, doi:10.1007/s004450100163.
- Dellino, P., Isaia, R., La Volpe, L. and Orsi, G. (2004). Interaction between particles transported by fallout and surge in the deposits of the Agnano-Monte Spina eruption (Campi Flegrei, Southern Italy), *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 133, 193–210.
- Dellino, P., Isaia, R. and Veneruso, M. (2004b). Turbulent boundary layer shear flows as an approximation of base surges at Campi Flegrei (Southern Italy), *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 133, 211–228.
- Dello Iacono, D., Zollo, A., Vassallo, M., Vanorio, T., Judenherc, S. (2009). Seismic images and rock properties of the very shallow structure of Campi Flegrei caldera (southern Italy) *Bull Volcanol* (2009) 71:275–284 DOI 10.1007/s00445-008-0222.
- De Lorenzo, S., Zollo, A. and Mongelli, F. (2001). Source parameters and threedimensional attenuation structure from the inversion of microearthquakes pulse width data: Qp imaging and inferences on the thermal state of the Campi Flegrei caldera (Southern Italy), *J. Geophys. Res.*, 106(B8), 16,265–16,286, 2001.
- De Natale, G., Pingue, F., Allard, P., Zollo, A. (1991). Geophysical and geochemical modelling of the 1982–1984 unrest phenomena at Campi Flegrei caldera (southern Italy). *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 48, 199–222.
- De Natale, G., Troise, C., Pingue, F. (2001). A mechanical fluid-dynamical model for ground movements at Campi Flegrei caldera. *J. Geodyn.* 32, 487–571.
- De Riso, R., Budetta, P., Calcaterra, D. and Santo, A. (1999). Le colate rapide in terreni piroclastici del territorio campano. *Atti Conv. Previsione e Prevenzione di Movimenti Franosi Rapidi*, Trento, 17–19 giugno 1999, pp. 133–150.
- De Siena, L., Del Pezzo, E. and Bianco, F. (2010). Seismic attenuation imaging of Campi Flegrei: Evidence of gas reservoirs, hydrothermal basins, and feeding systems, *J. Geophys. Res.*, 115, doi:10.1029/2009JB006938
- De Vita, S., Orsi, G., Civetta, L., Carandente, A., D'Antonio, M., Deino, A., Di Cesare, T., Di Vito, M.A., Fisher, R.V., Isaia, R., Marotta, E., Necco, A., Ort, M., Pappalardo, L., Piochi, M., Southon, J. (1999). The Agnano–Monte Spina eruption (4100 years BP) in the restless Campi Flegrei caldera (Italy). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 91, 269–301.
- De Vivo, B., Belkin, H.E., Barbieri, M., Chelini, W. Lattanzi, P., Lima, A., Tolomeo, L. (1989). *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 36, 303–326.
- De Vivo, B., Rolandi, G., Gans, P.B., Calvert, A., Bohrsen, W.A., Spera, F.J., Belkin, H.E. (2001). New constraints on the pyroclastic eruptive history of the Campanian volcanic Plain (Italy). *Mineralogy and Petrology* 73, 47–65.
- Di Renzo, V., Arienzo I., Civetta L., D'Antonio M., Tonarini S., Di Vito M.A., Orsi G. (2011). The magmatic feeding system of the Campi Flegrei caldera: architecture and temporal evolution. *Chem Geology* 281: 227–241.
- Di Vito, M.A., Isaia, R., Orsi, G., Southon, J., De Vita, S., D'Antonio, M., Pappalardo, L., Piochi, M. (1999). Volcanism and deformation since 12000 years at the Campi Flegrei caldera (Italy). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 91, 221–246.
- Dolce, M. and Di Bucci, D. (2012). Probabilità e Protezione Civile. In: *Ambiente Rischio Comunicazione*, n. 4 “Decidere nell’Incertezza”, ottobre 2012, pubblicato da AMRA.
- Dufek, J. and Bergantz, G.W. (2007). Suspended-load and bed-load transport of particle-laden gravity currents: the role of particle-bed interaction, *Theoretical and Computational Fluid Dynamics*, doi:10.1007/s00162-007-0041-6.

- Dvorak, J.J. and Gasparini, P. (1991). History of earthquakes and vertical ground movement in Campi Flegrei caldera, Southern Italy: comparison of precursory events to the A.D. 1538 eruption of Monte Nuovo and of activity since 1968. In: G. Luongo and R. Scandone (Editors), Campi Flegrei. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 48: 77-92.
- Esposti Ongaro T., Cavazzoni C., Erbacci G., Neri A. and Salvetti M.V. (2007). A parallel multiphase flow code for the 3D simulation of volcanic explosive eruptions. *Parallel Computing*, 33, 7-8, 541-560 doi: 10.1016/j.parco.2007.04.003.
- Esposti Ongaro, T., Marianelli, P., Todesco, M., Neri, A., Cavazzoni, C., Erbacci, G. (2008). Mape tematiche, geo-referenziate e digitali, delle principali azioni pericolose associate alle colate piroclastiche del Vesuvio e dei Campi Flegrei derivanti dalle nuove simulazioni 3D, Prodotto 2.3.5, Progetto SPEED.
- Esposti Ongaro, T., Neri, A., Todesco, M. (2012). Assessing pyroclastic density current dynamics and hazard of Plinian events at Campi Flegrei (Italy) by using 3D numerical simulations, EGU General Assembly 2012, Vienna, Austria.
- Faella, C. and Nigro, E. (2002). Debris flow effects on constructions. Damage analysis , collapse mechanisms , impact velocities , code provisions. Internal Report COST-C12/WG2. Volos, Greece, 14-15 June.
- Fabbrizio, A. and Carroll, M. (2008). Experimental constraints on the differentiation process and pre-eruptive conditions in the magmatic system of Phlegraean Fields, Naples, Italy. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 171, 88–102.
- Fedele, L., Insinga, D.D., Calvert, A.T., Morra, V., Perrotta, A., Scarpati, C. (2011). Ar40/Ar39 dating of tuff vents in the Campi Flegrei caldera (southern Italy): toward a new chronostratigraphic reconstruction of the Holocene volcanic activity. *Bull. Volcanol.* 73, 1323-1336.
- Fisher, R., Orsi, G., Ort, M. and Heiken, G. (1993). Mobility of large-volume pyroclastic flow emplacement of the Campanian Ignimbrite, Italy, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 56, 205–220.
- Folch, A., Cavazzoni, C., Costa, A. and Macedonio, G. (2008). An automatic procedure to forecast tephra fallout, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 177, 767–777.
- Folch, A., Costa, A. and Macedonio, G. (2009). FALL3D: A computational model for transport and deposition of volcanic ash, *Comput. Geosci.*, 35, 1334–1342.
- Fourmentraux, C. (2011). Caratterizzazione quantitativa dell'attività eruttiva dei Campi Flegrei degli ultimi 5000 anni, Resoconto dell'attività svolta nel corso di un assegno di ricerca finanziato dal progetto SPEED, 10 pp, INGV Pisa.
- Fowler, S.J., Spera, F.J., Bohrsen, W.A., Belkin, H.E., De Vivo, B. (2007). Phase equilibria constraints on the chemical and physical evolution of the Campanian Ignimbrite. *Journal of Petrology* 48, 459–493.
- Fulignati, P., Marianelli, M., Proto, M., Sbrana, A. (2004). Evidences for disruption of a crystallizing front in a magma chamber during caldera collapse: an example from the Breccia Museo unit (Campanian Ignimbrite eruption, Italy). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 133, 141–155.
- Gaeta, F.S., De Natale, G., Peluso, F., Mastrolorenzo, G., Castagnolo, D., Troise, C., Pingue, F., Mita, D.G., Rossano, S. (1998). Genesis and evolution of unrest episodes at Campi Flegrei caldera: the role of thermal fluid-dynamical processes in the geothermal system. *J. Geophys. Res.* 103 (B9), 20921–20933.
- Gottsmann, J., Folch, A., Rymer, H. (2006). Unrest at Campi Flegrei: A contribution to the magmatic versus hydrothermal debate from inverse and finite element modelling. *J. Geophys. Res.*, 111, DOI: 10.1029/2005JB003745.
- Grünthal, G. (1998). European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98). European Seismological Commission, subcommission on Engineering Seismology. Conseil de l'Europe, Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, 15, Luxembourg, 99 pp.

- Guerra, I., Lo Bascio, A., Luongo, G., Nazzaro, A. (1972). Rapporto sulla sorveglianza sismica nell'area di Pozzuoli marzo 1970- ottobre 1971. Quaderni Rica. Scient., CNR, n.83.
- Guidoboni, E., Ferrari, G., Mariotti, D., Comastri, A., Tarabusi, G., Valensise, G. (2007). CFTI4Med. Catalogue of strong earthquakes in Italy (461 B.C.-1997) and Mediterranean Area (760 B.C.-1500), INGV-SGA. Disponibile all'url: <http://storing.ingv.it/cfti4med/> (Last viewed 4 November 2010).
- Guidoboni, E., Ciuccarelli, C. (2011). The Campi Flegrei caldera: historical revision and new data on seismic crises, bradyseisms, the Monte Nuovo eruption and ensuing earthquakes (twelfth century 1582 AD). *Bull. Volcanol.* 73: 655-677.
- Hurwitz, S., Christiansen, L.B., Hsieh, P.A. (2007). Hydrothermal fluid flow and deformation in large calderas: Inferences from numerical simulations, *J. Geophys. Res.*, 112, d.o.i. 10.1029/2006JB004689.
- Insinga D., Calvert A.T., Lanphere M.A., Morra V., Perrotta A., Sacchi M., Scarpati C., Saburomaru J., Fedele L. (2006). The Late-Holocene evolution of the Miseno area (southwestern C. Flegrei) as inferred by stratigraphy, petrochemistry and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology. In: De Vivo (Ed.) *Volcanism of the Campanian Plain: Vesuvius, Campi Flegrei and Ignimbrites*, Elsevier B. V. 97-124.
- Isaia, R., D'Antonio, M., Di Vito, M., Dell'Erba, F. and Orsi, G. (2004). The Astroni volcano: the only example of closely spaced eruptions in the same vent area during the recent history of the Campi Flegrei caldera (Italy), *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 133, 171-192.
- Isaia, R., Marianelli, P. and Sbrana, R. (2009). Caldera unrest prior to intense volcanism in Campi Flegrei (Italy) at 4.0 ka B.P.: implications for caldera dynamics and future eruptive scenarios, *Geophys. Res. Lett.*, 36, d.o.i. 10.1029/2009GL040513.
- Isaia, R., Di Vito, M.A., de Vita, S., Rosi, M., Sbrana, A. (2012). Comment on “ $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of tuff vents in the Campi Flegrei caldera (southern Italy): toward a new chronostratigraphic reconstruction of the Holocene volcanic activity” by Fedele et al. [*Bull Volcanol*; 73:1323-1336], *Bull Volcanol*, 74:293-296.
- Judenherc, S. and Zollo, A. (2004). The Bay of Naples (southern Italy): Constraints on the volcanic structures inferred from a dense seismic survey, *J. Geophys. Res.*, 109, B10312, doi:10.1029/2003JB002876.
- Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kister R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., Iredell, M., Saha S., G. W., Woollen, J., Zhu, Y., Chelliah, M., Ebisuzaki, M., Higgins, W., Janowiak, J., Mo, K., Ropelewski, C., Wang, J., Leetmaa, A., Reynolds, R., Jenne, R. and Joseph, D. (1996). The NCEP/NCAR 40-years reanalysis project, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 437-470, data available at <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/reanalysis/>.
- Kahneman, D. (1982). *Judgment under uncertainty: heuristics and biases*, Cambridge University Press.
- Le Guern, F., Tazieff, H., Fivre-Pierret, R. (1982). An example of health hazard: people killed by gas during a phreatic eruption: Dieng Plateau (Java, Indonesia), Feb. 20 1979. *Bull. Volcanol.*, 45:153-156.
- Lima, A., De Vivo, B., Spera, F.J., et al. (2009). Thermodynamic model for uplift and deflation episodes (bradyseism) associated with magmatic-hydrothermal activity at the Campi Flegrei (Italy). *Earth Science Reviews*, 97, 44-58.
- Lirer L., Gargiulo L. (1968). Stratigrafia e strutture sedimentarie nelle piroclastiti nella zona del Nuovo Policlinico di Napoli. *Atti Acc. Pont. Nuova Serie XVII*, 1-19.
- Lirer, L., Mastrolorenzo, G. and Rolandi, G. (1987). Un evento pliniano nell'attività recente dei Campi Flegrei, *Boll. Soc. Geol. It.*, 106, 461-473.
- Lirer, L., Petrosino, P. and Alberico, I. (2001). Hazard assessment at volcanic fields: the Campi Flegrei case history, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 112, 53-74.

- Lirer, L., Petrosino, P. and Alberico, I. (2010). Hazard and risk assessment in a complex multi-source volcanic area: the Campanian case history, *Bull. Volcanol.*, 72, 411-429.
- Macedonio, G., Costa, A., Folch, A., (2008). Ash fallout scenarios at Vesuvius: Numerical simulations and implications for hazard assessment. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 178: 366-377.
- Macedonio, G., Costa, A. (2012). Brief Communication: Rain effect on the load of tephra deposits, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 12, 1229-1233, doi:10.5194/nhess-12-1229-2012.
- Mangiacapra, A., Moretti, R., Rutherford, M., Civetta, L., Orsi, G., Papale, P. (2008). The deep magmatic system of the Campi Flegrei caldera (Italy). *Geophysical Research Letters* 35, L21304. doi:10.1029/2008GL035550.
- Marianelli, P., Sbrana, A., Proto, M. (2006). Magma chamber of the Campi Flegrei supervolcano at the time of eruption of the Campanian Ignimbrite. *Geology* 34 (11), 937–940.
- Marzocchi, W., Sandri, L. and Selva, J. (2010). BET_VH: a probabilistic tool for long-term volcanic hazard assessment, *Bull. Volcanol.*, 72, 705–716.
- Marzocchi, W., Woo, G. (2007). Probabilistic eruption forecasting and the call for an evacuation. *Geophys. Res. Lett.* 34, doi:10.1029/2007GL031922.
- Marzocchi, W., Woo, G. (2009). Principles of volcanic risk metrics: Theory and the case study of Mount Vesuvius and Campi Flegrei, Italy. *J. Geophys. Res.* 114, doi:10.1029/2008JB005908.
- Mastrolorenzo, G. and Pappalardo, L. (2006). Magma degassing and crystallization processes during eruptions of high-risk Neapolitan volcanoes. Evidence of common equilibrium rising processes in alkaline magmas. *Earth Plan. Sci. Lett.* 250, 164–181.
- Mastrolorenzo, G., Pappalardo, L., Troise, C., Panizza, A., De Natale, G. (2008). Probabilistic tephra hazard maps for the Neapolitan area: Quantitative volcanological study of Campi Flegrei eruptions. *J. Geophys. Res.* 113, DOI: 10.1029/2007JB004954.
- Mazzarini, F., Bisson, M., and Pareschi, M.T. (2008). Attività e prodotti sui Campi Flegrei relativi al Task 2.4 (Pericolosità da alluvionamenti e scorrimento di lahar), Progetto SPEED, Novembre 2008.
- Mazzarini, F., Bisson, M., and Pareschi, M.T. (2007). Prodotto D2.4.2: Zonazione dei bacini e delle aree esposte a colate di fango per l'apron del Vesuvio, Progetto SPEED, Ottobre 2007.
- Neri, A., Aspinall, W.P., Cioni, R., Bertagnini, A., Baxter, P.J., Zuccaro, G., Andronico, D., Barsotti, S., Cole, P.D., Esposti Ongaro, T., Hincks, T.K., Macedonio, G., Papale, P., Rosi, M., Santacroce, R., Woo, G. (2008). Developing an Event Tree for Probabilistic Hazard and Risk Assessment at Vesuvius, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, doi: 10.1016/j.jvolgeores.2008.05.014.
- Orsi, G., D'Antonio, M., De Vita, S. and Gallo, G. (1992). The Neapolitan Yellow Tuff, a large-magnitude trachytic phreatoplinian eruption; eruptive dynamics, magma withdrawal and caldera collapse, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 53, 275–287.
- Orsi, G., Civetta, L., D'Antonio, M., Di Girolamo, P., Piochi, M. (1995). Step filling and development of a zoned magma chamber: the Neapolitan Yellow Tuff case history. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 67, 291–312.
- Orsi, G., Di Vito, M. and De Vita, S. (1996). The restless, resurgent Campi Flegrei nested caldera (Italy): Constraints on its evolution and configuration, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 74, 179–214.
- Orsi, G., Petrazzuoli, S.M., Wohletz, K. (1999). Mechanical and thermo-fluid behaviour during unrest at the Campi Flegrei caldera (Italy). *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 91, 453–470.
- Orsi, G., Di Vito, M.A., Isaia, R., Civetta, L., D'Antonio, M., Vilardo, G. (2004a). Pericolosità vulcanica della caldera dei Campi Flegrei in caso di ripresa dell'attività in tempi medi o brevi. Relazione per il Gruppo di Lavoro "Scenari e livelli di allerta" della Commissione Nazionale per l'Aggiornamento dei Piani di Emergenza dell'Area Vesuviana e Flegrea per il Rischio Vulcanico, maggio 2004, 40 pp.

- Orsi, G., Di Vito, M.A and Isaia R. (2004b). Volcanic hazard assessment at the restless Campi Flegrei caldera, *Bull. Volcanol.*, 66, 514-530.
- Orsi, G., Di Vito, M.A., Selva, J. and Marzocchi W. (2009). Long-term forecast of eruptive style and size at Campi Flegrei caldera (Italy), *Earth Planet. Sci. Lett.*, 287, 265-276.
- Ort, M., Orsi, G., Pappalardo, L. and Fisher, R. (2003). Emplacement processes in a far-traveled dilute pyroclastic current: anisotropy of magnetic susceptibility studies of the Campanian Ignimbrite, *Bull. Volcanol.*, 65, 55–72.
- Pabst, S., Wörner, G., Civetta, L., Tesoro, R. (2008). Magma chamber evolution prior to the Campanian Ignimbrite and Neapolitan Yellow Tuff eruptions (Campi Flegrei, Italy). *Bulletin of Volcanology* 70, 961–976.
- Papale, P. (2004). DPC-INGV Project 2001.2003 #17: Simulation of Eruptive Scenarios at Phlegrean Fields Based on Field, Laboratory, and Numerical Studies, and Implications for Volcanic Hazard. Rapporto finale per il Dipartimento della Protezione Civile.
- Papale, P., Civetta, L. (2007). DPC-INGV Project V3_2 “Campi Flegrei”, Rapporto Finale per il Dipartimento della Protezione Civile.
- Pappalardo, L., Civetta, L., D'Antonio, M., Deino, A.L., Di Vito, M.A., Orsi, G., Carandente, A., De Vita, S., Isaia, R., Piochi, M. (1999). Chemical and isotopic evolution of the Phlegrean magmatic system before the Campanian Ignimbrite (37 ka) and the Neapolitan Yellow Tuff (12 ka) eruptions. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 91, 141–166.
- Pappalardo, L., Piochi, M., D'Antonio, M., Civetta, L., Petrini, R. (2002). Evidence for multi-stage magmatic evolution during the past 60kyr at Campi Flegrei (Italy) deduced from Sr, Nd and Pb isotope data. *Journal of Petrology* 43, 1415–1434.
- Pappalardo, L., Ottolini, L. and Mastrolorenzo, G. (2008). The Campanian Ignimbrite, Southern Italy. geochemical zoning, insight on the generation of a super-eruption from catastrophic differentiation and fast withdrawal. *Contrib. Mineral. Petrol.* 156, 1–26.
- Pappalardo, L., Mastrolorenzo, G. (2012). Rapid differentiation in a sill-like magma reservoir: a case study from the campi flegrei caldera. *Scientific Reports*, 2, DOI: 10.1038/srep00712.
- Pareschi, M.T., Santacroce, R., Sulpizio, R. and Zanchetta, G. (2002). Volcaniclastic debris flows in the Clanio Valley (Campania, Italy): Insights for the assessment of hazard potential. *Geomorphology* 43, 219-231.
- Parmigiani, G. (2009). *Decision Theory: Principles and Approaches*, John Wiley & Sons.
- Passariello, I., Lubritto, C., D'Onofrio, A., Guan, Y., Terrasi, F. (2010a). The Somma-Vesuvius complex and the Phlaegrean Fields caldera: New chronological data of several eruptions of the Copper-Middle Bronze Age period. *Nuclear Instr. Meth. Phys. Res.* 268, 1008-1012.
- Passariello, I., Talamo, P., D'Onofrio, A., Barta, p., Lubritto, C., Terrasi, F. (2010b). Contribution of radiocarbon dating to the chronology of Eneolithic in Campania (Italy). *Geochronometria* 35, 25-33.
- Penta, F. (1954). Ricerche e studi sui fenomeni esalativo idrotermali ed il problema delle forze endogene. *Ann. Geofis.* 8, 3.
- Perrotta A., Carpati C., Luongo G., Morra V. (2010). Stratigraphy and volcanological evolution of the southwestern sector of Campi Flegrei and Procida Island, Italy. In: Grppelli G. and Viereck-Goette L. eds. *Stratigraphy and Geology of Volcanic Areas: Geological Soc. of Am. Special Paper* 464, 171-191.
- Pfeiffer, T., Costa, A. and Macedonio, G. (2005). A model for the numerical simulation of tephra fall deposits, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 140, 273–294.
- Piochi, M., Pappalardo, L. and De Astis, G. (2004). Geochemical and Isotopic variation within the Campanian Comagmatic province: implications on magma source composition. *Annals of Geophysics* 47, 1485–1499.
- Rampoldi, Risultati delle osservazioni sismografiche effettuate dal giugno 1970 al luglio 1971,

Quaderni Ric. Scient., CNR, n.83.

- Rittmann, A. (1950). Sintesi Geologica dei Campi Flegrei, *Boll. Soc. Geol. It.*, LXIX-II, 117-128.
- Roach, A., Rutherford, M.J. (2004). Experimental petrology studies. In: Papale, P. (2004): Simulation of Eruptive Scenarios at Phlegrean Fields Based on Field, Laboratory, and Numerical Studies, and Implications for Volcanic Hazard. Rapporto del Progetto GNV 2001-2003 #17.
- Roach, A.L. (2005). The evolution of silicic magmatism in the post-caldera volcanism of the Phlegrean Fields, Italy. PhD Thesis, Brown University.
- Rolandi, G., Bellucci, F., Heizler, M., Belkin, H. and De Vivo, B. (2003). Tectonic controls on the genesis of ignimbrites from the Campanian volcanic zone, southern Italy, *Mineral. Petrol.*, 79, 3–31.
- Rosi, M., Sbrana, A. and Principe, C. (1983). The Phlegrean Fields: Structural evolution, volcanic history and eruptive mechanisms, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 17, 273-288.
- Rosi, M. and Sbrana, R. (1987). (Editori), *Phlegrean Fields*, vol. 114(9) di Quaderni della Ricerca Scientifica, CNR, Roma, 175 pp., 1987.
- Rosi, M., Vezzoli, L., Aleotti, P. and De Renzi, M. (1996). Interaction between caldera collapse and eruptive dynamics during the Campanian Ignimbrite eruption, Phlegrean Fields, Italy, *Bull. Volcanol.*, 57, 541–554.
- Rossano, S., Mastrolorenzo, G., De Natale, G. (2004). Numerical simulation of pyroclastic density currents on Campi Flegrei topography: a tool for statistical hazard estimation, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 132, 1-14.
- Rutherford, M.J. (2004). Experimental petrology studies. In: Papale, P. (2004). Rapporto finale del progetto GNV 2001-03 n. 17 "Simulation of Eruptive Scenarios at Phlegrean Fields Based on Field, Laboratory, and Numerical Studies, and Implications for Volcanic Hazard".
- Scollo, S., Folch, A., Costa, A. (2008). A parametric and comparative study of different tephra fallout models, *J. Volcanol. Geophys. Res.* 176, n.2, 199-211, doi:10.1016/j.jvolgeores.2008.04.002.
- Scollo, S., Prestifilippo, M., Spata, G., D'Agostino, M., Coltelli, M. (2009). Monitoring and forecasting Etna volcanic plumes, *NHESS*, 9, n.5, 1573-1585.
- Selva, J., Costa, A., Marzocchi, W. and Sandri L. (2010). BET_VH: Exploring the influence of natural hazard uncertainties on long-term hazard from tephra fallout at Campi Flegrei, (Italy), *Bull. Volcanol.*, 72, 717–733.
- Selva, J., Orsi, G., Di Vito, M.A., Marzocchi, W., Sandri L. (2011). Probability hazard map for future vent opening at the Campi Flegrei caldera (Italy). *Bull. Volcanol.* DOI 10.1007/s00445-011-0528-2.
- Selva, J., Marzocchi, W., Papale, P., Sandri, L. (2012). Operational eruption forecasting at high-risk volcanoes: the case of Campi Flegrei, Naples. *J. Appl. Volcanol.*, in press.
- Signorelli, S., Vaggelli, G., Francalanci, L., Rosi, M. (1999). Origin of magmas feeding the Plinian phase of the Campanian Ignimbrite eruption (Phlegrean Fields, Italy): constraints based on matrix-glass and glass inclusion compositions. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 91, 199–220.
- Signorelli, S., Vaggelli, G., Romano, C., Carrol, M.R. (2001). Volatile element zonation in Campanian Ignimbrite magmas (Phlegrean Fields, Italy): evidence from the study of glass inclusion and matrix glasses. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 140, 543–553.
- Smith, V.C., Isaia, R., Pearce, N.J.G. (2011). Tephrostratigraphy and glass compositions of post-15 kyr Campi Flegrei eruptions: implications for eruption history and chronostratigraphic markers, *Quaternary Science Reviews*, 3280-3302.
- Spence, R.J.S., Baxter, P.J., Zuccaro, G. (2004a). Building vulnerability and human casualty estimation for a pyroclastic flow: a model and its application to Vesuvius. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 133. 321-343.

- Spence, R.J.S., Zuccaro, G., Petrazzuoli, S., Baxter, P.J. (2004b). Resistance of Building to Pyroclastic Flow and Experimental Studies and Their Application to Vesuvius: a model and its application to Vesuvius. *Natural Hazards review*, ASCE 5 (1), 48-59.
- Spence, R., Kelman, I., Baxter, P.J., Zuccaro, G., Petrazzuoli, S. (2005). Residential building and occupant vulnerability to tephra fall. *Natural Hazard and Earth System Sciences*, 5, 477- 494.
- Spence, R., Kelman, I., Brown, A., Toyos, G., Purser, D., Baxter, P. (2007). Residential building and occupant vulnerability to pyroclastic density currents in explosive eruptions. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 7, 219–230.
- Suzuki, T. (1983). A theoretical Model for Dispersion of Tephra. *Arc Volcanism: Physics and Tectonics*, edited by D. Shimozuru and I. Yokoyama, pp. 95– 113, Terra Sci. (TERRAPUB), Tokyo
- Tarquini, S., Isola, I., Favalli, M., Mazzarini, F., Bisson, M., Pareschi, M.T. and Boschi, E. (2007). TINITALY/01: a new Triangular Irregular Network of Italy, *Annals of Geophysics*, vol. 50, n. 3, pp 379 – 399.
- Todesco, M., Neri, A., Esposti Ongaro, T., Papale, P., Rosi, M. (2006). Pyroclastic flow dynamics and hazard in a caldera setting: Application to Phlegrean Fields (Italy). *Gcube*, doi:10.1029/2006GC001314.
- Tonarini, S., Leeman, W.P., Civetta, L., D'Antonio, M., Ferrara, G., Necco, A. (2004). B/Nb and $\delta^{11}\text{B}$ systematics in the Phlegrean Volcanic District (PVD). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 113, 123–139.
- Tonarini, S., D'Antonio, M., Di Vito, M.A., Orsi, G., Carandente, A., (2009). Geochemical and isotopic (B, Sr, Nd) evidence for mixing and mingling processes in the magmatic system feeding the Astroni volcano (4.1–3.8 ka) within the Campi Flegrei caldera (South Italy). *Lithos* 107, 135–151.
- Tramelli, A., Del Pezzo, E., Bianco, F. and Boschi, E. (2006). 3D scattering image of the Campi Flegrei caldera (Southern Italy). *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 155, 269–280.
- Trasatti, E., Bonafede, M., Ferrari, C., Giunchi, C., Berrino, G. (2011). On deformation sources in volcanic areas: Modeling the Campi Flegrei (Italy) 1982-84 unrest. *Earth Planet. Sci. Lett.* 306, 175-185.
- Troiano, A., Di Giuseppe, M.G., Petrillo, Z., Troise, C., De Natale, G. (2011). Ground deformation at calderas driven by fluid injection: modelling unrest episodes at Campi Flegrei (Italy). *Geophys. J. Int.* 187, 833-847.
- Troise, C., De Natale, G., Pingue, F. et al. (2007). Renewed ground uplift at Campi Flegrei caldera (Italy): New insight on magmatic processes and forecast. *Geophys. Res. Lett.* 34, DOI: 10.1029/2006GL028545.
- Vanorio, T., Virieux, J., Capuano, P., Russo, G. (2005). Three-dimensional seismic tomography from P wave and S wave microearthquake travel times and rock physics characterization of the Campi Flegrei Caldera. *J. Geophys. Res.* 110, DOI: 10.1029/2004JB003102.
- Vinciguerra, S., Trovato, C., Meredith, P.G., Benson, P.M., Troise, C., Di Natale, G. (2006). Understanding the seismic velocity structure of Campi Flegrei caldera (Italy): From the laboratory to the field scale. *Pure Appl. Geophys.* 163, 2205-2221.
- Wohletz, K., Orsi, G. and De Vita S. (1995). Eruptive mechanisms of the Neapolitan Yellow Tuff interpreted from stratigraphic, chemical and granulometric data, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 67, 263–290.
- Woo, G. (2008). Probabilistic criteria for volcano evacuation decisions. *Nat. Hazards* 45, 87-97, DOI: 10.1007/s11069-007-9171-9.
- Woo, J.Y.L., Kilburn, C.R.J. (2010). Intrusion and deformation at Campi Flegrei, southern Italy: Sills, dikes, and regional extension . *J. Geophys. Res.*, 115, DOI: 10.1029/2009JB006913.
- Zanchetta, G., Sulpizio, R., Pareschi, M.T., Leoni, F.M. and Santacroce, R. (2004). Characteristics of May 5-6 1998 volcanoclastic debris flows in the Sarno area (Campania, Southern Italy):

- relationships to structural damage and hazard zonation, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 133, 377-393.
- Zollo, A., Judenherc, S., Auger, E., D’Auria, L., Virieux, J., Capuano, P., Chiarabba, C., De Franco, R., Makris, J., Michelini, A. and Musacchio, G. (2003). Evidence for the buried rim of Campi Flegrei caldera from 3-d active seismic imaging, *Geophys. Res. Lett.*, 30(19), 2002, doi:10.1029/2003GL018173.
- Zollo, A., Maercklin, N., Vassallo, M., Dello Iacono, D., Virieux, J. and Gasparini, P. (2008). Seismic reflections reveal a massive melt layer feeding Campi Flegrei caldera, *Geophys. Res. Lett.*, 35, L12306, doi:10.1029/2008GL034242.
- Zuccaro, G. (2005). Report progetto SAVE task 1. Inventario e vulnerabilità del patrimonio edilizio residenziale del territorio nazionale, mappe di rischio e perdite socio-economiche. GNDT, Roma.
- Zuccaro, G. and Cacace, F. (2006). Valutazione speditiva della vulnerabilità per gli edifici strategici della Regione Campania. *Ingegneria Sismica*. n° 2/2006.
- Zuccaro, G., Cacace, F., Spence, R.J.S., Baxter, P.J. (2008). Impact of explosive eruption scenarios at Vesuvius. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 178 (2008) 416–453.
- Zuccaro, G. et al. (2011). Convenzione Quadro annuale DPC- PLINIVS “Approfondimento degli scenari di danno per eruzioni al Vesuvio e ai Campi Flegrei” (Rep. N.1109 del 27/07/2011).
- Zuccaro, G. and Cacace, F. (2011). Seismic casualty evaluation: the Italian model, an application to the L’Aquila 2009 event. In: SPENCE R., SO E., SCAWTHORN C. *Human Casualties in Earthquakes: progress in modelling and mitigation*. vol. *Advances in natural and technological hazards research* (vol. 29), p. 171-184, LONDON: Springer, ISBN: 9789048194544, doi: 10.1007/978-90-481-9455-1.
- Zuccaro G., Cacace F., De Gregorio D. (2012). Buildings inventory for seismic vulnerability assessment at National and regional scale. In: 15th World Conference on Earthquake Engineering, 15th WCEE 2012. Lisbon (Portugal), 24- 28 September 2012. Paper n°2829, on CD.



Bollettino di Sorveglianza Vulcani Campani

Maggio 2015

1 - VESUVIO

Al Vesuvio permane una lieve sismicità di fondo ed un'assenza di deformazioni riconducibili a sorgenti vulcaniche. I dati delle telecamere termiche e le analisi geochimiche non evidenziano variazioni significative alle fumarole presenti sul versante del cratere.

1.1 - Sismicità

Nel corso del mese di maggio al Vesuvio sono stati registrati 47 terremoti (Fig. 1.1.1). E' stato possibile determinare l'ipocentro di 41 eventi. La magnitudo massima registrata è stata pari a 2.4 (evento del 05/05 alle 10:30). Non si evidenziano trend significativi nei parametri sismologici (Fig. 1.1.2, 1.1.3, 1.1.4, 1.1.5).

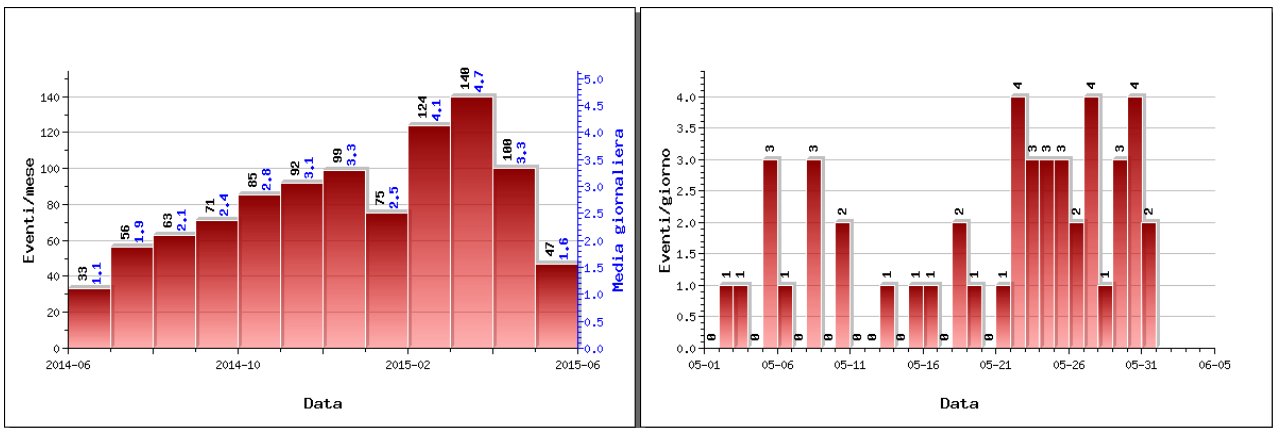


Figura 1.1.1 – A sinistra il numero di eventi registrati al Vesuvio nel corso degli ultimi 12 mesi (in totale 985), mentre a destra quelli avvenuti nell'ultimo mese (in totale 47).

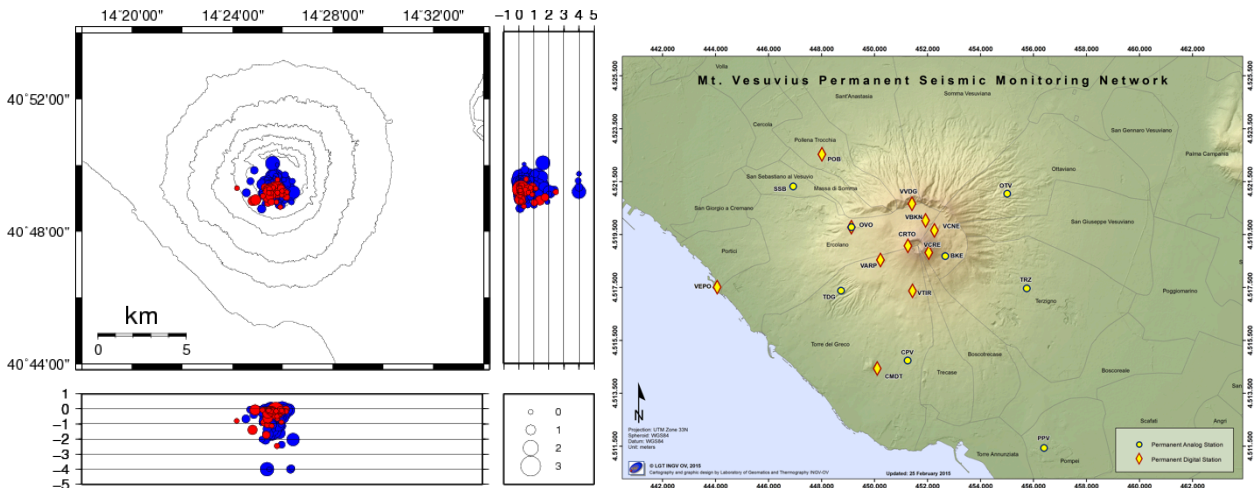


Figura 1.1.2 – Localizzazioni ipocentrali al Vesuvio nel corso degli ultimi 12 mesi (in blu) e dell'ultimo mese (in rosso). La dimensione dei simboli è proporzionale alla magnitudo, come indicato nel riquadro in basso. A destra è mostrata la mappa con la rete sismica del Vesuvio.

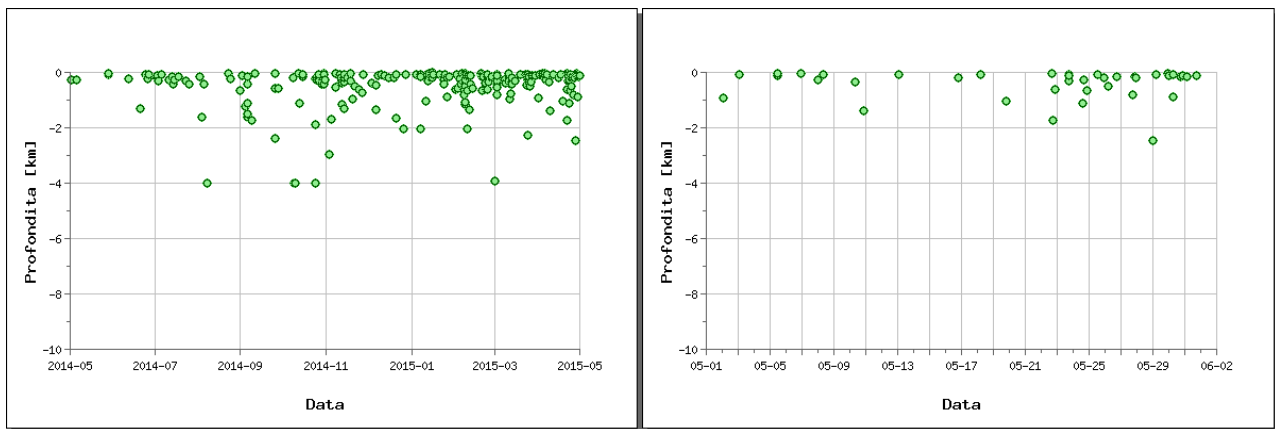


Figura 1.1.3 – Profondità ipocentrali degli eventi registrati al Vesuvio nel corso degli ultimi 12 mesi (a sinistra) e dell'ultimo mese (a destra).

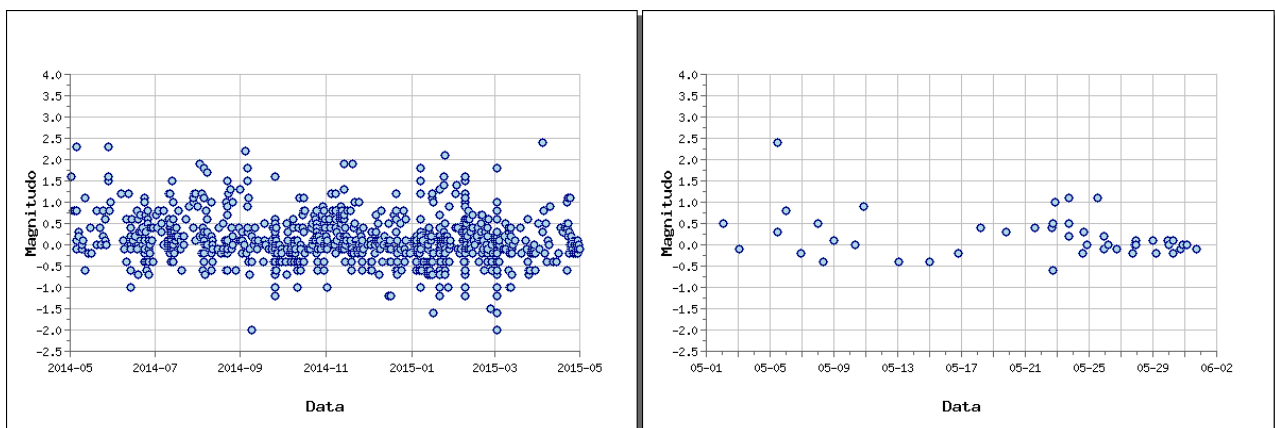


Figura 1.1.4 – Magnitudo degli eventi registrati al Vesuvio nel corso degli ultimi 12 mesi (a sinistra) e dell'ultimo mese (a destra).

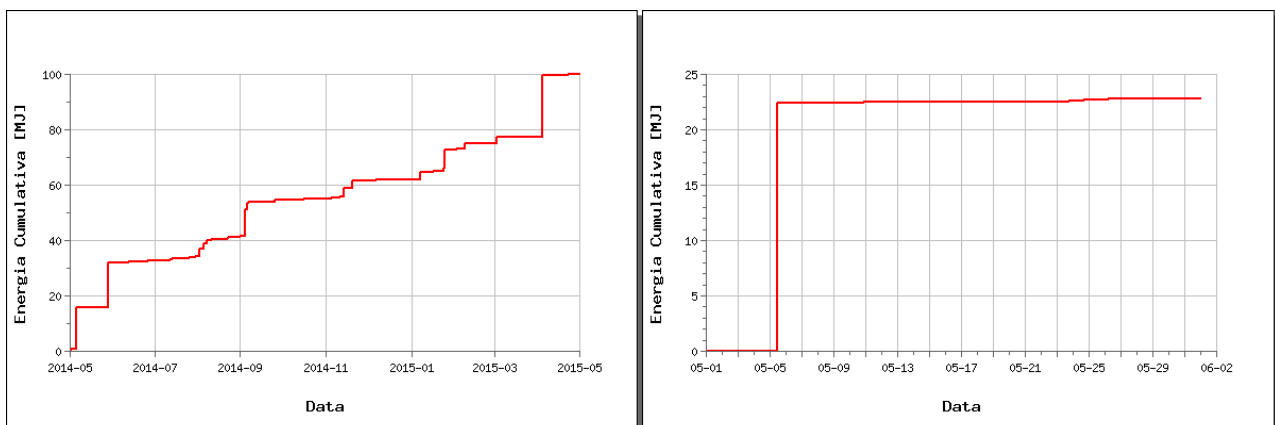


Figura 1.1.5 – Rilascio cumulativo di energia sismica al Vesuvio nel corso degli ultimi 12 mesi (a sinistra) e dell'ultimo mese (a destra).

1.2 - Deformazioni del Suolo

Nel corso del mese di maggio non si evidenziano, al Vesuvio, deformazioni del suolo imputabili a fenomeni vulcanici.

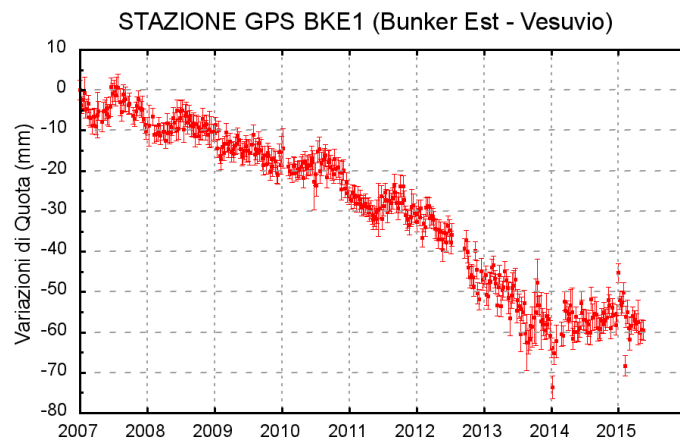


Figura 1.2.1 - Serie temporale delle variazioni settimanali in quota della stazione di BKE1 (Vesuvio) dal 2007 a maggio 2015.

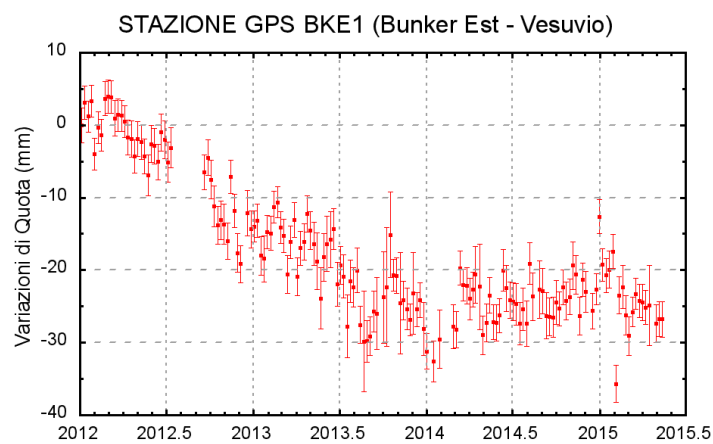


Figura 1.2.2 - Serie temporale delle variazioni settimanali in quota della stazione di BKE1 (Vesuvio) da gennaio 2012 a maggio 2015.

1.3 - Monitoraggio termico

La stazione della rete permanente di monitoraggio termico acquisisce immagini all'infrarosso del versante interno nord orientale del cratere del Vesuvio (Sansivero et al., 2013).

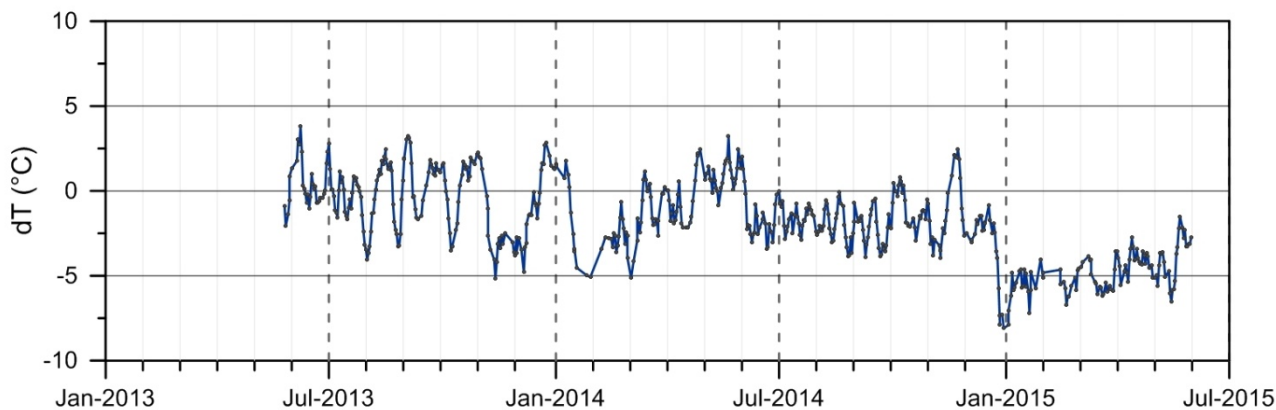


Figura 1.3.1 - Stazione Vesuvio. Medie settimanali dei residui (dT° ; Vilardo et al., 2015) della serie temporale dei valori di temperatura massima rilevati nell'immagine IR.

L'elaborazione della serie temporale in Figura 1.3.1 evidenzia l'assenza di trend significativi ed una sostanziale stabilità del campo di temperatura superficiale nell'area d'analisi. Il minimo stagionale mostrato dai valori dei residui a fine 2014, è seguito nei primi mesi del 2015 da una fase di progressiva e costante crescita tendente a ripristinare il livello osservato negli anni precedenti.

Sansivero F., Scarpato G. and G. Vilardo (2013). *The automated infrared thermal imaging system for the continuous long-term monitoring of the surface temperature of the Vesuvius crater. Annals of Geophysics, 56, 4, S0454; doi:10.4401/ag-6460.*

Vilardo G., Sansivero F. and G. Chiodini (2015). *Long-term TIR imagery processing for spatiotemporal monitoring of surface thermal features in volcanic environment: a case study in the Campi Flegrei (Southern Italy). J. Geophys. Res. - Solid Earth, 120 (2), 812-826, doi:10.1002/2014JB011497.*

1.4 - Monitoraggio geochimico

Nel mese di maggio è stato eseguito il campionamento della fumarola FC2 sita sul fondo del cratere del Vesuvio.

Di seguito vengono riportate le osservazioni più rilevanti sui nuovi dati acquisiti.

Una dettagliata descrizione del modello geochimico interpretativo del sistema idrotermale del Vesuvio è riportata nel lavoro scientifico Chiodini et al., (2001) e nei precedenti rapporti di sorveglianza in cui sono state segnalate variazioni della composizione delle fumarole interne al cratere. In particolare a partire dal terremoto del 9 ottobre 1999 ($M_d=3.6$) sono stati misurati per 2 anni aumenti nel tempo sia del rapporto He/CO_2 che della pCO_2 stimata sulla base di geindicatori gassosi. Contemporaneamente si è verificata la diminuzione del rapporto H_2/CO_2 e l'incremento del rapporto CO_2/CH_4 (Fig. 1.4.1, vedi rapporto finale 2001 e 2002). Tali variazioni sono state interpretate come un incremento dell'input di fluidi magmatici più ossidanti, poveri in CH_4 e ricchi in He nel sistema idrotermale. A partire dall'autunno 2002, le composizioni chimiche delle fumarole hanno mostrato un graduale ritorno dei valori verso le condizioni pre-1999. Una dettagliata descrizione delle variazioni e delle possibili interpretazioni sono riportate nel lavoro scientifico Caliro et al. (2011).

Va comunque segnalato che nei campioni degli ultimi due anni si registra un lieve aumento del rapporto CO_2/CH_4 ed He/CO_2 , rispetto ai valori più bassi raggiunti nel periodo 2009-2010, che potrebbe essere legato ad un aumento nella frazione di fluidi ossidanti (magmatici?).

Tuttavia le analisi relative ai campioni prelevati nel mese di maggio mostrano una diminuzione dei valori di equilibrio di temperatura e pressione parziale di CO_2 (stime basate

sul CO) rispetto ai periodi precedenti, rientrando in un trend pluriennale di diminuzione dell'attività idrotermale all'interno del cratere del Vesuvio (Fig. 1.4.2).

La composizione isotopica dell'ossigeno e dell'idrogeno del vapore delle fumarole è stata recentemente oggetto di un approfondito studio per la simulazione contemporanea del processo di mixing tra differenti componenti, effetti dovuti alla condensazione e/o aggiunta di acqua, scambio isotopico dell'ossigeno fra le molecole dell'acqua e della CO₂ (Caliro et al., 2011). Nel quadro interpretativo delineato in questo lavoro i campioni del 2014-2015 mostrano una diminuzione della frazione della componente magmatica (Fig. 1.4.3).

In conclusione le indicazioni fornite dalla geochimica dei fluidi sono di una sostanziale stabilità dei trend precedentemente osservati con variazioni di lieve entità ed ancora non chiaramente interpretabili.

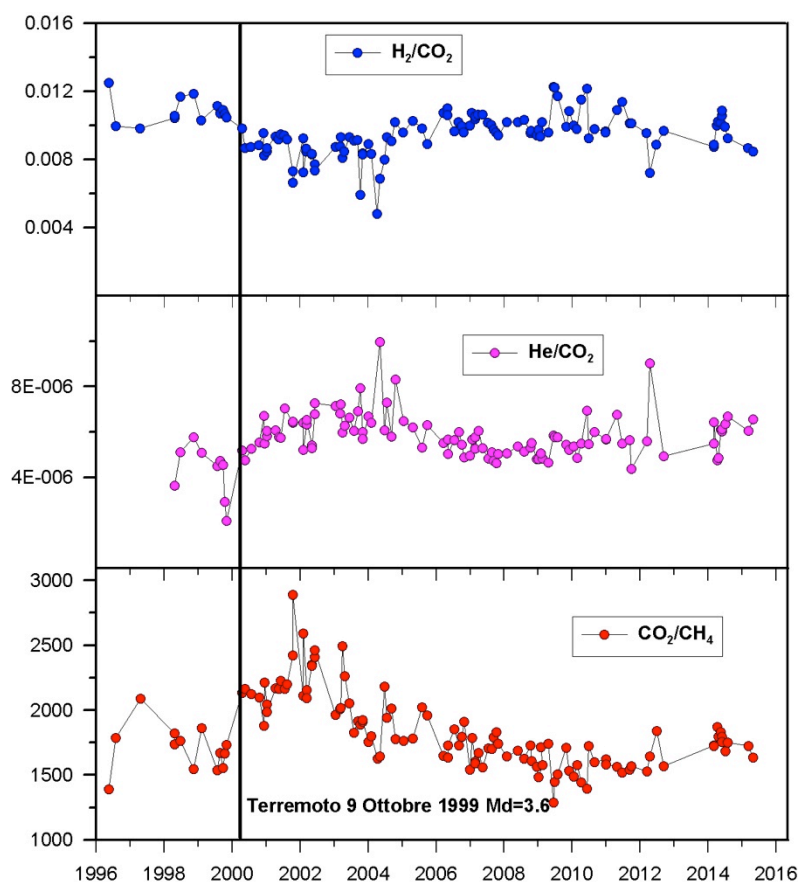


Figura 1.4.1 - Variazioni composizionali della fumarola FC2 nel periodo 1996-2015.

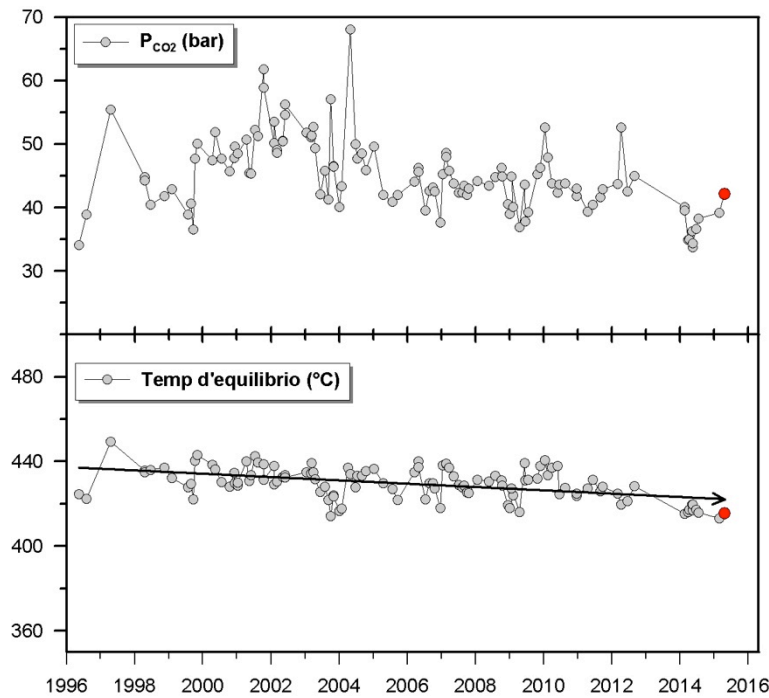


Figura 1.4.2 - Cronogramma dei valori d'equilibrio della temperatura e pressione parziale di CO₂ stimati per il sistema idrotermale del Vesuvio. Il campione di maggio 2015 è riportato con il simbolo rosso.

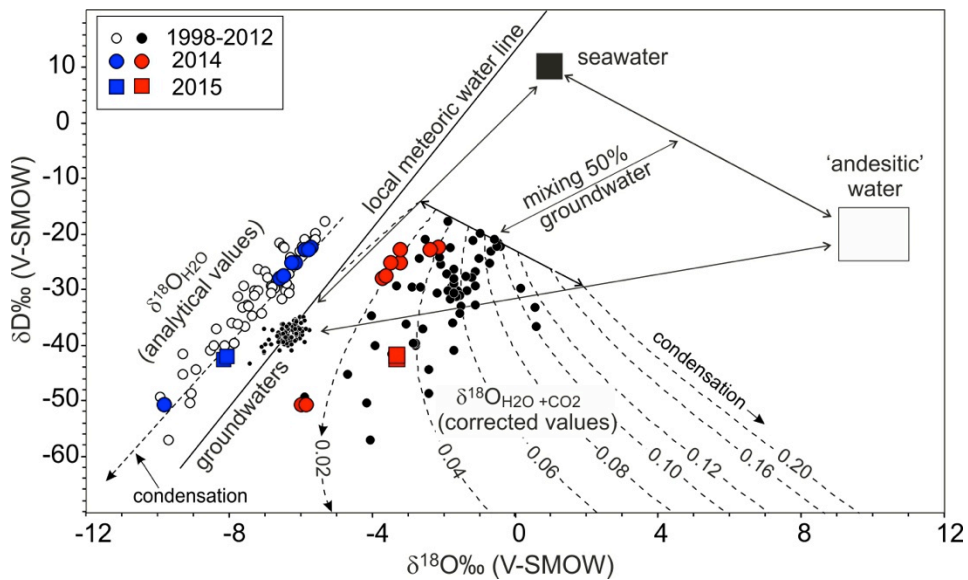


Figura 1.4.3 - Diagramma della composizione isotopica dell'ossigeno e dell'idrogeno dei vapori emessi dalle fumarole di fondo cratere del Vesuvio. I dati analitici (simboli blu e bianchi) possono essere interpretati considerando l'equilibrio isotopico dell'ossigeno tra il CO₂ e il vapore e gli effetti di condensazione in accordo con il modello proposto in Caliro et al. (2011), al quale si rimanda per maggiori dettagli e approfondimenti. Tale modello prevede un'origine del vapore fumarolico dovuta al mixing di tre componenti: acqua magmatica di tipo andesitico, acqua di mare e acque meteoriche locali. Le linee tratteggiate indicano le variazioni composizionali del sistema H₂O+CO₂ legate a processi di condensazione del vapore per un fluido originato da differenti miscele delle tre componenti, la cui frazione molare di CO₂ è indicata su ogni linea. La composizione dei campioni calcolata per il sistema H₂O+CO₂ (simboli

rossi e neri) individua, nel diagramma, la possibile frazione di CO₂ del fluido originale. Alti valori di questa frazione indicherebbero, quindi, un maggiore contributo di fluidi magmatici nei gas fumarolici.

Bibliografia

Chiodini G., Marini L., and Russo M. (2001) Geochemical evidence for the existence of high-temperature hydrothermal brines at Vesuvio volcano, Italy. *Geochim. Cosmochim. Acta* **65**, 2129-2147.

Caliro S., Chiodini G., Avino R., Minopoli C., and Bocchino B. (2011) Long time-series of chemical and isotopic compositions of Vesuvius fumaroles: evidence for deep and shallow processes. *Annals Geophysics* **54**, 137-149. doi: 10.4401/ag-5034.

2 - CAMPI FLEGREI

Nel corso del mese di maggio, ai Campi Flegrei sono stati registrati 7 terremoti di piccola magnitudo ($M_{max}=-0.1$). Nel mese di maggio si è evidenziato un lieve trend in sollevamento dell'area, con un valore massimo di circa 5.0 ± 1.0 cm/anno a partire da marzo 2015. Il sollevamento massimo registrato alla stazione GPS di Rione Terra è di circa 7.5 cm a partire da gennaio 2014, di cui circa 1 cm da marzo 2015. I parametri geochimici rientrano nei trend già identificati in precedenza.

Il monitoraggio dell'area flegrea permane ad un livello di attenzione.

2.1 - Sismicità

Ai Campi Flegrei, nel corso dell'ultimo mese, sono stati registrati 7 terremoti di bassa magnitudo ($M_{max}=-0.1$) (Fig. 2.1.1). E' stato possibile determinare l'ipocentro di 4 terremoti. Gli eventi risultano localizzati nell'area della Solfatara a profondità generalmente inferiori ai 2 km. Non si evidenziano trend significativi nei parametri sismologici (Fig. 2.1.2, 2.1.3, 2.1.4, 2.1.5).

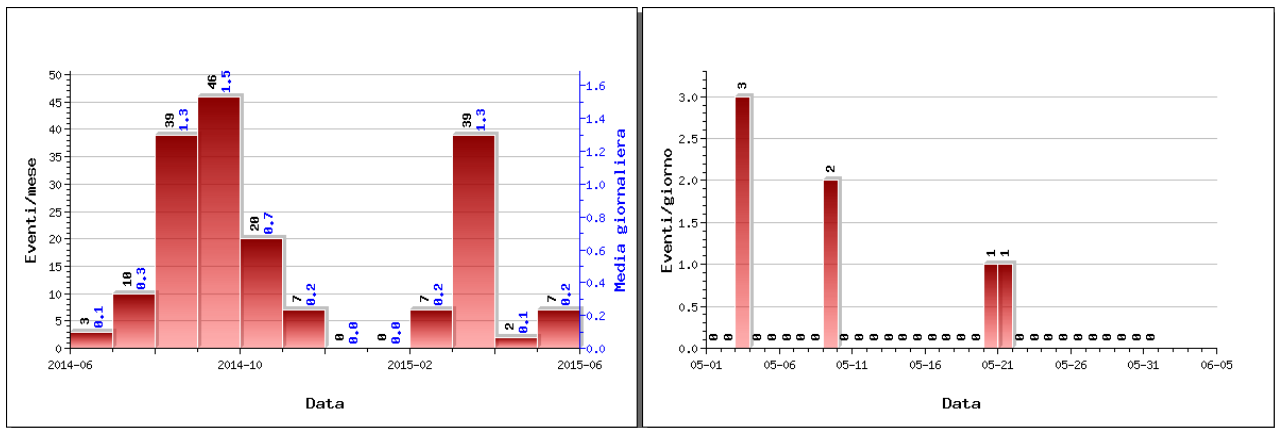


Figura 2.1.1 – A sinistra numero di eventi registrati ai Campi Flegrei nel corso degli ultimi 12 mesi (in totale 180), mentre a destra quelli avvenuti nell'ultimo mese (in totale 7).

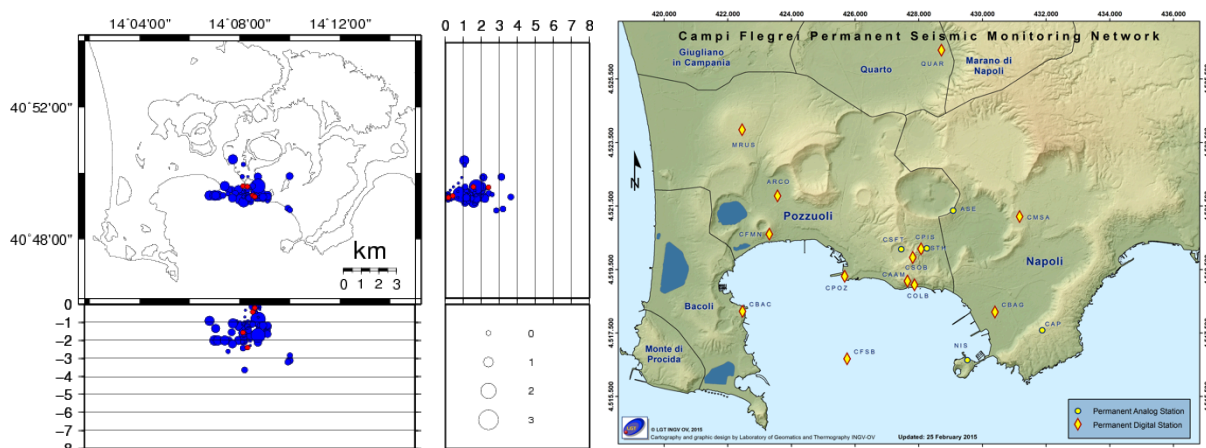


Figura 2.1.2 – Localizzazioni ipocentrali ai Campi Flegrei nel corso degli ultimi 12 mesi. La dimensione dei simboli è proporzionale alla magnitudo, come indicato nel riquadro in basso. A destra è mostrata la mappa con la rete sismica dei Campi Flegrei.

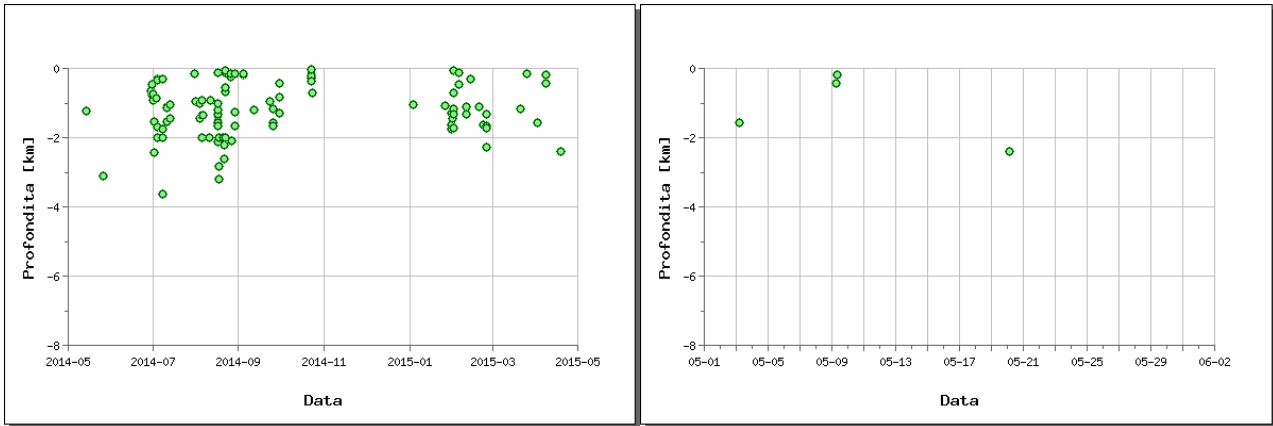


Figura 2.1.3 – Profondità ipocentrali degli eventi registrati ai Campi Flegrei nel corso degli ultimi 12 mesi (a sinistra) e dell'ultimo mese (a destra).

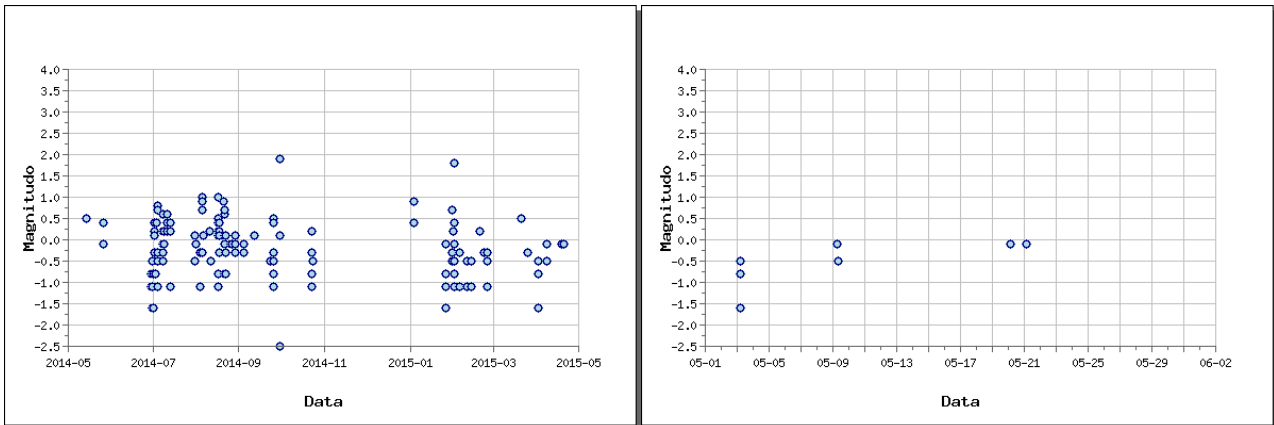


Figura 2.1.4 – Magnitudo degli eventi registrati ai Campi Flegrei nel corso degli ultimi 12 mesi (a sinistra) e dell'ultimo mese (a destra).

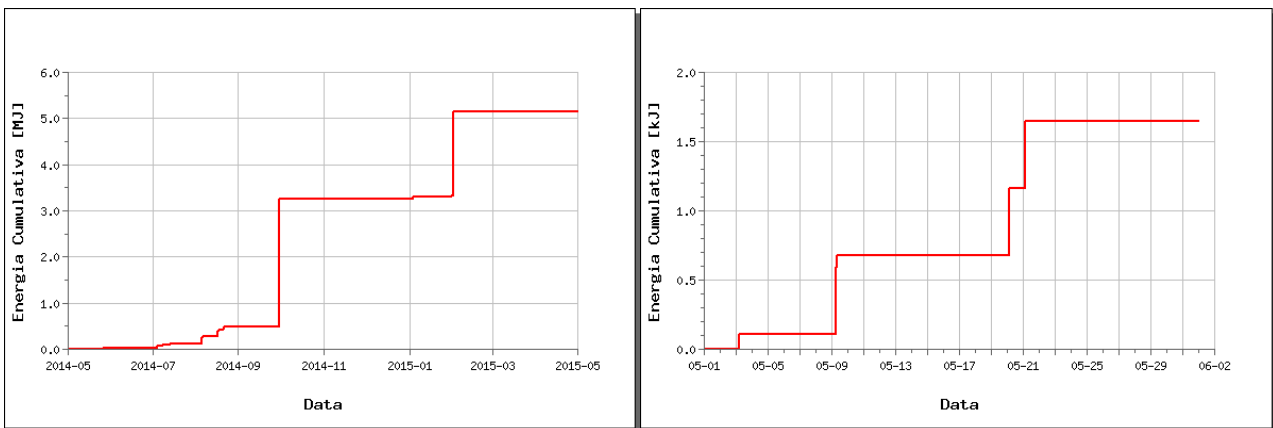


Figura 2.1.5 – Rilascio cumulativo di energia sismica ai Campi Flegrei nel corso degli ultimi 12 mesi (a sinistra) e dell'ultimo mese (a destra).

2.2 - Deformazioni del Suolo

Si evidenzia un lieve trend in sollevamento dell'area, con un valore massimo di circa 5.0 ± 1.0 cm/anno a partire da marzo 2015. Il sollevamento massimo registrato alla stazione GPS di Rione Terra è di circa 7.5 cm a partire da gennaio 2014, di cui circa 1 cm da marzo 2015 (Fig. 2.2.1 e Fig. 2.2.2).



Figura 2.2.1 - Serie temporale delle variazioni settimanali in quota della stazione di RITE (Pozzuoli) dal 2000 a maggio 2015.

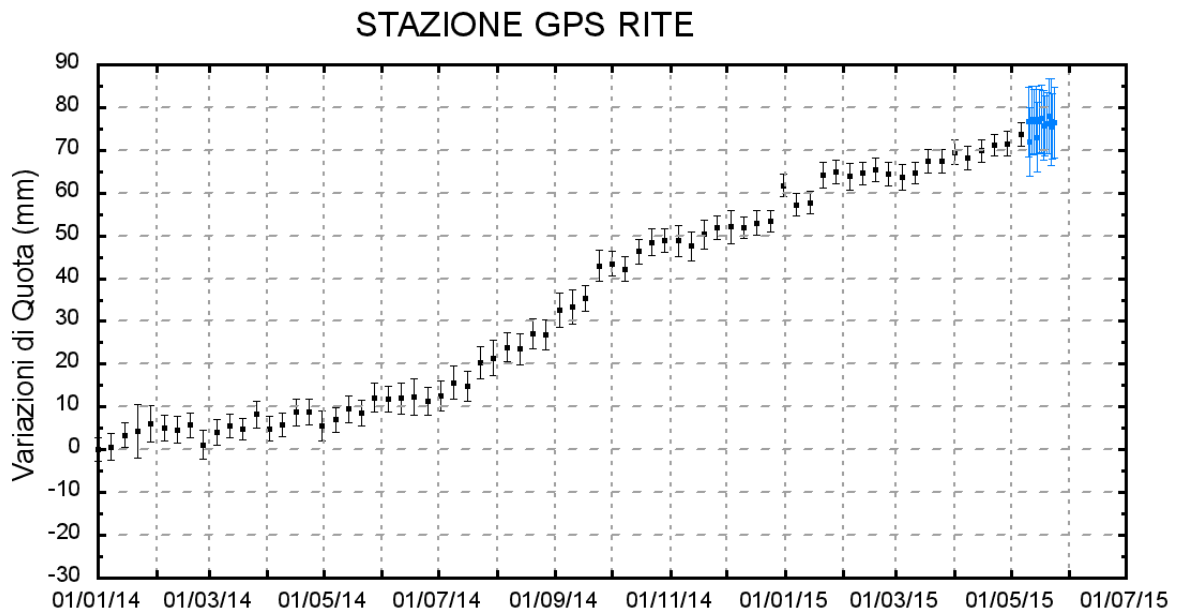


Figura 2.2.2 - Serie temporale delle variazioni in quota della stazione di RITE (Pozzuoli) dal 01 gennaio 2014 al 25 maggio 2015 (vedi bollettino settimanale).

2.3 – Geochimica dei Fluidi

L'attività di monitoraggio svolta nel mese di Maggio ha riguardato: l'acquisizione in continuo di dati di flusso di CO₂ dal suolo e della temperatura della fumarola principale a Pisciarelli; l'acquisizione in continuo di dati di flusso di CO₂ dal suolo nel cratere della Solfatara; misure di flusso di CO₂ dal suolo e temperatura del suolo su punti fissi selezionati nelle are della Solfatara e di Pisciarelli; il campionamento delle principali fumarole della Solfatara (BG e BN) e di Pisciarelli. Di seguito vengono riportate le osservazioni più rilevanti sui nuovi dati acquisiti.

Una dettagliata descrizione del modello geochimico interpretativo del sistema idrotermale della Solfatara, delle variazioni composizionali registrate e delle possibili interpretazioni sono riportate nei seguenti lavori scientifici: Caliro et al., (2007; 2014); Chiodini (2009); Chiodini et al., (2010; 2011; 2012; 2015), ai quali si rimanda per approfondimento.

Le analisi di laboratorio dei campioni prelevati evidenziano il perdurare dei trends già identificati in precedenza (vedi rapporti di sorveglianza precedenti; Figg. 2.3.1-4).

Il rapporto CO₂/H₂O delle fumarole, in aumento a partire dal 2000 (Fig. 2.3.1), pur rimanendo su valori elevati (~0.31) che, in generale, testimoniano una elevata frazione di gas magmatici presente nei fluidi fumarolici (Caliro et al., 2007; Chiodini et al., 2010), mostra una lieve diminuzione. La distribuzione dei dati che si va così delineando nel tempo suggerisce la possibile occorrenza della fine di un picco con un massimo positivo tra il 2013 e il 2014. In particolare, l'interpretazione di queste variazioni risulta più complessa alla luce dei recenti studi che mettono in evidenza come possibili processi di condensazione del vapore nel sistema idrotermale, in risposta ad un aumento del flusso dei fluidi magmatici (e della pressione) e allo stato termico del sistema, possano influenzare il rapporto CO₂/H₂O misurato alle fumarole (Chiodini et al., 2015).

L'analisi di geoindicatori di Temperatura e Pressione, basati sulle composizioni delle fumarole BG e BN, indicano il progressivo riscaldamento delle parti più superficiali del sistema idrotermale della Solfatara. In particolare, le concentrazioni di CO, disponibili alla Solfatara di Pozzuoli fin dalla crisi del 1983-84, a partire dagli inizi degli anni 2000 mostrano un evidente trend di crescita, che è particolarmente marcato negli ultimi mesi (fumarola BG, Fig. 2.3.2). Tale crescita è a nostro parere rilevante poiché il CO è fra le specie fumaroliche analizzate quella più sensibile alla temperatura. Assumendo come buffer delle condizioni redox del sistema idrotermale la funzione di D'Amore and Panchi (1980), che in generale ben descrive la fO_2 in molti dei sistemi idrotermali del mondo, il trend del CO corrisponderebbe ad un aumento di temperatura di circa 20°C fra gli inizi degli anni 2000 (T circa 215 °C) e il 2014-2015 (T circa 235°C). Tale processo di riscaldamento del sistema flegreo e le possibili cause sono trattate in modo approfondito in un recente lavoro scientifico (Chiodini et al., 2015) a cui si rimanda per eventuali altri dettagli.

Il cronogramma del rapporto CO₂/CH₄ (Fig. 2.3.4) mostra picchi positivi, interpretabili come dovuti all'arrivo di fluidi magmatici ossidanti, e a basso contenuto in CH₄, nel sistema idrotermale (Chiodini 2009; Chiodini et al., 2010; 2011; 2012). I vari picchi corrisponderebbero quindi ad eventi di degassamento magmatico e conseguente immissione di fluidi magmatici nel sistema idrotermale che alimenta le fumarole della Solfatara. Per maggiori dettagli su tale processo si rimanda ad uno specifico lavoro scientifico (Chiodini et al., 2012). Inoltre, in Figura 2.3.4, è possibile riconoscere un trend d'aumento del rapporto a partire dal 2000. Sia l'aumento della temperatura di equilibrio della parte più profonda del sistema idrotermale che variazioni delle sue condizioni redox (verso condizioni più ossidanti,

magmatiche) possono essere la causa dell'aumento del rapporto CO₂/CH₄ (i.e. diminuzione relativa delle concentrazioni di CH₄) (Chiodini et al., 2015).

Il processo di riscaldamento e pressurizzazione della parte più superficiale del sistema idrotermale, iniziato a partire dal 2007 (Chiodini et al., 2011) e tuttora in corso, causa a nostro avviso le variazioni macroscopiche osservate a Pisciarelli (Fig 2.3.5) e che negli ultimi anni sono consistite nell'apertura di nuovi vent fumarolici e di polle bollenti, nell'emissione di fango, in attività sismica localizzata, nell'aumento della temperatura della fumarola principale (Figg. 2.3.6, 2.3.7), nell'aumento dei flussi misurati in continuo dalla stazione FLXOV3 (Fig 2.3.8).

Bibliografia:

- Caliro S., Chiodini G., Moretti R., Avino R., Granieri D., Russo M., and Fiebig J. (2007) The origin of the fumaroles of La Solfatara (Campi Flegrei, South Italy). *Geochimica et Cosmochimica Acta* **71**, 3040-3055. doi:10.1016/j.gca.2007.04.007.
- Caliro S., Chiodini G., and Paonita A. (2014) Geochemical evidences of magma dynamics at Campi Flegrei (Italy). *Geochim. Cosmochim. Acta* **132**, 1-15. doi:10.1016/j.gca.2014.01.021.
- Chiodini, G. (2009), CO₂/CH₄ ratio in fumaroles a powerful tool to detect magma degassing episodes at quiescent volcanoes., *Geophys. Res. Lett.*, doi: [10.1029/2008GL036347](https://doi.org/10.1029/2008GL036347)
- Chiodini, G., S. Caliro, C. Cardellini, D. Granieri, R. Avino, A. Baldini, M. Donnini, and C. Minopoli (2010), Long-term variations of the Campi Flegrei, Italy, volcanic system as revealed by the monitoring of hydrothermal activity, *J. Geophys. Res.*, **115**, B03205, doi:10.1029/2008JB006258.
- Chiodini, G., R. Avino, S. Caliro, C. Minopoli (2011) Temperature and pressure gas geoindicators at the Solfatara fumaroles (Campi Flegrei). *Annals Geophysics*, **54**, 2. doi: 10.4401/ag-5002
- Chiodini G., Caliro S., De Martino P., Avino R. and Gherardi F. (2012). Early signals of new volcanic unrest at Campi Flegrei caldera? Insights from geochemical data and physical simulations. *Gelogy*, doi:10.1130/G33251.1
- Chiodini G., Vandemeulebrouck J., Caliro S, D'Auria L., De Martino P, Mangiacapra A., Petrillo Z. (2015) Evidence of thermal driven processes triggering the 2005-2014 unrest at Campi Flegrei caldera. *Earth Planet. Sci. Lett.* **414**, 58-67. doi:10.1016/j.epsl.2015.01.012
- D'Amore F. and Panichi C. (1980) Evaluation of deep temperatures of hydrothermal systems by a new gas geothermometer. *Geochim. Cosmochim. Acta* **44**, 549-556.

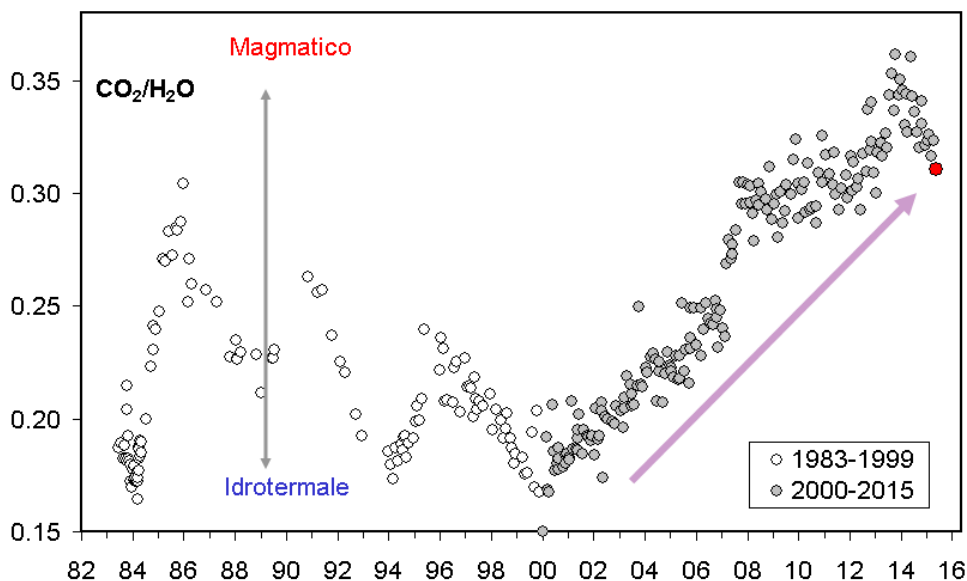


Figura 2.3.1 - Cronogramma del rapporto CO₂/H₂O per la fumarola BG. In grigio sono riportati i dati a partire dal 2000, quando è iniziato un trend d'aumento del rapporto CO₂/H₂O, in generale, indicativo di una crescente frazione della componente magmatica nei fluidi fumarolici. In rosso è evidenziato il campione di Maggio 2015.

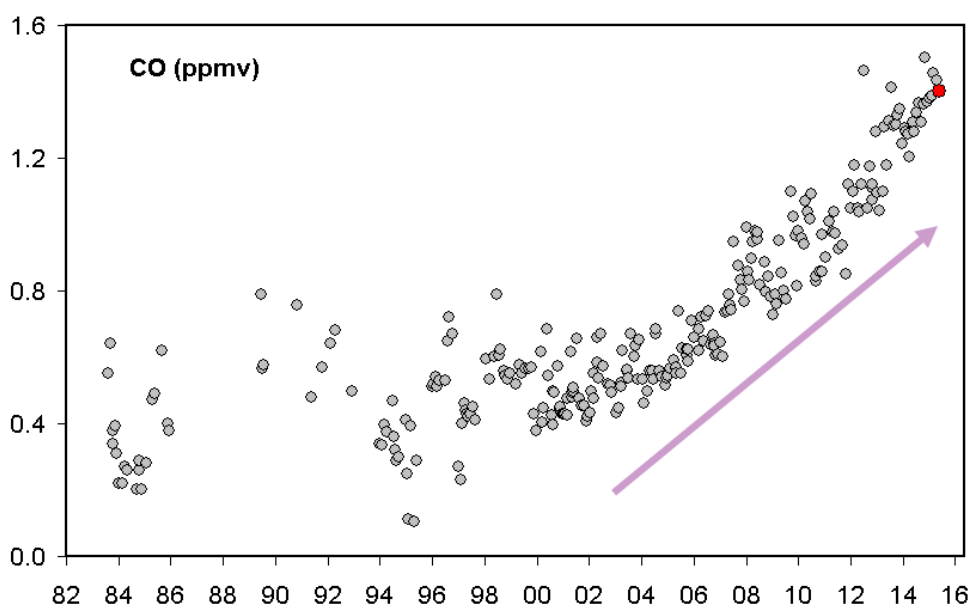


Figura 2.3.2 - Variazioni della concentrazione di monossido di carbonio (CO) misurato alla fumarola BG a partire dal 1983. In rosso è evidenziato il campione relativo al mese di Maggio 2015. In generale alti contenuti di CO caratterizzano sistemi vulcanici ad elevata temperatura mentre fumarole alimentate da sistemi idrotermali mostrano concentrazioni più basse, in tali sistemi un aumento delle concentrazioni di CO può riflettere un incremento delle condizioni di pressione e temperatura.

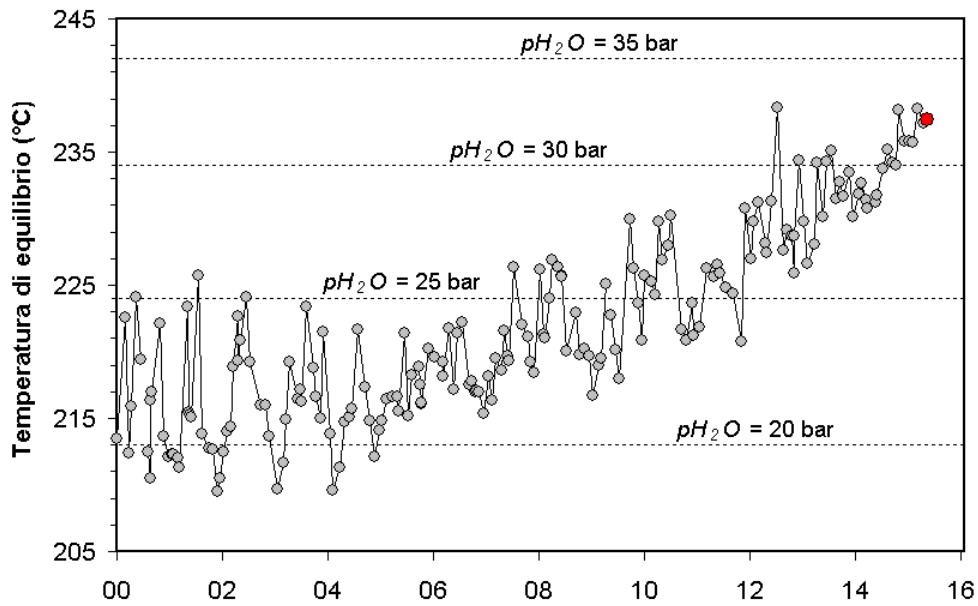


Figura 2.3.3 – Cronogramma delle temperature di equilibrio per il sistema CO-CO₂, stimate assumendo condizioni redox fissate dalla relazione di D'Amore and Panichi (1980). Tali temperature, rappresentative della parte più superficiale del sistema idrotermale (Caliro et al., 2007), mostrano un trend d'aumento a partire dai primi anni del 2000. In rosso è evidenziato il campione relativo al mese di maggio 2015.

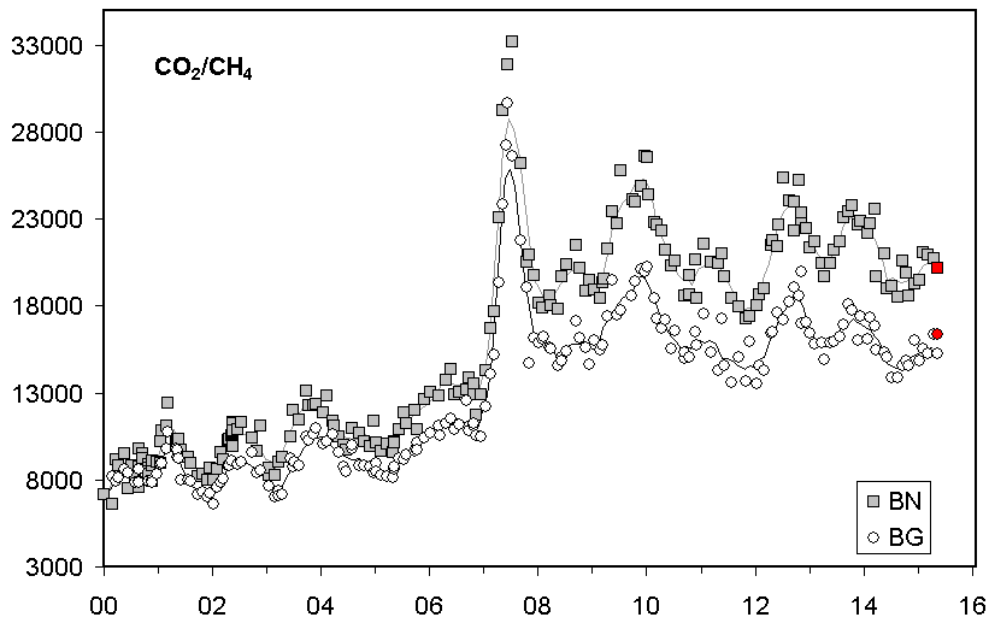


Figura 2.3.4 – Variazioni del rapporto CO₂/CH₄ per le fumarole BG e BN a partire dal 2000. I picchi nel rapporto, registrati in superficie con circa un anno di ritardo, evidenziano episodi di degassamento magmatico occorsi ai Campi Flegrei (Chiodini et al., 2012). In rosso sono evidenziati i valori relativi ai campioni di maggio 2015.

PISCIARELLI



Figura 2.3.5 - Variazioni macroscopiche dell'area di emissione di Pisciarelli dal 2005.

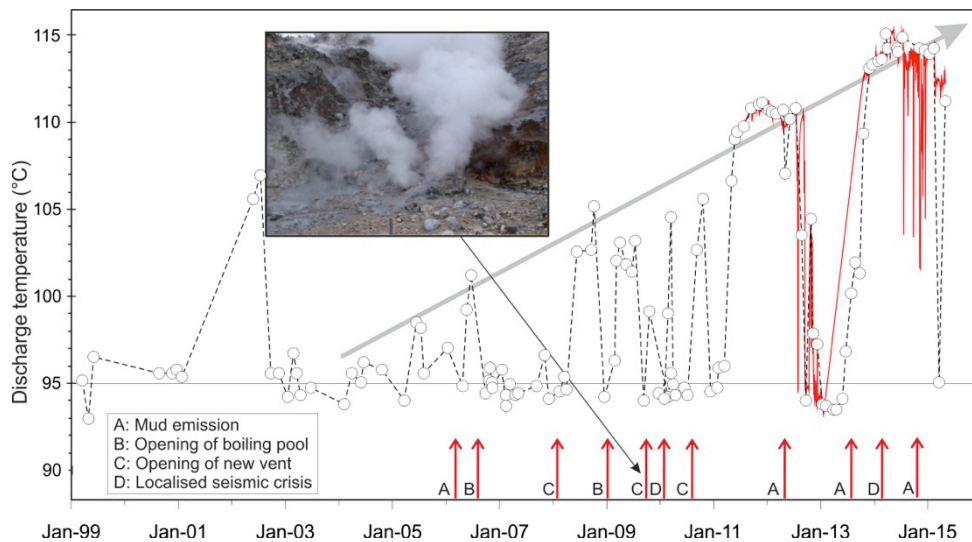


Figura 2.3.6 - Cronogramma delle temperature (°C) della fumarola di Pisciarelli e dei maggiori eventi occorsi legati all'aumento dell'attività idrotermale (i cerchi si riferiscono a misure discrete, la linea rossa si riferisce alle medie giornaliere delle misure in continuo). La temperatura di 95°C rappresenta la temperatura di ebollizione per i fluidi fumarolici di Pisciarelli. Nella foto è riportata la nuova vigorosa fumarola sorta il 20 dicembre 2009.

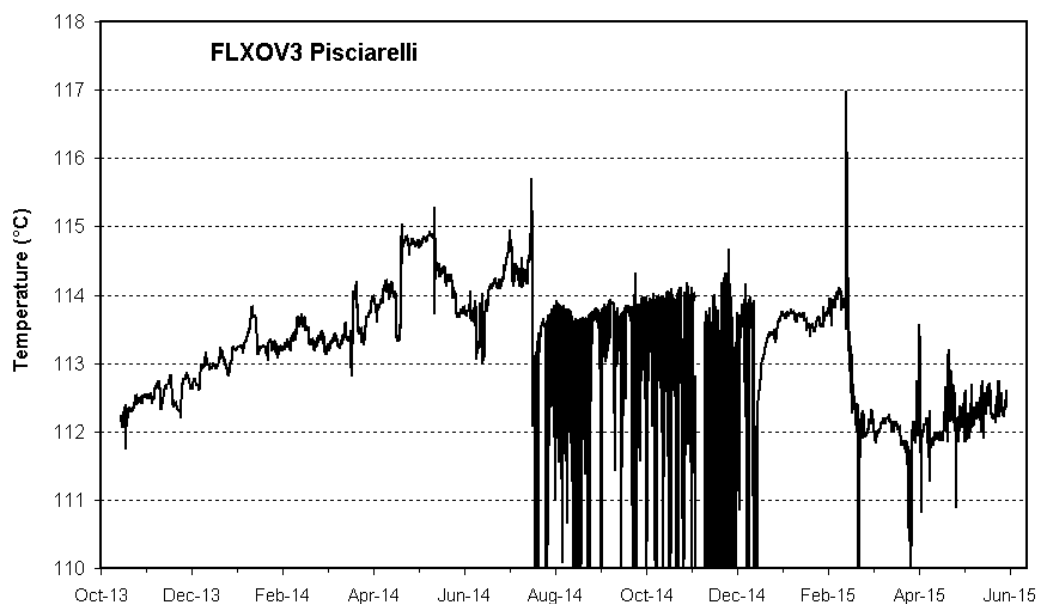


Figura 2.3.7 - Temperature registrate in continuo della fumarola di Pisciarelli. Dopo le recenti variazioni registrate nel mese di febbraio, nell'ultimo mese le temperature sono rimaste stabili a circa 112 °C.



Figura 2.3.8 - Medie giornaliere (linea) e medie mensili (cerchi) dei flussi di CO₂ misurati a Pisciarelli (FLXOV3). E' da evidenziare il continuo trend d'aumento nel tempo del flusso CO₂. La media mensile dei flussi relativa al mese di maggio, riportata con il simbolo rosso, non mostra significative variazioni rispetto al periodo precedente.

3 – ISCHIA

Ad Ischia nel corso del mese di maggio 2015 non sono stati registrati eventi sismici. Per quanto riguarda le deformazioni del suolo, permane una lieve subsidenza generale, più marcata nella parte meridionale dell'isola.

3.1 - Sismicità

Nel corso dell'ultimo mese, ad Ischia, non sono stati registrati terremoti. L'ultimo evento è avvenuto il 04/07/2014 con magnitudo pari a 1.2.

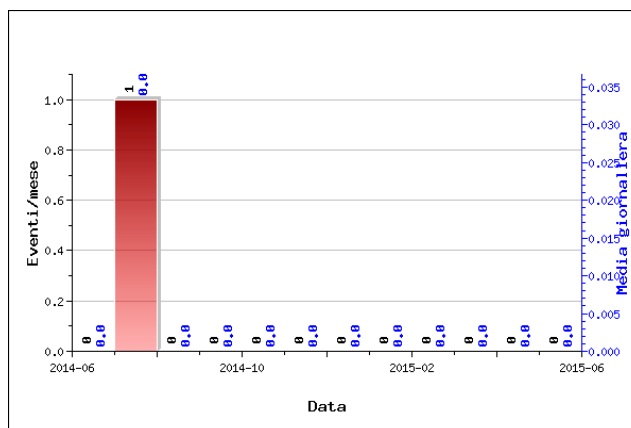


Figura 3.1.1 – Numero di eventi registrati ad Ischia nel corso degli ultimi 12 mesi (in totale 1).

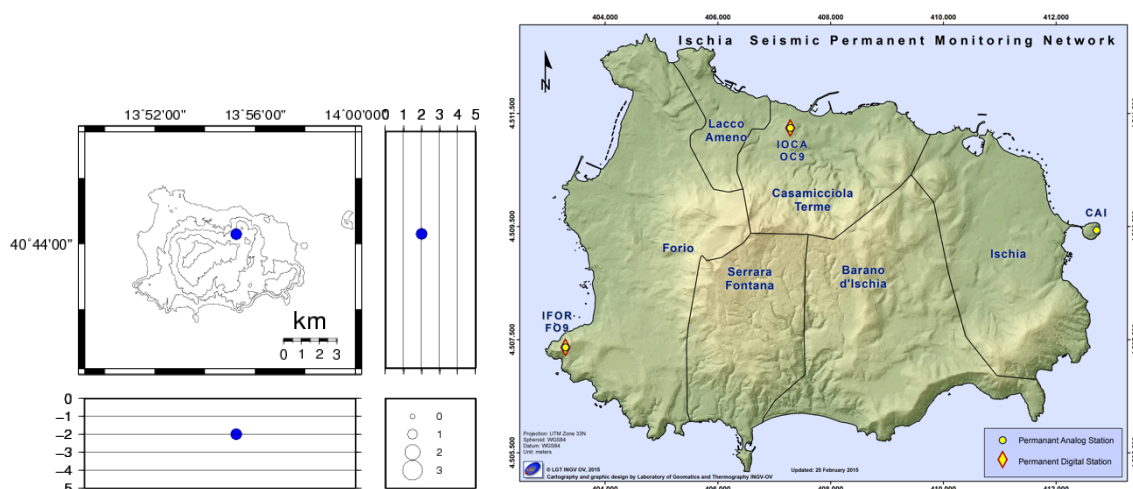


Figura 3.1.2 – Localizzazione ipocentrale degli eventi localizzati ad Ischia nel corso degli ultimi 12 mesi. La dimensione del simbolo è proporzionale alla magnitudo, come indicato nel riquadro in basso. A destra è mostrata la mappa con la rete sismica di Ischia.

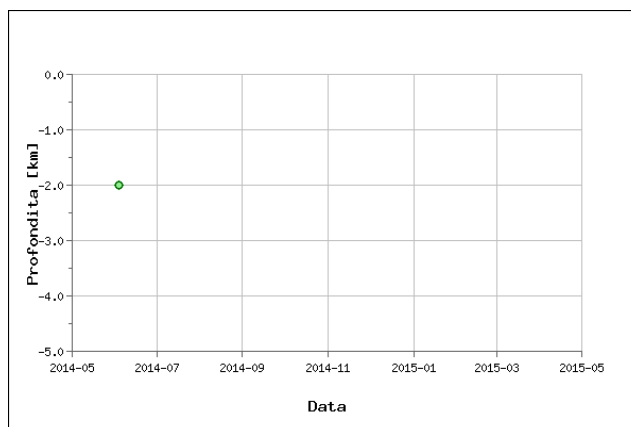


Figura 3.1.3 – Profondità ipocentrali degli eventi registrati ad Ischia nel corso degli ultimi 12 mesi.

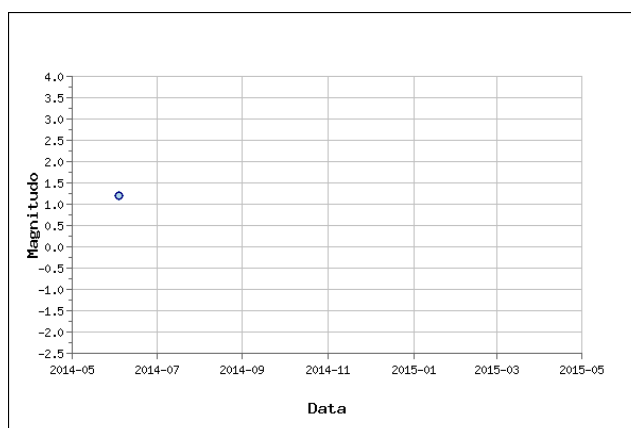


Figura 3.1.4 – Magnitudo degli eventi registrati ad Ischia nel corso degli ultimi 12 mesi.

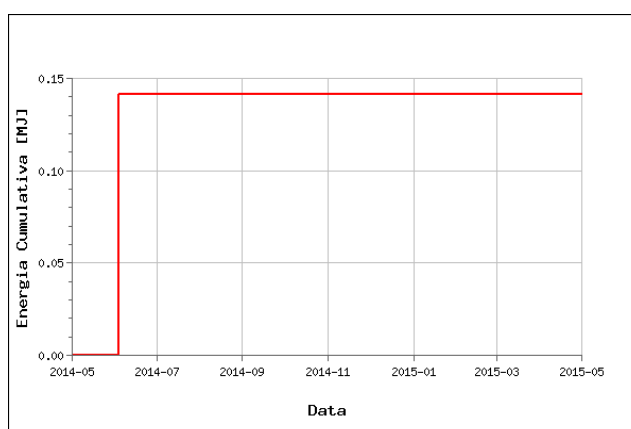


Figura 3.1.5 – Rilascio cumulativo di energia sismica ad Ischia nel corso degli ultimi 12 mesi.

3.2 - Deformazioni del Suolo

L'analisi delle serie temporali GPS conferma la generale subsidenza dell'isola con valori più elevati nel settore meridionale dell'isola (Fig. 3.2.1 e 3.2.2).

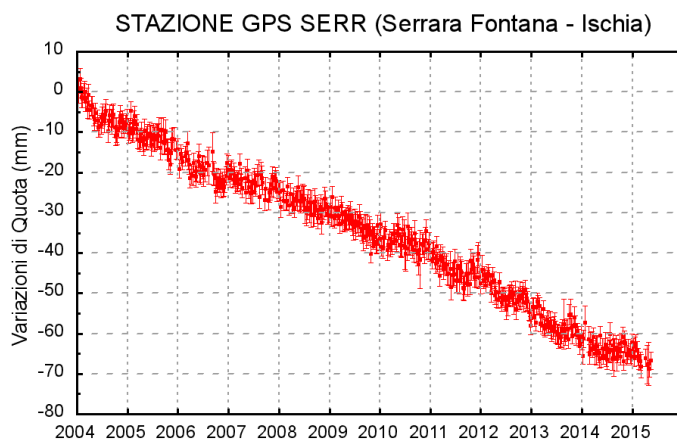


Figura 3.2.1 - Serie temporale delle variazioni settimanali in quota della stazione di SERR (Ischia) dal 2004 a maggio 2015

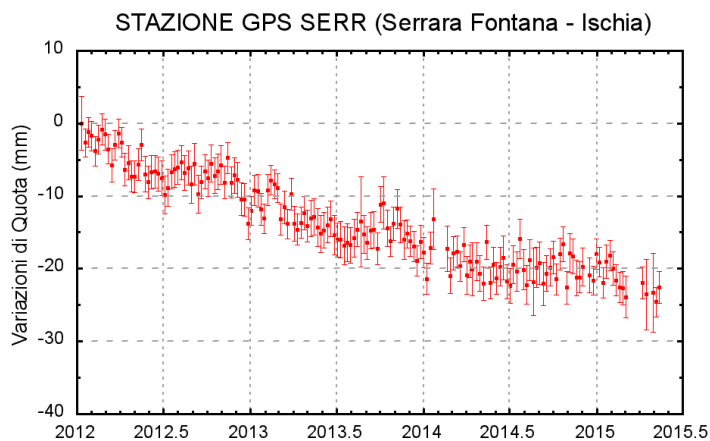


Figura 3.2.2 - Serie temporale delle variazioni settimanali in quota della stazione di SERR (Ischia) da gennaio 2012 a maggio 2015

Responsabilità e proprietà dei dati

L'INGV, in ottemperanza a quanto disposto dall'Art.2 del D.L. 381/1999, svolge funzioni di sorveglianza sismica e vulcanica del territorio nazionale, provvedendo alla organizzazione della rete sismica nazionale integrata e al coordinamento delle reti sismiche regionali e locali in regime di convenzione con il Dipartimento della Protezione Civile.

L'INGV concorre, nei limiti delle proprie competenze inerenti la valutazione della Pericolosità sismica e vulcanica nel territorio nazionale e secondo le modalità concordate dall'Accordo di programma decennale stipulato tra lo stesso INGV e il DPC in data 2 febbraio 2012 (Prot. INGV 2052 del 27/2/2012), alle attività previste nell'ambito del Sistema Nazionale di Protezione Civile. In particolare, questo documento, redatto in conformità all'Allegato A del suddetto Accordo Quadro, ha la finalità di informare il Dipartimento della Protezione Civile circa le osservazioni e i dati acquisiti dalle reti di monitoraggio gestite dall'INGV su fenomeni naturali di interesse per lo stesso Dipartimento.

L'INGV fornisce informazioni scientifiche utilizzando le migliori conoscenze scientifiche disponibili; tuttavia, in conseguenza della complessità dei fenomeni naturali in oggetto, nulla può essere imputato all'INGV circa l'eventuale incompletezza ed incertezza dei dati riportati e circa accadimenti futuri che differiscano da eventuali affermazioni a carattere previsionale presenti in questo documento. Tali affermazioni, infatti, sono per loro natura affette da intrinseca incertezza.

L'INGV non è responsabile dell'utilizzo, anche parziale, dei contenuti di questo documento da parte di terzi, e/o delle decisioni assunte dal Dipartimento della Protezione Civile, dagli organi di consulenza dello stesso Dipartimento, da altri Centri di Competenza, dai membri del Sistema Nazionale di Protezione Civile o da altre autorità preposte alla tutela del territorio e della popolazione, sulla base delle informazioni contenute in questo documento. L'INGV non è altresì responsabile di eventuali danni recati a terzi derivanti dalle stesse decisioni.

La proprietà dei dati contenuti in questo documento è dell'INGV. La diffusione anche parziale dei contenuti è consentita solo per fini di protezione civile ed in conformità a quanto specificatamente previsto dall'Accordo Quadro sopra citato tra INGV e Dipartimento della Protezione Civile.