CONVENZIONE INGV-DPC 2012

PROGETTO V2

Precursori di eruzioni

Direttore Progetto: Giovanni Chiodini

Premessa e obiettivo generale

Prima di un eruzione vulcanica, il magma deve intrudersi nelle rocce solide che formano il basamento del vulcano. Tale ascesa, accompagnata dal liberarsi di fluidi dal magma, crea una situazione di instabilità che si manifesta attraverso l'insorgere di un serie di fenomenologie quali: l'aumento nella frequenza e/o intensità dei terremoti localizzati al di sotto dell'apparato, l'insorgere di tremore vulcanico, il sollevamento del suolo, l'apertura di fratture, l'aumento dell'attività fumarolica e/o dei flussi legati ai plumes, cambiamenti composizionali dei fluidi dovuti all'aumento della componente magmatica, l'insorgere di attività esplosiva freatica ecc. Tali cambiamenti sono rilevabili, talvolta quantificabili, tramite specifiche misure geofisiche e geochimiche ripetute nel tempo con strumentazione automatica e/o mediante campagne periodiche. Nel loro complesso tali misurazioni verranno qui di seguito riferite come l' osservato.

L'osservato ha spesso coinciso con il verificarsi di eruzioni in vulcani a condotto aperto quali l'Etna o Stromboli. La disponibilità di numerosi eventi eruttivi 'osservati' ha permesso in questi casi lo sviluppo di modelli previsionali basati su quelle variazioni dell'osservato che hanno sistematicamente o frequentemente preceduto le eruzioni e accompagnato la fine degli eventi. Inoltre in vulcani a condotto aperto sono possibili misure relativamente accurate dei flussi dei fluidi magmatici associati ai plumes, misure basate sulla determinazione spettroscopica della SO_2. Tali misure, insieme alla determinazione in continuo dei rapporti fra i principali componenti (CO_2, SO_2, HCl ecc.) hanno fortemente aumentato le possibilità di prevedere l'evoluzione delle eruzioni.

La situazione è assai più complessa per vulcani quiescenti come i Campi Flegrei, Vesuvio, Vulcano ed Ischia dove nessuna eruzione è stata al momento osservata con adeguate misurazioni geofisiche e geochimiche. Inoltre in questi vulcani la determinazione delle quantità di fluidi magmatici emessi e della loro evoluzione temporale è complicata dalla presenza di sistemi idrotermali dove le componenti acide vengono disciolte dal liquido e che agiscono da 'buffer' per le altre specie gassose. In questi sistemi i modelli previsionali di episodi di unrest vulcanico si basano necessariamente sul confronto fra l'osservato e: (i) le variazioni attese sulla base di modelli concettuali; (ii) le variazioni simulate sulla base di modelli fisico-matematici del processo di risalita di fusi e/o fluidi magmatici; (iii) le variazioni macroscopiche che hanno preceduto le eruzioni del passato come dedotte da documenti storici; (iv) le variazioni osservate ad altri vulcani del mondo prima di una eruzione, (v) i risultati di studi petrologici/mineralogici sui prodotti eruttati per derivarne informazioni e parametri sui plumbing systems e sulle cinematiche di intrusione dei magmi nelle eruzioni passate. In ogni caso l'elevato grado di indeterminatezza impone l'utilizzo di metodi statistici per una valutazione probabilistica del verificarsi di una eruzione.

Fra i vulcani quiescenti, i Campi Flegrei e Vulcano sono quelli che hanno mostrato in tempi recenti chiari segni di una possibile riattivazione. La caldera dei Campi Flegrei ha avuto negli ultimi 60 anni 3 momenti di forte criticità caratterizzati da innalzamento del terreno e, gli ultimi 2, da crisi sismiche (negli anni 50, alla fine degli anni 60 e agli inizi degli anni '80). La possibilità che la subsidenza che ha seguito la crisi del 1982-84 indichi la fine dell' unrest iniziato 30 anni prima sembra ora contraddetta dal fatto che dopo 20 anni, dal 2005, il terreno ha iniziato ad innalzarsi con continuità, anche se al momento con basse velocità. Inoltre, in quest'ultimo periodo, sciami di terremoti di piccola magnitudo sono diventati più frequenti e sono state osservate forti variazioni composizionali delle fumarole come chiaramente indica l'aumento nella proporzione della componente magmatica emessa dal sistema. E' importante ricordare che l'ultima eruzione ai Campi Flegrei (Monte Nuovo, 1538) ha avuto segnali premonitori almeno 70 anni prima dell'evento (Guidoboni and Ciuccarelli., 2011). Analogamente Vulcano, a partire dalla fine degli anni 70, è stato soggetto a numerose crisi simili, anche se a scala più localizzata di quanto osservato ai Campi Flegrei, caratterizzate da aumento della frazione magmatica delle fumarole accompagnata da sequenze sismiche e deformazioni localizzate nell'area del cratere della Fossa.

Considerato l'elevato rischio connesso a questi vulcani ed in particolare che a causa dell’atteso carattere esplosivo e della forte urbanizzazione dell’area, il verificarsi di un' eruzione ai Campi

Flegrei rappresenterebbe una catastrofe di dimensioni paragonabili o superiori a quelle associate ai principali eventi naturali devastanti degli ultimi decenni nel territorio nazionale, l'obiettivo generale del progetto è **il miglioramento dei modelli previsionali per i vulcani in stato di quiescenza**. In particolare, almeno nel corso del primo anno, il progetto si concentrerà sui vulcani Campi Flegrei e Vulcano.

Stato delle conoscenze

Campi Flegrei

La breve revisione dello stato delle conoscenze ai Campi Flegrei, riportata in questa sezione, si riferisce al problema specifico della valutazione della pericolosità a breve termine, e non considera pertanto la storia eruttiva né gli studi volti alla valutazione della pericolosità lungo termine. Al fine della valutazione della pericolosità a breve termine è necessario innanzitutto considerare il fatto che i Campi Flegrei sono una caldera, ed è noto che i comportamento di una caldera è assai più complicato di quello di un vulcano centrale. Difatti si è più volte verificato che fenomenologie di unrest osservate ad una caldera, e non seguite da alcuna eruzione, sono state di entità tale che non sono mai state osservate a vulcani centrali senza che ne seguisse una nuova eruzione. Per contro, l'eruzione di Rabaul (Papua Nuova Guinea) del 1994 è stata preceduta da scarsi segni di unrest (meno di 1 giorno di attività sismica http://hvo.wr.usgs.gov/volcanowatch/1994/94_09_23.html).

L'ultima eruzione ai Campi Flegrei risale al 1538, ed è nota quindi solo attraverso le cronache storiche dell'epoca, che rappresentano una inestimabile sorgente di informazioni sul comportamento pre-eruttivo della caldera (Guidoboni and Ciuccarelli, 2011). Prima di tale data l'attività si era concentrata tra 4800 e 3800 anni BP, culminando nell'eruzione pliniana di Agnano Monte Spina (ca. 4 ka BP) (De Vita et al., 1999). Le bocche eruttive di tale ultima epoca, come quelle delle epoche precedenti, sono ampiamente distribuite all'interno della caldera, tuttavia con maggiori concentrazioni in un'area ad Est (area Astroni-Agnano) e secondariamente ad Ovest (Monte Nuovo-Averno) (Selva et al., 2012).

Alcuni elementi del sistema dei Campi Flegrei sono particolarmente rilevanti per il presente progetto e vengono qui brevemente richiamati. Studi di tomografia sismica (Zollo et al., 2008) hanno rivelato la presenza di un layer massivo contenente magma alla profondità di circa 8 km. Vari studi petrologici e magmatologici (p. es., Arienzo et al., 2010 e referenze in esso contenute) mostrano che i prodotti di numerose eruzioni dei Campi Flegrei originano da magmi che hanno stazionato e si sono evoluti a varie profondità al di sotto della caldera fino anche a soli 1-2 km, suggerendo quindi un sistema di alimentazione complesso costituito da un grande serbatoio profondo e caratterizzato da vari serbatoi di più piccole dimensioni tra loro interconnessi (Fig. 1).

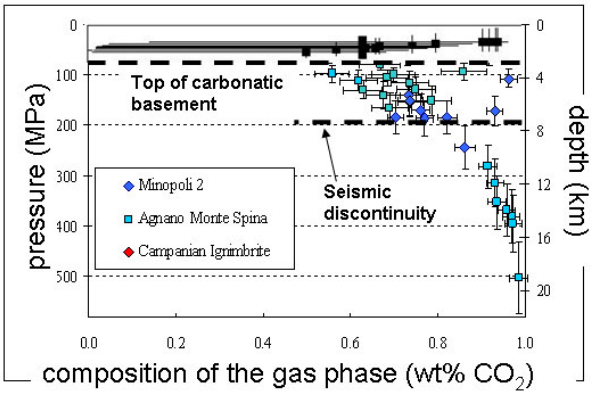


Fig. 1. Condizioni di pressione, profondità, e concentrazione di CO_2 nella fase gas, dedotte dagli equilibri liquido-gas applicati a dati da inclusioni fluide per varie eruzioni ai Campi Flegrei (progetto UNREST).

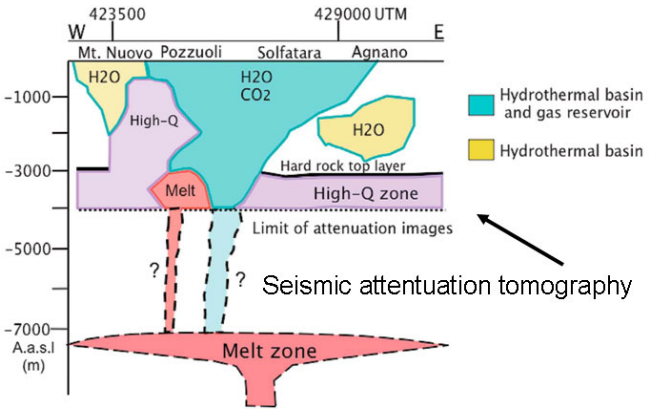


Fig. 2. Interpretazione dei dati di tomografia sismica in attenuazione (da De Siena et al., 2010).

La fase gas coesistente con tali magmi alle condizioni della camera magmatica invariabilmente consiste per oltre il 50% in peso, e fino a oltre il 90%, di anidride carbonica (Mangiacapra et al., 2008; Arienzo et al., 2010; risultati progetto UNREST). Recenti risultati di tomografia sismica in attenuazione (De Siena et al., 2010) suggeriscono la presenza di uno di tali serbatoi, largamente cristallizzato e di dimensioni molto inferiori ad 1 km^3, al di sotto dell'area di Pozzuoli, messosi in posto recentemente e possibilmente durante le fasi bradisismiche degli ultimi decenni (Fig. 2).

L'analisi dei prodotti delle eruzioni dei Campi Flegrei (Morgan et al., 2004; Arienzo et al., 2009, 2010; Di Renzo et al., 2011) mostra che processi di mixing fra magmi diversi sono avvenuti di continuo e hanno preceduto di poco, giorni - ore (Rutherford, 2004), il verificarsi di una eruzione, a ulteriore conferma della possibilità di un sistema costituito da numerose piccole sacche magmatiche in comunicazione tra loro. Di fatto l'analisi della distribuzione dei volumi eruttati durante l'ultima epoca della storia eruttiva ai Campi Flegrei (Orsi et al., 2009) mostra che circa il 70% delle eruzioni hanno prodotto meno di 0,1 km^3 di magma, e il 95% meno di 0,25 km^3 di magma, suggerendo quindi ancora una volta l'esistenza di piccole sacche magmatiche a varia profondità. Fa eccezione nell'ultima epoca l'eruzione di Agnano Monte Spina, che ha messo in posto quasi 1 km^3 di magma, e che ancora una volta è stata interpretata (Rutherford, 2004) originarsi da una piccola camera magmatica alla profondità di 2-3 km, contenente magma fonolitico coesistente con una fase gas composta per il 60-80% in peso da CO_2, invasa in un tempo compreso da pochi giorni a ore prima dell'eruzione da magma di composizione trachitica proveniente da un serbatoio più profondo.

Venendo alla storia più recente, dagli anni Cinquanta i Campi Flegrei sono stati oggetto di ripetuti episodi di sollevamento del suolo (bradisismi) che hanno seguito il periodo di subsidenza attivo dopo l'eruzione del 1538 (Fig. 3, Del Gaudio et al., 2010).

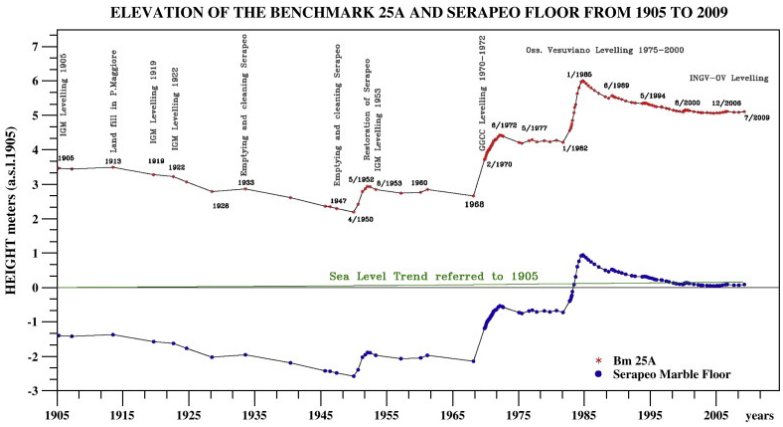


Fig. 3. Variazione della quota del suolo ai Campi Flegrei (da Del Gaudio et al., 2010).

Le fasi di sollevamento, che hanno mostrato un massimo nell'area di Pozzuoli, sono accompagnate dal verificarsi di terremoti, solitamente fino a circa 4 km di profondità. La crisi principale è quella del 1982-84 che ha causato l'evacuazione permanente di circa 40.000 persone dalla città di Pozzuoli, a seguito di un innalzamento del suolo di circa 1,5 m e di oltre 8000 terremoti. Successivamente il suolo dei Campi Flegrei ha mostrato una lenta subsidenza, interrotta più volte da piccoli eventi di innalzamento ('mini-uplift') con caratteristiche del tutto simili a quelle delle crisi maggiori, ma a scala ridotta.

Dal 1982-1984 è iniziato lo studio sistematico delle fumarole della Solfatara di Pozzuoli che, secondo le interpretazioni più recenti (Caliro et al., 2007), sono alimentate da una miscela fra fluidi idrotermali ed una componente magmatica con un alto contenuto in CO_2 (65-70% in peso). E' rilevante osservare che questa stima ben rientra nel range composizionale per le fasi gassose magmatiche coinvolte nelle ultime eruzioni flegrei, indipendentemente stimato sulla base di studi mineralogici e/o sulle inclusioni fluide (Fig. 1). Fino al 'mini-uplift' del 2000 la componente magmatica, evidenziata dal rapporto CO_2/H_2O in Fig. 4, ha avuto picchi che hanno

sistematicamente seguito gli eventi bradisismici e che sono stati interpretati (e simulati) come la manifestazione superficiale di immissioni di gas magmatici nell' sistema idrotermale che alimenta le fumarole.

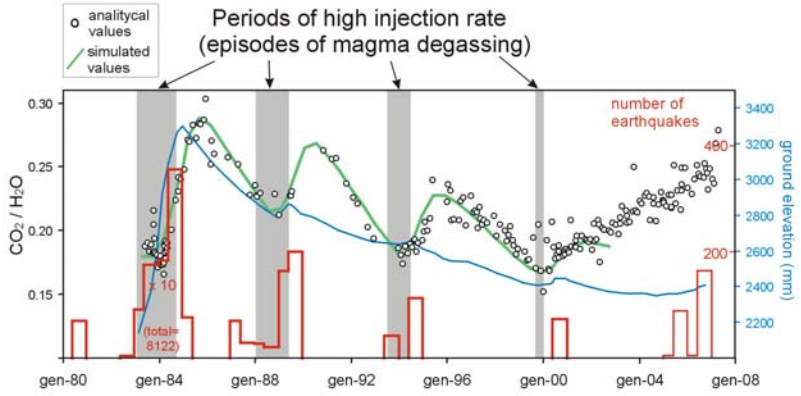


Fig. 4. Andamento della deformazione, della sismicità, e della composizione chimica delle fumarole (da Chiodini et al., 2010).

Dopo il mini-uplift del 2000 il sistema è cambiato: la frazione di fluidi magmatici delle fumarole della Solfatara ha iniziato un lento processo di crescita tuttora in corso; il pattern del degassamento diffuso che interessa l'area è cambiato; sciami di terremoti di debole magnitudo sono diventati più frequenti; la subsidenza è prima diminuita e quindi dal 2005 è stata seguita da un processo di sollevamento, caratterizzato da basse velocità che stanno aumentando nel tempo; la temperatura e i flussi delle emissioni fumaroliche di Pisciarelli stanno aumentando; i geo-indicatori gassosi suggeriscono un significativo aumento della pressione delle parti più superficiali del sistema. 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. Alcuni risultati della simulazione numerica del processo (Fig. 5) 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 ora aumentando (Chiodini et al., 2012).

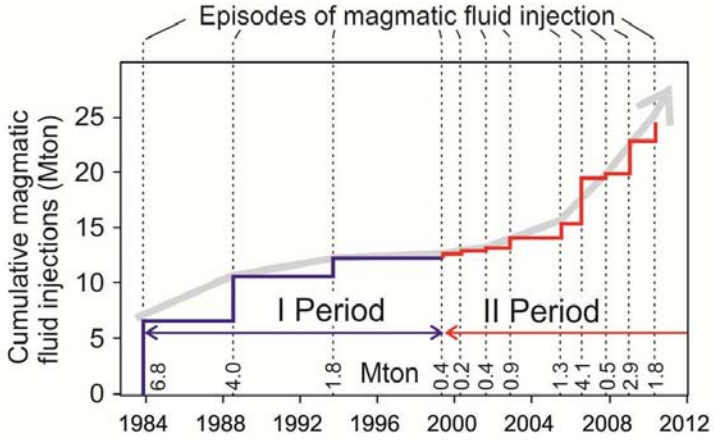


Fig. 5. Risultati delle simulazioni degli eventi di iniezione di fluidi magmatici nel sistema dei Campi Flegrei. La curva cumulativa delle quantità di fluidi magmatici iniettati nel sistema mostra 2 periodi, il primo terminato nel 2000 ed il secondo, tuttora in corso, caratterizzato dall' aumento nelle quantità di fluidi magmatici coinvolti nel processo (rielaborato da Chiodini et al., 2012).

Vulcano

Al pari dei Campi Flegrei, una sintesi dello stato delle conoscenze sul funzionamento del

sistema vulcanico dell'isola di Vulcano deve essere necessariamente focalizzato sugli aspetti inerenti le valutazioni di pericolosità a breve termine, data la notevole mole di informazioni disponibili. Come accennato, Vulcano presenta per molti versi analogie con il sistema dei Campi Flegrei, in quanto caratterizzato da uno stato di attività fumarolica, concentrata alla sommità dell'edificio della Fossa ed alla Spiaggia di Levante, oltre che emissioni diffuse di CO_2 dal suolo nell'area di Vulcano Porto. Tale stato di attività permane sin dall'ultima eruzione, che avvenne nel biennio 1888-90, seppure con gradi variabili di intensità. Nel 1978 infatti, a seguito di un evento sismico localizzato nel vicino Golfo di Patti sul sistema di faglie NW-SE, l'attività fumarolica mostrò un deciso incremento. Sin da allora sono stati osservati almeno altri tre episodi di rilievo nel 1987-90, 1996-98 e 2004-05, caratterizzati da rapide ed intense modificazioni dello stato esalativo fumarolico. Il monitoraggio geochimico, condotto sull'isola ormai da diversi decenni, ha evidenziato che tali episodi sono stati sempre caratterizzati da incremento delle temperature delle emissioni fumaroliche e delle concentrazioni di specie incondensabili (CO_2, He, N_2) ed acide (HCl, S), incremento della superficie esalante al cratere e della quantità di vapore rilasciato (Fig. 6) (La Volpe et al, 1997 e riferimenti; Capasso et al., 1999; Nuccio et al., 1999; Chiodini et al., 1993 e 2000; Granirei et al., 2006; Alparone et al., 2010).

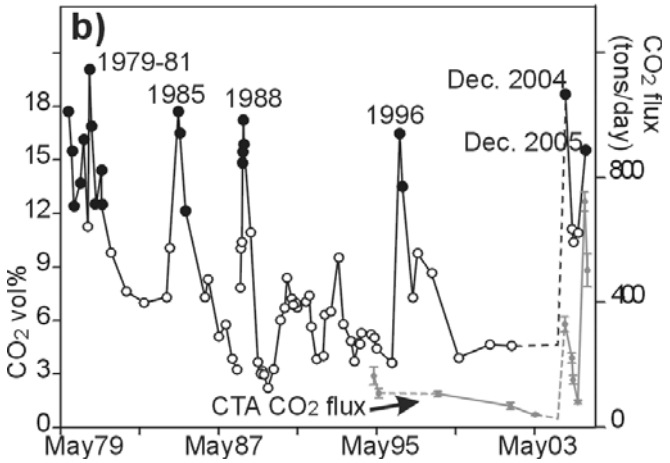


Fig. 6. Variazione della concentrazione e del flusso di CO_2 nel periodo 1979-2003 a La Fossa (da Granieri et al. 2006).

Sono state anche osservate variazioni nelle caratteristiche chimico-fisiche nelle acque dei pozzi termali nell'area di Vulcano Porto, con decrementi del pH ed incrementi in Cl e solfato (Capasso et al., 1999) e nelle esalazioni diffuse dal suolo (Diliberto et al., 2002). Le anomalie geochimiche sono state generalmente accompagnate anche da incrementi nel rilascio di energia sismica (Montalto 1996; Alparone et al., 2010; Milluzzo et al. 2010). Tale attività sismica è stata principalmente costituita da sequenze di eventi a lungo periodo, probabilmente relazionabili alla dinamica dei fluidi circolanti in corpi rocciosi, e più in dettaglio a processi di fatturazione idraulica di rocce alterate e fenomeni di risonanza di fluidi contenuti in pori e fratture (Alparone et al., 2010; Milluzzo et al. 2010).

In analogia con il caso dei Flegrei, questi periodi di "crisi" non implicano necessariamente una progressione del vulcano verso condizioni eruttive. Esse vanno piuttosto inquadrate in un modello generale di circolazione di fluidi nel sistema vulcanico. C'è un generale accordo nell'interpretare le fumarole crateriche come una miscela di due fluidi distinti, uno di provenienza magmatica ed uno di origine idrotermale (La Volpe et al, 1997 e riferimenti; Nuccio et al., 1999; Chiodini et al., 1993 e 2000; Di Liberto et al., 2002; Taran, 2011). Sulla base di evidenze geofisiche e geochimiche, la componente magmatica proverrebbe dal degassamento di un corpo magmatico localizzato 2-3 km sotto La Fossa (Nuccio e Paonita 2001 e riferimenti). D'altra parte, il sistema idrotermale sembra essere costituito dall'interazione tra fluidi di provenienza superficiale (principalmente marina) con rocce incassanti riscaldate dall'apporto di fluidi ed energia provenienti dal corpo magmatico. In questo corpo geotermico, i fluidi potrebbero subire una vaporizzazione pressoché totale o, alternativamente, si potrebbe stabilizzare un sistema liquido-vapore in ebollizione ad alta

temperatura e pressione (Cioni e D'Amore, 1984; Carapezza et al., 1981; La Volpe et al., 1997; Chiodini et al., 1993; Nuccio et al., 1999). In ogni caso, il campo fumarolico riceverebbe un contributo di vapore proveniente da tale sistema.

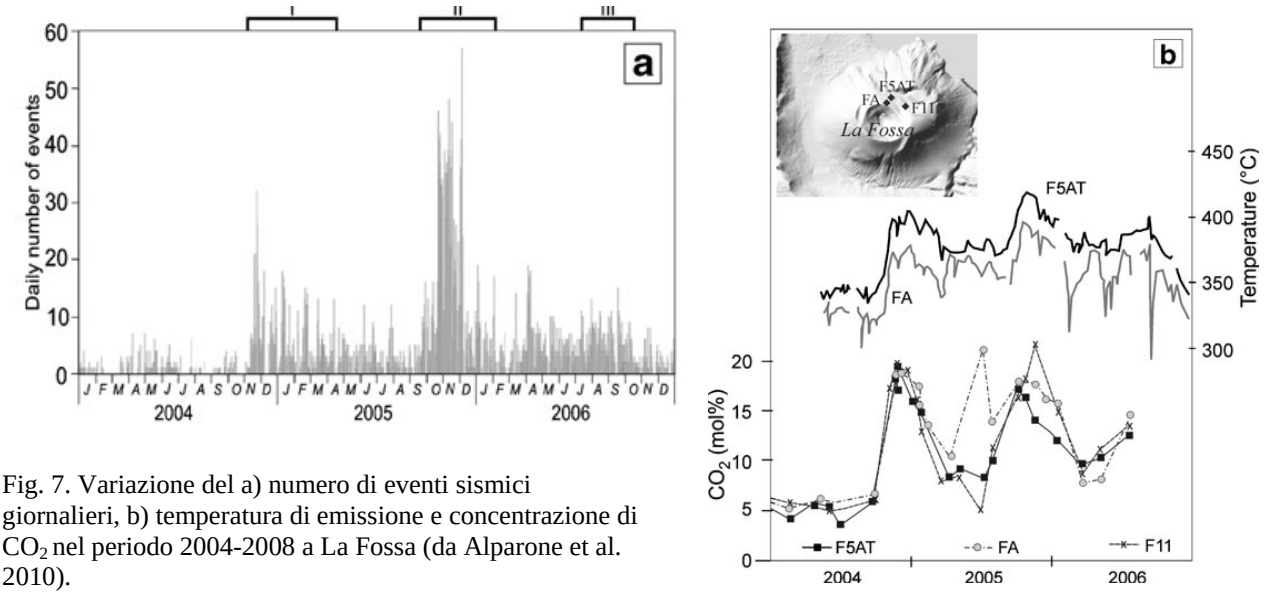


Fig. 7. Variazione del a) numero di eventi sismici giornalieri, b) temperatura di emissione e concentrazione di CO_2 nel periodo 2004-2008 a La Fossa (da Alparone et al. 2010).

I dati geochimici suggeriscono che, tra le due componenti riconosciute nei fluidi fumarolici, quella magmatica mostra i più alti contenuti di CO_2, He e N_2. Pertanto, gli incrementi di tali specie durante le fasi di degassamento anomalo, insieme al fatto che il budget di fluidi ed energia in tali episodi subisce un drastico aumento, fanno attualmente ritenere come ipotesi più plausibile che le cosiddette "crisi" siano episodi di significativo aumento dell'apporto della componente fluida di derivazione magmatica al campo fumarolico. Le variazioni composizionali fumaroliche, causate dallo spostamento dei fluidi idrotermali ad opera della componente magmatica, e l'alto incremento del flusso di CO_2 da tutta l'area del cratere suggeriscono un aumento generalizzato della pressione di poro nel sistema vulcanico e della frazione di vapore nel sistema idrotermale. Questi cambiamenti drastici dell'idrodinamica all'interno del corpo geotermico sarebbero dunque la causa degli eventi sismici LP osservati in concomitanza delle crisi.

Negli ultimi anni si sono individuati un numero crescente di bruschi cambiamenti dei segnali geochimici e geofisici, che sono apparsi più ravvicinati nel tempo e con le caratteristiche delle cosiddette "crisi" (Fig. 7). Questo dettaglio di osservazione è stato possibile grazie all'aggiunta di nuovi sensori di temperatura ed anche del nuovo "array" sismico istallati di recente al cratere. L'aumento nella frequenza delle variazioni, sebbene queste non siano evolute verso condizioni eruttive, indicherebbe che nel sistema fumarolico si ripetono bruschi input di gas magmatici, che stanno diventando più frequenti nel tempo. Per gli obiettivi di Protezione Civile, è perciò di primaria importanza caratterizzare accuratamente e comprendere il significato delle "crisi".

Task e obiettivi del primo anno di progetto

Per raggiungere l'obiettivo di **migliorare i modelli previsionali per i vulcani in stato di quiescenza**, le attività del progetto, su prospettiva pluriennale, riguarderanno il miglioramento sia dell' osservato, sia dei modelli fisici utilizzati per sistemi idrotermali e magmatici, sia infine (per i Campi Flegrei) l'avanzamento e aggiornamento dell'Albero degli Eventi per le fasi pre-eruttive. Questo sforzo congiunto porterà al miglioramento dei modelli concettuali, base necessaria per l'interpretazione corretta dei segnali di unrest e per la definizione di più realistici modelli previsionali dell'attività eruttiva. In accordo agli obiettivi generali del progetto come descritti nell'All. C alla Convenzione INGV-DPC, si terrà conto anche della possibilità di effettuare prime valutazioni su (i) relazioni tra osservato, masse magmatiche in gioco, e potenziali taglie eruttive, e (ii) relazioni tra osservato e probabilità di apertura di bocche eruttive. Va comunque sottolineato come su entrambi i punti di cui sopra non esistano in letteratura metodi generalmente accettati o largamente condivisi; al contrario, numerosi tentativi effettuati in vari casi al mondo, così come valutazioni critiche a-posteriori dell'osservato pre-eruttivo, non promettono facile successo. Le ricerche effettuate su tali punti dovrebbero pertanto essere considerate un punto di inizio su cui sviluppare ulteriori studi e approfondimenti.

Nel dettaglio l' attività del progetto viene suddivisa nei seguenti quattro TASK:

TASK1- **Osservato: dati e modelli concettuali**

TASK2- **Modelli fisici del sistema idrotermale e del sistema magmatico e modelli concettuali**

TASK3- **Avanzamento e aggiornamento dell'albero degli eventi per le fasi pre-eruttive ai Campi Flegrei**

TASK4- **Revisione di dati geofisici e geochimici ed elaborazione di modelli previsionali**

I task 1, 2 e 3 saranno focalizzati sui Campi Flegrei, mentre il task 4 riguarderà, almeno durante il primo anno, Vulcano. Non si esclude che durante gli anni successivi vengano attivate, nell'ambito del Task 4, ricerche specifiche su altri vulcani, così come potranno essere avviati studi specifici per lo sviluppo di un Albero degli Eventi per le fasi pre-eruttive a Vulcano.

I risultati principali previsti per il primo anno si concretizzeranno nei seguenti quattro **prodotti**:

1). Modello concettuale dei Campi Flegrei (rapporto) (TASKS 1 e 2**);**

2) Modello 3D del sistema idrotermale (rapporto + software) (TASKS 1 e 2**);**

3) Avanzamento e aggiornamento dell'Albero degli Eventi per le fasi pre-eruttive ai Campi Flegrei (software) (TASK 3**) ;**

4) Definizione del background e delle possibili interrelazioni per i parametri analizzati (Vulcano) (Rapporto); (TASK 4**)**

Qui di seguito (Tabella n. 1) vengono riportati i sottoprodotti aspettati per il primo anno e che contribuiranno ai prodotti principali sopra elencati. I sottoprodotti sono numerati con la seguente terminologia DXX_YY.n, dove XX = numero (numeri) identificatore del(i) TASK di riferimento; YY = numero (numeri) identificatore dell' Unità di Ricerca che produrrà il sottoprodotto; n = numero progressivo

Tabella 1: sottoprodotti aspettati per il primo anno

D1_1.1 Mappe del degassamento diffuso di CO2 alla Solfatara e stima delll'emisione totale di CO2 (UR1)
D1_2.1 Data Repository serie temporali composizione fumarole e dati GPS ai Campi Flegrei e dati di sondaggi CSAMT (Control Source Audio MagnetoTelluric) in area Solfatara di Pozzuoli (UR 2)
D12_24.1 Modello Concettuale dei segnali di unrest ai Campi Flegrei (sistema idrotermale ed interazione con fluidi magmatici) e Modello 3 D della parte superficiale (2-3 km) dei Campi Flegrei (UR2, UR4) (Report + file 3D del dominio di calcolo per applicazioni TOUGH)
D1_3.1 Modello Concettuale dei plumbing sistems di eruzioni passate dei Campi Flegrei (UR 3) (Report)
D1_4.1 Immagini della struttura dei Campi Flegrei ottenute con tecniche di interpolazione spaziale di velocità ed attenuazione (dalla tomografia) in seguito al miglioramento del software di rappresentazione delle immagini da tomografia in 3-D e 2-D. (UR4) (Report con figure)
D1_68.1 Prima valutazione delle caratteristiche principali dei segnali dalle reti di dilatometri e clinometri e relazioni con la sismicità (UR6, UR 8) (Report)
D1_6.2 Data repository a scala mondiale, per quanto concerne le possibili relazioni tra precursori osservati e i) posizione del vent; ii) taglia dell'eruzione (intensità e magnitudo) (UR6, UR8, UR9)
D1_79.1 data repository (a) dati storici Campi Flegrei e (b) segnali unrest caldere nel mondo (ultimo ventennio) (UR7, UR 9)
D1_8.1 Relizzazione data repository dilatometri da pozzo e clinometri a base lunga (UR8)
D1_10.1 Relazione scientifica sull'andamento temporale della chimica delle acque termali dell'area puteolana (UR 10)
D12_4.1 Catalogo dei tempi d'arrivo e delle forme d'onda dei terremoti simili, mappa delle localizzazioni relative, e struttura multispettrale del rumore sismico (UR 4) (rapporto)
D123_7.1 volumi (rigonfiamento, magma accumulato, magma eruttato) in unrest nel mondo (ultimo ventennio) (UR 7).
D2_4.1 Rappresentazione delle sorgenti di deformazione ottenute da inversione dei dati da imaging geodetico (UR 4)
D2_6.1 Analisi di simulazioni numeriche di dinamiche di convezione e mixing in sistemi magmatici ai Campi Flegrei, con particolare riferimento alla distribuzione spazio-temporale delle grandezze fisiche in grado di influenzare i segnali geofisici registrabili in superficie (UR 6) (report)
D2_6.2 Prime identificazioni di associazioni di segnali geofisici diagnostici di movimenti convettivi in sistemi magmatici (UR 6) (report)
D2_9.1 Rapporto conclusivo sull'applicazione del modello inverso di circolazione dei fluidi ai Campi Flegrei (UR 9)
D3_69.1 Aggiornamento dell’attuale albero degli eventi per le fasi pre-eruttive ai Campi Flegrei mediante i) valutazione delle dinamiche osservate nel corso degli ultimi anni; ii) valutazione dei più recenti risultati scientifici; iii) inclusione di associazioni di segnali oltre ai singoli segnali attualmente considerati; iv) ad uno stadio iniziale: valutazione di eventi pericolosi non eruttivi. (UR6, UR 9) (report)
D4_5.1 Sistema automatico, in near real time, per l’individuazione, il conteggio e il raggruppamento in classi degli eventi sismici dell’area della Fossa (UR 5) (software)
D4_5.2 Data repository osservato (geochimica e geofisica) a Vulcano (UR 5)
D4_10.1 Relazione su speciazione e processi di formazione di composti organici in fluidi fumarolici dell'Isola di Vulcano e loro utilizzo ai fini del monitoraggio vulcanico (UR 10)

Segue la descrizione dei singoli task, dei loro obiettivi e attività su prospettiva triennale e la descrizione delle attività che caratterizzeranno il primo anno di progetto

TASK 1 **Osservato: dati e modelli concettuali ai Flegrei**

Resposablile: Giovanni Chiodini

Le attività del task riguarderà in primo luogo il trattamento approfondito delle serie di dati acquisiti dall' Osservatorio Vesuviano. In particolare i dati GPS, i dati sismologici e i dati geochimici delle fumarole della raccolti negli ultimi 10 anni verranno esaminati criticamente insieme a quanto conosciuto del plumbing system delle passate eruzioni da studi petrologici e dalle analisi delle inclusioni dei prodotti eruttati. In questo sforzo si beneficerà di quanto parallelamente prodotto ed elaborato nell'ambito del progetto europeo VUELCO che vede coinvolti colleghi di Università campane associati alla sezione INGV di Napoli. La finalità è quella di inserire i dati geofisici, geochimici e geologico-vulcanologici in un modello concettuale, condiviso, necessario per una corretta interpretazione delle variazioni osservate. A tale scopo, grazie all'apporto di una UR universitaria specifica (UNI_RM3), si potrà usufruire di 'data repository' specifici dei fenomeni osservati e misurati durante le fasi di unrest ai Campi Flegrei e in altre caldere del mondo.
Un argomento potenzialmente molto importante per la corretta interpretazione dei segnali di unrest dei Flegrei è quello relativo all'origine di fluidi e del loro alto contenuto in CO_2, ovvero la presenza o meno di carbonati nel basamento del vulcano. Approcci diversi forniscono ad oggi risultati contrastanti essendo le interpretazioni dei dati geofisici a favore della presenza di un basamento carbonatico, mentre di opposto segno sono le interpretazioni dei dati geochimici, petrologici e vulcanologici. In prospettiva pluriennale è quindi auspicabile uno studio petrologico, anche sperimentale, che possa contribuire a definire le linee evolutive dei magmi flegrei in relazione ad una eventuale contaminazione crostale, i volumi di CO_2 d'origine metamorfica da carbonati eventualmente coinvolta e le sue implicazioni sulle dinamiche eruttive.
Infine parte dell'attività è mirata al miglioramento dell'osservato ai Campi Flegrei. Le reti osservative e di monitoraggio ai Campi Flegrei sono tra le più avanzate al mondo, ma presentano ancora alcune lacune critiche, dovute:

1. a difficoltà oggettive nella misura di alcune quantità ancora scarsamente o non misurate a livello mondiale;
2. ad una ancora non completa sistematizzazione delle procedure di ottenimento, trasferimento, e processamento dei dati di strumenti già installati;
3. alla mancanza di strumentazione adeguata sul vulcano relativamente a gravimetria e metodi elettromagnetici.

Rientrano nel primo caso le misure dei flussi di gas. Si tratta di un parametro tanto critico per le valutazioni sullo stato del vulcano quanto difficile da misurare, in particolare nel caso sistemi di grandi dimensioni come i Campi Flegrei. Attualmente il sistema di monitoraggio dei flussi ai Campi Flegrei è limitato all'area della Solfatara (includendo Pisciarelli) ed è costituito da due stazioni automatiche di misura dei flussi diffusi di CO_2, da campagne periodiche di misura in punti fissi, da sporadiche campagne di misura dell'intera area di degassamento (da notare che l'ultima campagna risale ad oltre un anno fa). Il sistema, pur avendo dato risultati positivi in situazioni specifiche, è affetto da obiettive limitazioni nella stima globale del flusso di gas e della sua evoluzione nel tempo. Tali limitazioni sono dovute al fatto che da una parte le stazioni automatiche danno risultati adatti alla valutazione delle variazioni nel tempo, ma riferite a porzioni molto limitate delle strutture degassanti (pochi dm^2), e dall'altra parte le campagne sull'intera struttura possono essere eseguite solo sporadicamente e spesso risentono delle specifiche condizioni climatiche piuttosto che di variazioni nel sistema profondo. Non vengono attualmente monitorati né i flussi dalle fumarole, che in alcuni casi possono essere di notevole entità (vedi Pisciarelli) né i flussi che interessano le zone esterne alla Solfatara.

Nel secondo caso rientrano invece i dati prodotti dalla rete di dilatometri e dai clinometri a lungo braccio dei Campi Flegrei. Tali strumenti esistono ormai da anni, ma un reale utilizzo dei dati prodotti nelle procedure di valutazione dello stato del vulcano non è mai avvenuto, né sono state prodotte o rese disponibili approfondite analisi dei dati.
Infine, nel terzo caso rientrano le misure di micro-gravità e ed elettromagnetiche, attualmente non disponibili in quanto non esistono reti specifiche su nessuno dei vulcani quiescenti italiani. Il tentativo di installazione di un primo micro-gravimetro esplorativo ai Campi Flegrei, effettuato anche nell'ambito di precedenti progetti INGV-DPC, non ha ancora prodotto risultati fruibili a livello di monitoraggio a causa di effetti locali nel sito di installazione.

Obiettivi e attività su prospettiva triennale

1.1 Modello concettuale del sistema magmatico ed idrotermale il macro-obiettivo del task 1 è la definizione del modello concettuale del sistema magmatico, di quello idrotermale e delle loro interazioni. L'obiettivo verrà raggiunto attraverso il confronto di dati petrologici, delle inclusioni dei prodotti eruttati, geochimici, geofisici tenendo in considerazione i risultati delle simulazioni numeriche (Task 2). Il modello concettuale così rivisto verrà elaborato nella sua forma finale alla fine del progetto, tuttavia fin dal primo anno ci si attende la realizzazione di un significativo avanzamento in tal senso (vedi obiettivi generali del primo anno).

1.2 Data base segnali di unrest: Si prevede la creazione di un 'data repository' dei fenomeni osservati e misurati, in epoca storica ed attuale, durante le fasi di unrest ai Campi Flegrei (inclusa l'eruzione del 1538), e di un secondo 'data repository' dei processi di unrest osservati in altre caldere. Tali 'data repository' mirano a sfruttare le conoscenze acquisite in oltre due millenni, attualmente frammentate e sottoutilizzate, per comprendere le dinamiche eruttive ed i processi di unrest dei Campi Flegrei. In una seconda fase i dati così raccolti verranno analizzati e contestualizzati sia nel modello concettuale che nei modelli probabilistici (Task 3)

1.3 Flussi e composizione dei gas: verranno eseguite (i) frequenti campagne generali sull'intera struttura della Solfatara di Pozzuoli (3-4 campagne/anno); (ii) misure di flusso delle fumarole, ed in particolare di Pisciarelli, mediante nuove tecniche spettroscopiche. Inoltre inizierà uno studio per investigare la possibilità di avere in modo relativamente semplice un segnale meglio correlato all'emissione globale della struttura e alla sua variazione nel tempo. L'indagine si baserà su misure di ^{14}C sulla vegetazione dell'area della Solfatara. Misure eseguite sporadicamente negli anni passati hanno chiaramente mostrato forti anomalie avvicinandosi alle aree d'emissione. Potenzialmente l'analisi sistematica del ^{14}C della vegetazione, campionata periodicamente da aree selezionate, potrebbe dare un segnale legato al flusso di CO_2 integrato sia nel tempo che nello spazio.

1.4 Studio della falda acquifera dei Flegrei: verranno eseguiti campionamenti della falda acquifera Flegrea per valutare eventuali variazioni rispetto a dati pregressi e quindi appurare se l'attuale periodo 'anomalo' interessa aree esterne alla Solfatara. Verranno considerati i dati prodotti in precedenti campagne di misura (dati chimici e livello della falda freatica)

1.5 Deformazioni: durante il progetto si procederà al processamento dei dati dei dilatometri e clinometri a lungo braccio e alla realizzazione di uno standard di funzionamento per la catena ottenimento-processamento-utilizzo di tali dati. Si lavorerà inoltre con tecniche di imaging geodetico su dati satellitari e sarà fatta la modellazione delle sorgenti deformative associate alle osservazioni, nonché il test dell'applicazione dei procedimenti di inversione a dati sintetici prodotti da simulazioni numeriche di un processo di UNREST, per controllare quanto questi procedimenti siano utili per evidenziare variazioni della posizione e del volume della sorgente durante il processo stesso

1.6 Gravimetria: analisi dei critica segnali acquisiti e progettazione di un nuovo esperimento di acquisizione in continuo .

1.7 Elettromagnetismo: si procederà, nel triennio, della definizione tridimensionale della distribuzione di resistività fino a 500 metri del sistema idrotermale della Solfatara tramite l'acquisizione di sondaggi CSAMT nella banda di frequenza 100000 ÷ 10 Hz. La conoscenza della struttura superficiale è un elemento critico per la valutazione di variazioni anche profonde esplorate con stazioni magnetotelluriche a larga banda (1000 ÷ 0.0001 Hz). Verrà stimato il rapporto/segnale rumore (errore sulla stima del tensore impedenza) per ottenere informazioni sulla risoluzione della variazione di resistività risolvibile a seguito di variazioni della dinamica del sistema idrotermale. La magnetotellurica esplora il parametro resistività, questo e' legato fortemente alla permeabilità ed alla porosità dei mezzi, così come alla temperatura dei fluidi. Una stazione magnetotellurica (metronix 2 canali elettrici 3 magnetici 24 bit a larga banda), disponibile all' OV-INGV, verrà lasciata in acquisizione continua in Solfatara. Verrà studiata la stima dell'impedenza nel tempo per dare una valutazione di eventuali periodicità di fondo (stagionali diurne etc.) o oscillazioni della sorgente (fluttuazioni da onda piana a campo vicino) con l'obbiettivo di definire un criterio per un uso corretto del metodo per la valutazione di variazioni della dinamica del sistema. Verranno confrontate le variazioni della resistività nel tempo con i segnali stimati dalle altre metodologie utilizzate nel progetto.

1.8 IR Termico ad immagine: le attività di progetto prevedono: (i) costante aggiornamento della banca dati di immagini TIR acquisite con cadenza giornaliera alle stazioni della rete TIIMNet operanti alla Solfatara ed a Pisciarelli; (ii) approfondimento dell'analisi delle serie temporali di dati IR ad immagine per una migliore caratterizzazione dei parametri termografici maggiormente rappresentativi della dinamica del sistema nonché, miglioramento e validazione delle procedure di identificazione e rimozione delle componenti stagionali presenti nelle serie temporali dei parametri termografici per una più precisa individuazione degli andamenti anomali a breve e medio termine; (iii) sviluppo ed automazione di programmi d'analisi di dati TIR per il controllo e la visualizzazione real-time dell'andamento spazio-temporale del campo di temperature superficiale.

1.9 Sismologia: Verranno fornite immagini delle strutture geologiche ottenute da tomografie calibrate da dati in pozzo attraverso l'utilizzo di Cluster Analysis e/o analisi di correlazione tra immagini interpolate. Verrà analizzato il rumore utilizzando un array posto al centro della caldera flegrea, con lo scopo di definirne le caratteristiche di campo d'onda, e contemporaneamente verranno applicate tecniche di cross-correlazione allo scopo di calcolare le funzioni di Green del mezzo e tecniche ICA per misurare le eventuali componenti indipendenti presenti nel rumore sismico. Infine verrà applicata a doppietti presenti nel data base la tecnica di interferometria delle onde di coda per misurare possibili variazioni temporali della velocità delle onde di taglio. Verranno calcolati i meccanismi focali (Momento tensore) e implementata una tecnica web-based per effettuare queste analisi in tempo reale. Sarà rilocalizzata la sismicità con tecniche di doppia differenza

<u>Attività primo anno</u>

1.2_1 Data base segnali di unrest: Creazione del 'data repository' dei fenomeni osservati e misurati, in epoca storica ed attuale, durante le fasi di unrest ai Campi Flegrei e creazione di un moderno 'data repository' dei processi di unrest delle caldere, con particolare attenzione all'ultimo ventennio.

1.3_1 Flussi e composizione dei gas: Esecuzione di 3 campagne di flussi sull'intera struttura dei Campi Flegrei e prime misure dei flussi delle fumarole di Pisciarelli

1.4_1 Studio della falda acquifera dei Flegrei: campionamento a larga scala per selezionare dei siti rappresentativi sui quali condurre (seconda fase) un monitoraggio bimensile. Confronto con dati pregressi. 3 Campagne campionamento su punti selezionati

1.5_1 Deformazioni: realizzazione di un data repository dei dati della rete dilatometrica installata in pozzo ai Campi Flegrei dal giugno 2004 e dal sistema formato da due clusters di clinometri a base lunga installati dal 2008 in due gallerie sotterranee dei Campi Flegrei. Acquisizione imaging geodetico su dati satellitari per simulazioni inverse (vedi TASK 2).

1.7_1 Elettromagnetismo: esecuzione di 30 sondaggi, all'interno del cratere Solfatara, CSAMT (Control Source Audio Magneto-Telluric) nella banda di frequenza 100.000 ÷ 10 Hz su una griglia di misura a spaziatura regolare. Eventuale attività di interscambio con progetto DYS_HYD (Dr Jean Vandemeulebrouck, vedi sezione *relazioni con progetti precedenti e in corso*)

1.9_1 Sismologia: Applicazione di tecniche di interpolazione alle distribuzioni spaziali delle quantità (velocità ed attenuazione) ottenute con tecniche tomografiche, per ottenere una funzione continua delle coordinate spaziali da usare nelle tecniche di cross-correlazione tra immagini. Miglioramento del software di rappresentazione delle immagini da tomografia in 3-D e 2-D. Applicazione di tecniche multicanale al rumore registrato ad un array temporaneo ai Campi Flegrei:studio della composizione multi spettrale del rumore (velocità apparente, direzionalità e composizione del campo d'onda). Test di applicazione di tecniche avanzate di cross-correlazione al rumore registrato ai campi Flegrei per la stima delle funzioni di Green del mezzo. Ricerca di terremoti simili nei data base disponibili, per ottenere gli interferogrammi delle onde di coda, e per localizzazione relativa. Rilocalizzazioni relative del dataset esistente. Per le famiglie individuate saranno calcolati i ritardi relativi usando tecniche-cross-spettrali procedendo quindi alla rilocalizzazione degli eventi usando tecniche double-difference. Calcolo dei meccanismi focali, ottenuti sulla base delle rilocalizzazioni, ed inversione per ottenere il trend delle strutture geologiche, effettuando prima un'analisi di clustering (metodo di Yamaji) e successivamente, per i cluster meglio determinati, applicando il metodo di Angelier.

TASK2- **Modelli fisici del sistema idrotermale e del sistema magmatico e modelli concettuali**

Rsponsabile: Edoardo Del Pezzo

Qualunque valutazione sullo stato del vulcano implica l'esistenza di un modello concettuale e l'utilizzo di modelli fisici. Questi ultimi hanno molteplici ruoli, tra cui i seguenti che sono particolarmente rilevanti ai fini del progetto: (i) permettono di esplorare relazioni tra grandezze fisiche, di verificare l'attendibilità dei modelli concettuali e, nel caso, definirne nuovi e più realistici, (ii) permettono di identificare associazioni di grandezze misurabili che possono consistentemente essere relazionate sia all'osservato che a processi fisici non direttamente osservabili. Nel presente progetto verranno utilizzate simulazioni numeriche basate su modelli con vario grado di complessità, sia per ottenere la stima dei parametri del modello utilizzando metodi di inversione dei dati sperimentali, sia per prevedere l'evoluzione di un particolare "stato" del vulcano seguendo l'approccio diretto. I risultati saranno combinati in un unico schema concettuale per la descrizione delle dinamiche di unrest ai Campi Flegrei, identificando i punti di convergenza e le divergenze tra i due approcci, ed in particolare analizzando le possibili interpretazioni consistenti con le osservazioni e i dati. I risultati forniranno altresì indicazioni sulle caratteristiche dei segnali che ci si aspetta siano registrati (e sulle loro associazioni) in relazione al verificarsi dei differenti processi oggetto di simulazione numerica, quali ad esempio quelli innescati in superficie dall'arrivo di gas magmatici nel sistema idrotermale o quelli innescati dall'arrivo a bassa profondità di magmi ricchi in gas.

Obiettivi e attività su prospettiva triennale

2.1 Simulazione di eventi di input di fluidi magmatici nel sistema idrotermale (modello 3-D). Le nuove simulazioni si baseranno su un modello 3-D della struttura geologica e litologica del sistema (i primi 2-3 km della caldera dei Flegrei) le cui proprietà siano stimate da dati di tomografie sismiche (Vp, Vs, e attenuazione, dati disponibili in letteratura) associati con dati misurati in perforazioni geotermiche. La definizione di questo modello strutturale rappresenterà una forte novità e porterà un miglioramento delle condizioni al contorno su cui si baseranno le simulazioni numeriche, se confrontate con quelle già ottenute da più autori a partire dal 2003 basate invece su condizioni al contorno costituite da un dominio assi-simmetrico con proprietà omogenee delle rocce. La simulazione diretta del sistema idrotermale permetterà il calcolo di diversi osservabili geofisici e geochimici che potranno essere confrontati con i segnali misurati e con quelli ottenuti simulando la dinamica del sistema magmatico. Il nuovo dominio di calcolo 3-D prodotto nel primo anno del progetto potrà successivamente essere dettagliato con l'introduzione di specifiche strutture geologiche (faglie, strutture di collasso calderico, centri eruttivi ecc.) per valutarne gli effetti nel processo di trasferimento dei fluidi verso la superficie.

2.2 Calibrazione del modello fisico, multi-fase e multi-componente che descrive la circolazione idrotermale ai Campi Flegrei e stima dei parametri di modello e delle condizioni di sistema coerenti con l'evoluzione osservata: A questo scopo verrà applicato il modello inverso di flusso multifase e multicomponente iTOUGH2 (Finsterle, 1999). Questo modello è stato sviluppato in ambito industriale e il suo utilizzo richiede un valido modello concettuale di partenza e l'esistenza di serie temporali di misure per un adeguato numero di parametri. I Campi Flegrei rappresentano quindi un contesto particolarmente adatto a sperimentare, per la prima volta, l'applicazione del modello inverso in ambito vulcanologico. Il modello inverso consentirà di valutare l'insieme di condizioni e parametri che consentono di minimizzare lo scarto fra evoluzione osservata e misurata della circolazione idrotermale. I risultati dell'inversione forniranno indicazioni utili sull'evolversi della sorgente magmatica e delle caratteristiche del mezzo poroso, e sull'incertezza che

accompagna la loro determinazione. L'inversione dei dati di monitoraggio potrà quindi raffinare il modello concettuale del sistema e contribuire all'interpretazione dei dati di monitoraggio.

2.3 Simulazione dei segnali geofisici prodotti dalla dinamica dei magmi. Un secondo obiettivo specifico riguarderà l'analisi dei segnali geofisici sintetici prodotti, nella simulazione numerica, dal moto di fluidi magmatici all'interno di sistemi complessi costituiti da resevoirs interconnessi da dicchi e diversi per taglia, profondità, geometria, e caratteristiche chimiche dei magmi ospitati. Le condizioni per le simulazioni numeriche saranno definite in modo da essere consistenti al primo ordine con quelle ipotizzate per la storia recente dei Campi Flegrei. I risultati saranno analizzati e processati al fine di identificare associazioni di segnali geofisici (sismicità, deformazione, gravimetria) caratteristici di processi convettivi in sistemi magmatici, utili per identificare tali processi nel sistema reale. E' previsto un confronto con gli andamenti risultanti dall'analisi dei segnali ai Campi Flegrei provenienti dalla rete sismica, dalla rete GPS, dai dilatometri, dai tiltmetri, e negli anni successivi, dai gravimetri.

2.4 Analisi dei limiti e delle potenzialità degli attuali metodi di regressione di segnali geofisici. I sistemi magmatici entro cui avvengono processi in grado di generare forze che si trasmettono in superficie e vengono rivelate dalle reti di monitoraggio, sono solitamente assai lontani dall'essere rappresentabili in termini di sorgenti con geometria semplicwe (es tipo 'Mogi'). In particolare, i) le geometrie possono essere assai complesse (p. es., diverse camere magmatiche connesse attraverso dicchi – una situazione che emerge come frequente ai Campi Flegrei); e ii) le forze che si originano da movimenti convettivi sono estremamente eterogenee nel tempo e nello spazio, come emerge in maniera chiara da un gran numero di simulazioni numeriche effettuate nel corso degli ultimi anni. Altre frequenti semplificazioni utilizzate nelle inversioni dei segnali geofisici comprendono l'assunzione di proprietà omogenee per le rocce, il trascurare la presenza di faglie, la superficie libera, la topografia, gli effetti visco-plastici, etc. Tutte queste semplificazioni implicano un elevato grado di incertezza nella definizione della sorgente dei segnali geofisici, che deve necessariamente essere valutata. Nel presente progetto sarà in particolare valutato il ruolo di geometrie complesse e di distribuzioni di forze non omogenee, quali quelle prodotte dalle simulazioni dei processi convettivi in sistemi magmatici, confrontando i segnali sintetici prodotti dalle simulazioni con le inversioni basate su assunzioni semplificative. I risultati di tale studio i) contribuiranno a definire con maggiore chiarezza le incertezze associate all'inversione di segnali realmente registrati dalle reti di monitoraggio, e ii) forniranno una base di conoscenze su cui impostare, in futuri progetti, uno studio dedicato alla formulazione di più avanzati metodi di regressione.

Attività primo anno

2.1_1 Realizzazione del modello 3-D e prime simulazioni: Realizzazione del modello 3_D della struttura geologica del sistema idrotermale dei Campi Flegrei in termini di parametri fisici legati alla litologia (porosità, permeabilità) e alla distribuzione delle fasi fluide (gas/liquido). Verranno esaminati i risultati di tomografie "travel time" e di attenuazione, e sarà tentata una correlazione con i dati di porosità , permeabilità e velocità misurati in pozzi, per ottenere una nuova immagine tomografica basata sulla distribuzione spaziale estrapolata di queste quantità. Verranno utilizzati metodi basati su "Cluster Analysis" e/o su correlazione diretta delle quantità interpolate spazialmente. Una prima simulazione basata sul modello 3-D è mirata alla valutazione dei segnali attesi in relazione alle dimensioni e alla localizzazione della sorgente magmatica.

2.2._1 Calibrazione del modello: Definizione di un modello concettuale di partenza, condiviso con tutte UR del progetto; identificazione del set di dati idoneo ad effettuare la calibrazione del modello di circolazione dei fluidi. Inversione delle serie temporali di dati disponibili e determinazione dei

parametri e condizioni del modello coerenti con l'evoluzione osservata. Perfezionamento del modello concettuale e interpretazione dei dati di monitoraggio..

2.3._1 Individuazione di segnali geofisici diagnostici del verificarsi di processi convettivi in sistemi magmatici. I risultati di simulazioni numeriche di processi di convezione e mixing in sistemi magmatici a geometria 2D complessa (una o più camere magmatiche connesse da dicchi) saranno analizzati e trasformati in forze agenti sul sistema di rocce circostanti. Tali forze saranno poi propagate al fine di ottenere segnali geofisici sintetici (deformazioni del suolo verticali, orizzontali, e tilt; scuotimenti sismici; variazioni nel campo gravitazionale) che saranno studiati al fine di individuare le caratteristiche di primo ordine dei segnali attesi. Si prevede un primo confronto con i segnali prodotti dalle reti dilatometriche e clinometriche ai Campi Flegrei, messe a disposizione nell'ambito del Task 1.

TASK 3 **Avanzamento e aggiornamento dell'albero degli eventi per le fasi pre-eruttive ai Campi Flegrei**

Responsabile: Paolo Papale

L'insieme delle conoscenze sui Campi Flegrei sarà organizzata in uno schema coerente che permetterà la valutazione probabilistica dello stato del vulcano e delle sue possibili evoluzioni a breve termine. Tale schema sarà costituito da un Albero degli Eventi nel quale le osservazioni, unitamente alla conoscenza della storia passata del vulcano, costituiranno l'input, mentre l'output sarà costituito da una distribuzione di probabilità in relazione allo stato del vulcano.
Gli studi per la definizione di un tale Albero degli Eventi ai Campi Flegrei sono iniziati nel corso di precedenti progetti INGV-DPC (Progetti 2004-06 V3_2 Campi Flegrei, e 2007-09 UNREST). Nel corso di 5 anni di sperimentazione, è stato realizzato un prodotto che considera quattro diversi stati del vulcano: Background; Unrest; Unrest Magmatico; Eruzione. La definizione dei parametri e delle soglie critiche all'interno dell'Albero degli Eventi è stata effettuata attraverso il metodo della "Expert Elicitation", applicando 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 l'opinione più completa e condivisa in un'unica "espressione". E' implicito nel metodo il fatto che le più recenti osservazioni e i risultati dei nuovi studi vengano continuamente dibattuti dalla comunità scientifica, al fine di identificare le conoscenze da ritenersi più solidamente acquisite, e quelle su cui le interpretazioni sono meno univoche o che necessitano di ulteriori approfondimenti. In particolare, la comunità scientifica partecipante al progetto è attivamente coinvolta da lungo tempo in studi, ricerche, e attività di monitoraggio ai Campi Flegrei; è quindi depositaria di un'ampia conoscenza sul vulcano, che viene continuamente implementata e lo sarà ulteriormente nel corso del progetto con la realizzazione di una serie di obiettivi scientifici di grande rilevanza per la comprensione dello stato del vulcano e delle possibili dinamiche associate a nuove fasi di unrest, che conducano o meno ad una eruzione. Nell'ambito delle attività del presente Task tali conoscenze saranno condivise, discusse, ed organizzate in uno schema logico che rappresenti la visione d'insieme della comunità di esperti riunita nel progetto.
Le attività effettuate nel corso dei passati progetti hanno portato alla creazione di un sito web dedicato all'Albero degli Eventi per le fasi pre-eruttive ai Campi Flegrei, attraverso il quale è possibile i) portare avanti discussioni via forum, conservando una memoria archiviata e accessibile di quanto proposto, ipotizzato, considerato, commentato, etc. da parte dell'intera comunità scientifica coinvolta nel progetto; ii) effettuare elicitazioni on-line; iii) processare i dati delle elicitazioni e ottenere parametri e soglie in maniera rapida e semi-automatica. Tale sito sarà ugualmente utilizzato nel corso del presente progetto.
La condivisione e discussione delle nuove conoscenze prodotte nell'ambito del progetto riguarderà una comunità più ampia di quella del progetto, includendo altri esperti e in particolare coloro che si occupano a vario titolo del monitoraggio e della sorveglianza ai Campi Flegrei, e coloro che si sono negli anni occupati di approfondire le conoscenze sulla storia eruttiva del vulcano. Tale ampia comunità sarà regolarmente invitata a partecipare attivamente alle riunioni di progetto, e a contribuire alla realizzazione dell'Albero degli Eventi.
Nel corso del primo anno di attività saranno organizzate nell'anno di progetto un minimo di **tre riunioni** dedicate. Le prime due riunione (orientativamente: la prima entro i primi quattro mesi di progetto; la seconda intorno all'ottavo mese di progetto) saranno limitate ai partecipanti al progetto, più eventuali esperti invitati in relazione a questioni di particolare rilevanza. La terza riunione, da tenersi all'approssimarsi della fine del primo anno, sarà costituita da un **workshop** dedicato e aperto all'intera comunità scientifica. Nel corso del workshop saranno presentati i) l'evoluzione dello stato del vulcano come emerge dai dati delle reti di monitoraggio; ii) l'Albero degli Eventi come prodotto al termine del progetto UNREST, ed eventualmente come ulteriormente sviluppato nel corso del progetto; iii) i risultati delle ricerche effettuate nel corso del progetto, con particolare riferimento a

proposte per modifiche e aggiornamenti dell'Albero degli Eventi. Ampio spazio sarà dato alle discussioni, guidate sulle problematiche relative all'Albero degli Eventi. Infine, si procederà ad un nuovo aggiornamento dell'Albero degli Eventi coinvolgendo l'intera comunità scientifica partecipante.

Gli obiettivi del Task vengono riportati di seguito, suddivisi per obiettivi triennali ed obiettivi al primo anno.

Obiettivi e attività su prospettiva triennale

3.1 Aggiornamento continuo dell'Albero degli Eventi per le fasi pre-eruttive ai Campi Flegrei, alla luce delle nuove osservazioni e dei nuovi modelli sviluppati negli ultimi anni e nel corso degli anni di progetto. Si farà ampio utilizzo del metodo "Delphi" sopra ricordato, avvantaggiandosi dell'esperienza acquisita nel corso dei progetti nell'ambito delle scorse due Convenzioni INGV-DPC. Il punto di partenza sarà costituito dall'Albero degli Eventi risultante da tali progetti, discutendone approfonditamente nel corso di riunioni dedicate le caratteristiche in termini di parametri e soglie, in particolare alla luce delle nuove conoscenze acquisite e dell'attuale comportamento della caldera dei Campi Flegrei. Aggiornamenti sono previsti per ciascuno degli anni di progetto.

3.2 Inclusione nell'Albero degli Eventi dei nodi 4 (posizione del/dei vent) e 5 (taglia dell'eruzione) in relazione al breve termine, ossia in relazione alle osservazioni dalle reti di sorveglianza e monitoraggio ai Campi Flegrei. Si tratta di obiettivi estremamente ambiziosi e di difficile realizzazione, in particolare per quanto concerne le relazioni tra osservato e taglia dell'eruzione (intensità e magnitudo) per le quali non esiste oggi al mondo uno schema di riferimento generalmente accettato o un metodo o modello ritenuto affidabile. Nell'ambito del progetto tali questioni saranno ampiamente affrontate e dibattute attraverso i) l'analisi dei meccanismi eruttivi e dei fattori che determinano diverse scale eruttive; ii) la valutazione della possibilità di identificare o comunque vincolare tali fattori sulla base delle osservazioni pre-eruttive; iii) la creazione di un 'data repository' a scala mondiale per quanto concerne le osservazioni pre-eruttive e la scala/stile eruttivi verificatisi; iv) l'analisi statistica multi-variata di tale 'data repository'; v) la condivisione e discussione delle conoscenze e dei risultati ottenuti, ed eventualmente l'elicitazione degli esperti su tali tematiche. In relazione alla posizione del/dei vent (intendendo possibile la situazione di apertura contemporanea di più bocche eruttive), sarà particolarmente critica la valutazione dei tempi, in particolare del tempo in anticipo rispetto all'eruzione al quale la probabilità di apertura di un nuovo vent diviene in una certa area sufficientemente elevata rispetto alle aree circostanti. Tale problema sarà affrontato mediante i) l'analisi dei processi fisici che accompagnano la migrazione del magma verso la superficie e la contemporanea fratturazione delle rocce; ii) la valutazione del tipo di segnali attesi in relazione a tali processi, e dell'informazione che essi contengono in relazione alle aree di possibile apertura; iii) la valutazione di situazioni analoghe su altri vulcani al mondo; iv) l'analisi approfondita delle cronache storiche relative all'eruzione dei Campi Flegrei del 1538; v) la condivisione e discussione delle conoscenze e dei risultati ottenuti, ed eventualmente l'elicitazione degli esperti su tali tematiche.

3.3 Inclusione nell'Albero degli Eventi di eventi potenzialmente pericolosi in relazione alle dinamiche di unrest, indipendentemente dal verificarsi o meno di una eruzione. Durante la crisi del 1982-84 vennero evacuate circa 40.000 persone dalla città di Pozzuoli, in seguito al pericolo di crolli originatosi come conseguenza delle intense deformazioni e dello scuotimento associato ai numerosi sciami sismici verificatisi. Sebbene il verificarsi di una eruzione costituirebbe un pericolo di ordine decisamente maggiore, è chiaro che le dinamiche di unrest possono di per sé costituire un

pericolo con conseguenze non trascurabili per la sicurezza delle infrastrutture e delle persone. Ulteriori possibili eventi che saranno considerati comprendono il possibile verificarsi di esplosioni freatiche e di eventi di degassamento, in particolare di fluidi ricchi in anidride carbonica, in aree intensamente abitate.

3.4 Studio di fattibilità per l'inclusione delle valutazioni mediante Albero degli Eventi tra le attività regolarmente effettuate dalla comunità scientifica per conto del Dipartimento della Protezione Civile. L'Albero degli Eventi permette di sintetizzare una grande quantità di conoscenze di natura diversa (es. osservazioni da reti di monitoraggio, interpretazioni basate su modelli numerici e modelli concettuali, conoscenze sulla storia eruttiva del vulcano o sul comportamento generale di vulcani analoghi, etc.) in un unico quadro condiviso e consistente, rappresentante la visione d'insieme di un'ampia comunità scientifica. Le valutazioni prodotte dall'Albero degli Eventi sono in termini di distribuzioni di probabilità, quindi in una forma immediatamente utile per le valutazioni successive da parte dei decision-makers (quale la Protezione Civile). Sebbene per le fasi pre-eruttive dei Campi Flegrei l'esperienza in tal senso sia ormai pluriennale e sarà ulteriormente aumentata nel corso del presente progetto, al momento tali valutazioni non costituiscono ancora parte delle comunicazioni regolari tra la comunità scientifica che sorveglia il vulcano e il DPC. L'inclusione delle valutazioni mediante Albero degli Eventi all'interno di una catena operativa tra ricercatori e Protezione Civile richiede una serie di considerazioni e passaggi, tra cui i) l'analisi degli effettivi vantaggi di valutazioni probabilistiche basate sull'Albero degli Eventi, in termini di capacità di sintetizzare informazioni disparate, produrre valutazioni affidabili, comunicare correttamente le incertezze associate, e non ultimo, da parte del DPC, disporre di una informazione sintetica in termini di probabilità e incertezze; ii) la messa in opera di una procedura standard per l'utilizzo e l'aggiornamento costante dell'Albero degli Eventi. Entrambi questi punti saranno valutati nel corso del progetto, ovviamente essendo il punto ii) vincolato a risultanze positive per quanto concerne il punto i).

<u>Attività primo anno</u>

3.1_1 Applicazione retrospettiva dell'Albero degli Eventi definito al termine del progetto UNREST per il periodo 2009-2012, al fine di rappresentare lo stato attuale delle conoscenze rispetto alle stime di probabilità che la comunità scientifica italiana e' in grado di attribuire a diversi eventi vulcanici rilevanti (unrest; unrest magmatico; eruzione) ai Campi Flegrei.

3.2_1 Primo aggiornamento dell'Albero degli Eventi per le fasi pre-eruttive ai Campi Flegrei, alla luce delle nuove osservazioni e dei nuovi modelli sviluppati negli ultimi anni e nel corso degli anni di progetto. Al termine del primo anno di progetto l'Albero degli Eventi sarà aggiornato per quanto concerne la definizione di parametri e soglie, che saranno rivalutati per tenere conto dell'evoluzione del sistema flegreo e delle conoscenze scientifiche.

3.3_1 Inclusione di associazioni di segnali oltre ai singoli segnali attualmente considerati. Gli sviluppi recenti sia nel campo dell'analisi dei dati dalle reti di sorveglianza e monitoraggio, sia in campo modellistico, permettono di effettuare un ulteriore avanzamento attraverso la definizione di associazioni di segnali, aventi un carattere diagnostico superiore rispetto ai singoli segnali attualmente considerati.

3.4_1 Prima valutazione di eventi pericolosi non eruttivi. Entro il primo anno i) saranno identificati gli eventi associati alle dinamiche di unrest in grado di determinare situazioni di pericolo; ii) inizieranno le attività per introdurre tali eventi in opportuni rami dell'Albero degli Eventi; iii) sarà condotta una discussione collegiale, da ripetersi nel corso delle riunioni di progetto, per identificare le relazioni tra osservabili e probabilità del verificarsi di tali eventi; iv) in funzione

dell’efficacia di tali discussioni, sarà valutato se inserire i relativi parametri e soglie in una elicitazione finale, e produrre una prima visione d’insieme da sviluppare ulteriormente nel corso degli anni successivi.

3.5_1 Creazione di un 'data repository' per le relazioni tra osservato pre-eruttivo ed i) eruzione conseguente (stile, intensità, magnitudo), ii) posizione del vent. Al fine di valutare la possibilità – ad oggi ancora non conseguita a livello mondiale – di stabilire relazioni tra ciò che si osserva prima di una eruzione e la scala dell’eruzione attesa, nel corso del primo anno sarà creato un 'data repository' che comprenderà casi da eruzioni in differenti regioni del mondo. Allo stesso modo, sarà costituito un 'data repository' per le relazioni tra osservato e posizione della bocca eruttiva, in questo caso con particolare riferimento alle scale temporali. Tali 'data repository' costituiranno la base per analisi statistiche per mezzo di tecniche multi-parametriche di pattern recognition, al fine di ricercare eventuali patterns che possano essere utilizzati come guida per le valutazioni ai Campi Flegrei. Contemporaneamente sarà portata avanti una discussione a livello di progetto, invitando ciascun ricercatore ad offrire quanto le proprie ricerche e le proprie conoscenze permettono di stabilire sull’eventuale esistenza di relazioni tra osservato pre-eruttivo e scala dell’eruzione o posizione del vent. Tali discussioni potranno fornire elementi utili per le ricerche di eventuali patterns nel 'data repository'.

Task 4 **Revisione di dati geofisici e geochimici ed elaborazione di modelli previsionali**

Responsabile: Antonio Paonita

A partire dalla fine degli anni 70, l'isola di Vulcano è stata interessata da numerose crisi contraddistinte dalla simultanea occorrenza di variazioni composizionali delle fumarole, aumento dei flussi di fluidi, aumento delle temperature, sequenze sismiche e deformazioni localizzate nell'area della Fossa, che hanno riprodotto a scala minore quanto si osserva ai Campi Flegrei. La mole di dati ottenuti ed il conseguente modello fisico di funzionamento che ne è derivato, hanno consentito di interpretare questi eventi come il risultato dell'arrivo in superficie di grandi quantità di fluidi magmatici. L'apporto di tali fluidi e la loro interazione con un sistema idrotermale circolante nel corpo roccioso sotto La Fossa, sembra avere un ruolo chiave nell'innesco dell'escalation eruttive. Come accaduto in passato (e.g. ultima eruzione), le fasi iniziali eruttive sono state infatti segnate dall'esplosione del sistema geotermico-idrotermale, per poi evolvere verso dinamiche esplosive, formazione di correnti piroclastiche e fenomeni di instabilità di versante.
L'integrazione degli studi geochimici con i risultati geofisici ha messo in luce la stretta relazione tra dinamiche magmatiche ed idrotermali nel sistema e la loro dipendenza dallo stato di stress dell'area. Tuttavia, un reale approccio multidisciplinare non è finora stato condotto in modo sistematico, specialmente considerando l'enorme massa di dati disponibile. Questo task è dunque finalizzato ad una revisione di tutti i dati esistenti dalla fine degli anni 70, integrandoli in un unico 'data repository' con l'obbiettivo prioritario di un'analisi congiunta. La domanda è: perchè nel 79-81, nell'85, nell'88 ecc. non sono avvenute eruzioni? È possibile distinguere un unrest che genera una crisi di degassamento da un unrest che porta all'eruzione? può essere in qualche modo stimata la taglia dell'evento eruttivo a partire dalla sequenza dei fenomeni precursori che lo accompagnano? I risultati saranno utili per esaminare il caso più complesso dei Campi Flegrei.
Deve essere rimarcato che il livello conoscitivo necessario per dare risposta alle suddette questioni richiede comunque l'implementazione dei network di acquisizione e dei parametri investigati. In aggiunta al monitoraggio on-line delle temperature di emissione delle fumarole (attualmente effettuato su due siti craterici), lo sviluppo di sistemi di acquisizione in tempo reale di parametri geochimici (ad es. concentrazioni di CO_2, He, specie reattive) permetterebbe un salto conoscitivo del sistema e l'individuazione di nuovi precursori potenzialmente discriminanti tra episodi di semplice incremento del degassamento e vere fasi pre-eruttive. Il budget dei volatili coinvolti nel sistema non è stato studiato in modo sistematico, mentre è noto che possa fornire inferenze riguardo ai volumi di magma interessati in una fase di unrest, e dunque l'entità dell'eruzione attesa. In questa direzione devono ancora essere compiuti sforzi per la stima del flusso di gas (CO_2, SO_2) ed energia (estensione e monitoraggio termico del campo fumarolico) emesso dall'area craterica de La Fossa, oltre che per la valutazione della quantità di fluidi veicolati dall'acquifero termale nell'area di Vulcano Porto. L'importanza dei gas fumarolici nella valutazione dello stato di attività richiede infine che siano svolte ulteriori indagini conoscitive, mirate a mettere in luce le relazioni tra fluidi esalati in superficie e fluidi magmatici profondi presenti come inclusi nelle vulcaniti.
Dal punto di vista geofisico, una migliore parametrizzazione della sismicità potrà essere ottenuta attraverso i dati di una rete più estesa, che permetteranno di vincolare meglio posizione e natura delle sorgenti sismiche dell'area del cono de La Fossa e Vulcanello e che possano essere individuati come eventuali indicatori di processi pre-eruttivi. Ciò deve comunque transitare attraverso la realizzazione di un sistema di conteggio e analisi in automatico degli eventi sismici dell'area della Fossa che consenta di avere un monitoraggio in tempo reale dell'attività.

Obiettivi e attività su prospettiva triennale

4.1 'data repository' segnali geofisici e geochimici dal 1978: L'obbiettivo del Task sarà rappresentato dalla ricerca, valutazione ed acquisizione dei dati geofisici e geochimici a partire dal 1978, ai fini della compilazione di un unico 'data repository' dell'osservato a Vulcano. Con riferimento alla geochimica, lo studio sarà mirato alla raccolta delle seguenti tipologie di dati: 1) composizione chimica ed isotopica delle fumarole crateriche e della Spiaggia di Levante, 2) composizione chimica, isotopica e parametri chimico-fisici degli acquiferi termali nell'area di Vulcano Porto, 3) flussi di gas dal cratere de La Fossa, con riferimento a H_2O, CO_2 ed SO_2, 4) estensione e stato termico del campo fumarolico de La Fossa. Con riferimento alla geofisica, il Task si focalizzerà su dati di: 1) deformazione dell'edificio de La Fossa e della Caldera dei Lentia, 2) sismicità locale, con particolare riferimento agli eventi LP. In definitiva si dovrebbe pervenire allo sviluppo di un sistema multidisciplinare che consenta un reale miglioramento conoscitivo ed una più affidabile valutazione dello stato di attività. In aggiunta si prevede una indagine volta alla ricerca su documenti storici dei segnali di unrest che hanno accompagnato le eruzioni recenti.

4.2 Sviluppo sistemi osservativi: si prevede: 1) lo sviluppo di un sistema in continuo per l'acquisizione di dati chimici (tramite MicroGascromatografo) presso le emissioni di Spiaggia di Levante e, dipendentemente dai risultati di questa fase di sperimentazione, in area craterica, 2) misure di flussi di SO_2 con tecniche DOAS (rete in continuo e misure discrete) e telecamera UV (misure discrete, link con UR UniPa), 3) prelievi periodici nelle fumarole in area craterica per la misura di parametri chimici ed isotopici (link con UniBo per i VOC), 4) campagne periodiche per l'acquisizione di immagini termiche e GPS, orto-rettifica delle immagini acquisite dalla telecamera, con confronto tra misure successive (eseguite con la stessa modalità) ai fini valutare l'attuale estensione dell'area fumarolica e le sue variazioni, 5) campagne per la misura del budget di volatili in falda, con prove di pompaggio ed acquisizione dei parametri chimico-fisci, 6) studio della composizione chimica ed isotopica delle inclusioni fluide nelle vulcaniti primitive ed evolute, per la comparazione con la geochimica delle fumarole, 7) localizzazione delle sorgenti sismiche dell'area del cono de La Fossa, 8) evoluzione temporale dei parametri della sismicità locale (in stretta correlazione con i parametri geochimici), 9) perfezionamento del sistema automatico sugli eventi sismici e passaggio al *real-time.*10) Studio dei composti organici emessi dalle fumarole (UR UNI_FI-UNI_BO)

Attività primo anno

4.1_1 'data repository' segnali geofisici e geochimici dal 1978: Lavoro di ricerca e raccolta dei dati geochimici e geofisici per un periodo temporale selezionato comprendente almeno una delle anomalie esalative di rilievo (e.g. 1988, 1996 o 2004). Integrazione dei dati e tentativo di valutazione multidisciplinare *a-posteriori* dello stato di attività.

4.2_1 Sviluppo sistemi osservativi: Sperimentazione di un MicroGascromatografo presso la Spiaggia di Levante ed inizio acquisizione in continuo. Stima in continuo delle condizioni geobarometriche del sistema idrotermale ai fini di rilevare eventuali tendenze verso condizioni di pressurizzazione in profondità. Esecuzione di 1-2 campagne per misure di flussi di SO_2 con tecnica DOAS e/o telecamera UV. Valutazione del livello di degassamento del sistema vulcanico. Misure termiche puntuali e da telecamera fissa, già installata all'interno del cratere La Fossa a 400m metri di distanza dal campo di fumarole maggiormente attive. Queste misure permetteranno di acquisire una serie di immagini termiche per mappare le variazioni areali nel tempo della zona di interesse e eseguire un stima del livello di attività esalativa. Il confronto delle immagini acquisite con identica geometria (pixel /dimensioni) faciliterà notevolmente i tempi di analisi. Inoltre saranno necessarie

nuove misure di posizionamento di precisione tramite GPS in modalità fast-static su dei punti intorno all'area interessata dalle fumarole. Esecuzione di una prova di pompaggio in un pozzo selezionato e valutazione preliminare del budget di volatili vulcanici veicolati dall'acquifero termale. Realizzazione di un sistema automatico, in *near real time*, per l'individuazione, il conteggio e il raggruppamento in classi degli eventi sismici dell'area della Fossa. Il sistema potrà fornirà inoltre informazioni su ampiezza e contenuti spettrali. 3 campagne di campionamento fluidi fumarolici per studio composti organici (UR UNI_FI-UNI_BO)

Relazioni con progetti precedenti e in corso

I progetti nell'ambito della Convenzione INGV-DPC 1999-2001 (poi slittata al 2001-2003) furono organizzati su linee di ricerca precedentemente definite che per scelta non vennero focalizzate su specifici vulcani o aree vulcaniche, tranne che nel caso dei Campi Flegrei. Si ritenne infatti all'epoca che le conoscenze su tale vulcano, caratterizzato da un elevatissimo rischio, fossero ancora poco sviluppate rispetto ad altri vulcani italiani. Da allora sono stati finanziati nell'ambito di Convenzioni INGV-DPC ben 6 progetti interamente o largamente dedicati ai Campi Flegrei. Insieme ad altri sviluppati in diversi ambiti (MIUR, PON, UE), alcuni dei quali in corso, tali progetti hanno elevato il grado di conoscenza del vulcano Campi Flegrei ad un livello tale che oggi può essere a ragione ritenuto tra i vulcani meglio studiati al mondo. Tali conoscenze costituiscono l'ovvia base di partenza su cui si innestano le ricerche nel presente progetto.

In particolare, sono di rilievo le relazioni con (i) il progetto INGV-DPC 2007-2009 UNREST, (ii) con il progetto EU FP7 VUELCO (attualmente in corso), (iii) con il parallelo progetto V1 nell'ambito dell'attuale Convenzione.

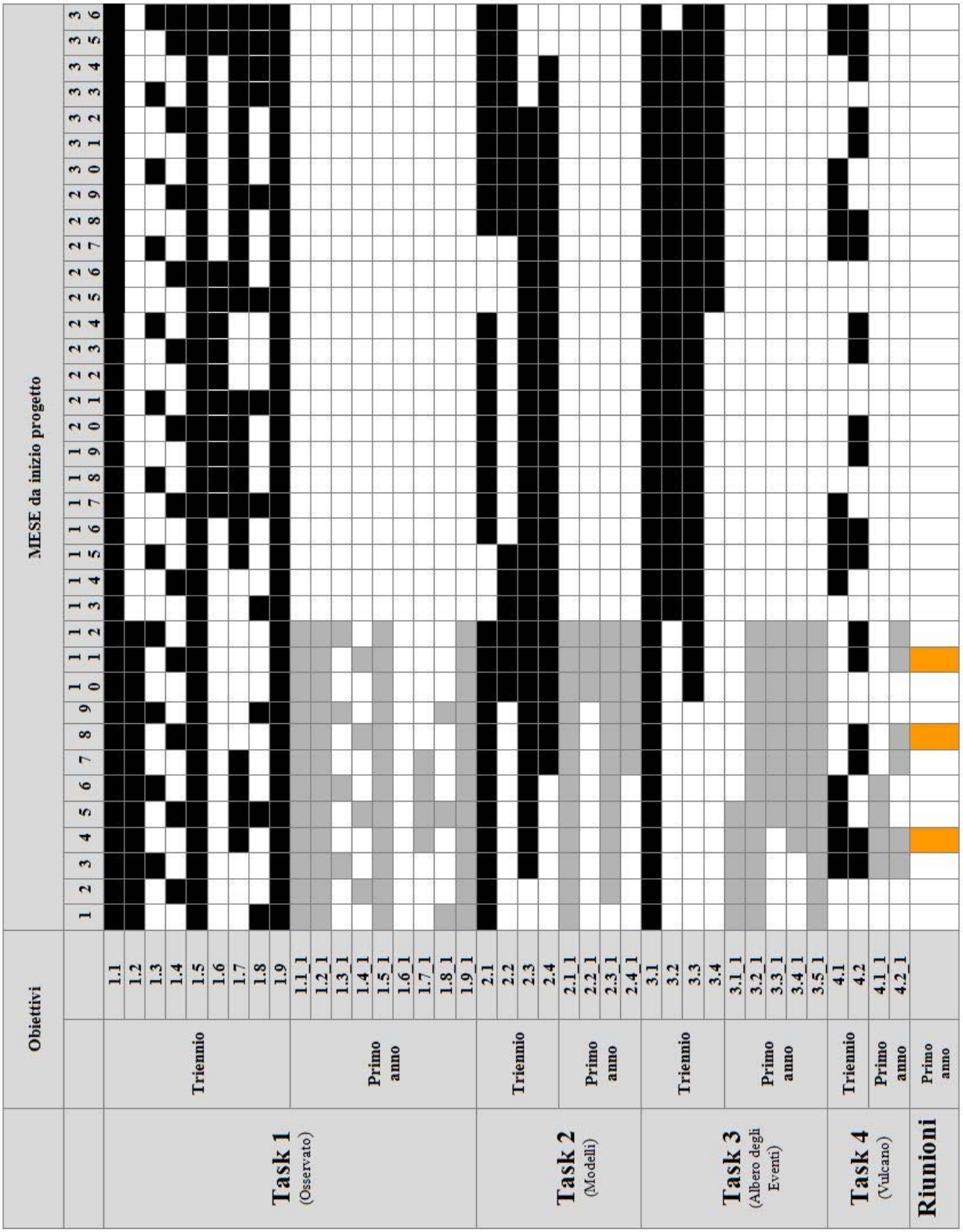
Nell'ambito del progetto UNREST era stato sviluppato un Albero degli Eventi per le fasi pre-eruttive ai Campi Flegrei, la cui definizione era iniziata nel corso del progetto INGV-DPC 2004-2006 V3_2 Campi Flegrei. Tale Albero degli Eventi costituisce il punto di partenza per le ricerche nell'ambito del Task 3, come definito nella relativa descrizione del Task. Ugualmente, gli avanzamenti nella conoscenza del sistema magmatico e idrotermale dei Campi Flegrei, descritti nella sezione dedicata allo Stato dell'Arte, le conoscenze sulle dinamiche di convezione e mixing dei magmi e di circolazione del sistema idrotermale ottenute su base modellistica, che saranno largamente utilizzate e ulteriormente implementate nel presente progetto, si basano in larga misura sui risultati conseguiti nel corso dei progetti dedicati a tale vulcano nell'ambito delle ultime due Convenzioni.

Nell'ambito del progetto VUELCO, cui l'INGV partecipa con le sezioni di Pisa, Roma1 e Napoli, sono previsti studi complementari a quelli del presente progetto. Il progetto VUELCO affronta infatti il tema dell'unrest vulcanico, e include i Campi Flegrei tra i vulcani oggetto di studi specifici. In particolare sono previsti studi di petrologia e geochimica, simulazioni numeriche, e valutazioni di pericolosità in un quadro ampio che include il confronto con altri vulcani pericolosi in Europa e America Latina. E' previsto inoltre, in collaborazione col DPC che rappresenta un partner in VUELCO, un esercizio da svolgersi ai Campi Flegrei verosimilmente nel 2013. Tale esercizio consiste nella simulazione di una situazione di emergenza conseguente ad un aumento delle dinamiche di unrest, e seguirà uno analogo che si svolgerà nel novembre 2012 al vulcano Colima in Messico. Nell'esercizio da svolgersi ai Campi Flegrei sarà coinvolto un numero consistente di ricercatori impegnati nel presente progetto anche se non direttamente partecipanti in VUELCO, oltre al DPC che del presente progetto è il committente, contribuendo ad assicurare un ottimo livello di interscambio tra le ricerche a livello nazionale e quelle in ambito internazionale condotte nell'ambito di VUELCO.

Nell'ambito della presente Convenzione è previsto un progetto (V1) che affronta il tema della pericolosità di medio/lungo termine, e che include i Campi Flegrei tra i vulcani oggetto di studi. In tale progetto (attualmente in fase di costituzione come il presente progetto) sarà prevalentemente analizzata la storia passata dei Campi Flegrei e saranno eseguite simulazioni numeriche al fine di definire possibili scenari eruttivi. In maniera complementare, nel presente progetto (V2) l'attenzione è invece rivolta al breve termine, e l'obiettivo è comprendere come le informazioni provenienti dalle reti osservative modifichino le valutazioni a medio/lungo termine, in termini di probabilità i) del verificarsi di una eruzione, ii) di localizzazione del/delle bocche eruttive, e iii) del realizzarsi di una data fenomenologia e scala eruttiva. E' quindi ovvio che i due progetti V1 e V2 sono fortemente complementari. In termini Bayesiani i risultati del progetto V1 rappresentano la stima della probabilità "*prior*" (medio/lungo termine) su cui vengono innestate le osservazioni per

giungere alla valutazione della probabilità "*posterior*" (breve termine). Si prevede quindi un continuo interscambio e una continua interazione tra il presente progetto (V2) e il progetto V1.
Si segnala infine la possibilità di una stretta collaborazione con due altri progetti internazionali: il progetto DYS_HYD (DYnamique des Systmes HYDrothermaux ") che è stato sottomesso nel Giugno 2012 dal Dr Jean Vandemeulebrouck al OSUG ('Observatoire des Sciences de l'Univers de Grenoble') e il progetto DECADE, un progetto per la valutazione dell'emissione di CO_2 vulcanica a scala globale che è in corso di strutturazione. Lo scopo di DYS_HYD è quello di eseguire un esperimento per monitorare la resistività elettrica lungo una sezione passante per la Solfatara di Pozzuoli. Il progetto, a cui partecipano ricercatori INGV-OV, nel caso venga finanziato, offrirebbe l'opportunità di avere disponibili dati unici sulle variazioni osservate nell'area per un periodo di un anno fino ad una profondità di 150 m. Tali variazioni possono essere causate da cambiamenti di fase dei fluidi (liquido-vapore e viceversa) un processo che si ipotizza possa avvenire in modo significativo durante i momenti d'iniezione di fluidi magmatici nel sistema idrotermale della Solfatara. In cambio saranno resi disponibili i dati di flusso di CO2 acquisiti nell'area nel corso del progetto.
Infine nell'area Flegrea è in corso il progetto Campi Flegrei Deep Drilling Project (CFDDP, responsabili De Natale e Troise) che prevede nell'immediato futuro lo studio della struttura geologica e le condizioni del sistema acquifero-idrotermale attraverso l'esecuzione di perforazioni a profondità fino a 500 m (area di Bagnoli). E' prevista la possibilità di attivare, a partire dal secondo anno di progetto INGV-DPC V2, attività specifiche in collaborazione con il CFDDP (volte ad esempio ad una migliore conoscenza dell'origine dei fluidi circolanti nel sistema, delle condizioni di T-P degli acquiferi, alla possibilità di un monitoraggio in pozzo dei parametri che verranno ritenuti più idonei, ecc.)

Tempistica delle attività (Gantt diagram)



	Unità di Ricerca											
Categoria di spesa	**UR-1**	**UR-2**	**UR-3**	**UR-4**	**UR-5**	**UR-6**	**UR-7**	**UR-8**	**UR-9**	**UR-10**	**Totale Categoria di spesa**	
1) Spese di personale	5900	4000		2000	3900	3900			1420	2670	**23790**	
2) Spese per missioni	5380	5000	9000	7000	18000	3100	3260	5000	8200	13830	**77770**	
3) Costi amministrativi (solo per Coordinatori di Prog.)												
4) Spese per studi,ricerche e prestazioni professionali	42000	26400				26400	33820	22950			**151570**	(*)
5) Spese per servizi			4000					14500				
6) Spese per materiale tecnico durevole e di consumo		3030	13280	6480	13380	2500		1830	3160	7530	**51190**	
7) Spese indirette	5920	4270	2920	1720	3920	3300	4120	4920	1420	2670	**35180**	
Totale UR	**59200**	**42700**	**29200**	**17200**	**39200**	**39200**	**41200**	**49200**	**14200**	**26700**	**358000**	**Totale**

(*) nota: include spese assegni, borse ecc. più costi subcontratti

Bibliografia

Alparone S., Cannata A., Gambino S., Gresta S., Milluzzo V., Montalto P. (2010), Time-space variation of the volcanoseismic events at La Fossa (Vulcano, Aeolian Islands, Italy): new insights into seismic sources in a hydrothermal system, Bull. Volcanol. 72, 803-816.

Arienzo I., Moretti R., Civetta L., et al., 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, DOI: 10.1016/j.chemgeo.2009.11.012

Arienzo I., Civetta L., Heumann A., et al., 2009. Isotopic evidence for open system processes within the Campanian Ignimbrite (Campi Flegrei-Italy) magma chamber . BULLETIN OF VOLCANOLOGY, 71, 285-300, DOI: 10.1007/s00445-008-0223-0

Caliro, S., Chiodini, G., Moretti, R., Avino, R., Granieri, D., Russo, M., Fiebig, J., 2007. The origin of the fumaroles of La Solfatara (Campi Flegrei, South Italy). Geochim. Cosmochim. Acta 71, 3040–3055.

Carapezza M., Nuccio P. M., and Valenza M. (1981) Genesis and evolution of the fumaroles of Vulcano (Aeolian Islands, Italy): A geochemical model. Bull. Volcanol. 44, 3, 547–563.

Capasso G., R. Favara, S. Francofonte, and S. Inguaggiato (1999), Chemical and isotopic variations of fumarolic gases and thermal waters at Vulcano Island (Aeolian Island, Italy) during 1996: evidence of a new increase of volcanic activity, J. Volcanol. Geotherm. Res., 88, 167-175.

Chiodini, G., R. Cioni, and L. Marini (1993), Reactions governing the chemistry of crater fumaroles from Vulcano Island, Italy, and implications for volcanic surveillance, Appl. Geochem., 8, 357-371.

Chiodini G., Allard P., Caliro S., and Parello F. (2000) ^{18}O exchange between steam and carbon dioxide in volcanic and hydrothermal gases. Implications for the source of water. Geochim. Cosmochim.Acta 64, 2479–2488.

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, J. Geophys. Res., 115, B03205, doi:10.1029/2008JB006258.

Chiodini G., S. Caliro, P. De Martino, R. Avino, and F. Gherardi (2012) Early signals of new volcanic unrest at Campi Flegrei caldera? Insights from geochemical data and physical simulations. Geology, accepted

Cioni, R., D'Amore, F., 1984. A genetic model for the fumaroles of Vulcano Island (Sicily, Italy). Geothermics 13, 375-384.

Diliberto, I.S., S. Gurrieri, and M. Valenza (2002), Relationships between diffuse CO_2 emissions and volcanic activity on the island of Vulcano (Aeolian Islands, Italy) during the period 1984-1994, Bull. Volcanol., 64, 219-228

De Siena L., Del Pezzo E., Bianco F., 2010. Seismic attenuation imaging of Campi Flegrei: Evidence of gas reservoirs, hydrothermal basins, and feeding systems . JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH-SOLID EARTH, 115, B09312, DOI: 10.1029/2009JB006938

De Vita S, Orsi G., Civetta L., et al., 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, DOI: 10.1016/S0377-0273(99)00039-6

Del Gaudio C., Aquino I., Ricciardi G. P., et al., 2010. Unrest episodes at Campi Flegrei: A reconstruction of vertical ground movements during 1905-2009. JOURNAL OF VOLCANOLOGY AND GEOTHERMAL RESEARCH , 195, 48-56, DOI: 10.1016/j.jvolgeores.2010.05.014

Granieri, D., M.L. Carapezza, G. Chiodini, Avino, R., S. Caliro, M. Ranaldi, T. Ricci, and L. Tarchini (2006) Correlated increase in CO_2 fumarollic content and diffuse emission from La Fossa crater (Vulcano, Italy): Evidence of volcanic unrest or increasing gas release from a stationary deep magma body?, Geophys. Res. Lett., 33(L13316), doi:10.1029/2006GL026460.

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) , BULLETIN OF VOLCANOLOGY, 73, 655-677, DOI: 10.1007/s00445-010-0430-3

La Volpe, L., Dellino, P., Nuccio, P.M., Privitera, E., Sbrana, A., 1997. Progetto Vulcano: Risultati dell'Attivita' di Ricerca 1993-95. Felici, Pisa, 284 pp.

Mangiacapra A., Moretti R., Rutherford M., et al., 2008. The deep magmatic system of the Campi Flegrei caldera (Italy). GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, 35, L21304, DOI: 10.1029/2008GL035550

Milluzzo V., Cannata A., Alparone S., Gambino S., Helleweg M., Montalto P., Cammarata L., Diliberto I.S., Gresta S., Liotta M., Paonita A. (2010) Tornillos at Vulcano: clues to the dynamics of the hydrothermal system. J. Volcanol. Geotherm. Res., doi:10.1016/j.jvolgeores.2010.09.022.

Montalto, A. (1996) Signs of potential renewal of eruptive activity at La Fossa (Vulcano, Aeolian Islands), Bull. Volcanol., 57, 483-492.

Morgan DJ., Davidson JP., Pearson DG., et al., 2004. Crystal inheritance and mixing in products of the Campi Flegrei caldera, Italy. GEOCHIMICA ET COSMOCHIMICA ACTA, 68, A644-A644

Nuccio, P.M., A. Paonita, and F. Sortino (1999), Geochemical modeling of mixing between magmatic and hydrothermal gases: the case of Vulcano Island (Italy), Earth Planet. Sci. Lett., 167, 321-333.

Nuccio, P.M., and A. Paonita (2001), Magmatic degassing of multi-component vapors and assessment of magma depth: application to Vulcano Island (Italy), Earth Planet. Sci. Lett., 193, 467-481.

Orsi G., Di Vito M. A., Selva J., et al., 2009. Long-term forecast of eruption style and size at Campi Flegrei caldera (Italy). EARTH AND PLANETARY SCIENCE LETTERS, 287265-276 DOI: 10.1016/j.epsl.2009.08.013

Rutherford, M. (2004) Experimental petrology studies. In: Papale (2004) Final Report of Project INGV-DPC 2001-03 "Simulation of Eruptive Scenarios at Phlegrean Fields Based on Field, Laboratory, and Numerical Studies, and Implications for Volcanic Hazard".

Selva J., Orsi G., Di Vito M. et al., 2012. Probability hazard map for future vent opening at the Campi Flegrei caldera, Italy, BULLETIN OF VOLCANOLOGY, 74, 497-510, DOI: 10.1007/s00445-011-0528-2.

Taran Y. (2011) N_2, Ar and He as a tool for discriminating sources ofvolcanic fluids with application to Vulcano, Italy. In: Inguaggiato S, Shinohara H, and Fischer T (eds) Geochemistry of volcanic fluids: a special issue in honor of Yuri A. Taran. Bull. Volcanol. 73(4):395–408.

Zollo A., Maercklin N., Vassallo M., et al., 2008. Seismic reflections reveal a massive melt layer feeding Campi Flegrei caldera .GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS , 35, L12306, DOI: 10.1029/2008GL034242

Descrizione delle Unità di Ricerca

Progetto "Precursori di eruzioni"

UR 1: UNIPG

Nominativo	Ente	qualifica	mesi-uomo
Responsabile:			
Carlo Cardellini	Università di Perugia	Ricercatore	2
Partecipanti:			
Frondini Francesco	Università di Perugia	Ricercatore	1
Donnini Marco	Università di Perugia	Dottorando	.5
Polidori Gianluca	Università di Perugia	Tecnico	2
Rosiello Angelo	Università di Perugia	Assegnista	1
Zucchini Azzurra	Università di Perugia	PhD	1

Subcontracto Università di Palermo, personale indicativo
Aiuppa Alessandro (UniPa)
Parello Franco (UniPa)
Valenza Mariano (UniPa)
Tamburello Giancarlo (UniPa)
Pedone Maria (UniPa)
Di Napoli Rossella (UniPa)
Federico Cinzia (INGVPa)
Grassa Fausto (INGVPa)
Giudice Gaetano (INGVPa)

Attività e obiettivi su prospettiva triennale.
Le attività di ricerca della UR saranno focalizzate nell'ambito del Task 1, con l'obbiettivo finale del miglioramento delle osservazioni di parametri geochimici legati all'attività vulcanico-idrotermale dei Campi Flegrei ed, in particolare, della stima del flusso di volatili alla Solfatara di Pozzuoli e delle sue variazioni temporali. Infatti, l'area della Solfatara costituisce la principale area di emissione di volatili di origine profonda dei Campi Flegrei, con la presenza di una struttura di degassamento diffuso di CO_2 anomalo (Solfatara DDS) e intense emissioni fumaroliche. La DDS è stata caratterizzata da un rilascio di CO_2 di origine profonda variabile tra 900 e 1500 t/d dal 1998 ad oggi ed ha subito variazioni spaziali significative a partire dal Luglio 2003, specialmente nelle area di Pisciarelli. I flussi di volatili emessi dalle emissioni fumaroliche dell'area non sono mai stati sistematicamante quantificati ne monitorati ma, vista anche l'intensità attuale delle emissioni fumaroliche dell'area di Pisciarelli, questi potrebbero rappresentare un contributo significativo al budget totale di fluidi profondi nell'area. Gi obbiettivi su prospettiva triennale sono quindi quelli di migliorare la quantificazione degassamento diffuso di CO_2 dal solo e di monitorarne le variazioni spazio/temporali mediante campagne di misura periodiche (3-4 l'anno), la quantificazione del flusso di volatili dalle fumarole, la messa a punto di una rete di osservazioni in continuo (con strumentazioni automatiche tipo MultiGAS/Camera UV) al fine di valutare l'entità e la variabilità a breve periodo delle emissioni di volatili dalle fumarole e lo sviluppo di un approccio alternativo alla quantificazione dell'emissione globale di CO_2 della struttura e alla sua variazione nel tempo.

Attività e obiettivi I anno.
Le attività del primo anno saranno suddivise in 3 linee principali: 1) misura del flusso diffuso di CO_2 dal suolo; 2) misura del flusso di volatili emessi dalle fumarole; 3) test di un approccio alternativo alla stima dell'emissione globale di CO_2.
1) Con l'obbiettivo di definire la quantità di CO_2 emessa dal degassamento diffuso, l'estensione della DDS e le loro variazioni spazio temporali, si propone di:

a) realizzare una campagna di misura del flusso dal suolo mediante la metodologia della camera d'accumulo, su un'area più estesa di quella attualmente monitorata, poiché la DDS si è allargata e il suo limite orientale non è attualmente ben definito. Gli obbiettivi specifici saranno quelli di valutare l'attuale estensione della DDS e definire la strategia ottimale per le campagne di misura periodiche. (*Settembre-Ottobre 2012*)
b) effettuare 3 campagne di misura del flusso dal suolo sull'area individuata (circa 400-600 punti) (*Novembre 2012, Marzo-Aprile 2013, Maggio-Giugno 2013*)
c) realizzare campagne di dettaglio nell'area di Pisciarelli, dove attualmente si è verificata un'intensificazione delle manifestazioni del degassamento e le più significative variazione del flusso diffuso sono state osservate in passato, con l'obbiettivo di verificare l'eventuale l'occorrenza variazioni del degassamento diffuso ad una scala più piccola di quella valutabile con dalla maglia di misura della campagna generale. (*Settembre-Ottobre 2012, Marzo-Aprile 2013, Maggio-Giugno 2013)*
2) Per la stima del budget di volatili emessi dalle manifestazioni fumaroliche della Solfatara e di Pisciarelli si propone di effettuare osservazioni periodiche, sia in-situ che remote, utilizzando tecniche analitiche innovative e con strumentazione già in possesso della UR, secondo due strategie principali:
a) misura della struttura (velocità di propagazione; spessore) dei plume atmosferici emessi dalle fumarole avvalendosi di una camera UV; accoppiata alla conoscenza della concentrazione media delle principali specie chimiche nel plume (H_2O, CO_2, H_2S, H_2), da misurarsi attraverso la tecnica MultiGas
b) misure dirette del flusso totale di CO_2 ed H_2S dalle singole fumarole, da determinarsi attraverso tomografia chimica via tunable laser (Gas Finder)
Le due modalità di indagine sopra-descritte sono fortemente complementari, e il loro contemporaneo utilizzo consentirà una valutazione critica della qualità dei risultati ottenuti. (*Settembre-Ottobre 2012, Marzo-Aprile 2013, Maggio-Giugno 2013*)
3) Per la stima del flusso globale di CO2 dalla Solfatara e delle sue variazioni temporali, in aggiunta alle attività 1 e 2, si propone di avviare uno studio per investigare la possibilità di avere in modo relativamente semplice un segnale ben correlato all'emissione globale della struttura e alla sua variazione nel tempo. L'indagine si baserà si misure di ^{14}C sulla vegetazione dell'area della Solfatara. Misure eseguite sporadicamente negli anni passati hanno chiaramente mostrato forti anomalie avvicinandosi alle aree d'emissione. Potenzialmente l'analisi sistematica del ^{14}C della vegetazione, campionata periodicamente da aree selezionate, potrebbe dare un segnale legato al flusso di CO_2 integrato sia nel tempo che nello spazio. La fase analitica sarà commissionata a laboratori specializzati (es. Centre de Datation par le RadioCarbone, Université Claude Bernard Lyon 1). (*Settembre- Ottobre 2012, Novembre 2012, Marzo-Aprile 2013, Maggio-Giugno 2013*)

Expertise.
I ricercatori della UR sono impegnati da lungo tempo in ricerche sulla geochimica dei fluidi emessi dai principali sistemi vulcanici italiani e non, finalizzate alla comprensione dei sistemi ed al loro monitoraggio. In particolare i ricercatori UniPg sono impegnati da anni nello studio del processo di degassamento diffuso di CO2 dal suolo in aree vulcaniche e non-vulcaniche e nell'elaborazione statistica e geostatistica dei dati per la definizione dell'estensione delle DDS e della quantificazione del rilascio di CO2, ed in particolare svolgono dal 1998 campagne periodiche alla Solfatara di Pozzuoli in collaborazione con l'INGV di Napoli.
I ricercatori UniPa e INGVPa da più di un decennio sono impegnati nello sviluppo di nuove tecniche di osservazione del flusso dei volatili dai vulcani attivi, ed hanno maturato una particolare esperienza nelle misure di flusso presso i vulcani a condotto aperto (Etna, Stromboli, etc.). L'estensione delle stesse tecniche ai vulcani a condotto chiuso è stata di recente dimostrata sull'Isola di Vulcano, garantendo la fattibilità delle osservazioni anche ai Campi Flegrei.

Elenco pubblicazioni recenti e/o rilevanti dei componenti la UR.

Aiuppa, A., Burton, M., Caltabiano, T., Giudice, G., Guerrieri, S., Liuzzo, M., Murè, F., Salerno, G., Unusually large magmatic CO2 gas emissions prior to a basaltic paroxysm (2010) Geophysical Research Letters, 37 (17), art. no. L17303, .

Aiuppa, A., Bertagnini, A., Métrich, N., Moretti, R., Di Muro, A., Liuzzo, M., Tamburello, G. A model of degassing for Stromboli volcano (2010) Earth and Planetary Science Letters, 295 (1-2), pp. 195-204..

Aiuppa, A., Giudice, G., Gurrieri, S., Liuzzo, M., Burton, M., Caltabiano, T., McGonigle, A.J.S., Salerno, G., Shinohara, H., Valenza, M. Total volatile flux from Mount Etna (2008) Geophysical Research Letters, 35 (24), art. no. L24302

Aiuppa, A., Moretti, R., Federico, C., Giudice, G., Gurrieri, S., Liuzzo, M., Papale, P., Shinohara, H., Valenza, M. Forecasting Etna eruptions by real-time observation of volcanic gas composition (2007) Geology, 35 (12), pp. 1115-1118.

Aiuppa, A., Federico, C., Giudice, G., Gurrieri, S., Liuzzo, M., Shinohara, H., Favara, R., Valenza, M. Rates of carbon dioxide plume degassing from Mount Etna volcano (2006) Journal of Geophysical Research B: Solid Earth, 111 (9), art. no. B09207

Aiuppa, A., Federico, C., Giudice, G., Gurrieri, S. Chemical mapping of a fumarolic field: La Fossa Crater, Vulcano Island (Aeolian Islands, Italy) (2005) Geophysical Research Letters, 32 (13), pp. 1-4.

Cardellini C., G. Chiodini and F. Frondini (2003). Application of Stochastic Simulation to CO2 Flux from soil: Mapping and Quantification of Gas Release. J. Geophys. Res., 108 (B9), 2425-2425.

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. J. Geophys. Res., 106, 16213-16221.

Chiodini, G., S. Caliro, C. Cardellini, R. Avino, D. Granieri, and A. Schmidt (2008), Carbon isotopic composition of soil CO2 efflux, a powerful method to discriminate different sources feeding soil CO2 degassing in volcanic-hydrothermal areas, Earth and Planetary Science Letters, 274(3-4), 372.

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.

Lewicki J. L., Bergfeld D., Cardellini C., Chiodini G., Granieri D., Varley N. and Werner C. (2005). Comparative soil CO2 flux measurements and geostatistical estimation methods on Masaya volcano, Nicaragua. Bull. Volcanol., 68, 76-90.

Viveiros, F., C. Cardellini, T. Ferreira, S. Caliro, G. Chiodini, and C. Silva (2010), Soil CO2 emissions at Furnas volcano, São Miguel Island, Azores archipelago: Volcano monitoring perspectives, geomorphologic studies, and land use planning application, J. Geophys. Res., doi:10.1029/2010JB007555.

Piano Finanziario

Categoria di spesa	Importo previsto
1) Spese di personale	5900
2) Spese per missioni	5380
3) Costi amministrativi (solo per i responsabili di programma)	

4) Spese per studi, ricerche ed altre prestazioni professionali (*)	42000
5) Spese per servizi	
6) Materiale tecnico durevole e di consumo	
7) Spese indirette (spese generali)	5920
Totale	59200

(*) Nota: comprende spese per n. 1 assegno più costi subcontratti per Università Palermo e studio ^{14}C

I Sottoprodotti di pertinenza dell'UR sono riportati in Tabella 1

UR 2: INGV-OV

Nominativo	Ente	qualifica	mesi-uomo
Responsabile:			
Giovanni Chiodini	INGV.OV	Dirigente Ricerca	4
Partecipanti:			
Patrick Allard	IPG- Francia	Dirigente Ricerca	.5
Ilenia Arienzo	INGV-OV	Assegnista	1
Rosario Avino	INGV-OV	Tecnologo	1
Pasquale Belviso	INGV-OV	Tecnico	1
Stefano Caliro	INGV-OV	Primo Tecnologo	1
Antonio Carandente	INGV-OV	Tecnologo	1
Prospero De Martino	INGV-OV	Tecnologo	1
Domenico Granieri	INGV-PI	Primo Tecnologo	1
Enrica Marotta	INGV-OV	Tecnico	1
Carmine Minopoli	ENEA	Tecnico	1
Francesco Obrizzo	INGV-OV	Primo Tecnologo	1
Zaccaria Petrillo	INGV-OV	Ricercatore Geofisico	1
Massimo Russo	INGV-OV	Tecnologo	1
Fabio Sansivero	INGV-OV	Tecnologo	1
Jean Vandemeulebrouck	Università di Savoia-Francia	Professore Associato	.5
Guido Ventura	INGV-RM	Primo Ricercatore	.5
Giuseppe Vilardo	INGV-OV	Dirigente Ricerca	1
Umberto Tammaro	INGV-OV	Tecnologo	1
1 assegnista di ricerca livello post-doc		Assegnista	12

Attività e obiettivi su prospettiva triennale:

Si tratta di una UR multidisciplinare le cui attività su prospettiva triennale riguarderanno oltre al coordinamento dell' intero progetto, aspetti specifici del TASK1 e del TASK2 ed il raffinamento del modello concettuale del sistema magmatico ed idrotermale dei Campi Flegrei. Per quanto riguarda il modello concettuale del sistema magmatico l'UR si gioverà dei risultati ottenuti nell'ambito del progetto VUELCO, che vede coinvolti anche alcuni dei partecipanti, e dell'interazione con altre UR (es. INGV_Pi, INGV_Bo, UNI_RM3. Punti centrali possibilmente da affrontare durante il progetto riguardano una migliore definizione del plumbing system delle eruzioni passate dei Campi Flegrei includendo l'origine della CO_2 di cui è particolarmente ricco il sistema. Altro punto da approfondire sarà l'interazione dei fluidi magmatici con il sistema idrotermale, tematica che verrà affrontata sia qualitativamente nell'ambito delle classiche trattazioni geochimiche, sia, in modo più quantitativo, con il raffinamento delle simulazioni di input di fluidi magmatici nel sistema idrotermale. Questo sarà il principale contributo dell'UR nell'ambito del TASK2. In particolare le nuove simulazioni saranno eseguite in un dominio di calcolo 3-D della struttura geologica e litologica del sistema idrotermale (i primi 2-3 km della caldera dei Flegrei le cui proprietà saranno stimate da dati di tomografie sismiche (Vp, Vs, e attenuazione, dati disponibili in letteratura associati con dati misurati in perforazioni geotermiche. Il dettaglio del sistema idrotermale superficiale (fino a 500 m verrà integrato tramite l'inversione dei dati elettromagnetici, che forniranno un modello 3-D fine della resistività la quale e' correlata strettamente al grado di permeabilità ed alla temperature. Per la realizzazione di questo modello è previsto di coinvolgere un 'postdoc' con apposito contratto. Il modello sarà realizzato nel corso del primo anno mentre le simulazioni verranno eseguite negli anni successivi. Il risultato atteso è una più attendibile stima delle quantità di fluidi magmatici che

vengono trasferiti dal sistema magmatico a quello idrotermale e della loro evoluzione temporale.
Le serie temporali delle stazioni GPS in continuo dei Campi Flegrei, che hanno permesso di caratterizzare l'evoluzione tridimensionale delle deformazioni del suolo nell'area nell'ultimo decennio (Lanari et al, 2004; Troise et al., 2007; Bottiglieri et al., 2010, saranno utilizzate nella simulazione numerica dei modelli del sistema idrotermale. Ad integrazione del campo di deformazione ricavato dai dati della rete GPS in continuo saranno effettuate campagne di misura periodiche sulla rete GPS discreta dell'area (20 vertici, di cui 5 nell'area Solfatara-Pisciarelli e i risultati saranno confronti con le ultime misure effettuate nel 2003, prima dell' inizio dell' attuale fase di sollevamento. L'UR acquisirà sistematicamente, con cadenza giornaliera, le immagini IR termiche dalle stazioni della rete TIIMNet (Thermal Infrared Imagery Monitoring Network ubicate alla Solfatara e Pisciarelli, provvedendo successivamente all'opportuna elaborazione del dato.
Nell'area di Pisciarelli saranno effettuati rilevamenti strutturali di dettaglio con cadenza semetrale e/o con cadenze piu' ristrette sulla base di cambiamenti rilevati dalle immagini termiche, dall'apertura di nuove pools o fumarole, aumento del flusso di CO2, e da incrementi dell'attivita' sismica superficiale. Tali rilievi comprenderanno la mappatura delle strutture fragili (faglie e cracks con dati relativi allo strike, dip, length, apertura, lunghezza a scala 1:5.000. L'analisi temporale dei dati raccolti conconsente inoltre di ottenere informazioni su possibili deformazioni fragili indotte da un aumento (o diminuzione della pressione di fluidi (es. eventi sismici a bassa frequenza o da attivita' tettonica (es. eventi sismici ad alta frequenza. In condizioni ottimali (es. presenza di indicatori cinematici, i dati strutturali permettono di misurare il campo di stress attivo nell'area e di rilevarne sue possibili variazioni. Durante il progetto continuerà il monitoraggio sistematico delle fumarole della Solfatara e verrà garantito il supporto logistico, analitico e di campionamento alle UR universitarie coinvolte in aspetti differenti della geochimica dei fluidi fumarolici e dello studio delle acque del sistema flegreo

Attività e obiettivi I anno

1- Relaizzazione del dominio di calcolo 3-D della struttura geologica e litologica del sistema idrotermale necessario per le nuove simulazioni TOUGH.

2- Revisione critica delle serie temporali di dati IR ad Immagine per migliorare la caratterizzazione dei parametri termografici maggiormente rappresentativi della dinamica del sistema idrotermale. Progettazione e realizzazione di architetture software prototipali per l'analisi in tempo reale delle immagini IR.

3- Durante il primo anno di progetto si prevede di eseguire 30 sondaggi, all'interno del cratere Solfatara, CSAMT (Control Source Audio Magneto-Telluric nella banda di frequenza 100.000 ÷ 10 Hz su una griglia di misura a spaziatura regolare. Le condizioni al contorno verranno definite tramite altri sondaggi esterni al cratere. Nella banda di frequenza 100.000 ÷ 1000 Hz, dove generalmente il rapporto segnale/rumore è basso, verrà usata un'antenna magnetica a doppia polarizzazione. Il buon livello della qualità dei dati elettromagnetici aspettato (Bruno et al., 2007 e la regolarità della spaziatura permetterà di fornire come risultato un modello di resistività 3-D del sistema idrotermale della Solfatara fino a 400 ÷ 500 m di profondità.

Expertise UR
L'Unità di Ricerca ha le competenza e l'esperienza pluriennale nello studio della geochimica dei fluidi vulcanici, finalizzate alla comprensione dei sistemi ed al loro monitoraggio; si è occupata di elletromagnetismo applicato generalmente alla caratterizzazione delle strutture vulcaniche. Ha inoltre esperienze nell'analisi delle deformazioni, nella vulcanologia strutturale e nella termo fluidodinamica di tali sistemi

Elenco pubblicazioni recenti e/o rilevanti dei componenti la UR

Chiodini G., Vilardo G., Augusti V., Granieri D., Caliro S., Minopoli C., Terranova C. (2007. Thermal monitoring of hydrothermal activity by permanent infrared automatic stations. results obtained at Solfatara di Pozzuoli, Campi Flegrei (Italy. J. Geophys. Res., 112, B12206, doi:10.1029/2007JB005140.

Sansivero F., Vilardo G., De Martino P., Augusti V. and Chiodini G. (2012. Campi Flegrei volcanic surveillance by thermal IR continuous monitoring. E-book Proceedings 11th Conference on Quantitative Infrared Thermography. 11-14 June 2012, Naples, Italy, QIRT 2012-333, ISBN 9788890648441.

Vilardo G., Chiodini G., Augusti V., Granieri D., Caliro S., Minopoli C.and C. Terranova (2008. The permanent thermal infrared network for the monitoring of hydrothermal activity at the Solfatara and Vesuvius volcanoes. In: "Conception, verification, and application of innovative techniques to study active volcanoes" Marzocchi W. and A. Zollo (Editors, INGV, ISBN 978-88-89972-09-0, 481-495.

Bruno, Pier Paolo G.; Ricciardi, Giovanni P.; Petrillo, Zaccaria; Di Fiore, Vincenzo; Troiano, Antonio; Chiodini, Giovanni, 2007 Geophysical and hydrogeological experiments from a shallow hydrothermal system at Solfatara Volcano, Campi Flegrei, Italy: Response to caldera unrest J. Geophys. Res., Vol. 112, No. B6, B06201 05 June 2007

Caliro, S., Chiodini, G., Moretti, R., Avino, R., Granieri, D., Russo, M., Fiebig, J., The origin of the fumaroles of La Solfatara (Campi Flegrei, South Italy, Geochim. Cosmochim. Acta . 71. 3040–3055. doi: 10.1016/j.gca.2007.04.007

Chiodini G., Caliro S., Cardellini C., Avino R., Granieri D., Schmidt A. (2008. Carbon isotopic composition of soil CO2 efflux, a powerful method to discriminate different sources feeding soil CO2 degassing in volcanic-hydrothermal areas, Earth and Planetary Science Letters 274 (2008 372-379

Chiodini G. (2009 CO2/CH4 ratio in fumaroles a powerful tool to detect magma degassing episodes at quiescent volcanoes. Geophys.Res. Lett., 36, L02302, doi:10.1029/2008GL036347, 2009

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

Caliro, S., G.Chiodini, R. Avino, C. Minopoli, B. Bocchino (2011 Long time-series of chemical and isotopic compositions of Vesuvius fumaroles: evidence for deep and shallow processes. Annals Geophysics, 54, 2. doi: 10.4401/ag-5034

Piano Finanziario

Categoria di spesa	Importo previsto
1 Spese di personale	4000
2 Spese per missioni	5000
3 Costi amministrativi (solo per i responsabili di programma)	

4 Spese per studi, ricerche ed altre prestazioni professionali	26400
5 Spese per servizi	
6 Materiale tecnico durevole e di consumo	3030
7 Spese indirette (spese generali	4270
Totale	42700

I Sottoprodotti di pertinenza dell'UR sono riportati in Tabella 1

UR 3: UNINA

Nominativo	Ente	qualifica	mesi-uomo
Responsabile:			
D'Antonio Massimo	Dip. Scienze della Terra – Università di Napoli "Federico II"	Professore Associato	2
Partecipanti:			
Civetta Lucia	Dip. Scienze della Terra – Università di Napoli "Federico II"	Professore Ordinario	1
Morra Vincenzo	Dip. Scienze della Terra – Università di Napoli "Federico II"	Professore Ordinario	1
Fedele Lorenzo	Dip. Ingegneria Civile, Seconda Università di Napoli	Ricercatore Confermato	1
Moretti Roberto	Dip. Ingegneria Civile, Seconda Università di Napoli	Professore Associato	1
Di Renzo Valeria	Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia – sezione di Napoli Osservatorio Vesuviano	Assegnista	1
Orsi Giovanni	Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia – sezione di Napoli Osservatorio Vesuviano	Geofisico Ordinario	1
Arienzo Ilenia	Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia – sezione Roma 1	Ricercatore III livello	1
Freda Carmela	Dip. Scienze della Terra – Università di Roma "La Sapienza"	Primo Ricercatore	1
Gaeta Mario	Dept. Earth Sciences, University of Uppsala, Sweden	Ricercatore Confermato	1
Troll Valentine	Dip. Scienze della Terra – Università di Napoli "Federico II"	Professore Ordinario	1

Attività e obiettivi su prospettiva triennale.
L'attività di ricerca proposta da questa UR è finalizzata alla definizione di affidabili precursori deterministici che possano evidenziare cambiamenti del sistema magmatico, in modo da collegare variazioni geochimiche misurate in superficie, quali quelle delle emissioni fumaroliche, ad arrivi di

nuovo magma in profondità e processi ad essi collegati, quali degassamento, mescolamento e cristallizzazione. A tal scopo, saranno utilizzati dati isotopici e di inclusioni vetrose ottenuti su prodotti di eruzioni recenti dei CF, insieme a dati geochimici dalle emissioni fumaroliche. In particolare, sarà determinato il contenuto totale dei volatili (essolti + disciolti, e saranno definite le componenti magmatiche coinvolte nel sistema di alimentazione, attraverso indagini petrografiche, mineralogiche, geochimiche e geochimico-isotopiche sui prodotti vulcanici selezionati.
Il vulcanismo recente dei CF è determinato dal trasferimento di magma e fluidi ricchi in CO2 provenienti sia da ampie camere magmatiche situate a profondità maggiori di 8 km, sia da piccoli serbatoi più superficiali, situati a 3-4 km di profondità. Pertanto, si propone di caratterizzare il conseguente trasferimento di calore e massa ai sistemi idrotermali sovrastanti, soggetti a vigorosa convezione. L'importante ruolo svolto dal degassamento magmatico è una diretta conseguenza dell'elevata abbondanza di CO2, rilasciata a notevoli profondità, in fluidi che risalgono e fluiscono attraverso sistemi di alimentazione magmatica caratterizzati da una notevole estensione verticale. Inoltre, è particolarmente importante stabilire se all'origine di tali fluidi e, in particolare, del loro alto contenuto in CO_2, ci sia la presenza o meno di carbonati nel basamento del vulcano. A tale riguardo, mentre le interpretazioni dei dati geofisici, benché non univoche, sono a favore della presenza di un basamento carbonatico più o meno profondo, gli studi geochimici, petrologici e vulcanologici la farebbero escludere. In prospettiva pluriennale è quindi auspicabile uno studio petrologico e sperimentale, che possa contribuire a definire 1 le linee evolutive dei magmi flegrei in relazione ad una eventuale contaminazione da parte di crosta carbonatica, 2 i volumi di CO_2 di origine metamorfica da carbonati eventualmente coinvolti, e 3 il ruolo degli alti flussi di CO2 sulle dinamiche eruttive.

Tutti i dati raccolti permetteranno di definire le componenti magmatiche, e le variazioni nello spazio e nel tempo di loro parametri quali composizione chimica e isotopica, pressione, temperatura, stato redox, densità, proporzione delle fasi.

Attività e obiettivi I anno.
Le attività del primo anno saranno suddivise in 3 linee principali: 1 raccolta di dati analitici su minerali, vetri, rocce e specie gassose, sia disponibili in letteratura, sia attraverso l'integrazione con nuove determinazioni analitiche; 2 petrologia sperimentale sull'interazione tra magmi flegrei e rocce carbonatiche; 3 formulazione di ipotesi sullo stato del magma in profondità, sul suo contenuto di volatili, sull'entità del degassamento, e sull'influenza di tali parametri sulle emissioni fumaroliche.
1 dopo una approfondita ricognizione dei dati e delle informazioni disponibili in letteratura, saranno eseguite:
determinazioni delle caratteristiche petrografiche (tessitura/struttura, paragenesi mineralogiche, classi dimensionali dei cristalli, abbondanze modali delle fasi minerali e vetrose; determinazioni della composizione chimica su roccia totale (ossidi degli elementi maggiori, minori, ed elementi in tracce; determinazioni della composizione chimica di minerali e vetri; determinazioni della composizione di isotopi radiogenici (Sr, Nd e possibilmente Pb e di isotopi stabili (H, O, e possibilmente B e S di campioni di rocce totali, minerali e vetri separati; determinazione dei contenuti di alogeni, H2O, CO2, S, elementi alcalini, ed elementi in tracce in inclusioni vetrose.
2 esecuzione di esperimenti di petrologia volti ad indagare la possibile interazione tra magmi flegrei e rocce carbonatiche, e le sue conseguenze sul budget di CO2, e sulle caratteristiche geochimiche e isotopiche dei magmi, al fine di meglio vincolare la "liquid line of descent" dei magmi flegrei;
3 elaborazione dei dati acquisiti sulle variabili magmatiche, anche integrati con risultati indipendenti di studi geofisici (ad es., densità e velocità sismica, per la formulazione di ipotesi su:
- condizioni termo-barometriche della cristallizzazione dei magmi
- rapporto di massa e volume tra gas e fuso+cristalli

- ruolo dei fluidi ricchi di CO2 sui processi evolutivi dei magmi
- ruolo della velocità di cristallizzazione e degli stadi di cristallizzazione in relazione al degassamento dominato da CO2
- ruolo della CO2 nel determinare l'esplosività
- definizione del budget dei volatili in relazione al volume di magma eruttato.

Expertise.
I ricercatori della UR sono impegnati da lungo tempo in ricerche sulla vulcanologia, la petrologia, e la geochimica dei vulcani attivi, ed in particolare della caldera dei Campi Flegrei, finalizzate alla comprensione dei sistemi ed al loro monitoraggio. In particolare, i ricercatori hanno fornito contributi di rilievo circa il ruolo di processi magmatici profondi e superficiali (degassamento, mescolamento, cristallizzazione, sviluppando tecniche innovative per legare gli effetti di tali processi agli osservabili di superficie (composizione dei gas fumarolici, composizione isotopica di rocce, minerali e vetri.

Elenco pubblicazioni recenti e/o rilevanti dei componenti la UR.

Aiuppa, A., Bertagnini, A., Métrich, N., Moretti, R., Di Muro, A., Liuzzo, M., Tamburello, G. A model of degassing for Stromboli volcano (2010 Earth and Planetary Science Letters, 295 (1-2, pp. 195-204..

Aiuppa, A., Moretti, R., Federico, C., Giudice, G., Gurrieri, S., Liuzzo, M., Papale, P., Shinohara, H., Valenza, M. Forecasting Etna eruptions by real-time observation of volcanic gas composition (2007 Geology, 35 (12, pp. 1115-1118.

Arienzo, I., Heumann, A., Wörner, G., Civetta L. & Orsi, G. (2011. Processes and timescales of magma evolution prior to the Campanian Ignimbrite eruption (Campi Flegrei, Italy. *Earth and Planetary Science Letters* **306**, 217–228.

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.

D'Antonio, M. (2011. Lithology of the basement underlying the Campi Flegrei caldera: volcanological and petrological constraints. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **200**, 91–98.

D'Antonio, M., Tonarini, S., Arienzo, I., Civetta, L. & Di Renzo, V. (2007. Components and processes in the magma genesis of the Phlegrean Volcanic District, southern Italy. In Beccaluva, L., Bianchini, G. & Wilson, M. (eds *Cenozoic Volcanism in the Mediterranean Area: Boulder, CO, Geological Society of America Special Paper* **418**, 203–220, doi:10.1130/2007.2418(10

Di Napoli R., Martorana R., Orsi G., Aiuppa A., Camarda M., De Gregorio S., Gagliano Candela E., Luzio D., Messina N., Pecoraino G., Bitetto M., de Vita S., Valenza M. (2011. The structure of a hydrothermal system from an integrated geochemical, geophysical, and geological approach: The Ischia Island case study. *Geochem. Geophys. Geosys*, **12**, Q07017, 25 PP., 2011 doi:10.1029/2010GC003476

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. *Chemical Geology* **281**, 227–241, doi:10.1016/j.chemgeo.2010.12.010.

Edmonds, M., Aiuppa, A., Humphreys, M., Moretti, R., Giudice, G., Martin, R., Herd R.A. & Christopher, T. (2010. Excess volatiles supplied by mingling of mafic magma at an andesitic arc volcano. *Geophysics, Geochemistry, Geosystems* **Q04005.**

Fedele L., D. Insinga D., Calvert A.T., Morra V., Perrotta A., Scarpati C. (2011. 40Ar/39Ar 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.

Freda C., Gaeta M., Misiti V., Mollo S., Dolfi D., Scarlato P. (2008. Magma–carbonate interaction: An experimental study on ultrapotassic rocks from Alban Hills (Central Italy. *Lithos*, **101**, 397-415.

Mangiacapra, A., Moretti, R., Rutherford, M., Civetta, L., Orsi, G. and Papale, P. (2008. The deep magmatic system of the Campi Flegrei caldera (Italy. *Geophysical Research Letters* **35**, L21304, doi:10.1029/2008GL035550.

Marini L., Moretti R., Accornero M. (2011 Sulfur Isotopes in Magmatic-Hydrothermal Systems, Melts, and Magmas Reviews in Mineralogy & Geochemistry, 7, 423-492 DOI: 10.2138/rmg.2011.73.14

Melluso L., De Gennaro R., Fedele L. et al. (2012 Evidence of crystallization in residual, Cl-F-rich, agpaitic, trachyphonolitic magmas and primitive Mg-rich basalt-trachyphonolite interaction in the lava domes of the Phlegrean Fields (Italy

Mollo S., Gaeta M., Freda C., Di Rocco, T., Misiti V., Scarlato, P. (2010. Carbonate assimilation in magmas: a reappraisal based on experimental petrology. *Lithos* **114**, 503–514.

Moretti, R. & Papale, P. (2004. On the oxidation state and volatile behaviour in multicomponent gas–melt equilibria. *Chemical Geology* **213**, 265– 280.

Oppenheimer, C., Moretti, R., Kyle, P., Eschenbacher, A., Lowenstern, J. & Hervig, R. (2011 Mantle to surface gas trigger of the alkalic intraplate Erebus volcano, Antarctica. *Earth and Planetary Science Letters* **306**, 261-271.

Pabst, S., Wörner, G., Civetta, L. & Tesoro, R. (2008. Magma chamber evolution prior to the Campania Ignimbrite and Neapolitan Yellow Tuff eruptions (Campi Flegrei, Italy. *Bulletin of Volcanology* **70**, 961–976.

Papale, P., Moretti, R. & Barbato, D. (2006. The compositional dependence of the saturation surface of H_2O+CO_2 fluids in silicate melts. *Chemical Geology* **229 (1–3**, 78–95.

Tonarini, S., D'Antonio, M., Di Vito, M.A., Orsi, G. & Carandente, A. (2009. Geochemical and B-Sr-Nd isotopic evidence for mingling and mixing processes in the magmatic system that fed the Astroni volcano (4.1-3.8 ka within the Campi Flegrei caldera (southern Italy. *Lithos* **107**, 135–151, doi:10.1016/j.lithos.2008.09.012.

Piano Finanziario

Categoria di spesa	Importo previsto
1) Spese di personale	
2) Spese per missioni	9000
3) Costi amministrativi (solo per i responsabili di programma)	
4) Spese per studi, ricerche ed altre prestazioni professionali	
5) Spese per servizi	4000
6) Materiale tecnico durevole e di consumo	13280
7) Spese indirette (spese generali)	2920
Totale	29200

I Sottoprodotti di pertinenza dell'UR sono riportati in Tabella 1

UR 4: INGV-OV

Nominativo	Ente	qualifica	mesi-uomo
Responsabile:			
Edoardo Del Pezzo	INGV-OV	Geofisico Ordinario	2
Partecipanti:			
Francesca Bianco	INGV-OV	Primo Ricercatore	1
Danilo Galluzzo	INGV-OV	Tecnologo	1
Mario Castellano	INGV-OV	Dirigente Tecnologo	0.5
Mario La Rocca	INGV-OV	Ricercatore	0.5
Simona Petrosino	INGV-OV	Tecnologo	0.5
Paola Cusano	INGV-OV	CTER	0.5
Luca D'Auria	INGV-OV	Ricercatore	0.5
Antonietta Esposito	INGV-OV	Ricercatore	0.5
Flora Giudicepietro	INGV-OV	Ricercatore Geofisico	0.5
Bruno Massa	Università del Sannio	Ricercatore	0.5
Massimo Orazi	INGV-OV	Tecnologo	0.5
Rosario Peluso	INGV-OV	Tecnologo	0.5
Patrizia Ricciolino	INGV-OV	Tecnologo	0.5
Giovanni Scarpato	INGV-OV	Tecnologo	0.5
Giovanna Berrino	INGV-OV	Primo Ricercatore	0.5
Umberto Riccardi	Università di Napoli Federico II	Ricercatore	0.5
Alessandro Germak	INRiM	Ricercatore	0.5
Vincenzo d'Errico,	INGV-OV	CTER	0.5
Giuseppe Ricciardi	INGV-OV	CTER	0.5

Attività e obiettivi su prospettiva triennale.

L'Unità di Ricerca focalizza l'attenzione da un lato sulle strutture geologiche la cui immagine è ottenibile con metodi sismologici e dall'altro sulla dinamica dell'area attraverso le misure di gravità e la quantificazione del rilascio di energia sismica e deformativa. I due obiettivi sono ovviamente complementari, in quanto l'uno presuppone la conoscenza dell'altro. Lo scopo è migliorare il monitoraggio sismologico attuale, introducendo nelle analisi di routine da effettuare in tempo reale anche alcune tecniche non convenzionali, volte alla misura continua di precisione del rilascio degli sforzi (localizzazione relativa e delle variazioni di parametri associati al campo di sforzi; misure quindi che hanno l'obiettivo di rilevare, quantificare e validare eventuali fenomeni sismici precursori.

La UR svolgerà le attività di seguito descritte, nell'ambito dei Task 1 e 2.

1 Miglioramento dell'immagine delle strutture geologiche ottenute con metodi di tomografia sismologica (Task 1

Si propone di produrre immagini "complementari" alle tomografie convenzionali, ottenibili dallo studio comparato delle tomografie (in attenuazione ed in velocità con i dati di porosità, permeabilità, velocità e densità dei campioni di roccia estratti dai pozzi AGIP. Lo studio comparato permetterà di trovare relazioni empiriche tra velocità ed attenuazione (attraverso Cluster Analysis e/o Analisi di correlazione tra le immagini tomografiche da "calibrare" con i dati delle rocce estratte dai pozzi. L'obiettivo finale è quello di ottenere immagini in porosità e permeabilità, parallele a quelle già esistenti in velocità P, velocità S, attenuazione P, attenuazione S e scattering S.

2 Studio critico della rilevabilità degli eventi sismici associato alla possibile misura di fenomeni "precursori" delle eruzioni, ovvero di fenomeni relazionabili alle variazioni del campo di sforzo (Task 1 e Task. 2

Si propone una revisione critica dei dati esistenti in letteratura relativi a fenomeni precursori e sin-eruttivi sismologici di eruzioni avvenute in caldere simili a quella dei Flegrei e/o in vulcani con caratteristiche eruttive che si ritengano comunque importanti per comprendere la dinamica della prossima eruzione ai Flegrei.

La rilevazione dei fenomeni sismici, com'è noto, è fortemente dipendente dal livello del rumore sismico di fondo, a sua volta associato ad attività umana (freq > 1 Hz , o da fenomeni meteomarini (freq < 1 Hz. Essendo i Campi Flegrei un'area totalmente urbanizzata, la ricerca di eventi sismici "nascosti" nel rumore di fondo diviene imperativa per poter abbassare la soglia di detezione. Con tale finalità verranno testate e validate tecniche di array e/o tecniche avanzate (a singola stazione, come la independent component analysis di analisi dei segnali per la loro utilizzazione in tempo reale come applicazione ai segnali (a larga banda registrati in continua dalla rete mobile e/o permanente.

L'abbassamento della soglia di detezione e l'individuazione degli eventi sismici "nascosti" nel rumore di fondo saranno propedeutici allo studio della variazione temporale del campo di sforzi, che verrà effettuata utilizzando due differenti approcci, come descritto di seguito.

Tecniche attuali per la misura delle variazioni del campo degli sforzi prevedono il calcolo delle funzioni di Green del mezzo. E' stato dimostrato recentemente che tale calcolo può agevolmente essere effettuato utilizzando la cross-correlazione della serie temporale del rumore registrato ad una coppia di stazioni. La variazione di tali funzioni nel tempo è collegata alle variazioni temporali della velocità del mezzo che sono direttamente associabili a variazioni dello stato degli sforzi. Verranno testate e validate tali tecniche di cross-correlazione per la loro implementazione nel sistema continuo di sorveglianza.

Si propone inoltre di applicare il metodo " Coda wave interferometry" a possibili "doppietti" di terremoti VulcanoTettonici separati temporalmente in modo da poter campionare un intervallo di tempo a cavallo dei singoli episodi di mini-uplift che avvengono ai Campi Flegrei. Tale metodo fornisce una stima delle variazioni temporali di velocità nel mezzo, da confrontare con le stime proposte in precedenza. In questo caso l'analisi non può essere pensata per un'applicazione in tempo reale, data la necessità di avere a disposizione terremoti "simili" che non avvengono con continuità, ma la sua applicazione di routine costituirebbe un utile confronto con la tecnica di cross-correlazione del rumore.

Si noti che i risultati ottenibili dagli studi descritti in precedenza sono di estrema importanza perché costituirebbero un serio miglioramento dell'attuale sistema di sorveglianza, permettendo di seguire con maggior dettaglio l'evoluzione dei fenomeni eruttivi.

3 Localizzazioni relative in modelli di velocità tridimensionali (Task 1

Nell'ultimo decennio le tecniche di localizzazione relativa dei terremoti hanno mostrato una notevole efficacia nella determinazione della geometria delle strutture sismogenetiche. Il significativo dataset a disposizione per i Campi Flegrei (1982-2012 consente l'applicazione di tali tecniche, utilizzando i modelli di velocità tridimensionali recentemente ricavati con tecniche di tomografia. L'uso della localizzazione relativa sarà finalizzato innanzitutto all'individuazione ed alla delineazione delle strutture attive nel recente passato, dall'ultima crisi bradisismica (1982-1984 ad oggi. Verrà quindi sperimentata l'implementazione di queste tecniche nel sistema di sorveglianza in modo da poter migliorare (rapidamente, ma in tempo differito la distribuzione ipocentrale ottenuta in tempo reale dalla rete sismica di monitoraggio dei Campi Flegrei.

4 Inversione del campo degli sforzi (Task 1

Il calcolo del tensore degli sforzi, responsabili dell'attivazione delle strutture sismogenetiche, rappresenta un importante condizione al contorno per lo sviluppo dei modelli deformativi. Si

propone di usare alcune tecniche per il calcolo dei meccanismi focali dei terremoti già estrapolate dall'ambito geologico-strutturale, che sono state già applicate con successo per ottenere meccanismi focali. Sarà realizzata inoltre, un'interfaccia web-based per eseguire questo tipo di analisi in near-real time .

5 Studio delle sorgenti di strain statico con dati da satellite (Task 2

Le tecniche di Imaging Geodetico da satellite non prevedono particolari assunzioni sulla forma e sulla natura delle sorgenti deformative, consentendo di definire la distribuzione spaziale e l'evoluzione temporale delle sorgenti di strain volumetrico. L'applicazione di queste tecniche al dataset ERS/ENVISAT 1995-2007 ha mostrato risultati compatibili con ripetuti episodi d'iniezione di fluidi che, partendo da posizioni eccentriche, migrano successivamente verso l'area della Solfatara. Questi risultati concordano con i dati sismologici e quelli geochimici. Nel corso del triennio si prevede di utilizzare il dataset completo ERS/ENVISAT, già disponibile, ed i recenti dati COSMO-SkyMed che verranno acquisiti nell'ambito di questo progetto. Verrà posta particolare attenzione all'individuazione di possibili sorgenti deformative profonde, direttamente legate al sistema magmatico.

L' applicazione delle tecniche di imaging a dataset sintetici, rappresentativi di possibili dinamiche pre-eruttive, fornirà un termine di paragone per lo sviluppo dei futuri sistemi di monitoraggio. L'interpretazione congiunta dei dati geodetici con quelli sismologici e geochimici contribuirà a migliorare la comprensione delle dinamiche del sistema idrotermale ed a formulare ipotesi sull'evoluzione futura del vulcano.

6 Gravimetria assoluta in registrazione continua.Task n.1

Uno dei risultati del progetto UNREST è stata l'installazione di un gravimetro assoluto in registrazione continua in una galleria ferroviaria dismessa della Soc. SEPSA, sito scelto perché risultato, dal punto di vista dinamico quello ideale. Purtroppo a causa dell'elevato noise ambientale, sia antropico che naturale, tale sito è risultato inidoneo. Si prevede, quindi, di riposizionare la stazione permanente costituita da un gravimetro meccanico modificato con sistema di feed-back elettrostatico del tipo MVR . A tale scopo, sarà necessario eseguire delle nuove misure assolute per la caratterizzazione gravimetrica del nuovo sito e per la definizione sul lungo termine della deriva strumentale.

E' inoltre in fase di realizzazione con l'Institute de Physique du Globe di Strasburgo (IPGS - Francia un accordo per il trasferimento in area vulcanica napoletana e per un periodo di circa due anni di un gravimetro superconduttore compatto (GWR C026. Il gravimetro superconduttore è attualmente il sensore gravimetrico più idoneo a rilevare mediante registrazioni le variazioni di g sia a breve che a lungo periodo in particolare perché caratterizzato da una quasi inesistente deriva strumentale (dell'ordine di alcuni microGal/anno. Potrebbe essere presa in considerazione la sua installazione ai Campi Flegrei, congiuntamente al gravimetro meccanico, a partire dal secondo anno del presente progetto.

L'installazione congiunta dei gravimetri meccanico e superconduttore nello stesso sito significherà un notevole potenziamento per l'individuazione delle variazioni di g dell'ordine di alcuni microGal, non rilevabili con il gravimetro meccanico. Inoltre consentirebbe una più accurata calibrazione, sia in ampiezza che in fase, del gravimetro meccanico ed eventualmente di altri strumenti già installati nelle aree vulcaniche napoletane.

Attività e obiettivi I anno.

1. *Miglioramento dell'immagine delle strutture geologiche ottenute con metodi di tomografia sismologica (Task n.1:* a Applicazione di tecniche di interpolazione alle distribuzioni spaziali delle quantità (velocità ed attenuazione ottenute con tecniche tomografiche, per ottenere una funzione continua delle coordinate spaziali da usare nelle tecniche di cross-correlazione tra immagini; b Miglioramento del software di rappresentazione delle immagini da tomografia in

3-D e 2-D.

2. *Studio critico della rilevabilità degli eventi sismici associato alla possibile misura di fenomeni "precursori" delle eruzioni, ovvero di fenomeni relazionabili alle variazioni del campo di sforzo (Task n.1 e Task. n.2:* a Applicazione di tecniche multicanale al rumore registrato ad un array temporaneo ai Campi Flegrei:studio della composizione multi spettrale del rumore (velocità apparente, direzionalità e composizione del campo d'onda; b Test di applicazione di tecniche avanzate di cross-correlazione al rumore registrato ai campi Flegrei per la stima delle funzioni di Green del mezzo; c Ricerca di terremoti simili nei data base disponibili, per ottenere gli interferogrammi delle onde di coda, in parallelo al punto 3a.
3. *Localizzazioni relative in modelli di velocità tridimensionali (Task 1:* a Rilocalizzazioni relative del dataset esistente: si procederà innanzitutto all'individuazione di famiglie di eventi simili, attraverso l'applicazione di tecniche convenzionali (cross-correlazione e tecniche basate sull'utilizzo di reti neurali (Self-Organizing-Maps. Per le famiglie individuate saranno calcolati i ritardi relativi usando tecniche-cross-spettrali procedendo quindi alla rilocalizzazione degli eventi usando tecniche double-difference.
4. *Inversione del campo di sforzi (Task 1:* a I meccanismi focali, ottenuti dopo le rilocalizzazioni, saranno invertiti, effettuando prima un'analisi di clustering (metodo di Yamaji e successivamente, per i cluster meglio determinati anche attraverso l'inversione diretta di Angelier.
5. *Imaging geodetico delle serie temporali ERS/ENVISAT 1992-2010 e delle serie COSMO-SkyMed. (Task n. 2:*a Inversione delle serie temporali esistenti per il periodo 1992-2012: in particolare verrà effettuata l'inversione di tutto il dataset ERS/ENVISAT e si inizierà ad analizzare anche le altre serie temporali SAR disponibili.

Expertise UR

L'Unità di Ricerca ha competenza ed esperienza nello studio della geofisica dei vulcani. In Sismologia vulcanica ha documentata esperienza in Analisi dei segnali (ed in particolare di analisi multicanale, nella caratterizzazione del campo d'onda, in fisica della sorgente (localizzazione e studio del momento tensore, nella propagazione delle onde elastiche in mezzi eterogenei e complessi e nell' imaging sismologico (tomografia in attenuazione, scattering e in velocità. In gravimetria si occupa di misure assolute della gravità sui vulcani, di inversione dei dati per lo studio delle strutture. In deformazioni del suolo, si occupa dei problemi di inversione dei dati da satellite (SAR per la caratterizzazione dellesorgenti di deformazione.

Elenco pubblicazioni recenti e/o rilevanti dei componenti la UR.

BOTTIGLIERI M, GODANO C, D'AURIA L. (2009. Distribution of volcanic earthquake recurrence intervals. JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH. SOLID EARTH, vol. 114, ISSN: 0148-0227, doi: 10.1029/2008JB005942.

D'Agostino G., Germak A., Berrino G., 2010. Long term plumb-line alignment of precise measuring instruments: an adaptive digital controller designed for an auto-levelling plat. Rev. Sci. Instrum., 81, n. 105108, 105108-1_105108-3.

D'AURIA L., Giudicepietro F, Aquino I, Borriello G, Del Gaudio C, Lo Bascio D, Martini M, Ricciardi GP, Ricciolino P, Ricco C (2011. Repeated fluid-transfer episodes as a mechanism for the recent dynamics of Campi Flegrei caldera (1989-2010 JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH VOL. 116, B04313, doi:10.1029/2010JB007837

D'AURIA L., GIUDICEPIETRO F, MARTINI M, ORAZI M, PELUSO R, SCARPATO G (2010. Polarization Analysis in the Discrete Wavelet Domain: An Application to Volcano Seismology. BULLETIN OF THE SEISMOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA, vol. 100; p. 670-683, ISSN: 0037-1106, doi: 10.1785/0120090166

D'AURIA L., MARTINI M, ESPOSITO A.M, RICCIOLINO P, GIUDICEPIETRO F (2008. A

unified 3D velocity model for the Neapolitan volcanic areas. In: W. MARZOCCHI AND A. ZOLLO. Conception, verification, and application of innovative techniques to study active volcanoes. p. 375-390, , ISBN/ISSN: 978-88-89972-09-0

L. De Siena, E. Del Pezzo, F. Bianco (2011. A scattering Image of Campi Flegrei from the Auto Correlation Functions of Velocity Tomograms. Geophys. J. Int. (2011 184, 1304–1310. doi: 10.1111/j.1365-246X.2010.04911.x.

De Siena, L., E. Del Pezzo, and F. Bianco (2010. Seismic attenuation imaging of Campi Flegrei: Evidence of gas reservoirs, hydrothermal basins, and feeding systems, J. Geophys. Res., 115, B09312, doi:10.1029/2009JB006938.

GIUDICEPIETRO F, ORAZI M, SCARPATO G, PELUSO R, D'AURIA L., RICCIOLINO P, LO BASCIO D, ESPOSITO A.M, BORRIELLO G, CAPELLO M, CAPUTO A, BUONOCUNTO C, DE CESARE W, VILARDO G, MARTINI M (2010. Seismological Monitoring of Mount Vesuvius (Italy: More than a Century of Observations. SEISMOLOGICAL RESEARCH LETTERS, vol. 100; p. 670-683, ISSN: 0895-0695, doi: 10.1785/gssrl.81.4.625

M La Rocca, D. Galluzzo, S. Malone, W. McCausland, and E. Del Pezzo (2010 Array analysis and source location of deep tremor in Cascadia subduction zone. J. Geophys. Res., doi:10.1029/2008JB006041, 115. http://www.earth-prints.org/handle/2122/6079

S. Petrosino, L. De Siena, E. Del Pezzo. (2008 Recalibration of the Magnitude Scales at Campi Flegrei, Italy, on the Basis of Measured Path and Site and Transfer Functions Bulletin of the Seismological Society of America, Aug 2008; 98: 1964 - 1974.

Simona Petrosino, Paola Cusano, Mario La Rocca, Danilo Galluzzo, Justo Orozco-Rojas, Mauricio Bretón, Jesus Ibáñez and Edoardo Del Pezzo (2011. Source location of long period seismicity at Volcàn de Colima, México. Bulletin of Volcanolgy, 73, DOI: 10.1007/s00445-011-0447-2. http://www.earth-prints.org/handle/2122/7032

Riccardi U., Berrino G., Corrado G., Hinderer J., 2008. Strategies in the processing and analyses of continuous gravity record in active volcanic areas: the case of Vesuvius. Annals of Geophysics, Vol. 51, n.1,67-85

Piano Finanziario

Categoria di spesa	Importo previsto
1 Spese di personale	2000
2 Spese per missioni	7000
3 Costi amministrativi (solo per i responsabili di programma)	
4 Spese per studi, ricerche ed altre prestazioni professionali	
5 Spese per servizi	
6 Materiale tecnico durevole e di consumo	6480
7 Spese indirette (spese generali	1720
Totale	17200

I Sottoprodotti di pertinenza dell'UR sono riportati in Tabella 1

UR 5: INGV-Pa

Nominativo	Ente	qualifica	mesi-uomo
Responsabile			
Antonio Paonita	INGV Pa	Primo Ricercatore	2
Partecipanti:			
Giorgio Capasso	INGV Pa	Primo Ricercatore	1
Aldo Sollami	INGV Pa	Tecnico	.5
Cinzia Federico	INGV Pa	Ricercatore	.5
Guendalina Pecoraino	INGV Pa	Ricercatore	.5
Leo LaPica	INGV Pa	Tecnico	.5
Francesco Sortino	INGV Pa	Ricercatore	2
Andrea Mastrolia	INGV Pa	Tecnico	.5
Paolo Madonia	INGV Pa	Ricercatore	.5
Serena Diliberto	INGV Pa	Ricercatore	.5
Fabio Di Ganci	INGV Pa	Tecnico	.5
Paolo Cosenza	INGV Pa	Tecnico	.5
Salvo Ingaggiato	INGV Pa	Ricercatore	1
Fabio Vita	INGV Pa	Assegnista	1
Claudio Inguaggiato	INGV Pa	Borsista	1
Salvatore Alparone	INGV-Ct	Tecnologo	1
Marco Aliotta	INGV-Ct	Assegnista	1
Andrea Cannata	INGV-Ct	Ricercatore	1
Salvatore Gambino	INGV-Ct	Primo Tecnologo	1
Salvatore Rapisarda	INGV-Ct	Tecnico	.5
Luciano Scuderi	INGV-Ct	Tecnico	.5
Giuseppe Salerno	INGV-Ct	Ricercatore	.5
Lodato Luigi	INGV-Ct	Ricercatore	1
Bonforte Alessandro	INGV-Ct	Ricercatore	.5
Prestifilippo Michele	INGV-Ct	Tecnologo	.5
Pecora Emilio	INGV-Ct	Tecnologo	.5
Ciancitto Francesco	INGV-Ct	Assegnista	.5
Biale Emilio	INGV-Ct	Tecnologo	.5

Attività e obiettivi su prospettiva triennale.
Vedi task 4 (la UR è la prncipale del Task 4

Attività e obiettivi I anno.
Vedi task 4 (la UR è la principale del Task 4

Expertise.
La UR raggruppa competenze multidisciplinari in quanto combina le expertise provenienti da due Sezioni dell'INGV che vantano esperienza più che trentennale nei settori geochimico e geofisico. In particolare, la Sezione di Palermo si è da sempre occupata della geochimica dei fluidi vulcanici ed idrotermali, sia tramite acquisizione di dati discreti che con il monitoraggio continuo, e della loro interpretazione e modellizzazione nel quadro di processi fisici e chimico-fisici. Allo stesso modo, la Sezione di Catania si è sempre distinta nello studio dell'aspetto geofisico dei sistemi vulcanici, sviluppando sia tecniche di acquisizione di dati di campo (sismica, deformazioni etc., sia strumenti elaborativi per il trattamento e la modellizzazione degli stessi dati. Nel gruppo costituente la

presente UR sono infine disponibili conoscenze nel campo delle tecniche di telerilevamento dei flussi di gas (Cospec, Doas, FTIR e dell'acquisizione e processamento di immagini IR.

Elenco pubblicazioni recenti e/o rilevanti dei componenti la UR.

Federico, C., G. Capasso, A. Paonita and R. Favara (2010 Effects of steam-heating processes on a stratified volcanic aquifer: Stable isotopes and dissolved gases in thermal waters of Vulcano Island (Aeolian archipelago, J. Volcanol. Geotherm. Res., 192, 178-190.

Nuccio P. M., Paonita A. (2001: Magmatic degassing of multicomponent vapors and assessment of magma depth: application to Vulcano Island (Italy, Earth Planet. Sci. Lett., 193 (3-4, 467-481.

Paonita A., Favara R., Nuccio P.M., Sortino F. (2002: Genesis of fumarolic emissions as inferred by isotope mass balances: CO_2 and water at Vulcano Island, Italy. Geochim. Cosmochim. Acta, 66(5, 759-772.

Di Liberto V., Nuccio P.M., Paonita A. (2002: Genesis of chlorine and sulphur in fumarolic emissions at Vulcano Island (Italy: assessment of pH and redox conditions in the hydrothermal system. J. Volcanol. Geotherm. Res., 116, 137-150.

Nuccio P.M., Paonita A., Rizzo A., Rosciglione A. (2008 Elemental and isotope covariation of noble gases in mineral phases from Etnean volcanics erupted during 2001–2005, and genetic relation with peripheral gas discharges. Earth Planet. Sci. Lett. 272, 683–690.

Gambino, S., Milluzzo, V., Scaltrito, A., Scarfi, L., (2102. Relocation and focal mechanisms of earthquakes in the south-central sector of the Aeolian Archipelago: New structural and volcanological insights. Tectonophysics, 524, 108-115. DOI: 10.1016/j.tecto.2011.12.024.

Harris A., Alparone S., Bonforte A., Dehn J., Gambino S., Lodato L., Spampinato L. (2012. Vent temperature trends at the Vulcano Fossa fumarole field: the role of permeability. Bull. Volcanol. In press. DOI 10.1007/s00445-012-0593-1.

Harris A., Lodato L, Dehn J., Spampanato L. (2008. Thermal characterization of the Vulcano fumarole field. Bull. Volcanol., 1-18, ISSN: 0258-8900, doi: 10.1007/s00445-008-0236-8.

Cannata, A., I.S. Diliberto, S. Alparone, S. Gambino, S. Gresta, M. Liotta, P. Madonia, V. Milluzzo, M. Aliotta and P. Montalto (2011. Multiparametric approach in investigating hydrothermal systems: The case of study of Vulcano (Aeolian Islands, Italy, Pure Appl. Geophys. 169, 167-182. doi: 10.1007/s00024-011-0297-z.

Milluzzo V., Cannata, A., Alparone, S., Gambino, S., Hellweg, M., Montalto, P., Cammarata, L., Diliberto, I.S., Gresta S., Liotta, M., and Paonita A. (2010. Tornillos at Vulcano: clues to the dynamics of the hydrothermal system. J. Volcanol. Geotherm. Res., doi:10.1016/j.jvolgeores.2010.09.022.

Alparone S, Cannata A, Gambino S, Gresta S, Milluzzo V, Montalto P. (2010. Time-space variation of volcano-seismic events at La Fossa (Vulcano, Aeolian Islands, Italy: new insights into seismic sources in a hydrothermal system Bull. Volc., 72, 7, 803-816.

Gambino S., Cammarata L. Rapisarda S. (2009. High precision locations of long-period events at La Fossa Crater (Vulcano Island, Italy Annals of Geophysics, 52, 2, 137-147.

Calvari S, Lodato L, Spampinato L (2004. Monitoring active volcanoes using a handheld thermal camera. In: Douglas D. Burleigh, K. Elliott Cramer, G. Raymond Peacock. Thermosense XXVI. vol. 5405, p. 1-11, Bellingham:Douglas D. Burleigh, doi: 10.1117/12.547497

Inguaggiato, S., A. Mazot, I.S. Diliberto, C. Inguaggiato, P.Madonia, D. Rouwet and F. Vita.(2012 Total CO_2 output from Vulcano Island (Aeolian Island, Italy, Geochem. Geophys. Geosys., doi:10.1029/2011GC003920.

Vita F., Inguaggiato S., Bobrowski N., Calderone L., Bo Galle, Parello F. (2012 Continuous SO_2 flux measurements for Vulcano Island, Italy. Ann. Geophys., 55, 2, doi: 10.4401/ag-5759.

Piano Finanziario

Categoria di spesa	Importo previsto
1 Spese di personale	3900
2 Spese per missioni	18000
3 Costi amministrativi (solo per i responsabili di programma)	
4 Spese per studi, ricerche ed altre prestazioni professionali	
5 Spese per servizi	
6 Materiale tecnico durevole e di consumo	13380
7 Spese indirette (spese generali	3920
Totale	39200

I Sottoprodotti di pertinenza dell'UR sono riportati in Tabella 1

UR 6: INGV-PI

Nominativo	Ente	qualifica	mesi-uomo
Responsabile:			
Paolo Papale	INGV-PI		1.5
Partecipanti:			
Antonella Longo	INGV-PI	ricercatore	1
Chiara Paola Montagna	INGV-PI	ricercatore	0
Gilberto Saccorotti		I ricercatore	1
Alessandro Fornaciai		assegnista di ricerca	0
1 assegnista di ricerca livello post-doc		assegnista di ricerca	12

Attività e obiettivi su prospettiva triennale.
Attività 1: Modellazione fisico-numerica di processi di convezione e mixing in sistemi magmatici, e identificazione di segnali e associazioni di segnali geofisici associati (Tasks 2 e 3.
Attività 2: Responsabilità del Task 3: Aggiornamento dell'albero degli eventi per le fasi pre-eruttive ai Campi Flegrei.
Obiettivi triennali:
Attività 1: 1.1 Creazione di un data repository di riferimento per le dinamiche di convezione e mixing in sistemi magmatici ai Campi Flegrei; 1.2 Identificazione dei segnali geofisici, e in particolare di associazioni di segnali geofisici, caratterizzanti le dinamiche di convezione e mixing in sistemi magmatici ai Campi Flegrei; 1.3 Confronto tra i segnali sintetici prodotti dalle simulazioni numeriche, e i segnali reali registrati dalle reti di monitoraggio, in particolare segnali deformativi dalla rete di dilatometri e clinometri (in collaborazione con le UR UNI-SA e INGV-OV; 1.4 Analisi dei limiti e delle potenzialità dei correnti metodi di regressione di segnali geofisici.
Attività 2 Coordinamento del Task 3: 2.1 Supporto alla creazione di una "informed community" attraverso il metodo "Delphi" (in collaborazione con J. Selva della UR INGV-BO; 2.2 Aggiornamento, in collaborazione con le altre UR del progetto e in particolare con la UR INGV-BO (L. Sandri, e con quanto verrà sviluppato nel progetto europeo VUELCO, di un albero degli eventi per le fasi pre-eruttive dei Campi Flegrei, includendo: i i nodi 4 (apertura dei vent e ii 5 (taglia delle eruzioni in relazione alle dinamiche osservate e misurate dalle reti di monitoraggio; iii eventi in grado di determinare situazioni di pericolo indipendentemente dal verificarsi di una eruzione (ampie deformazioni; sismicità; esplosioni freatiche; eventi di degassamento; 2.3 Studio di fattibilità per l'inclusione delle valutazioni mediante albero degli eventi tra le attività regolarmente effettuate per conto del Dipartimento della Protezione Civile.

Obiettivi per il primo anno.
Attività 1: 1.1 e 1.2 Analisi di simulazioni numeriche di dinamiche di convezione e mixing in sistemi magmatici ai Campi Flegrei, con particolare riferimento alla distribuzione spazio-temporale delle grandezze fisiche in grado di influenzare i segnali geofisici registrabili in superficie; 1.2 Prime identificazioni di associazioni di segnali geofisici diagnostici di movimenti convettivi in sistemi magmatici; 1.3 e 1.4 Prima valutazione delle caratteristiche principali dei segnali dalle reti di dilatometri e clinometri (in cooperazione con le UR UNI-SA e INGV-OV.
Attività 2 Coordinamento del Task 3: 2.1 e 2.2 Aggiornamento, in collaborazione con le altre UR del progetto e in particolare con la UR INGV-BO (L. Sandri, dell'attuale albero degli eventi per le fasi pre-eruttive ai Campi Flegrei mediante i valutazione delle dinamiche osservate nel corso degli ultimi anni; ii valutazione dei più recenti risultati scientifici; iii inclusione di associazioni di segnali oltre ai singoli segnali attualmente considerati; iv ad uno stadio iniziale: valutazione di eventi pericolosi non eruttivi. Creazione, in collaborazione con le UR UNI-RM3 (R. Scandone e V.

Acocella e INGV-BO (L.Sandri e L. Zaccarelli di un data repository di riferimento a scala mondiale, per quanto concerne le possibili relazioni tra precursori osservati e i posizione del vent; ii taglia dell'eruzione (intensità e magnitudo.

Expertise.
Il gruppo di ricerca ha notevole esperienza nel campo della modellistica fisico-matematica dei processi magmatici e vulcanici, sviluppo e applicazione di codici numerici, analisi di serie temporali misurate da reti di monitoraggio e prodotte da codici numerici, valutazione della pericolosità vulcanica, e coordinamento di gruppi di ricerca. Il Responsabile di UR è stato Coordinatore Generale dei progetti INGV-DPC nelle Convenzioni 2004-2006 e 2007-2009; Presidente della Divisione GMPV dell'EGU dal 2007 al 2011. Attualmente è Coordinatore del progetto europeo FP7 MC-ITN "NEMOH", e Principal Investigator del Partner INGV nel progetto europeo FP7 COOP. "VUELCO".

Elenco pubblicazioni recenti e/o rilevanti dei componenti la UR.

A. Longo, M. Vassalli, P. Papale, M. Barsanti (2006 Numerical simulation of convection and mixing in magma chambers replenished with CO_2-rich magma. Geophys. Res. Lett. 33, doi: 10.1029/2006GL02772.

Mangiacapra, A., Moretti, R., Rutherford, M.J., Civetta, L., Orsi, G., Papale, P. (2008 The deep magmatic system of the Campi Flegrei caldera (Italy. Geophys. Res. Lett., 35, L21304, doi:10.1029/2008GL035550.

Longo, A., Barbato, D., Papale, P., Saccorotti, G. and M. Barsanti (2008. Numerical simulation of the dynamics of fluid oscillations in a gravitationally unstable, compositionally stratified fissure. From: LANE, S. J. & GILBERT, J. S. (eds Fluid Motions in Volcanic Conduits: A Source of Seismic and Acoustic Signals. Geological Society, London, Special Publications, 307, 33– 44.

I. Arienzo, R. Moretti, L. Civetta, G. Orsi, P. Papale (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, doi: 10.1016/j.chemgeo.2009.11.012.

E. Peruzzo, M. Barsanti, F. Flandoli, and P. Papale (2010 The stochastic quantization method and its application to the numerical simulation of volcanic conduit dynamics under random conditions. Solid Earth, 1: 49-59, doi:10.5194/se-1-49-2010.

Longo A., Papale P., Vassalli M., Saccorotti G., Montagna C.P., Cassioli A., Giudice D., Boschi E. (2011 Magma convention and mixing dynamics as a source of Ultra-Long-Period oscillations. Bull. Volcanol., doi: 10.1007/s00445-011-0570-0.

Eichelberger, J., Marzocchi, W., Papale, P. (2012 Identifying Best Practices in short-term eruption forecasting. EOS, 93: 5.

A. Longo, M. Barsanti, A. Cassioli, P. Papale (2012 A finite element Galerkin/least-squares method for computation of multicomponent compressible-incompressible flows. Computer and Fluids, in press.

Piano Finanziario

Categoria di spesa	Importo previsto
1 Spese di personale	3900
2 Spese per missioni	3100
3 Costi amministrativi (solo per i responsabili di programma)	

4 Spese per studi, ricerche ed altre prestazioni professionali	26400
5 Spese per servizi	
6 Materiale tecnico durevole e di consumo	2500
7 Spese indirette (spese generali	3300
Totale	39200

I Sottoprodotti di pertinenza dell'UR sono riportati in Tabella 1

UR 7: UNI Roma Tre

Nominativo	Ente	qualifica	mesi-uomo
Responsabile:			
Valerio Acocella	Ricercatore	Università Roma Tre	4
Pertecipanti:			
Roberto Scandone	Prof. Ordinario	Università Roma Tre	3
Maurizio Battaglia	Prof. Associato	Univ. Roma La Sapienza	1
Marco Neri	Primo Ricercatore	INGV Catania	1

Attività e obiettivi su prospettiva triennale.

Le eruzioni sono precedute da uno stato di unrest del vulcano; tuttavia, la maggior parte degli unrest osservati nelle caldere non culmina in eruzioni. Un unrest, indipendentemente dall'esito, è comunque caratterizzato da una serie di differenti fenomeni. La sfida della vulcanologia consiste nel riuscire ad individuare i precursori, in chiave previsionale. Ciò è particolarmente auspicabile in caldere attive e densamente popolate, con sistema idrotermale sviluppato che complica il segnale magmatico, come i Campi Flegrei.

L'obiettivo dell'UR è la definizione e l'analisi di possibili precursori per comprendere se una fase di unrest abbia una potenzialità eruttiva nell'area Flegrea, attraverso un approccio triennale integrato, che consideri i seguenti punti:

a) Creazione ed analisi di un data repository dei fenomeni osservati e misurati, in epoca storica ed attuale, durante le fasi di unrest ai Campi Flegrei, inclusa l'eruzione del 1538 (Task 1. Tale data repository mira a sfruttare le conoscenze acquisite in oltre due millenni, attualmente frammentate e sottoutilizzate, per comprendere le dinamiche eruttive ed i processi di unrest. La ricerca si articola in tre fasi, della durata di un anno ciascuna: a1 creazione del data repository; a2 analisi ed interpretazione del data repository; a3 contestualizzazione dei risultati acquisiti nel modello concettuale del Task 2 e nei modelli probabilistici del Task 3.
b) Messa a punto di un moderno data repository dei processi di unrest delle caldere. Tale studio considera le dinamiche di unrest flegreo del punto a in un contesto più ampio, attraverso una revisione critica dei dati di unrest di caldere del mondo, con particolare attenzione all'ultimo ventennio. Tali dati costituiscono un imprescindibile patrimonio di conoscenze per formulare un modello di riferimento previsionale e statisticamente significativo per comprendere la natura e le potenzialità eruttive degli unrest della caldera Flegrea. La ricerca si articola in due fasi: b1 creazione del data repository (anni 1 e 2; b2 analisi ed interpretazione del data repository e contestualizzazione dei risultati acquisiti nel modello concettuale del Task 2 e nei modelli probabilistici del Task 3 (anno 3.
c) Stima dei volumi attesi da una possibile eruzione ai Campi Flegrei, attraverso la messa a punto di un modello di riferimento generale, che relazioni le deformazioni superficiali dei vulcani (definendo il volume del rigonfiamento da dati geodetici, il volume di magma intruso (deducibile dalle emissioni SO_2 e i volumi eruttati da vulcani nell'ultimo ventennio. La ricerca si articola in 3 fasi: c1 Raccolta ed elaborazione dati geodetici, di SO_2 e dei volumi eruttati (anno 1; c2 creazione di un modello di riferimento, irrinunciabile per stimare i possibili volumi eruttivi attesi da un eventuale unrest ai Campi Flegrei, e sua validazione attraverso modelli numerici (anno 2; c3 contestualizzazione dei risultati acquisiti nelle ricerche descritte nei punti a e b, nel modello concettuale del Task 2 e nei modelli probabilistici del Task 3 (anno 3

Attività previste per il primo anno.

Task a1 Creazione del data repository dei fenomeni osservati e misurati, in epoca storica ed attuale, durante le fasi di unrest ai Campi Flegrei.

Task b1 Creazione di un moderno data repository dei processi di unrest delle caldere, con particolare attenzione all'ultimo ventennio.

Task c1 Raccolta ed elaborazione dati geodetici, di flussi gassosi (normalmente SO_2 e dei volumi eruttati da vulcani nell'ultimo ventennio.

Expertise.

L'unità di ricerca Roma Tre è costituita da ricercatori con comprovata esperienza a carattere multidisciplinare ed attivi da decenni nello studio dei processi eruttivi, pre-eruttivi (precursori e deformativi nei vulcani, in particolare su sistemi calderici. Su tali tematiche, gli afferenti all'unità hanno effettuato numerosi studi sui principali vulcani italiani, attivi e non (tra cui i Campi Flegrei, Vesuvio, Ischia, Etna, Stromboli, Vulsini e su vulcani in nord America, Ande Centrali, Sud Pacifico, Islanda, Isole Azzorre, Etiopia e Afar, Iran, Giappone, Kamchatka, Nuova Zelanda. Le principali tecniche utilizzate includono l'analisi di terreno, il telerilevamento, la modellazione numerica ed analogica, l'interferometria radar satellitare (InSAR, lo studio delle cronache storiche delle eruzioni e della loro preparazione, l'analisi di dati geofisici (geodesia e gravimetria.

Elenco pubblicazioni recenti e/o rilevanti dei componenti la UR.

Acocella V. (2007 Understanding caldera structure and development: an overview of analogue models compared to natural calderas. *Earth Science Reviews*, 85, 125-12.

Acocella V. (2008 Activating and reactivating pairs of nested collapses during caldera-forming eruptions: Campi Flegrei (Italy. *Geophysical Research Letters*, 35, L17304, doi:10.1029/2008GL035078.

Acocella V. (2010 Evaluating fracture patterns within a resurgent caldera: Campi Flegrei. Italy. *Bulletin of Volcanology*, 72, 623-638.

Acocella V., Palladino D.M., Cioni R., Russo P., Simei S. (2012 Caldera structure, amount of collapse and erupted volumes: the case of Bolsena Caldera, Italy. *Geological Society of America Bulletin*, in stampa.

Giacomelli L., Scandone R., (2007 Vulcani d'Italia, libro edito da Liguori Ed. Napoli, 524 pp .

Scandone R., Acocella V., (2007 The control of the aspect ratio of the chamber roof on caldera formation during silicic eruptions. Geophys. Res. Lett.. 34, L22307, doi:10.1029/2007GL032059.

Scandone R., Giacomelli L. (2008 Precursors of eruptions at Vesuvius (Italy. J. Volcanol. Geoth. Res. 171, 191-200, doi:10.1016/j.jvolgeores.2007.11.018.

Scandone R., Cashman K., Malone S.D., (2007 Magma Supply, Magma Ascent and the Style of Volcanic Eruptions, Earth Planet. Sci. Lett. 253, 513-529, doi: 10.1016/j.epsl.2006.11.016.

Scandone R., D'Amato J., Giacomelli L., (2010 The relevance of the 1198 eruption of Solfatara in Phlegraen Fields (Campi Flegrei as revealed by medieval manuscript and historical sources. J. Volcanol. Geoth. Res. 189, 202-206, doi:10.1016/j.jvolgeores.2009.09.012.

Scandone R., Giacomelli L., Fattori Speranza F., (2006 The volcanological history of the volcanoes of Naples: a review, in B. De Vivo Editor, "Volcanism in the Campania Plain", Developments in Volcanology-9, Elsevier, 1-26.

Solaro G., Acocella V., Pepe S., Ruch J., Neri M., Sansosti E. (2010 Anatomy of an unstable volcano from InSAR: multiple processes affecting flank instability at Mt. Etna, 1994-2008. *Journal of Geophysical Research*, 115, B10405, doi:10.1029/2009JB000820.

Piano Finanziario

Categoria di spesa	Importo previsto
1) Spese di personale	
2) Spese per missioni	3260
3) Costi amministrativi (solo per i responsabili di programma)	
4) Spese per studi, ricerche ed altre prestazioni professionali	33820
5) Spese per servizi	
6) Materiale tecnico durevole e di consumo	
7) Spese indirette (spese generali)	4120
Totale	41200

I Sottoprodotti di pertinenza dell'UR sono riportati in Tabella 1

UR 8: UNI-SA

Nominativo	Ente	qualifica	mesi-uomo
Responsabile:			
Roberto Scarpa	Università di Salerno	Professore Ordinario	3
Partecipanti:			
Capuano Paolo	Università di Salerno	Professore Associato	3
Crescentini Luca	Università di Salerno	Professore Associato	3
Amoruso Antonella	Università di Salerno	Ricercatore	3
Bilham Roger	Università del Colorado	Professore	1
Errico Antonio	Università di Salerno	Dottorando	6
Sabbetta Ilaria	Università di Salerno	Dottoranda	6

Attività e obiettivi su prospettiva triennale.
L'attività dell'UR sarà svolta in riferimento principalmente ai Task1, 2 e 3 del progetto. In particolare si propone una revisione critica dei dati sismologici e geodetici raccolti negli ultimi decenni con particolare riferimento ai dati degli strumenti posti nel pozzi profondi (dilatometri e nelle gallerie sotterranee (clinometri a base lunga. Questi ultimi strumenti hanno grosse potenzialità ai fini della rilevazione dei fenomeni precursori di eruzioni e i dati raccolti hanno mostrato alcune interessanti proprietà rispetto al minisollevamento del 2006 e a uno sciame sismico avvenuto nel corso del 2010. L'obiettivo dell'UR è quello di analizzare criticamente di tutti i segnali finora registrati, dell'interpretazione di questi ultimi alla luce di fenomeni precursori in altre aree vulcaniche e del loro utilizzo in termini della messa a punto di un sistema di early warning vulcanico
Saranno inoltre analizzati i dati SAR, già a disposizione dell'UR o che lo diventeranno nell'ambito del progetto, in modo da evidenziare e possibilmente interpretare l'evoluzione del campo di deformazione superficiale negli ultimi anni. I modelli di sorgente utilizzati nell'inversione saranno ulteriormente arricchiti, anche rispetto a quanto fatto recentemente dall'UR, sviluppando tecniche approssimate di calcolo, applicabili a episodi di iniezione di fluidi.

Attività e obiettivi I anno.
L'attività del I anno consisterà nella messa a punto di un data base sulla rete dilatometrica installata ai Campi Flegrei e al Vesuvio fin dal giugno 2004 e nel sistema formato da due clusters di clinometri a base lunga installati fin dal 2008 in due gallerie sotterranee dei Campi Flegrei. Le registrazioni ottenute hanno messo finora in evidenza la presenza di alcuni segnali transienti di temperature e deformazioni associati agli episodi di minisollevamento registrati negli ultimi anni ed in particolare nel corso del 2006. L'obiettivo nel corso del I anno consisterà, in particolare, nel rendere in modo più fruibile il data base esistente ai fini dell'analisi dei segnali che consisterà principalmente nella rimozione di tutti gli elementi di alterazione sistematica dei segnali (pressione atmosferica, temperatura, maree e carico oceanico al fine di meglio evidenziare i segnali transienti a breve e a lungo termine.
Per quanto riguarda l'analisi dei dati SAR, durante il I anno si utilizzeranno quelli relativi al periodo 1993-2007, già concessi dall'IREA-CNR, e quelli successivi, per completare lo studio delle similitudini e differenze del campo di deformazione durante le varie fasi di bradisismo positivo e negativo e il confronto con quello relativo al sollevamento dei primi anni '80.

Expertise.
Il gruppo di ricerca ha esperienza pluriennale nella installazione e gestione di sistemi di acquisizione dati a elevata sensibilità, e nel relativo trattamento di questi dati ai fini della ricerca dei transienti asismici modellistica dei segnali .

Il gruppo di ricerca ha altresì esperienza pluriennale nella modellazione matematica delle sorgenti di deformazione in aree vulcaniche e nell'inversione di dati geodetici.

Elenco pubblicazioni recenti e/o rilevanti dei componenti la UR.

Crescentini L., Amoruso A., Scarpa R., 1999. Constraints on slow earthquakes dynamics from a swarm in Central Italy. Science, 286, 2132-2134. C.34

Amoruso A., Crescentini L., Scarpa R., 2000. Removing tidal and atmospheric effects from Earth deformation measurements. Geophys.J.Int.,140, 493-505.

Scarpa R., Amoruso A., Crescentini L., Linde A.T., Sacks I.S., Del Pezzo E., Martini M., 2000. Forecasting volcanic eruptions: the case of Vesuvius and Campi Flegrei. In" Problems in Geophysics for the New Millennium" , Boschi E., Ekstrom G., Morelli A. (Eds., 13-26, Ed.Compositori, Bologna

Scarpa R., 2001. Predicting volcanic eruptions. Science, 293, 615-616.

Amoruso A., Crescentini L., Morelli A., Scarpa R., 2002. Slow rupture of an aseismic fault in a seismogenic region of central Italy. Geophys.Res.Lett., 29, 2219, doi:10.1029/2002GL01227.

De Martino S., Falanga M., Scarpa R., Godano C., 2005. Very long period volcanic tremor at Stromboli volcano, Italy. Bull.Seism.Soc.Am., 95, 1186-1192.

De Lauro E., De Martino S., Falanga M., Palo M., Scarpa R., 2005. Evidence of VLP volcanic tremor in the band [0.2-0,5] Hz at Stromboli volcano, Italy. Geophys.Res.Lett., 32, doi:10.1029/2005GL023466.

Di Lieto B., Saccorotti G., Zuccarello L., La Rocca M., Scarpa R., 2007. Continuous tracking of volcanic tremor at Mount Etna, Italy. Geophys.J.Int., 169, 699-705, doi:10.1111/j.1365-246X.2007.03316.x

Scarpa R., Amoruso A., Crescentini L., Romano P., De Cesare W., Martini M., Scarpato G., Linde A.T., Sacks S.I., 2007. New borehole strain system detects uplift at Campi Flegrei., EOS Trans.A.G.U., 88(18, 197-203.

Amoruso A., L. Crescentini, A. T. Linde, I. S. Sacks,R. Scarpa, and P.Romano, 2007, A Horizontal Crack in a Layered Structure Satisfies Deformation for the 2004-2006 Uplift of Campi Flegrei, Geophys.Res.Lett. ,34, L22313, doi:10.1029/2007GL031644.

Crescentini L., Amoruso A., 2007. Effects of crustal layering on the inversion of deformation and gravity data in volcanic areas: An application to the Campi Flegrei caldera, Italy. Geophys. Res. Lett., 34, L09303, doi: 10.1029/2007GL029919.

De Lauro, E., S. De Martino, E. Del Pezzo, M. Falanga, M. Palo, and R. Scarpa, 2008, Model for high-frequency Strombolian tremor inferred by wavefield decomposition and reconstruction of asymptotic dynamics, J. Geophys. Res., 113, B02302, doi:10.1029/2006JB004838.

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 the 1982-1984 unrest at Campi Flegrei caldera (Italy. Earth Planet. Sci. Lett., 272, 181-188, doi: 10.1016/j.epsl.2008.04.040.

Scarpa R., Linde A.T., Sacks S.I.,Romano P., 2009. Continuous borehole strain observations at italian volcanoes, in The VOLUME Project VOLcanoes: Understanding subsurface mass moveMEnt, Edited by C. J. Bean, A. K. Braiden, I. Lokmer, F. Martini, G. S. O'Brien, ISBN: 978-1-905254-39-2, Publisher: VOLUME Project Consortium, Dublin, March 2009.

E. De Lauro, De Martino S. , Falanga M. , Palo M. , Scarpa R. , 2009, A review of source processes and magma-gas transport mechanism at volcano Stromboli, in The VOLUME Project VOLcanoes: Understanding subsurface mass moveMEnt, Edited by C. J. Bean, A. K. Braiden, I. Lokmer, F. Martini, G. S. O'Brien, ISBN: 978-1-905254-39-2, Publisher: VOLUME Project Consortium, Dublin, March 2009.

De Lauro E., De Martino S., Falanga M., Palo M., Scarpa R., 2009. Strombolian-like volcanic activity: a common macroscopic behaviour. Int. J. Mod. Phys. B , 23, 5543-5552.

Amoruso A., Crescentini L., 2009. Shape and volume change of pressurized ellipsoidal cavities

from deformation and seismic data. J. Geophys. Res., 114, B02210, doi: 10.1029/2008JB005946

Amoruso A., Crescentini L., 2011. Modelling deformation due to a pressurized ellipsoidal cavity, with reference to the Campi Flegrei caldera, Italy. Geophys. Res. Lett., 38, L01303, doi: 10.1029/2010GL04230.

Scarpa R., 2012, IMEWS: An International mobile early warning system for volcanic eruptions and related seismic activity, UNESCO, Paris (in corso di stampa

Piano Finanziario

Categoria di spesa	Importo previsto
1) Spese di personale	
2) Spese per missioni	5000
3) Costi amministrativi (solo per i responsabili di programma)	
4) Spese per studi, ricerche ed altre prestazioni professionali	22950
5) Spese per servizi	14500
6) Materiale tecnico durevole e di consumo	1830
7) Spese indirette (spese generali)	4920
Totale	49200

I Sottoprodotti di pertinenza dell'UR sono riportati in Tabella 1

UR 9: INGV-BO

Nominativo	Ente	qualifica	mesi-uomo
Responsabile:			
Micol Todesco	INGV-BO	Ricercatore	2
Partecipanti:			
Laura Sandri	INGV-BO	Ricercatore	1
Jacopo Selva	INGV-BO	Ricercatore	.5
Lucia Zaccarelli	INGV-BO	Ricercatore	.5
Dmitri Rouwet	INGV-BO	Ricercatore	.5
Anita Grezio	INGV-BO	Ricercatore	1
Alberto Comastri	INGV-BO	CTER	1
Antonio Rinaldi	LBNL Ca (USA)	Post-doc	.5

Attività e obiettivi su proposta triennale.
TASK 1. Osservato: dati e modelli concettuali ai Flegrei (in collaborazione con le UR di Napoli e Roma III
(1 Contributo alla costituzione di un data repository relativo ad eruzioni vulcaniche e periodi di unrest preceduti da periodi di monitoraggio, in Italia e nel mondo. Il data repository raccoglierà tutte le informazioni utili a caratterizzare gli eventi di unrest, sia nel caso siano isolati, che quando siano seguiti da attività eruttiva.
(2 Valutazione delle fonti storiche edite relative ai diversi periodi di unrest ai Campi Flegrei in epoca storica. Le fonti saranno esaminate per identificare elementi utili a ricostruire la dinamica degli acquiferi e l'evolversi dell'attività fumarolica della Solfatara.

TASK 2 Modelli fisici del sistema idrotermale e del sistema magmatico e modelli concettuali (in collaborazione con le UR di Napoli e di Pisa
(1 Ampliamento del numero degli osservabili ricavati a partire dalle variabili principali del modello numerico di circolazione idrotermale. In particolare, verrà introdotto il calcolo del potenziale spontaneo dovuto alla circolazione di fluidi nel sottosuolo.
(2 Allargamento del numero di serie temporali utilizzate nel modello inverso, inserendo osservabili ottenuti dall'elaborazione delle variabili principali del modello, come le variazioni di gravità, la resistività elettrica e, in un secondo momento, il potenziale spontaneo. Questi osservabili sono calcolati in funzione della composizione e distribuzione delle fasi fluide e consentono di ampliare le possibilità di confronto con i dati reali, consentendo quindi una migliore calibrazione del modello.

TASK 3 Miglioramento nella valutazione probabilistica dello stato del vulcano (in collaborazione con l'UR di Pisa e il progetto Europeo VUELCO
(1 Analisi dei dati raccolti nell'ambito del TASK 1 con tecniche statistiche multivariate che mettano in luce eventuali pattern comuni e ricorrenti in diversi vulcani e che siano indicativi della posizione della bocca eruttiva o della taglia nel breve termine.
(2 Valutazione probabilistica della posizione della bocca e delle possibili taglie eruttive a breve termine, includendo eventuali pattern ritrovati nel data repository collezionato.
(3 Inclusione di eventi pericolosi non magmatici nell'albero degli eventi, quali quelli legati ad attività idrotermale e freatica.

Attività e obiettivi I anno.
TASK 1. Osservato: dati e modelli concettuali ai Flegrei (in collaborazione con le UR di Napoli e Roma III
(1 Creazione di un data repository mondiale di eruzioni vulcaniche precedute da un periodo di monitoraggio, le cui misure siano disponibili in letteratura.

(2 Identificazione di eventuali fonti storiche e testimonianze epigrafiche da integrare con una messa a punto della lettura archeologica edita per il periodo alto imperiale (I-III secolo d.C.. Lo studio permetterà una ricostruzione rigorosa (da un punto di vista storiografico delle fasi di edificazione e restauro del Serapeo di Pozzuoli, in relazione alla sua posizione rispetto alla linea di costa.

TASK 2 Modelli fisici del sistema idrotermale e del sistema magmatico e modelli concettuali (in collaborazione con le UR di Napoli e di Pisa
(1 Definizione del modello concettuale di partenza concordato con tutte le UR del progetto; acquisizione ed elaborazione delle serie temporali di dati disponibili, rappresentativi dell'evoluzione recente della Solfatara dei Campi Flegrei.
(2 Calibrazione del modello inverso di circolazione idrotermale, sulla base di un sottoinsieme di dati di monitoraggio; applicazione del modello inverso allo studio dell'evoluzione recente del sistema Flegreo. Valutazione di proprietà e condizioni del sistema coerenti con l'evoluzione osservata. Interpretazione delle recenti fasi di unrest ai Campi Flegrei in base ai risultati dell'inversione, e consolidamento del modello concettuale.

TASK 3 Miglioramento nella valutazione probabilistica dello stato del vulcano (in collaborazione con l'UR di Pisa e il progetto Europeo VUELCO
(1Applicazione retrospettiva per il periodo 2009-2012 dell'albero degli eventi prodotto dai progetti INGV/DPC V3_2 e UNREST
(2 Avvio dello studio della combinazione di più anomalie nei parametri di monitoraggio
(3 Aggiornamento preliminare dell'albero in conseguenza delle nuove osservazioni e dei nuovi modelli sviluppati negli ultimi anni; eventuale inclusione di associazioni di parametri
(4 Ricognizione ed analisi di eventi potenzialmente pericolosi, non strettamente legati ad attività magmatica o eruttiva; identificazione di possibili parametri discriminanti.

Expertise.
L'applicazione del simulatore geotermico TOUGH2 in ambito vulcanologico ha permesso di mettere in relazione la dinamica della circolazione dei fluidi con anomalie osservate in diversi parametri geochimici e geofisici, come le variazioni di composizione dei gas emessi [*Chiodini et al.*, 2003], la deformazione del suolo [*Rinaldi et al.*, 2010], le variazioni di gravità [*Todesco*, 2009] e di resistività elettrica [*Rinaldi et al.*, 2011]. La ricerca ha anche mostrato come queste variazioni dipendano non solo dalle caratteristiche della sorgente magmatica, ma anche da quelle del mezzo poroso [*Todesco et al.*, 2010]. Lo studio di diversi sistemi magmatico-idrotermali, in fase di unrest e non, ha permesso di identificare fattori importanti nella dinamica dei vulcani attivi che subiscono eruzioni freatiche [*Rouwet et al.*, 2009; subm.]. La costruzione del data repository si avvarrà di tutte le informazioni già raccolte nell'ambito delle banche dati italiana (DIVO [*Selva et al*. 2009] e mondiale (WOVOdat [*Schwandner et al*., 2007], L'analisi statistica multivariata è già stata intrapresa in passato per quanto riguarda lo studio della sismicità registrata in diverse aree vulcaniche del mondo, allo scopo di identificare pattern che potessero distinguere fasi pre-eruttive da unrest abortiti [*Sandri et al.*, 2004; 2005].
La valutazione delle fonti storiche si avvarrà della ricca esperienza accumulata nell'ambito degli studi di sismologia storica del mondo antico che hanno portato alla stesura di un catalogo di terremoti riguardanti l'Italia e il bacino del Mediterraneo [*Guidoboni et al*., 1994].

Elenco pubblicazioni recenti e/o rilevanti dei componenti la UR.
Chiodini, G., M. Todesco, and S. Caliro (2003, Magma degassing as a trigger of bradyseismic events: The case of Phlegrean Fields (Italy, *Geophysical Research Letters*, 30 (8, 1434-1438.
Guidoboni, E., Comastri, A., and G. Traina (1994 Catalogue of ancient earthquakes in the Mediterranean area up to the 10th century, ING-SGA, 1994, 504 pp.

Lindsay, J., W. Marzocchi, G. Jolly, R. Constantinescu, J. Selva, and L. Sandri (2010, Towards real-time eruption forecasting in the Auckland Volcanic Field: application of BET_EF during the New Zealand National Disaster Exercise "Ruaumoko," *Bulletin of Volcanology*, *72*(2, 185–204, doi:10.1007/s00445-009-0311-9.

Marzocchi W, Sandri L, Selva J (2008 BET_EF: a probabilistic tool for long- and short-term eruption forecasting, Bulletin of Volcanology, vol. 70, p. 623-632.

Rinaldi, A., M. Todesco, and M. Bonafede (2010, Hydrothermal instability and ground displacement at the Campi Flegrei caldera, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, *178*(3-4, 155–161.

Rinaldi, A., M. Todesco, J. Vandemeulebrouck, A. Revil, and M. Bonafede (2011, Electrical conductivity, ground displacement, gravity changes, and gas flow at Solfatara crater (Campi Flegrei caldera, Italy: Results from numerical modeling, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, doi:10.1016/j.jvolgeores.2011.07.008.

Sandri, L., W. Marzocchi, and L. Zaccarelli (2004, A new perspective in identifying the precursory patterns of eruptions, *Bulletin of Volcanology*, 66(3, 263–275, doi:10.1007/s00445-003-0309-7.

Sandri L, Marzocchi W, Gasperini P (2005 Some insights on the flank eruptive activity of Mount Etna volcano (Sicily, Italy,GEOPHYSICAL JOURNAL INTERNATIONAL, 163, 1203 - 1218

Selva J, Orsi G, Di Vito MA, Marzocchi W, Sandri L (2012 Probability hazard map for future vent opening at the Campi Flegrei caldera, Italy, Bull Volcanol 74:497–510, DOI 10.1007/s00445-011-0528-2

Selva, J., F. Doumaz, D. Reitano, A. Troiano, S. Vinci, and the DIVO Consortium,DIVO - Database for Italian VOlcanoes, AGU Fall Meeting, 14-18/12/2009 San Francisco (USA, (Oral, invited

Schwandner, F.M., J. Selva, H. Ueda, D. Y. Venezky, D.P. Cer velli, B. Weer tman, K. Stroker, S.D. Malone, E. Fujita, W. Marzocchi, S.P. Schilling, C.G. Newhall, WOVOdat: The World Organization of Volcano Obser vatories Database of Volcanic Unrest, Cities on Volcanoes V, 19-23/11/2007 Shimabara (Japan (Oral

Selva J, Marzocchi W, Papale P, Sandri L (subm., The scientific management of volcanic crises in high-risk areas: the case of Campi Flegrei, Naples, submitted to Journal of Applied Volcanology

Rouwet, D., Inguaggiato, S., Taran, Y., Varley, N., Santiago S., J.A. (2009 Chemical and isotopic composition of thermal springs, fumaroles and bubbling gases at Tacaná Volcano (Mexico-Guatemala: implications for volcanic surveillance. *Bull. Volcanol*. 71, 319-335. doi:10.1007/s00445-008-0226-x

Rouwet, D., Mora-Amador, R., Ramírez-Umaña, C., González, G., Inguaggiato, S. (subm. Crater lake dynamics during the 2006-ongoing phreatic eruption cycle at Poás Volcano, Costa Rica: a conceptual model and its implications for volcanic surveillance. *J. Appl. Volcanol*.

Todesco, M. (2009, Signals from the Campi Flegrei hydrothermal system: Role of a "magmatic" source of fluids, *J. Geophys. Res.,* vol.114, B05201, doi:10.1029/2008JB006134.

Todesco, M., and A. Rinaldi (2010, Modeling of unrest signals in heterogeneous hydrothermal systems, *J. Geophys. Res.*, 115, B09213, doi:10.1029/2010JB007474.

Piano Finanziario

Categoria di spesa	Importo previsto
1) Spese di personale	1420
2) Spese per missioni	8200

3) Costi amministrativi (solo per i responsabili di programma)	
4) Spese per studi, ricerche ed altre prestazioni professionali	
5) Spese per servizi	
6) Materiale tecnico durevole e di consumo	3160
7) Spese indirette (spese generali)	1420
Totale	14200

I Sottoprodotti di pertinenza dell'UR sono riportati in Tabella 1

UR 10: UNIFI

Nominativo	Ente	qualifica	mesi-uomo
Responsabile:			
Orlando Vaselli	Università di Firenze	Professore Associato	1.5
Partecipanti:			
Capaccioni Bruno	Università Bologna	Professore Associato	1
Bicocchi Gabriele	Università Firenze	PhD	1
Buccianti Antonella	Università Firenze	Ricercatore	0.5
Cabassi Jacopo	Università Firenze	PhD	1
Capecchiacci Francesco	CNR-IGG Firenze	Assegno ricerca	1
Giannini Luciano	Università Firenze	Tecnico	0.5
Montegrossi Giordano	CNR-IGG Firenze	Tecnico	0.5
Nisi Barbara	CNR-IGG Pisa	Assegno ricerca	0.5
Nocentini Matteo	Università Firenze	PhD	0.5
Tositti Laura	Università Bologna	Professore Associato	0.5
Tassi Franco	Università Firenze	Tecnico	0.5
Tranne Claudio	Università Bologna	Ricercatore	1

Attività e obiettivi su prospettiva triennale.
La presente proposta si diversifica lungo due linee di attività principali: 1 precursori geochimici nelle acque termali nell'area dei Campi Flegrei (Task 1 e 2 precursori organici nelle emissioni gassose dell'Isola di Vulcano e dei Campi Flegrei (Task 1 e Task 4.

1 ACQUE TERMALI AREA FLEGREA – Il sistema idrotermal-magmatico dei Campi Flegrei è caratterizzato da numerose emissioni fumaroliche e manifestazioni termali il cui studio ha permesso la ricostruzione della circolazione dei fluidi, i processi di interazione acqua-roccia e le relazioni con il fenomeno bradisismico. Questa proposta è indirizzata al monitoraggio delle acque termali flegree al fine di ottenere nuove informazioni sui meccanismi vulcanici per la valutazione del rischio. Le acque termali sono spesso oggetto di monitoraggio geochimico in originate da circolazione di acque meteoriche in profondità le quali possono essere soggette a gradienti geotermici anomali e iniezioni di gas magmatici o geotermali. Nell'area flegrea, le acque termali emergono in superficie grazie alla presenza di zone di debolezza e di elevata permeabilità, e.g. faglie, o si rinvengono in pozzi domestici ed industriali le cui composizioni chimiche ed isotopiche possono essere legate a variazioni profonde che avvengono nel sistema vulcanico. Le caratteristiche chimico-fisiche delle acque possono infatti variare in risposta alle variazioni delle interazioni fra queste e le rocce del serbatoio idrotermale. Gli studi precedenti, condotti dal personale delle U.R. INGV-OV (G. Chiodini e Perugia-Palermo e Firenze-Bologna, rappresenteranno il punto di partenza per questo progetto che vedrà un'indagine geochimica dei costituenti principali, minori (F, Br, H_3BO_3, SiO_2, NH_4, ΣS^{II-}, in traccia (e.g. Fe, Al, Hg, As, Sb e dei gas disciolti (e.g. CO_2, CH_4, N_2, Ar sulle acque dei comuni di Pozzuoli, Bacoli, Quarto e nel napoletano (Agnano. In accordo con la U.R. INGV-OV (Chiodini saranno condotte le analisi isotopiche di $\delta^{18}O$, $\delta^{2}H$ and $\delta^{13}C_{TIDC}$. Sulla base di questi risultati preliminari circa 15 acque saranno selezionate come le più rappresentative dell'area flegrea e saranno quindi monitorate su base bimensile. Tale monitoraggio periodico sarà esteso, con le stesse modalità, per altri due anni con lo scopo di verificare gli andamenti stagionali delle falde. L'acquisizione di questo dataset geochimico permetterà di effettuare un trattamento statistico adeguato ed un confronto con i dati geochimici pregressi ed con i dati geofisici. Alla fine del triennio di studio, sulla base delle disponibilità finanziarie alcuni siti potranno essere monitorati in continuo con dei sensori multi-parametrici specifici per misure chimico-fisiche.

2 COMPOSTI ORGANICI ISOLA DI VULCANO E CAMPI FLEGREI – Nel corso dell'ultimo decennio le indagini svolte sulla distribuzione degli idrocarburi leggeri in fase gassosa in ambiente vulcanico ed idrotermale hanno portato all'elaborazione di nuovi modelli geochimici in grado di contribuire alla definizione dei processi evolutivi in atto in differenti contesti naturali. La loro reattività chimica rispetto a variabili condizioni PT e ossido-riduttive associata ad una generalmente bassa cinetica li rendono utili e soprattutto complementari rispetto ai modelli tradizionali basati sugli equilibri delle componenti inorganiche che non vengono sostituiti ma integrati.
La presente proposta di progetto di ricerca intende svolgere una miglior definizione delle caratteristiche cinetiche e termodinamiche dei modelli geochimici semplificati basati su reazioni tra idrocarburi gassosi in aree di vulcanismo attivo attraverso un approfondimento teorico della parametrizzazione termodinamica associato ad una rivisitazione critica dei dati pregressi disponibili e un periodo di osservazione su emissioni gassose ai Campi Flegrei e Vulcano.
Si ritiene inoltre possibile un approfondimento di indagine su composti organici più complessi, come gli organo solforati, al fine di un loro possibile utilizzo come traccianti geochimici indicatori di possibili apporti da sistemi idrotermali marini e/o continentali, delle loro eventuali variazioni temporali nonché le implicazioni sullo stato di attività del sistema vulcanico. In tal senso si intende svolgere un approfondimento sull'origine di tiofene e Dimetilsolfuro nei fluidi di alta temperatura nel cratere della Fossa di Vulcano.
A tal fine si intende svolgere tre missioni di campionamento nell'arco dell'anno associate nei due sistemi vulcanici oggetto di indagine (Campi Flegrei e Vulcano. Si prevede che tale ricerca, in considerazione delle scarse informazioni pregresse, debba estendersi per almeno due anni successivi al primo.

Attività e obiettivi I anno.
1 Acque termali area flegrea: nella prima fase sarà effettuato un campionamento a larga scala per selezionare dei siti rappresentativi sui quali condurre (seconda fase un monitoraggio bimensile. I risultati ottenuti saranno confrontati con i dati geochimici pregressi ed i dati geofisici.
Tempistica: campionamento esteso, Settembre 2012; campionamento delle acque selezionate per il monitoraggio periodico: Dicembre 2012, Febbraio 2013, Aprile 2013, Giugno 2013, Agosto 2013. Stesura del rapporto finale, Settembre 2013.
*2 Composti organici Isola di Vulcano e Campi Flegrei***:** definizione delle caratteristiche cinetiche e termodinamiche dei modelli geochimici semplificati basati su reazioni tra idrocarburi gassosi in aree di vulcanismo attivo e rivisitazione critica dei dati pregressi disponibili per Campi Flegrei e Vulcano, oltre ad un periodo di osservazione di un anno che permetta anche un approfondimento di indagine sugli organo solforati come traccianti geochimici di apporti da sistemi idrotermali marini e/o continentali, e loro correlazione temporale sullo stato di attività del sistema vulcanico.
Tempistica: campionamento fumarole area flegrea e di Vulcano: Settembre 2012, Marzo 2013, Luglio 2013. Stesura del rapporto finale, Settembre 2013.

Expertise.
Dal 1998 il personale dell'Unità Operativa ha iniziato una profonda revisione dei metodi di campionamento ed analitici dei fluidi in ambiente vulcanico e geotermico a cui sono corrisposti fondi CNR per progetti bilaterali USA e Costa Rica. Successivamente, sono stati ottenuti progetti nazionali ed internazionali finalizzati alla valutazione del potenziale geotermico nell'India continentale e nello Yemen, finanziamenti da parte del CNR per la caratterizzazione dei fluidi nell'area Carpatica, indagini geochimico-vulcanologiche nell'Isola di Barren (Arcipelago Andaman-Nicobar, India, lo studio dei sistemi vulcanici attivi del Costa Rica e delle emissioni e manifestazioni gassose e termali nell'area flegrea. Nel 2001 è stato finanziato un progetto triennale ASI per il monitoraggio geochimico di gas fumarolici mediante sistemi di tomografia ad infrarosso applicati a sistemi vulcanici di natura esplosiva. Nel 2002 nell'ambito della crisi vulcanica del

Nyiragongo (RDC sono stati ottenuti due finanziamenti dall'ONU. Nel 2005, finanziamento dalla Regione Toscana per la valutazione del rischio nell'area del comune di Castiglion d'Orcia; nel 2006 contratto di ricerca IGNV-DPC (progetto V5: Research on the diffuse degassing in Italy. Nel 2007 sono in vigore accordi con il Dipartimento di Scienze Geologiche di Buenos Aires (Argentina e di Antofagasta (Cile per lo studio dei sistemi vulcanici attivi andini e con la NTU di Taipei (Taiwan per la geochimica dei fluidi del complesso vulcanico del Tatun. Sono stati avuti finanziamenti dalla fondazione spagnola de La Ciudad de la Energia, CIEMAT e Università di Salamanca per il monitoraggio delle acque e dei gas diffusi in aree adibite allo stoccaggio di CO_2. I risultati ottenuti nell'ultimo quinquennio sono stati pubblicati nelle più prestigiose riviste del settore. Sin dagli anni '80 il personale dell'U.R. Firenze-Bologna ha monitorato periodicamente le fumarole ed alcune acque termali nell'area flegrea e nell'Isola di Vulcano e dal 2001 sistematicamente analizza con un monitoraggio periodico le fumarole di Pisciarelli, della Solfatara (Pozzuoli e quelle fumarole di Vulcano, oltre a circa 20 acque termali appartenenti ai due sistemi vulcanici. Indagini geochimiche sono state anche svolte nelle fumarole a mare della Baia di Pozzuoli e nel Lago Averno, mentre le fumarole di Vulcano sono state utilizzate per la messa a punto dei sistemi di campionamento ed analisi dei composti gassosi inorganici ed organici.

Pubblicazione elenco pubblicazioni recenti e/o rilevanti dei componenti la UR

Capaccioni, B., Tassi, F., Vaselli, O., Tedesco, D., Poreda, R., 2007. Submarine gas burst at Panarea Island (southern Italy on November 3, 2002: a magmatic versus hydrothermal episode. J. Geophys. Res., 112, B05201, doi: 10,1029/2006JB0044359.

Capaccioni, B., Vaselli, O., Tassi, F., Santo, A.P., Delgado Huertas, A., 2011. Hydrogeochemistry of the thermal waters from the Sciacca Geothermal Field (Sicily, southern Italy. J. Hydrol., 396, 292-301.

Chiodini, G., Tassi, F., Caliro S., Chiarabba, C., Vaselli, O., Rouwet, D., 2011. Time-dependent CO_2 variations in Lake Albano associated with seismic activity. Bull. Volcanol., DOI 10.1007/s00445-011-0573-x.

Cinti, D., Procesi, M., Tassi, F., Montegrossi, G., Sciarra, A., Vaselli, O., Quattrocchi F., 2011. Fluid geochemistry and geothermometry in the Sabatini volcanic district and the Tolfa Mountains (central Italy. Chem. Geol., 284, 12-181.

Tassi, F., Aguilera, F., Darrah, T., Vaselli, O., Capaccioni, B., Poreda, R.J., Delgado Huertas, A., 2010. Fluid geochemistry of hydrothermal systems in the Arica-Parinacota, Tarapacá and Antofagasta regions (northern Chile. J. Volcanol. Geotherm. Res., 192, 1-15.

Tassi, F., Bonini, M., Montegrossi, G., Capecchiacci, F., Capaccioni, B., Vaselli, O., 2012. Origin of light hydrocarbons in gases from mud volcanoes and CH_4-rich emissions. Chem. Geol. 294–295, 113–126.

Tassi, F. Capaccioni, B., Caramanna, G., Cinti, D., Montegrossi, G., Pizzino, L., Quattrocchi, F., Vaselli, O., 2009. Low-pH waters discharging from submarine vents at Panarea Island (Aeolian Islands, southern Italy after the 2002 gas blast: Origin of hydrothermal fluids and implications for volcanic surveillance. Appl. Geochem., 24, 246-254 doi:10.1016/j.apgeochem.2008.11.015.

Tassi, F., Capecchiacci, F., Buccianti, A., Vaselli, O., 2011. Sampling and analytical procedures for the determination of VOCs released into air from natural and anthropogenic sources: A comparison between SPME (Solid Phase Micro Extraction and ST (Solid Trap methods. Appl. Geochem., 27, 115-123, DOI:10.1016/j.apgeochem.2011.09.023.

Tassi, F., Montegrossi, G., Capecchiacci, F., Vaselli, O., 2010. Origin and distribution of thiophenes and furans in gas discharges from active Volcanoes and geothermal systems. Int. J. Mol. Sci., 11, 1434-1457.

Vaselli, O., Tassi, F., Tedesco, D., Poreda, R.J., Caprai, A., 2011. Submarine and inland gas discharges from the Campi Flegrei (southern Italy and the Pozzuoli Bay: Geochemical clues for a common hydrothermal-magmatic source. Procedia Earth Planet. Sci., 4, 57-73.

Piano Finanziario

Categoria di spesa	Importo previsto
1) Spese di personale	2670
2) Spese per missioni	13830
3) Costi amministrativi (solo per i responsabili di programma)	
4) Spese per studi, ricerche ed altre prestazioni professionali	
5) Spese per servizi	
6) Materiale tecnico durevole e di consumo	7530
7) Spese indirette (spese generali)	2670
Totale	26700

I Sottoprodotti di pertinenza dell'UR sono riportati in Tabella 1