

COMPITI E SUDDIVISIONE FONDI TRA LE UNITÀ DI RICERCA
prot. 20083MC8W2

Coordinatore Scientifico	Raffaello CIONI
Ateneo	Università degli Studi di CAGLIARI
Titolo della Ricerca	AshErupt. Studio interdisciplinare della dinamica sin-eruttiva di eruzioni di cenere
Finanziamento assegnato	Euro 75.000
Durata	24 Mesi

Obiettivo della Ricerca (come da progetto presentato)

L'attività vulcanica esplosiva è caratterizzata dall'immissione nell'atmosfera dei prodotti, in quantità estremamente variabile, derivati dalla frammentazione del magma e di rocce preesistenti. La dispersione e il grado di frammentazione sono stati utilizzati per costruire uno schema classificativo, in cui sono direttamente correlati con l'intensità dell'eruzione (Walker, 1973). Sebbene molti campi del diagramma classificativo siano stati largamente esplorati in passato, le eruzioni caratterizzate da depositi con dispersione intermedia e alto indice di frammentazione non hanno ricevuto ancora un'adeguata attenzione (campo grigio in Fig. 1).

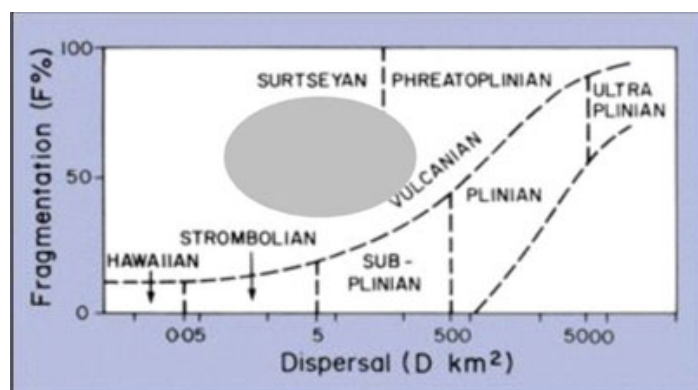


Fig. 1

Osservazioni durante recenti crisi eruttive hanno confermato l'opinione che esista un ampio spettro di attività esplosiva a bassa-media intensità dominato da emissioni di cenere. Questo tipo di attività è comune a magmi a composizione molto variabile, ed è spesso prolungata nel tempo. Inoltre, osservazioni dirette suggeriscono chiaramente differenti dinamiche di iniezione della cenere nell'atmosfera. Negli ultimi venti anni depositi a granulometria fine e dispersione variabile, sono stati generalmente interpretati come il risultato dell'interazione esplosiva tra fluidi esterni ed il magma. L'osservazione diretta dei fenomeni ha, al contrario, dimostrato che la produzione di cenere è molto spesso non correlata con questo tipo di processo.

Idee di base per la formulazione del progetto

A causa della loro intrinseca complessità, l'approccio multidisciplinare si sta sempre più affermando per la comprensione dei processi fondamentali alla base dell'attività vulcanica. Questo programma di ricerca si basa significativamente su questo assunto.

La capacità del magma di frammentare finemente e di iniettare in modo efficiente il materiale frammentato nell'atmosfera sono il risultato della dinamica del degassamento. La modalità di degassamento sin-eruttivo in condizioni di sistema aperto o chiuso è condizionata dalle proprietà reologiche del magma e dai parametri fisici e geometrici che controllano la risalita del magma. Il processo di degassamento sin-eruttivo induce un drastico innalzamento della temperatura di liquidus, promuovendo la cristallizzazione di microliti e un improvviso aumento della viscosità. Di conseguenza la modalità di degassamento del magma può essere ricostruita tramite studi tessiturali dei microliti e delle vescicole, così come da analisi composizionali dei vetri delle matrici e dei minerali e attraverso la petrologia sperimentale. Anche le concentrazioni di volatili residui nel vetro possono essere usate per discutere le modalità di risalita e di rapido raffreddamento del magma. La conoscenza della composizione del fuso prima della sua emissione, e dei processi di differenziazione e mescolamento pre e sin-eruttivo, consentono di definire le "condizioni di partenza" di un'eruzione.

In associazione a questi studi, il monitoraggio geofisico di eruzioni in corso rappresenta uno strumento molto potente nel descrivere e quantificare le dinamiche di risalita, frammentazione e dispersione.

Obiettivi del progetto

Obiettivo Finale del progetto è la definizione, attraverso l'uso di un approccio multidisciplinare, dei processi principali che controllano la formazione della cenere e la sua iniezione nell'atmosfera durante eruzioni di media intensità dominate dalla produzione di cenere.

Evidenze di terreno indicano che le eruzioni di cenere caratterizzano l'attività di numerosi vulcani in differenti contesti tettonici e con magmi a composizione diversa. Questo progetto si propone di studiare i prodotti di alcune eruzioni rappresentative, ben conosciute in termini di cronologia degli eventi eruttivi e dei fenomeni osservati. La scelta delle eruzioni rappresenta un buon compromesso fra la variabilità di questi episodi in termini di composizione del magma e stile eruttivo e il fatto che i prodotti di alcune di esse sono già campionati e resi disponibili per il progetto dai responsabili delle UO.

In particolare, ci si propone di studiare i prodotti delle seguenti eruzioni:

- ° 1994 ad oggi, attività della caldera di Rabaul, Papua-New Guinea (emissione di cenere dacitica in un'a grande struttura calderica);
- ° eruzione del 1942 del Paricutin, Messico (eruzione stromboliana violenta a composizione andesite basaltica)
- ° 1995 ad oggi, attività del vulcano Soufrière Hills, Montserrat, Indie Occidentali (emissione continua di cenere da un duomo dacitico)
- ° 1999 ad oggi, attività del vulcano Tungurahua, Ecuador (attività vulcaniana a composizione andesite basaltica)

° Eventi selezionati dell'attività post-2001 del Monte Etna (attività stromboliana violenta da basaltica ad hawaiana).

Si intende raggiungere l'Obiettivo Finale del progetto, rispondendo alle principali domande poste dai seguenti Obiettivi Specifici:

- Principali caratteristiche dei depositi: la grande variabilità dei depositi derivanti da un'attività di emissione di cenere riflette modi, intensità, durata, e volume dell'eruzione. Una dettagliata caratterizzazione dei depositi è importante ai fini di inserire le osservazioni fatte sui diversi campioni nel contesto dello stile generale di attività dei vulcani oggetto di studio.
- Caratteristiche fisiche e composizionali della cenere: Lo studio dei prodotti sarà mirato alla caratterizzazione morfologica, tessiturale e composizionale della cenere, con lo scopo di definire processi sin-eruttivi quali degassamento, cristallizzazione e frammentazione, oltre alla presenza di gradienti interni nelle caratteristiche fisico-chimiche del magma. La ricerca di caratteristiche inequivocabili per il riconoscimento del materiale riciclato rappresenterà un aspetto importante per la definizione della quantità di magma "attivo" durante l'eruzione.
- Evoluzione pre- e sin-eruttiva del magma: una buona conoscenza della composizione del magma prima e durante l'eruzione è un importante strumento per definire le condizioni necessarie a produrre questo tipo di attività. Gli studi dell'evoluzione sin-eruttiva del magma e della sua cristallizzazione, accompagnati da dati di petrologia sperimentale sono altri utili strumenti per comprendere i cambiamenti indotti nella reologia del magma e nelle sue caratteristiche fisiche. Lo studio del tipo e quantità di volatili disponibili e delle modalità di degassamento, oltre all'identificazione di diversi corpi magmatici eventualmente coinvolti nell'eruzione, saranno importanti per definire i parametri intensivi (P, T) ed estensivi (massa totale del magma, volatili rilasciati, ecc.) dell'eruzione.
- Modalità di degassamento e frammentazione del magma: osservazioni sulla forma e le caratteristiche tessiturali dei frammenti di cenere, e i dati sul contenuto in volatili e modalità di degassamento saranno usati in associazione con i dati acquisiti col monitoraggio geofisico con lo scopo di ricostruire i processi di frammentazione;
- Dinamiche eruttive: la descrizione quantitativa della dinamica eruttiva sarà ottenuta associando dati osservazionali sulle eruzioni oggetto di studio (sia già disponibili che appositamente raccolti nell'ambito del progetto) con i dati del monitoraggio geofisico (sismici, termici e acustici) disponibili o appositamente raccolti nel progetto.

Questi obiettivi saranno perseguiti attraverso lo studio di campioni già disponibili delle eruzioni di riferimento selezionate e attraverso l'analisi di dati geofisici disponibili su le stesse eruzioni o altre simili, in stretta collaborazione fra le UR. Un aspetto cruciale del progetto sarà l'organizzazione di un esperimento congiunto con ricercatori di tutte le UR su un'eruzione di cenere in corso. I dati e i campioni raccolti nel corso dell'esperimento saranno utilizzati per definire i parametri principali e la dinamica dell'eruzione oggetto dell'esperimento, mentre i dati derivati dallo studio di altre eruzioni forniranno l'indispensabile background conoscitivo.

Stato dell'arte nel campo (come da progetto presentato)

I prodotti dell'attività esplosiva sono caratterizzati da una costante presenza di frammenti di cenere, anche se i diversi stili di attività differiscono tra loro per la quantità, la dimensione media e la dispersione dei prodotti (Walker, 1981). La classificazione delle eruzioni esplosive passate si basa sulla dispersione dei prodotti di caduta ad esse associati e del loro grado di frammentazione. L'indice di dispersione (D) e l'indice di frammentazione (F), permettono di classificare i differenti stili eruttivi sulla base del diagramma D/F (Walker, 1973; Fig.1). In questo schema classificativo sono individuati i campi caratteristici dei principali stili eruttivi: Hawaiiano, Stromboliano, sub-Plinian, Plinian, Vulcaniano, Surtseyano e freato-Plinian. Ad esclusione delle eruzioni Vulcaniane e Surtseyane, per gli altri tipi eruttivi esiste una tendenza ad una correlazione diretta tra dispersione dei prodotti e grado di frammentazione degli stessi. Nel diagramma sono anche incluse le eruzioni Stromboliane Violente, anch'esse caratterizzate dalla formazione di depositi ricchi in cenere anche in aree prossime. Non inserite nella classificazione di Walker (1973) restano invece le emissioni sostenute di cenere.

Le eruzioni caratterizzate dall'emissione di una grande quantità di cenere sono le eruzioni Pliniane e quelle ignimbritiche. Esistono però numerose eruzioni di scala inferiore che producono rilevanti quantità di cenere; quelle caratterizzate dall'interazione esplosiva tra il magma e fluidi esterni (eruzioni idromagmatiche), e almeno altri quattro tipi di attività, caratterizzati da meccanismi eruttivi e composizioni magmatiche anche contrastanti tra loro, classificate come eruzioni vulcaniane, eruzioni stromboliane violente, emissioni di cenere correlate all'attività di degassamento di domi lavici, ed eruzioni con continua emissione di cenere. Tutte sono caratterizzate dalla dominante emissione di cenere rispetto alle altre classi granulometriche (es. Montserrat 1995-in corso, Kokelaar 2002, Formenti et al. 2003; Etna 2001, Taddeucci et al. 2004; Etna 2002-2003; Andronico et al. 2008; Popocatepetl 1994-1997, Martin del Pozzo et al. 2008; Sakurajima 1995-in corso, Yokoo et al., 2008).

Le eruzioni dominate da emissione di cenere producono depositi caratterizzati da abbondante frazione cineritica sia nelle zone prossime alla bocca eruttiva, sia in zone distali. Attività di emissione di cenere si osserva in eruzioni caratterizzate da magmi di diversa natura (composizione, reologia, contenuto in volatili). In letteratura tuttavia tali eventi sono stati fino ad oggi non sufficientemente indagati, soprattutto dal punto di vista della loro dinamica e dei processi di frammentazione che le accompagnano.

L'impatto ambientale di questo tipo di eventi può essere enorme ed investire aree molto ampie. Anche se non estremamente pericolose, queste eruzioni sono in grado di provocare danni a strutture strategiche (aeroporti, principali arterie di comunicazione) rappresentando inoltre un notevole rischio per il traffico aereo (Bursik et al., 2009; Papp et al., 2005). La dispersione della cenere, in aree anche molto lontane dal centro di emissione, è inoltre una riconosciuta causa di patologie per l'uomo e per il bestiame (Baxter, 1990; Bernstein, 1986), così come può essere una fonte di temporaneo inquinamento per pascoli e riserve d'acqua (Blong, 1984).

Caratteri dei prodotti

Diversi studi hanno dimostrato che le eruzioni di media intensità sono spesso caratterizzate da materiale juvenile che mostra una larga eterogeneità, oltre che in termini di composizione, anche nella morfologia e tessitura interna dei clasti.

Studi sulla morfologia della cenere sono stati largamente impiegati negli ultimi 30 anni, a seguito dei lavori basilari pubblicati da Heiken (1972), Walker and Croasdale (1972), Heiken and Wohletz (1985). La distinzione tra frammenti prodotti da attività magmatica o idromagmatica si è spesso basata sulla descrizione e sulla interpretazione dei caratteri morfologici distintivi dei frammenti di cenere osservati al microscopio elettronico a scansione (SEM) (Wohletz, 1983; Sheridan and Marshall, 1983; Cioni et alii, 1992; Dellino and La Volpe, 1996; Buttner et alii, 1999). L'analisi statistica multivariata (cluster analysis, Principal Component analysis) è stata infine spesso usata per descrivere il trend generale di queste misure.

La costante presenza di frammenti fortemente vescicolati nei prodotti di queste eruzioni, evidenziata dai numerosi, recenti studi riguardanti i caratteri tessiturali della cenere, supporta fortemente un processo di frammentazione guidata da degassamento magmatico su cui l'effetto della interazione con fluidi esterni è solo sovrapposto. Negli ultimi anni, la caratterizzazione tessiturale dei clasti, in termini di contenuto, forma e distribuzione di taglia di vescicole e cristalli, è diventata a tutti gli effetti uno strumento di indagine per affiancare gli studi più classici sulla morfologia dei clasti. Il contenuto in cristalli della massa di fondo, così come il contenuto e la forma delle vescicole, possono infatti essere utilizzati per descrivere le modalità in cui avviene il degassamento sin-eruttivo. Infatti, la cristallizzazione sin-eruttiva è spesso guidata dal degassamento, che induce un aumento nella temperatura di liquidus del magma favorendo la nucleazione e la crescita dei cristalli (Cashman, 1988, 1990; Cashman and Blundy, 2000). In molti casi, la distribuzione di taglia dei cristalli (CSD) e delle vescicole (VSD) sono state usate per mettere in luce le modalità e l'evoluzione temporale del degassamento e della cristallizzazione del magma (Marsh, 1988, 1998; Blower et alii, 2001, 2002; Hammer et alii, 1999; D'Oriano et alii, 2004). Recentemente, Taddeucci et alii (2004), Cioni et alii (2008), D'Oriano (2008) si sono concentrati sulle caratteristiche generali dei prodotti eruttati durante eventi dominati da emissione di cenere dell'Etna e del Vesuvio, discutendone le caratteristiche morfologiche, tessiturali e fisiche in termini di dinamiche eruttive e di frammentazione. La caratterizzazione morfologica e tessiturale dei frammenti juvenili rappresenta il primo passo da compiere prima di svolgere qualsiasi analisi composizionale del vetro e dei minerali che caratterizzano la cenere (Cioni et alii, 2008).

Studi sperimentali sui processi responsabili della variabilità della frazione juvenile

Tre principali processi possono concorrere nel generare la variabilità osservata nella frazione juvenile delle eruzioni di cenere:

- la risalita del magma in condotti stretti ed il rallentamento nella fase finale della risalita di un magma viscoso possono promuovere un degassamento sineruttivo o il raffreddamento e la conseguente cristallizzazione. Questo processo può avvenire in modo non uniforme nel magma in risalita. In questo caso, le differenze locali nel tasso di risalita e i conseguenti tassi di degassamento e raffreddamento originano prodotti con caratteristiche tessiturali diverse;
- il riciclo sineruttivo di frammenti juvenili può essere particolarmente importante nel caso di eruzioni pulsanti di bassa e media intensità. In questo caso, clasti di magma frammentati in una fase esplosiva possono non entrare nella colonna eruttiva e ricadere nel cratere per essere poi riciclati nelle fasi successive [Houghton and Smith, 1993];
- l'interazione del magma con fluidi idrotermali o acqua esterna [Andronico, et al., 2001; Barberi, et al., 1989; Bertagnini and Landi, 1996; Bertagnini, et al., 1991; Dzurisin, et al., 1995; Houghton, et al., 1996; McPhie, et al., 1990].

Fino ad ora i caratteri tessiturali dei clasti (forme, morfologia superficiale, presenza di minerali secondari, forma e dimensione delle vescicole e dei microliti)

osservate tramite microscopia ottica e a scansione, sono stati empiricamente correlati ai processi indicati sopra, ma solo pochi esperimenti sono stati condotti per verificare i dati ottenuti dai campioni naturali e per ricavare parametri quantitativi [Buttner, et al., 1999; De Rosa, 1999; Dellino, et al., 2001; Dellino and LaVolpe, 1996; Zimanowski, et al., 2003]. La maggior parte degli esperimenti condotti fino ad ora si sono concentrati sui processi di interazione acqua/magma [Buttner, et al., 2002; Zimanowski, et al., 1991] o sui meccanismi di vescicolazione e frammentazione in eruzioni esplosive di magmi ricchi in silice [Alidibirov and Dingwell, 2000; Cashman and Mangan, 1994; Dingwell, 1998; Lyakhovsky, et al., 1996; Mangan, et al., 2004a; Mangan, et al., 2004b; Martel, et al., 2001; Navon, et al., 1998; Scheu, et al., 2008].

Esperimenti e modelli termodinamici hanno, inoltre, contribuito all'acquisizione di una buona conoscenza di base degli equilibri di fase che controllano la cristallizzazione e l'evoluzione di fusi a diversa composizione [Di Carlo, et al., 2006; Grove and Juster, 1989; Metrich and Rutherford, 1998; Pompilio, et al., 1998; Sisson and Grove, 1993; Trigila, et al., 1990]. Esperimenti recenti hanno ulteriormente investigato le relazioni fra la cristallizzazione dei microliti e i processi di decompressione/degassamento in magmi a diversa composizione e contenuto in volatili [Barclay, et al., 1998; Blundy and Cashman, 2001; 2005; Blundy, et al., 2006; Cashman, 1992; Cottrell, et al., 1999; Geschwind and Rutherford, 1995; Hammer and Rutherford, 2002; 2003; Rutherford and Devine, 2003]. Questi esperimenti hanno anche mostrato che gran parte della cristallizzazione avviene in un intervallo di T e P di qualche decina di gradi e di bar, e che un'accurata predizione dei parametri determinanti nel controllo dei processi (T, P di cristallizzazione, tassi di crescita e/o di nucleazione) è possibile solo se si utilizzano composizioni simili a quelle naturali. Infine, esperimenti sul riscaldamento e riciclo della cenere sono totalmente assenti.

Studi sulla composizione dei prodotti

Le analisi chimiche (maggiori e in tracce) ed isotopiche sui campioni totali, insieme alle osservazioni petrografiche, sono in genere volte a valutare i processi pre-eruttivi di evoluzione dei magmi (cristallizzazione, mescolamento, interazione con le rocce incassanti). Tali processi agiscono come cause interne fondamentali per innescare l'eruzione dei magmi. Infatti, la cristallizzazione e il degassamento possono essere direttamente legati, l'arrivo di nuovo magma può generare sovrappressioni nel sistema magmatico superficiale, mentre la contaminazione del magma da parte di fusi o fluidi cristallini può cambiare la reologia del magma (Folch & Marti 1998; Costa & Dungan 2005). Tuttavia, le composizioni di roccia totale spesso rappresentano un mescolamento meccanico di varie fasi con origine differente. Nelle eruzioni dominate da emissione di cenere, tutti questi processi sono registrati alla microscala nei diversi tipi di materiale iuvénile (Nakada & Motomura 1999; Cioni et al. 2003, 2008). Disequilibri isotopici minerale/liquido si hanno in molti sistemi vulcanici e sono spesso fattori chiave per scoprire processi magmatici pre-eruttivi. La ricerca recente ha documentato che ricariche multiple di camere magmatiche e la ridistribuzione e dispersione di cristalli in crescita fra le differenti porzioni di un serbatoio/condotto magmatico sono processi che avvengono comunemente (Blundy & Shimizu 1991; Francalanci et al. 1995; Morgan et al. 2004; Humphreys et al. 2006; Ginibre et al. 2007). Inoltre, la popolazione di cristalli può rappresentare le varie parti del sistema di stazionamento dei magmi (Francalanci et al. 2005; Davidson et al. 2007a, b). Le fasi minerali preservano la storia dei cambiamenti delle condizioni fisiche e chimiche durante la loro crescita e, rispetto alla roccia totale, registrano maggiori informazioni sui processi che si hanno durante l'ascesa del magma alla superficie. Pertanto, l'analisi in situ dei rapporti isotopici sui minerali e la massa di fondo (Charlier et al. 2006), associata con l'analisi degli elementi maggiori ed in tracce, e correlata con le caratteristiche tessiturali dei frammenti, dà l'opportunità di tracciare la risalita dei magmi, identificando meccanismi magmatici pre e sin-eruttivi e le scale dei tempi in cui questi meccanismi avvengono (Davidson et al. 2007a; Turner & Costa 2007, Schiavi et al. 2006).

La conoscenza della composizione delle fasi volatili in soluzione nel magma rappresenta un altro parametro fondamentale nella discussione e nella definizione dello stile eruttivo. La quantità di gas essolto e la dinamica del degassamento durante l'eruzione sono fondamentali per la definizione dei processi e della profondità di frammentazione del magma. Ad una prima approssimazione, il bilancio tra il contenuto in volatili pre-eruttivo e la componente volatile rimasta in soluzione nel fuso dipende essenzialmente dal tasso di decompressione del magma, dalla diffusività della componente volatile, dalla profondità a cui avviene la frammentazione e dal tasso di raffreddamento dei frammenti. La comparazione tra i dati provenienti dallo studio delle inclusioni silicatiche nei cristalli e sui volatili in soluzione nel vetro residuale sono stati usati da diversi autori per derivare informazioni su questi parametri fondamentali (Newman et alii, 1988; Wright et alii, 2006).

Indagini geofisiche di attività esplosiva di media intensità

Le indagini geofisiche condotte durante un evento eruttivo hanno rappresentato sinora un contributo fondamentale alla comprensione delle dinamiche eruttive. L'attuale comprensione del processo di frammentazione deriva invece principalmente da indagini teoriche e sperimentali, mentre il contributo di osservazioni geofisiche di eventi reali è piuttosto limitato. Da questo punto di vista le eruzioni di cenere di media intensità, grazie alla loro frequenza e la possibilità di effettuare osservazioni a distanze relativamente ridotte dalla sorgente, costituiscono un'opportunità per effettuare un'indagine geofisica del processo di frammentazione. Negli ultimi 30 anni le osservazioni geofisiche di eruzioni di cenere sono aumentate progressivamente e rispetto alle prime indagini prevalentemente fotografiche (e.g. Self et al. 1979; Wilson & Self 1980) si considerano sempre più parametri con maggior dettaglio (Ohminato et al. 2008; Iguchi et al. 2008; Johnson et al. 2004; Marchetti et al. 2009). Marchetti et al. (2009) hanno valutato la fase di rilascio esplosivo di gas che spinge la colonna eruttiva e la sua fase di galleggiamento da osservazioni termiche ed infrasoniche, proponendo una descrizione e differenziazione degli stili esplosivi Stromboliano e Vulcaniano in base ad osservazioni geofisiche strumentali dell'attività. Questa procedura appare molto promettente per valutare il processo di frammentazione nel magma. L'infrasuono (< 20 Hz) fornisce indicazioni importanti sul meccanismo sorgente delle eruzioni di cenere. Al contrario delle esplosioni Stromboliane, modellizzate comunemente come sorgenti sferiche (monopolo) di perturbazioni acustiche (e.g. Blackburn et al., 1976; Vergnolle & Brandeis 1994), le eruzioni di cenere, generalmente più lunghe o con carattere sostenuto, potrebbero essere considerate sorgenti di infrasuono di ordine superiore (Blackburn et al. 1976; Vergnolle & Caplan-Auerbach 2006) e generare segnali nettamente più lunghi. Questo fenomeno è stato osservato anche a Stromboli (Ripepe and Marchetti, 2002).

Criteri di verificabilità (come da progetto presentato)

Il criterio generale più valido per valutare il progetto proposto è rappresentato dalla completezza e consistenza dei risultati conseguiti nelle varie fasi dello studio e per i diversi Obiettivi Specifici descritti (Fig. 3).

Saranno organizzate riunioni tra i partecipanti del progetto a scadenze fisse:

- riunione di kick-off, entro 1 mese dall'inizio del progetto;
- riunione sui primi prodotti del progetto (alla fine del primo semestre di attività);
- riunione sui primi risultati riguardanti l'esperimento di terreno (alla fine del primo anno);
- riunione finale del progetto.

Per ciascuna di queste riunioni le diverse UR dovranno preparare uno o più contributi scritti che saranno raccolti a cura del Responsabile del Progetto, e saranno resi disponibili per una eventuale valutazione ex-post del progetto.

I dati analitici raccolti nella ricerca saranno organizzati in templates appositi e/o in database a cura delle UR di riferimento e saranno messi a disposizione dei partecipanti al progetto.

I principali risultati della ricerca saranno divulgati soprattutto pubblicazioni scientifiche ed alcune partecipazioni a congressi internazionali. Sulla base dei risultati ottenuti, verrà valutata alla fine del progetto la possibilità di organizzare un workshop tematico.

Elenco delle Unità di Ricerca

Sede dell'Unità	Università degli Studi di CAGLIARI
Responsabile Scientifico	Raffaello CIONI
Finanziamento assegnato	Euro 16.700

Compito dell'Unità (come da progetto presentato)

Motivazione ed obiettivi della ricerca

Lo studio di dettaglio delle caratteristiche fisiche, morfologiche e tessiturali (intese come contenuto, forma e distribuzione di taglia di vescicole e cristalli presenti nella massa di fondo) dei frammenti di cenere rappresenta una parte importante del progetto, poiché può dare informazioni sullo stato del magma alla frammentazione e sulla sua evoluzione sin-eruttiva (modalità di degassamento, cristallizzazione, raffreddamento). In particolare, i pochi dati esistenti sui prodotti di eruzioni dominate da emissione di cenere suggeriscono il ruolo fondamentale del degassamento nel produrre le condizioni necessarie ad una efficiente frammentazione e al trasporto verso la superficie delle sole particelle fini. Studi su prodotti di cenere a composizione basaltica e riolitica indicano inoltre che la frammentazione durante queste eruzioni avviene a carico di magmi a reologia estremamente diversa, suggerendo una dinamica del processo di frammentazione estremamente divisa tra le due classi di eruzione.

Le eruzioni dominate da cenere sono state spesso interpretate come il risultato dell'interazione esplosiva tra magma e fluidi esterni. Nella classificazione degli stili eruttivi proposta da Walker (1973), i valori più alti dell'indice di frammentazione sono associati ad eruzioni di tipo surtseyano e freatopliniano, che avvengono generalmente in presenza di masse d'acqua superficiali (ambienti sottomarini, sublacustri, fluviali). Questo tipo di vulcanismo non rappresenta l'obiettivo di questo progetto, che si concentra invece su quelle eruzioni in cui la produzione e dispersione di cenere avviene in assenza di una importante interazione con acqua esterna. Diversi studi hanno dimostrato che le eruzioni di media intensità sono spesso caratterizzate da materiale juvenile che mostra una larga eterogeneità in termini di morfologia e tessitura interna dei clasti. Questa appare essere il risultato della presenza di gradienti laterali e/o verticali nella composizione (ed in particolar modo nel contenuto in volatili) e nei caratteri fisici (in termini di temperatura, e contenuto in cristalli e bolle) del magma in condizioni pre- e sin-eruttive. La caratterizzazione di questi gradienti può fornire importanti informazioni circa le modalità di risalita, frammentazione, ed eruzione. L'attività di questa UR si focalizzerà principalmente nel descrivere e caratterizzare le differenze esistenti all'interno della frazione juvenile emessa in alcune eruzioni tipo. Il principale obiettivo del progetto nel suo insieme è la piena caratterizzazione dei prodotti di eruzioni di media intensità dominate da emissione di cenere, indipendentemente dalla composizione e dalla dinamica eruttiva. Per raggiungere questo obiettivo, sono state selezionate alcune eruzioni di riferimento caratterizzate da una dinamica chiara, direttamente osservata, e da un largo spettro di composizione del magma. Di tutte queste eruzioni sono attualmente a disposizione delle UR proponenti alcuni campionamenti, sia preliminari che talora anche esaustivi. Le eruzioni di riferimento prescelte sono le seguenti:

- l'attività eruttiva iniziata nel 1994 e tuttora in corso della caldera di rabaul (Papua - Nuova Guinea), caratterizzata da molteplici fasi di prolungate emissioni di cenere andesitico-dacitica;
- l'eruzione del 1943-1952 del Paricutin (Messico), presa a riferimento come la tipica eruzione stromboliana violenta (andesite basaltica)
- l'attività eruttiva iniziata nel 1995 e tuttora in corso al vulcano Soufriere Hills, di Montserrat (Indie Occidentali), rappresentativa del tipico "ash-venting" da un duomo dacitico;
- l'attività eruttiva iniziata nel 1999 e tuttora in corso del vulcano Tungurahua (Ecuador), tipica di attività vulcaniana a chimismo andesitico;
- alcuni eventi selezionati dell'attività post-2001 dell'Etna (Italia), che possono essere ricondotti ad attività di tipo stromboliano violento con magmi basaltico-hawaïitici.

Campioni selezionati di questi diversi tipi di eruzione, già disponibili negli archivi personali di alcuni dei ricercatori afferenti al progetto, saranno studiati allo scopo di caratterizzare la variabilità del materiale juvenile presente nei prodotti della stessa eruzione. Inoltre, un Task specifico del progetto sarà quello di studiare sul campo una eruzione dominata da emissione di cenere tra quelle attualmente in corso (allo stato attuale la scelta potrebbe ricadere sull'attività della Caldera di Rabaul o su quella del vulcano Tungurahua), sulla quale condurre un esperimento congiunto con i ricercatori delle altre unità allo scopo di associare i dati stratigrafici e composizionali con quelli provenienti dal monitoraggio geofisico per una completa descrizione e interpretazione dello stile di attività. Nell'attività di questa UR, i dati derivanti dallo studio di dettaglio dei campioni raccolti durante l'esperimento e di quelli sui campioni attualmente disponibili per le eruzioni prescelte saranno utilizzati per illustrare differenze e somiglianze, in termini di caratteri morfologici e tessiturali dei clasti, e del contenuto in volatili dei magmi, tra la cenere prodotta nelle diverse eruzioni.

La dinamica di questo tipo di eruzioni implica la possibilità di un forte riciclo sin-eruttivo dei clasti, sia di origine juvenile che litica. Particolare attenzione dovrà quindi essere mirata al riconoscimento di morfologie e tessiture suggestive di rimaneggiamento, che saranno oggetto in particolare degli studi sperimentali svolti dalla UR-IV.

La UR agirà in stretto coordinamento con le altre UR del progetto, in particolare scambiando dati e campioni con i ricercatori delle UR-III e UR-IV per le analisi geochimiche e le indagini di petrologia sperimentale. Tutti i dati e le conclusioni parziali derivanti dall'attività di questa UR saranno condivisi e discussi insieme ai ricercatori delle altre UR (nel corso di tutto il progetto ed in particolare negli ultimi sei mesi) allo scopo di definire un modello generale di questo tipo di attività eruttiva.

Il progetto proposto da questa UR è suddiviso in 4 Tasks, che corrispondono alle azioni che devono essere intraprese per raccogliere l'informazione necessaria sui prodotti delle eruzioni selezionate da condividere con le altre UR.

Task 1. Morfologia esterna e superficiale dei clasti

Sulla base dei dati granulometrici ottenuti dalla UR-II sui campioni disponibili e su quelli raccolti nel Task 4 (vedi dopo) saranno selezionate una o due classi granulometriche rappresentative di ogni campione da cui prelevare in modo casuale i frammenti di cenere da studiare. La caratterizzazione della superficie e della morfologia dei granuli saranno eseguite seguendo la metodologia descritta in Cioni et alii (2008).

- selezione casuale di un numero rappresentativo di frammenti (da 30 a 50) nella frazione della cenere grossolana;
- descrizione delle caratteristiche morfologiche e superficiali tramite SEM; sviluppo di una scheda descrittiva standard per l'omogeneizzazione e digitalizzazione dei dati osservazionali;
- digitalizzazione del perimetro proiettato delle particelle e quantificazioni dei parametri di forma tramite software di analisi di immagine;
- inglobamento in resina e successiva lucidatura delle particelle; descrizione quantitativa delle caratteristiche tessiturali (tipo, forma e contenuto dei microliti; forma e contenuto delle bolle) tramite analisi di immagini SEM in elettroni retrodiffusi;
- Analisi statistica dei dati, volta alla definizione di gruppi di frammenti simili sulla base dell'insieme dei dati osservazionali.

Queste analisi saranno usate per caratterizzare completamente ogni frammento studiato. I diversi dati raccolti su ogni clasto saranno analizzati statisticamente tramite l'analisi delle componenti principali e dei clusters, allo scopo di individuare alcuni gruppi principali di frammenti. Le analisi al SEM saranno eseguite nei laboratori del Dip.to di Fisica di Cagliari (LIMINA), dell'INGV di Roma, e del Dip.to di Scienze della Terra di Pisa.

L'attività di questo task sarà svolta all'interno del primo anno del progetto.

Sulla base di questi dati, saranno opportunamente selezionati alcuni campioni in collaborazione con i ricercatori della UR-IV da utilizzare per le analisi sperimentali.

Task 2. CSD e VSD di clasti selezionati

Studi recenti hanno mostrato che i prodotti di eruzioni dominate da cenere sono generalmente caratterizzati da una elevata variabilità in termini di vescicolarità, contenuto in cristalli e composizione della massa di fondo (Taddeucci et alii, 2004; Wright et alii, 2004; Cioni et alii, 2008). Questa può essere attribuita a processi diversi, talvolta in concorso tra loro:

- la risalita magmatica avviene attraverso condotti stretti, che rallentano l'ascesa alla superficie di magmi ad alta viscosità, promuovendo così una cristallizzazione sin-eruttiva. Questo può avvenire in modo disomogeneo all'interno della colonna di magma, e le differenze locali nelle condizioni di risalita si riflettono nei caratteri tessiturali dei prodotti.
- Il riciclo sin-eruttivo di frammenti juvenili può essere particolarmente nel caso di eruzioni discontinue di media energia. Frammenti di magma emessi durante una pulsazione eruttiva possono infatti ricadere all'interno dell'imbuto craterico ed essere riciclati in altre pulsazioni. La caratterizzazione di questo tipo di clasti è di fondamentale importanza per selezionare il materiale juvenile realmente emesso durante un singolo evento.

- Differenze nelle modalità di raffreddamento dei frammenti.

Dopo aver discusso il significato delle diverse tipologie di particelle riconosciute nel Task 1, su alcuni clasti selezionati saranno eseguite le seguenti analisi:

- raccolta di immagini SEM in elettroni retrodiffusi di clasti selezionati

- calibrazione analitica dei toni di grigio delle immagini per la differenziazione semiautomatica del tipo e composizione dei minerali presenti nella massa di fondo;

- misure bidimensionali di taglia e forma dei microliti e derivazione della CSD tridimensionale;

- misure bidimensionali di taglia e forma delle vescicole e derivazione della VSD tridimensionale;

- rappresentazione e discussione dei dati

Gli stessi clasti selezionati per queste analisi saranno utilizzati anche dalla UR-III per le analisi geochimiche. I dati di petrologia sperimentale derivanti dalla letteratura esistente su alcune delle eruzioni considerate, e appositamente raccolti dalla UR-IV saranno utilizzati nell'interpretazione dei dati raccolti, ed in particolare per derivare informazioni sulle modalità e sulla evoluzione temporale della cristallizzazione sin-eruttiva.

L'attività del presente task si concentrerà principalmente tra il 6° e il 18° mese del progetto.

Task 3. Stima del contenuto in volatili pre-eruttivo e della sua evoluzione sin-eruttiva

La quantificazione della fase volatile totale disciolta in condizioni pre-eruttive e' un parametro di base per definire le condizioni iniziali che hanno regolato il degassamento magmatico. Durante la risalita magmatica, si possono instaurare condizioni di degassamento a sistema aperto o chiuso, principalmente in funzione dello stato fisico del magma (reologia, vescicolarità, permeabilità, etc.) sia del tasso di decompressione del magma. La comune presenza di degassamento in condizioni di non-equilibrio, che si osservano in genere nel caso in cui la velocità di essoluzione dei gas dal magma non riesce a tenere il passo della decompressione (e quindi della variazione nella solubilità della fase volatile nel magma) e' un fattore importante nel definire la quantità di volatili effettivamente rilasciati durante l'eruzione. La definizione della quantità totale di volatili rilasciati all'eruzione e' particolarmente importante per questo tipo di attività, caratterizzata da una emissione sostenuta di gas che trasportano e disperdono volumi di magma piccoli, in cui può sussistere un forte contributo di fasi volatili proveniente da volumi di magma non direttamente coinvolti nell'eruzione. Le inclusioni silicatiche (MI) presenti nei fenocristalli in equilibrio con il magma possono fornire una misura diretta del contenuto pre-eruttivo e della composizione della fase volatile (Cashman, 2004; Lowenstern, 1995; Metrich and Wallace, 2008). Allo scopo di ottenere questa informazione, la seguente attività verrà svolta nel presente Task:

- selezione e descrizione delle principali fasi minerali contenenti MI vetrose;

- Microanalisi (SEM, EPMA) di MI da minerali selezionati, specialmente mirate alla determinazione del contenuto in S, Cl, F.

- Determinazione del contenuto in H₂O e CO₂ di MI tramite spettrometria infrarossa (FTIR).

- Determinazione (FTIR) di H₂O e CO₂ di vetri della massa di fondo di frammenti di cenere selezionati e già esaminati per gli elementi maggiori, volatili e tracce nell'ambito della UR-III.

I dati microanalitici sulle MI saranno eseguite avendo cura di usare le stesse facilities sperimentali utilizzate dalla UR-III, allo scopo di ottenere un set di dati analitici omogeneo. Le analisi FTIR saranno eseguite presso il Lab. Pierre Sue del CNRS di Saclay (Francia). L'attività del presente task sarà prevalentemente concentrata nel secondo anno di progetto.

Task 4. Esperimento congiunto di terreno

Il coordinatore della presente UR parteciperà in modo attivo nell'esperimento di terreno pianificato nell'ambito del progetto allo scopo di raccogliere dati diretti, multidisciplinari sulla attività eruttiva durante un evento caratterizzato da prevalente emissione di cenere. In particolare, ci si propone di studiare una delle due seguenti crisi eruttive attualmente in atto al momento della presentazione del progetto: l'attività del cono di Tavurvur nella caldera di Rabaul (Papua - Nuova Guinea) o l'attività del vulcano Tungurahua (Ecuador). Negli anni recenti il coordinatore ha preso parte ad attività di terreno ai due vulcani, raccogliendo alcuni campioni significativi dell'attività passata e prendendo familiarità con le successioni dei prodotti. L'attività durante l'esperimento sarà principalmente dedicata alla collaborazione fattiva con i ricercatori della UR-II nella studio della stratigrafia dei prodotti delle più recenti crisi vulcaniche, ed osservando e misurando direttamente l'attività in collaborazione con i ricercatori della UR-III.

L'esperimento di terreno e' pianificato per il secondo semestre del primo anno di attività.

Data la forte interdipendenza delle attività svolte da tutte le UR, saranno necessari diversi meeting tra tutti i ricercatori del progetto, da pianificare a partire dalle fasi iniziali del progetto stesso.

Sede dell'Unità

Università degli Studi di FIRENZE

Responsabile Scientifico

Lorella FRANCALANCI

Finanziamento assegnato

Euro 20.100

Compito dell'Unità (come da progetto presentato)

Lo scopo della presente ricerca è quello di capire il comportamento eruttivo delle eruzioni esplosive di media intensità che producono principalmente cenere, la quali fino ad ora non sono state studiate nel dettaglio. E' necessario formulare criteri generali e multidisciplinari per caratterizzare i componenti dei loro prodotti e capire le condizioni magmatiche che portano all'estrema frammentazione del magma. Il degassamento sin-eruttivo del magma sembra giocare un ruolo importante per generare queste condizioni, ma considerando che questo stile eruttivo si verifica indifferentemente con magmi acidi e basici, la dinamica della frammentazione del magma è probabilmente diversa al variare della reologia dei magmi. Così abbiamo selezionato alcune eruzioni attuali come casi di studio, le quali sono caratterizzate da un chiaro comportamento eruttivo e dalla diversa composizione dei magmi.

La nostra UR (UR III) è formata da due gruppi che lavoreranno rispettivamente su aspetti petrochimici e geofisici delle eruzioni a prevalente emissione di cenere. Ciascuna attività di ricerca sarà descritta separatamente qui di seguito, distinta per azioni (Task) specifiche. I risultati finali, integrati con quelli delle altre UR del progetto, saranno usati per formulare un modello comune di funzionamento delle eruzioni in esame.

INDAGINI GEOFISICHE

Il progetto si compone di uno studio teorico, dell'analisi di dati geofisici relativi ad eruzioni di cenere registrati in passato e di un esperimento progettato ad hoc su un vulcano tipo. La campagna di misura proposta appare particolarmente promettente sia per il miglioramento della conoscenza di base maturato nella prima fase del progetto sia per la co-operazione con le altre Unità di Ricerca che permetterà un'analisi multidisciplinare della problematica.

Task 1. Radiazione termica di una colonna eruttiva ricca in cenere

Una colonna eruttiva prodotta da un'esplosione di cenere si compone di una fase di emissione (gas-thrust) e una di galleggiamento gravitativo (buoyancy) e il loro contributo reciproco può essere quantificato attraverso parametri infrasonici e termici. L'energia infrasonica (EP) riflette direttamente la fase di emissione del materiale e permette di quantificare il ruolo della gas-thrust. L'energia termica (ET) è il risultato della radianza termica della colonna eruttiva durante la fase di gas-thrust e di buoyancy. Alla luce di questa considerazione possiamo definire un'energia per le fasi di buoyancy (EB=ET-EP) e di gas-thrust (EGT=EP), e dal loro confronto pensiamo di poter ottenere informazioni sulla frammentazione sin-eruttiva del magma. I sensori termici però non permettono di valutare l'energia termica totale (ET) della colonna eruttiva, in quanto misurano soltanto la componente legata alla radiazione termica (ETR) ma non possono valutare i contributi energetici dispersi per conduzione e per convezione. Un materiale con volume e temperatura costante ha energia termica costante, mentre la sua radianza può variare con la granulometria. Di conseguenza l'energia termica valutata per radianza (ETR) potrebbe non riflettere in modo corretto il comportamento della colonna eruttiva. E' necessario quindi effettuare un'analisi teorica per valutare il contributo della radiazione termica sull'energia termica totale di una colonna eruttiva dominata da cenere. Tale indagine è di importanza primaria nella vulcanologia.

Tempi di realizzazione: I Anno

UR: III

Task 2. Emissioni acustiche da jet vulcanici

Lo spettro infrasonico di un'eruzione di cenere potrebbe essere controllato dalle turbolenze a larga scala (LST) legate al flusso. Di conseguenza la colonna eruttiva può essere descritta come un flusso turbolento innescato dal momento che genera segnali infrasonici di elevata ampiezza e lunga durata. Gli spettri infrasonici osservati durante eruzioni vulcaniche reali hanno delle complessità addizionali, che potrebbero derivare dalla presenza nel flusso di particelle solide e liquide. In questo caso infatti le diverse velocità di gas e particelle giustificerebbero due diversi picchi spettrali.

Nonostante ciò, la generale somiglianza tra i segnali vulcanici e i segnali prodotti da jet suggerisce che le osservazioni infrasoniche a larga banda potrebbero permettere una caratterizzazione quantitativa dei processi eruttivi con importanti implicazioni sulle valutazioni di rischio. Proponiamo di effettuare un'analisi teorica e una revisione delle emissioni acustiche da flussi turbolenti in modo da confrontare i risultati attesi con le osservazioni reali.

Tempi di realizzazione: I Anno

UR: III

Task 3. Esperimento di Campagna

Nel progetto si propone di effettuare una campagna di acquisizione geofisica su un vulcano caratterizzato da esplosioni di cenere (Rabaul o Tungurahua).

Effettueremo osservazioni sismologiche (sensore triassiale a larga banda), infrasoniche (sensore singolo e array) e di radiazione nell'infrarosso termico (termometri all'infrarosso e telecamera termica). Installeremo due stazioni: la prima sarà equipaggiata con una array infrasonico a 4 elementi e il sismometro triassiale, che permetterà di localizzare i vari eventi di emissione, mentre la seconda, installata a vista con il cratere attivo, sarà equipaggiata con termometri all'infrarosso e sensori infrasonici. Una telecamera termica (50 Hz) sarà installata insieme ai radiometri. Le osservazioni geofisiche saranno integrate con analisi di dispersione dei tefra, campionamento delle ceneri e studi composizionali delle stesse (tessuturali, geochimici, isotopici).

Indagini addizionali sono programmate nel corso dell'esperimento proposto.

1) I radiometri infrarossi sono sensori economici, robusti e con bassi consumi. Ciò li rende perfetti per l'installazione sull'ambiente vulcanico, tipicamente ostile, e li rende preferibili, per lo scopo del progetto, alle telecamere termiche. Per questo però dobbiamo essere certi del dato radiometrico. Marchetti et al. (2009) hanno validato i dati radiometrici attraverso il confronto con video termici durante esplosioni ricche in cenere a Stromboli descrivendo in modo dettagliato il significato dei dati osservati. Proponiamo di effettuare la validazione dei dati radiometrici su eruzioni di cenere durante la campagna di acquisizione proposta, attraverso l'uso combinato di radiometri e di una telecamera.

2) L'analisi della forma d'onda e il calcolo dell'energia infrasonica di eventi esplosivi, necessario per valutare in modo corretto l'entità del gas-thrust, dipendono fortemente dalla tipologia di sorgente infrasonica. Le esplosioni Stromboliane sono considerate monopoli (Blackburn et al. 1976), mentre le esplosioni di cenere possono essere sorgenti infrasoniche diverse, data la maggiore durata e l'evoluzione della colonna nell'atmosfera, che può costituire una sorgente addizionale di infrasuono. Pertanto, durante l'esperimento effettueremo misure infrasoniche in siti diversi in modo da ricostruire il campo d'onda infrasonico. Ciò permetterà di valutare la tipologia di sorgente infrasonica e oltre alle implicazioni dirette sul progetto (valutazione corretta della sorgente) rappresenta un argomento di primo piano nella vulcanologia (Task 2).

Tempi di realizzazione: II semestre del I Anno

UR: I, II, III

Task 4. Analisi geofisica della frammentazione del magma

Task 4.1. Analisi dei dati disponibili

La nostra UR ha effettuato osservazioni geofisiche su vulcani caratterizzati da emissione di cenere che vanno dalle esplosioni ricche in cenere dal cratere di SW a Stromboli, esplosioni di cenere ripetute del Santiaguito (Guatemala), del Fuego (Guatemala) e dello Yasur (Vanuatu), emissioni di cenere continue e sostenute all'Etna (2001), fontane di fava all'Etna (2008) e esplosioni Vulcaniane del Soufrière Hill (Montserrat). Proponiamo di ri-elaborare questi dati nel progetto, anche alla luce delle competenze maturate nella prima fase di indagine (Task 1, Task 2).

Tempi di realizzazione: II Anno

UR: III

Task 4.2. Analisi delle osservazioni geofisiche effettuate durante la campagna proposta

L'esperimento proposto nel progetto è un'occasione unica per studiare il meccanismo di frammentazione del magma durante eruzioni di cenere di media intensità. Le osservazioni geofisiche di dettaglio, anche in base alle esperienze specifiche maturate, forniranno utili indicazioni per caratterizzare la dinamica di emissione della cenere (gas-thrust e buoyancy) e di conseguenza per studiare il meccanismo di frammentazione del magma. Da sole però non permettono di superare un certo grado di incertezza mancando un controllo diretto sull'origine del materiale emesso: il comportamento della colonna eruttiva dipende dalla temperatura e granulometria del materiale emesso, ma solo la componente giovanile di questo deriva dalla frammentazione del magma. Questa incertezza sarà però superata nel nostro caso grazie alla multidisciplinarietà della campagna, in quanto le analisi petrologiche, isotopiche, granulometriche e di dispersione della cenere emessa, saranno combinate con le osservazioni geofisiche per ottenere una comprensione più profonda del processo.

Tempi di realizzazione: II Anno

UR: I, II, III, IV

INDAGINI GEOCHIMICHE

La microanalisi geochemica e isotopica della cenere prelevata servirà a individuare i processi pre- e sin-eruttivi che possono aver giocato un ruolo nella dinamica esplosiva delle eruzioni in esame.

Prima di tutto, queste analisi saranno utili per il riconoscimento dei componenti giovanili nel livello di tefra studiato. Infatti, per capire i processi magmatici coinvolti nelle eruzioni al variare del tempo, bisogna analizzare la composizione del magma di ciascuna fase dell'eruzione. Pertanto, non basterà analizzare i campioni in sequenza stratigrafica, ma anche riconoscere i componenti giovanili rappresentativi del magma frammentato in quella specifica fase dell'eruzione. Infatti, a causa della persistente emissione di cenere di queste eruzioni, i componenti litici sono anche rappresentati dai granuli di cenere eruttati precedentemente e ricaduti nel condotto (clasti riciclati). Considerando che non è facile riconoscere i clasti riciclati, a tal fine sarà necessario il contributo dei diversi dati delle diverse RU. La stratigrafia sarà utile per confrontare le caratteristiche generali dei primi prodotti emessi con quelle dei successivi (UR II). Le caratteristiche morfologiche e tessuturali saranno confrontate per riconoscere il possibile aumento di materiale riciclato nei depositi eruttati in seguito (UR I), mentre il contenuto di cristalli e le composizioni chimico-isotopiche del vetro e dei minerali saranno confrontate per identificare possibili variazioni nel tempo (nostra UR). Infine, esperimenti di laboratorio saranno volti a riconoscere fenomeni di alterazione dei clasti riciclati (UR IV).

Successivamente, le analisi petrochimiche dei clasti giovanili di ciascun livello saranno interpretate per riconoscere i processi magmatici. Trovare differenti serie di cristallizzazione e variabile cristallizzazione sin-eruttiva (diverso tipo e contenuto di microliti) può essere messo in relazione al degassamento che, a sua volta, viene analizzato attraverso metodi geofisici sempre dalla nostra UR, e dalla UR-I, attraverso lo studio della VSD e del contenuto in volatili. Siccome gli isotopi radiogenici non frazionano i processi magmatici, la loro misura sui vetri darà informazioni su altri processi, diversi dalla cristallizzazione; così potranno essere scoperti nuovi arrivi di magma e possibili interazioni magma-crosta nel condotto. Inoltre, misure di $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ sui minerali potranno evidenziare la presenza di "ante-cristalli" derivati da "aggregati" di cristalli precedentemente formati nello stesso sistema (cristalli riciclati). La variabile presenza di questi cristalli potrebbe essere direttamente correlata alla variabile efficienza dei moti convettivi del sistema magmatico che, a sua volta, possono essere messi in relazione con le condizioni eruttive.

Per una migliore riuscita di entrambi gli scopi sopra esposti, i dati micro-analitici sui tefra saranno anche confrontati con dati simili effettuati su prodotti giovanili certi (lapilli, bombe, spatter o lave) che sono generalmente associati alle eruzioni a dominante emissione di cenere (e.g., coesistenza di eruzioni ricche in scorie e ricche in cenere in un unico vulcano).

Questi risultati nelle differenti eruzioni saranno confrontati cercando di trovare possibili parametri comuni che permetteranno di ipotizzare meccanismi di innesco dell'eruzione e di frammentazione del magma.

Eruzioni come casi di studio

Ai fini del progetto sono state selezionate alcune eruzioni tipo, caratterizzate da uno specifico comportamento eruttivo e da una diversa composizione del magma:

- eruzione del 1942-1953 al vulcano Parícutin, Mexico (attività Stromboliana violenta; basaltico-andesitico)

- eruzione dal 1995 all'attuale del vulcano Soufrière Hills, Montserrat, West Indies (eruzione di cenere durante la crescita di un duomo; dacite)

- eruzione dal 1999 all'attuale del vulcano Tungurahua, Ecuador (attività Vulcaniana; magma basaltico-andesitico). Anche possibile Esperimento Comune di Terreno.

- Solo se sarà il possibile Esperimento Comune: dal 1994 all'attuale della caldera di Rabaul, Papua-New Guinea (emissione di cenere da ampia caldera; dacite). Campionamenti preliminari e talvolta completi di queste eruzioni tipo sono già disponibili dai ricercatori delle UR coinvolte nel progetto. Altri campioni di tefra,

specialmente quelli dall'eruzione dell'Esperimento Comune (Tungurahua or Rabaul), saranno presi in diretta collaborazione con altre UR. I granuli di cenere per le analisi geochimiche saranno selezionati sulla base della loro dimensione e morfologia, seguendo i criteri delle analisi tessiturali effettuate dalla UR I (Cioni et al. 2008).

Task.5 Analisi per Microsonda Elettronica (EPMA)

Dopo le osservazioni petrografiche, saranno analizzati attraverso EPMA (a Firenze) e SEM (a Pisa), gli elementi maggiori e alcuni in tracce (e.g., P, Cr, Ni) sui minerali e la massa di fondo di vari grani selezionati per ciascun campione. Sarà testato l'equilibrio minerale/liquido e la possibile eterogeneità composizionale del sistema. I risultati saranno interpretati in termini di cristallizzazione pre-/sin-eruttiva. I dati serviranno anche a scegliere le zone da perforare per la micro-zonatura isotopica.

Tempi di realizzazione: I Anno x 2 eruzioni; I semestre del II Anno x l'eruzione dell'Esperimento

RU: III

Task 6. Analisi LA-ICP-MS

Gli elementi in tracce attraverso Laser Ablation ICP-MS su vetri selezionati saranno analizzati per discriminare meglio le modalità e le quantità dei cambiamenti avvenuti nella composizione del magma. Le zone per analisi $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ saranno anche scelte in maniera più accurata. Gli strumenti utilizzati saranno disponibili a Cagliari (UR I) e all'Università di Pavia (collaborazione esterna).

Tempi di realizzazione: II semestre del I Anno x 2 eruzioni; I semestre del II Anno x l'eruzione dell'Esperimento

RU: I, III

Task 7. Rapporti isotopici dello Sr in-situ

Le analisi dei rapporti $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ saranno effettuate sulla massa di fondo e su traverse nucleo-bordo di minerali selezionati attraverso tecnica di microdrilling, usando il MicroMill presso il nostro Dipartimento. Saranno preferiti i felspati per l'alto contenuto di Sr, ma anche le fasi femiche se di grandi dimensioni. La perforazione ed estrazione di Sr in lab si verifica a livelli nanometrici (Charlier et al. 2006). I rapporti isotopici dello Sr sono misurati al TIMS presso il nostro Dipartimento. Molte misure $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ sono necessarie per ogni campione (10-50). I disequilibri isotopici potranno anche aiutare a stimare i tempi dei processi coinvolti.

Tempi di realizzazione: Secondo semestre del I Anno x 2 eruzioni; II Anno x i campioni dell'Esperimento

RUS: III

Sede dell'Unità	Istituto Nazionale Geofisica e Vulcanologia
Responsabile Scientifico	Massimo Nicola POMPILIO
Finanziamento assegnato	Euro 10.500

Compito dell'Unità (come da progetto presentato)

Il magma che staziona e degassa nella parte superiore di un condotto è la porzione della colonna magmatica dalla cui frammentazione si origina la cenere emessa nelle eruzioni di bassa energia. Questo magma ha già perso una larga parte dei suoi volatili originari e subisce una serie di processi quali: i) tassi variabili di raffreddamento, ii) riscaldamento in caso di riciclo, iii) esposizione ad un flusso di gas caldo in caso di colonne di magma stagnante e permeabile.

Questo progetto si pone come obiettivo principale quello di riprodurre in laboratorio queste differenti condizioni e di valutare i cambiamenti indotti dalle variazioni di parametri fisici che controllano i caratteri tessiturali dei clasti di cenere.

Si prevede di condurre due diversi gruppi di esperimenti utilizzando materiali di partenza diversi, con l'obiettivo di contribuire a due task distinti:

- 1) definizione della cristallizzazione all'equilibrio in risposta al raffreddamento e degassamento (primo anno)
- 2) definizione dei cambiamenti tessiturali dei clasti di cenere in risposta al riscaldamento e al flusso di gas ad alta temperatura (secondo anno).

Task 1: definizione del percorso di cristallizzazione all'equilibrio in risposta al raffreddamento e degassamento

Il primo gruppo di esperimenti sarà condotto su campioni di roccia polverizzata, selezionati in modo da essere rappresentativi dei magmi che alimentano le eruzioni studiate con l'obiettivo di verificare come la cristallizzazione all'equilibrio si sviluppi in risposta al raffreddamento e degassamento. I campioni saranno selezionati dopo una completa caratterizzazione chimica e petrografica in collaborazione con l'UR III.

A questo scopo saranno:

- 1) determinati gli equilibri di fase a pressione atmosferica e in un intervallo di temperatura variabile dalle temperature eruttive a quelle di solidus;
- 2) valutati gli effetti dei processi di decompressione a T costante e del degassamento, in condizioni superficiali (centinaia di bar) sulla paragenesi dei minerali e sulla tessitura.
- 3) valutati gli effetti di variazioni nelle condizioni redox sulla paragenesi dei minerali e della tessitura.

Nei primi 6 mesi l'attenzione maggiore sarà rivolta a quei magmi su cui queste informazioni sono totalmente assenti (Rabaul, Tungurahua).

Task 2: definizione delle modifiche tessiturali dei clasti di cenere in risposta al riscaldamento e al flusso di gas ad alta temperatura

Il secondo gruppo di esperimenti è dedicato alla verifica degli effetti di riscaldamento ed ossidazione in condizioni vicine quelle eruttive. I materiali di partenza saranno selezionati in accordo e dopo la caratterizzazione tessutturale condotta dalla UR I. Su clasti rappresentativi e di diverse dimensioni è previsto di:

- 4) determinare la temperatura minima a cui la rifusione della cenere inizia descivendo i progressivi cambi tessiturali associati a questo fenomeno.
 - 5) valutare gli effetti della composizione del magma, le condizioni redox e la taglia dei clasti sulle temperature di rifusione
 - 6) Determinare gli effetti dell'esposizione ad un flusso di gas caldo sulle tessiture dei clasti (cristallinità, morfologia).
- Durante i primi mesi del secondo anno gli esperimenti saranno condotti su campioni (Etna o altra composizione basaltica) dove sono già presenti informazioni di buon dettaglio sugli equilibri di fase a bassa pressione.

Metodi

Gli esperimenti di fusione e cristallizzazione saranno principalmente condotti con la fornace tubolare di alta temperatura installata presso la sezione di Pisa dell'INGV.

Gli esperimenti sugli equilibri di fase saranno ottenuti, partendo da polvere di roccia inserita in contatto con un buffer solido (Ni-NiO) all'interno di un crogiolo fatto con leghe di materiali nobili (Ag-Pd o Au-Pd). Il crogiolo viene inserito all'interno del tubo di quarzo dove viene fatto il vuoto. Il tubo di quarzo sarà sospeso all'interno della fornace nell'zona calda alla temperatura di interesse fino al raggiungimento dell'equilibrio (24-36 ore). Il raffreddamento rapido sarà ottenuto facendo cadere il carico sperimentale in un contenitore pieno d'acqua alla base della fornace. Gli esperimenti di decompressione (n. 2) saranno condotti partendo da un vetro saturo in acqua. Il campione sarà portato alla pressione d'interesse riscaldato fino alle temperature eruttive e decompresso a temperatura costante fino alla pressione atmosferica usando autoclavi a riscaldamento interno o esterno presso l'ISTO di Orleans.

La fusione dei clasti di cenere (esperimenti n. 4 e 5) saranno eseguiti riempiendo un tubo di quarzo con qualche decina di grammi di cenere naturale. Il tubo di quarzo aperto o sottovuoto sarà sospeso nella fornace verticale e tenuto nella zona ad alta temperatura per tempi crescenti fino ad osservare nel tubo trasparente, fenomeni di saldatura incipiente dei clasti, progressiva fusione e mobilitazione del fuso.

Gli effetti dell'esposizione ai gas ad alta temperatura sarà condotta attraverso un metodo innovativo che prevede l'immissione nella fornace di lungo tubo di quarzo sospeso contenente all'interno una piccola quantità di clasti di cenere. Il tubo di quarzo sarà collegato alla base (all'esterno della fornace) con un compressore o con una bombola di gas tramite una valvola in grado di controllarne il flusso.

Sui prodotti degli esperimenti sono previste:

- la determinazione su sezioni sottili o inglobati di resina della paragenesi dei minerali, della cristallinità, della vescicolarità e della distribuzione delle dimensioni dei cristalli;
- il riconoscimento e valutazione quantitativa delle modificazioni nella forma dei clasti e nella morfologia superficiale degli stessi, dell'apparenza di minerali secondari.

Le suddette informazioni tessiturali saranno raccolte tramite microscopia ottica e attraverso un SEM (di tipo tradizionale, di imminente installazione presso l'INGV di Pisa, e/o a forza di campo disponibile presso la sezione di Roma 1 dell'INGV). La composizione dei vetri e dei minerali saranno misurate attraverso la microsonda elettronica disponibile presso la sezione di Roma 1 dell'INGV. Le tessiture e le composizioni ottenute sperimentalmente saranno messe a confronto con quelle osservate nei campioni naturali dalle UR I e III e messe in relazione con le evidenze di terreno e segnali geofisici raccolti dalle UR II e V

Sede dell'Unità Università degli Studi di PISA

Responsabile Scientifico Mauro ROSI

Finanziamento assegnato Euro 27.700

Compito dell'Unità (come da progetto presentato)

Finalità del lavoro e selezione dei casi studio

I processi di forte frammentazione del magma tipici delle eruzioni ADE sono probabilmente caratterizzati da un disaccoppiamento meccanico tra gas magmatici essolti e magma. Tale processo è quindi radicalmente diverso da quello che domina nel regime Pliniano e subPliniano dove il gas rimane meccanicamente accoppiato al magma, ma anche diverso dai regimi Hawaiano e Stromboliano dove la frammentazione prodotta dell'esplosione di singole bolle di gas produce quantitativi trascurabili di cenere.

Il progetto di ricerca prenderà in considerazione i prodotti dell'eruzione 1943-1952 del vulcano Parícutin (Messico) come esempio di eruzione Stromboliana Violenta, simile come categoria eruttiva alle crisi dell'Etna del 2001-2003 e 2007. La somiglianza tra i due stili eruttivi impone un confronto tra i due vulcani: nonostante ci sia già una notevole quantità di materiale pubblicato sulle ultime crisi etnee, questo progetto si propone di effettuare una rivisitazione critica degli studi sui prodotti emessi, da integrare eventualmente con un'ulteriore campionatura e studio dei materiali. Come esempio di eruzione Vulcaniana è stata selezionata una tra le eruzioni del 1994 della caldera di Rabaul (Papua - Nuova Guinea), a composizione andesitico-dacitica, o della crisi attuale del vulcano Tungurahua (Ecuador). Infine saranno indagati i prodotti del vulcano Soufrière Hills (Montserrat) come esempio di degassamento (ash venting) di duomo vulcanico.

- Eruzione del vulcano Tavurvur (Caldera di Rabaul, Papua Nuova Guinea): questa eruzione iniziata nel 1994 ed ancora in corso all'interno della Caldera di Rabaul, avvenuta in contemporanea all'eruzione del vulcano Vulcan, è caratterizzata da continue emissioni di cenere dal cratere (Rose et al., 1995; Galoppi, 2003). Una prima indagine di terreno è stata già condotta nel febbraio 2001, da due dei proponenti (M. Rosi e R. Cioni), che hanno effettuato lo studio di circa 40 sezioni stratigrafiche e il campionamento preliminare dei depositi. Tale indagine, oltre ad una prima ricostruzione stratigrafica, ha permesso la correlazione dei depositi con segnali sismici che hanno accompagnato l'eruzione oltre ad una prima campionatura dei materiali (circa 80 campioni) (Cioni et al., 2003). Alle principali fasi eruttive, che generano colonne di cenere con altezze mai superiori ai 10 km, sono intervallate discrete esplosioni vulcaniane o fasi eruttive di tipo stromboliano (GVP Report 2001-2009). I prodotti sono caratterizzati da sequenze stratificate di cenere, con intercalati livelli di lapilli. Sono stati rinvenuti livelli arricchiti in litici e lapilli accrezionari attribuiti alla fase iniziale dell'eruzione. Il coinvolgimento di fluidi esterni è escluso come processo di frammentazione del magma, fatta eccezione per gli eventi esplosivi verificatisi all'inizio dell'eruzione (settembre 1994), dove lo studio preliminare dei materiali evidenzia un'importante interazione con fluidi esterni (Botteghi, 2003).

- L'eruzione del vulcano Parícutin (Messico) del 1943-1953 fornisce l'opportunità di indagare uno dei più classici eventi di eruzioni Stromboliane Violente conosciuti in letteratura (Fosag and Gonzales, 1956; Macdonald, 1972). Come recentemente descritto da Pioli et al. (2008), tali eventi sono capaci di generare, oltre a blocchi e bombe, una grande quantità di cenere fine attraverso uno stile di attività fortemente pulsatorio. Sebbene depositi stromboliani con grandi quantità di cenere siano spesso interpretati come legati a frammentazione idromagmatica (Martin and Nemeth, 2006), Pioli et al. (2008) suggeriscono un'origine puramente magmatica per i depositi di cenere del Parícutin, che potrebbero rispecchiare una più alta efficienza della frammentazione rispetto ai normali stili Hawaiano o Stromboliano.

- Il Tungurahua è uno dei più vulcani attivi delle Ande ecuadoriane; il suo strato-cono andesitico è stato più volte decapitato da catastrofici collassi di settore ed è stato storicamente teatro della generazione di numerosi flussi piroclastici. Negli ultimi 1300 anni gli episodi eruttivi si sono susseguiti con un ritmo di circa uno ogni secolo, comprendendo sia flussi piroclastici che generazione di depositi di caduta (cenere e lapilli) e di lave di composizione andesitico-dacitica (Hall et al., 1999). L'ultima crisi, iniziata nel 1999 ed attualmente ancora in corso, ha visto la generazione di flussi piroclastici (scoria flow) durante le due eruzioni maggiori di agosto 2006 (7 vittime) e febbraio 2008 e la pressoché continua generazione di cenere di affinità andesitica (Wright et al., 2004). Durante l'inizio della crisi (1999), l'incessante attività di emissione di cenere portò all'evacuazione temporanea della città di Baños (circa 25000 persone). L'attività è tutt'ora in corso ed alcuni dei proponenti hanno avuto l'opportunità di eseguire un primo campionamento durante il 2007.

- Le ultime crisi eruttive dell'Etna si sono verificate nel 2001, 2002-2003, 2004-2005 e 2007. In particolare, nelle crisi 2001, 2002-2003 e 2007 è stato messo in evidenza come il vulcano sia capace di alternare periodi di fontanamento stromboliano sostenuto a prolungate emissioni di cenere (Andronico et al., 2003, 2005, 2008; Taddeucci et al., 2002) e come queste ultime possano avere impatto ambientale non trascurabile sulle aree circostanti (chiusura degli aeroporti di Catania e Reggio Calabria e delle principali arterie di comunicazione). La complessità degli eventi (fontanamento, emissione di cenere, colate di lava) è stata già investigata (Andronico et al., 2003, 2005, 2008; Taddeucci et al., 2002) mediante approcci multidisciplinari (petrologia, analisi delle ceneri, geochimica dei gas, indagini termiche). La complessità di tali eventi può richiedere tuttavia un approfondimento del livello di conoscenza dei prodotti e un'integrazione con i dati geofisici dell'UR 3 (Firenze).

- L'eruzione di Montserrat dal 1995 ad oggi è stata senza dubbio la più distruttiva nell'area caraibica dall'evento di Mont Pelée (Martinica) del 1902. Esplosioni freatiche e sub-pliniane, collassi del duomo, flussi piroclastici e ash venting pressoché continuo hanno reso inabitabile circa metà dell'isola, costringendo circa due terzi della popolazione ad abbandonarla (Kokelaar, 2002). Dopo 14 anni di attività, Soufrière Hills ci offre ancora oggi la possibilità di studiare la continua emissione di materiale cineritico prodotto da un duomo vulcanico. Sebbene i meccanismi e i depositi legati alla generazione di flussi piroclastici o a eruzioni più violente siano già stati indagati (Bonadonna et al., 2002; Cole et al., 2002; Formenti et al., 2003; Ritchie et al., 2002), resta tuttavia da approfondire la parte di studio sui prodotti emessi durante le prolungate fasi di ash venting del duomo.

Piano di lavoro e metodologie

Lo studio dei depositi e dei prodotti emessi durante le diverse eruzioni costituisce uno dei pilastri su cui fondare la definizione e parametrizzazione dei processi eruttivi. L'unità di ricerca (UR 2) si propone di svolgere lo studio dettagliato dei depositi di cenere delle eruzioni di riferimento. L'UR 2 svolgerà pertanto il lavoro di campagna previsto durante lo svolgimento di un esperimento congiunto tra le varie UR, da effettuarsi a scelta tra il vulcano Tungurahua (Ecuador) o Rabaul (Papua - Nuova Guinea) occupandosi in particolare di collocare in un contesto più ampio i prodotti emessi durante l'esperimento rispetto a quelli depositi negli anni passati. In questo modo sarà possibile validarne la significatività dei risultati ottenuti in rapporto ad un comportamento "generale" dell'attività eruttiva in oggetto. Sul terreno, oltre allo studio stratigrafico di dettaglio per l'inquadramento delle eruzioni, saranno selezionati e prelevati i campioni utili agli studi di laboratorio di questa e delle altre UR. Durante l'esperimento saranno prelevati campioni di cenere (questa UR) unitamente alla raccolta di segnali geofisici (UR 3). Durante il primo anno l'UR 2 effettuerà lo studio dei campioni disponibili, unitamente alla revisione dei dati stratigrafici di letteratura. Il lavoro di campagna sarà anch'esso effettuato durante il primo anno di ricerca, con precedenza alla campagna di Ecuador (Tungurahua) o Rabaul (Papua - nuova Guinea), logisticamente più complesse; delle due campagne di terreno proposte all'estero, ne verrà selezionata solo una, sulla base dello stato di attività dei due vulcani durante i prossimi mesi.

Sono previsti almeno venti giorni di lavoro effettivo di terreno per l'esperimento sul campo. Qualora risultasse necessario, sarebbe demandata sempre al primo anno un'eventuale infittimento del campionamento dei depositi etnei.

Il secondo anno sarà utilizzato per lo studio dei campioni raccolti durante l'esperimento, all'analisi dei dati raccolti (stratigrafia, distribuzione dei prodotti, volumi associati) e alla finalizzazione delle indagini sui materiali.

Lo studio affrontato da questa UR si concentrerà in particolare sullo studio di terreno dei depositi, sulla scelta dei campioni e lo studio granulometrico e di componenti dei prodotti di alcune eruzioni che possono essere considerate di riferimento per i diversi processi prima citati. In particolare, il lavoro sarà suddiviso in 3 task principali.

Task 1: analisi macroscopiche preliminari sui prodotti

Saranno inizialmente studiati (granulometria e componenti) i prodotti di Rabaul (PNG) e Tungurahua (Ecuador), indipendentemente dalla scelta del luogo dell'esperimento, dal momento che sono già disponibili campioni prelevati da alcuni dei proponenti sia per la crisi di Rabaul (campionata nel 2001) sia per quella del Tungurahua (campionata nel 2007). A questi saranno aggiunti i campioni del vulcano Parícutin (Messico) e Soufrière Hills (Montserrat) già disponibili grazie al lavoro svolto da alcuni dei proponenti.

Tali analisi saranno condotte sia con metodologie classiche (vaghiatura meccanica) sia, data la granulometria fine delle ceneri, con tecniche innovative (laser Pharmavision 830, www.malvern.co.uk) sulla frazione <1mm. La parte meccanica sarà effettuata presso il laboratorio di granulometria del Dipartimento di Scienze della Terra di Pisa mentre l'utilizzo della strumentazione laser sarà messo a disposizione dall'Università di Ginevra (Sezione di Mineralogia) grazie alla collaborazione di questa UR con la Prof.ssa C. Bonadonna.

La distribuzione della granulometria totale può essere utilizzata per indagare stile eruttivo e caratteristiche della frammentazione collegando la taglia delle particelle al contenuto di gas iniziale e processi di interazione acqua-magma (Houghton and Wilson 1998; Kaminski and Jaupart 1998). Inoltre può essere un vincolo importante per i modelli di sedimentazione e per la dinamica dei plume (Bursik et al. 1992; Sparks et al. 1992). Quest'ultimo fattore è particolarmente importante nei piani di mitigazione del rischio per la valutazione della vulnerabilità della popolazione (Barberi et al. 1990; Connor et al. 2001; Bonadonna et al. 2002). A partire dai dati di laboratorio, la distribuzione granulometrica totale sarà stimata utilizzando almeno 3 modelli di calcolo diversi (Bonadonna and Houghton, 2005). In questa fase sarà anche effettuata una revisione delle informazioni stratigrafiche già disponibili in letteratura (dispersioni, volumi, sedimentologia), anche dei casi di studio ove il progetto non preveda indagini dirette sul terreno (Etna, Soufrière Hills, Parícutin). La durata di questa prima fase sarà di circa 12 mesi.

Task 2: lavoro di terreno

La seconda parte del lavoro riguarderà l'indagine di terreno da effettuarsi durante l'esperimento congiunto con le altre UR (Rabaul o Tungurahua). Sul campo saranno raccolti dati stratigrafici e sedimentologici sui depositi, per definire in dettaglio le sequenze eruttive e la scansione temporale delle diverse fasi eruttive. In particolare, saranno raccolti i dati di terreno idonei a tracciare mappe di isopache e di isomasse dei diversi livelli stratigrafici per ottenere dati sui volumi e la massa di ogni singolo evento eruttivo. Tali valori saranno ottenuti utilizzando e mettendo a confronto diverse metodologie di calcolo (Pyle, 1989; Fierstein and Nathenson, 1992; Bonadonna and Houghton, 2005). Sia sul terreno che in fase di elaborazione, tutti i dati saranno trattati con l'ausilio di supporti informativi geografici (ESRI) per la localizzazione sul campo (ArcPad®) e per i calcoli areali (ArcGis® 9.3). Saranno prelevati campioni nei diversi siti di affioramento per eseguire analisi granulometriche allo scopo di stimare la distribuzione granulometrica iniziale della miscela eruttiva.

La durata di questa prima fase (campagna più elaborazione dei dati) sarà di circa sei mesi.

Task 3: finalizzazione degli studi sui prodotti

Presso il Dipartimento di Pisa saranno effettuate analisi sulla distribuzione dei vari componenti all'interno dei campioni analizzati: litici, cristalli e frammenti juvenili. A questo proposito l'UR si propone di rendere maggiormente oggettive distinzioni comunemente fatte nelle analisi dei componenti quali la separazione tra componenti litici e juvenili. In molti casi, in effetti, tale distinzione risulta in parte soggettiva e non vincolata da precise regole codificate. Saranno a tale fine necessarie indagini microscopiche di dettaglio sui materiali (microscopio ottico, SEM, svolte in collaborazione con l'UR 1) per la comprensione della storia eruttiva delle singole particelle (cristallizzazione, omogeneità, stato di alterazione) e per capire se queste partecipino attivamente o meno al singolo evento esplosivo. La durata di questa terza fase sarà di circa 6 mesi.