

GRUPPO NAZIONALE PER LA VULCANOLOGIA

**ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E
VULCANOLOGIA**

**DIPARTIMENTO DI
PROTEZIONE CIVILE**

*PROGRAMMA QUADRO PER L'ATTIVITÀ
DI SORVEGLIANZA E RICERCA
SUI VULCANI ITALIANI
2000-2002*

ASSEMBLEA 1° ANNO

RAPPORTI DEI COORDINATORI DI PROGETTO

Roma, Ottobre 2001

Gruppo Nazionale per la Vulcanologia

Direttore: Paolo Gasparini

Giunta temporanea:

Alessandro Amato, rappresentante INGV

Giovanni Chiodini, rappresentante dei coordinatori di progetto

Ciro Del Negro, rappresentante dei coordinatori di progetto

Renato Funicello, rappresentante Dipartimento Protezione Civile

Mauro Rosi, rappresentante dei coordinatori di progetto

Raffaello Trigila, rappresentante dei coordinatori di progetto

Comitato di valutazione:

Enrico Bonatti*

Domenico Giardini

Gudmundur E. Sigvaldasson

Marjorie Wilson

* Sostituito dal Direttore del GNV a partire dal 2001

Indice

TEMA 1: SVILUPPO DI METODOLOGIE DI SORVEGLIANZA

EMISSIONI GASSOSE DIFFUSE IN AREE VULCANICHE. ASPETTI GEOCHIMICI, STRUTTURALI E MODELLI FISICI DEL PROCESSO. SVILUPPO DI TECNICHE DI MONITORAGGIO (coordinatore G. Chiodini)..... 1

- TASK 1 – MAPPE TEMATICHE DELLE DDS1
- TASK 2 – DEFINIZIONE E ADATTAMENTO ALLO STUDIO DELLE DDS DI METODOLOGIE GEOSTATISTICHE APPROPRIATE.....4
- TASK 3 – MESSA A PUNTO DI UN METODO PER LA MISURA DIRETTA DELL'ENERGIA TERMICA RILASCIATA DA SUOLI CALDI.....6
- TASK 4 – DATI ANALITICI DEL ¹⁴C E PRIME VALUTAZIONI SUL DEGASSAMENTO DI CO₂ ALLA SOLFATARA NEGLI ULTIMI 20-30 ANNI8
- TASK 5 – MODELLIZZAZIONE FISICA PER LO STUDIO DELLE DDS.....8

SVILUPPO DI UN SISTEMA SPETTROSCOPICO INTEGRATO PER LA RIVELAZIONE REMOTA E IN CONTINUA DI GAS VULCANICI (coordinatore P. De Natale)13

- TASK 1 – REALIZZAZIONE DEGLI SPETTROMETRI.....13
- TASK 2 – MISURE SPETTROSCOPICHE E TEST DI LABORATORIO.....14
- TASK 3 – MISURE IN CAMPO E ANALISI DATI.....15

INNOVAZIONE TECNOLOGICA ED AUTOMAZIONE NELLE APPLICAZIONI INTEGRATE DEI METODI ELETTROMAGNETICI E DEI CAMPI DI POTENZIALE IN AREE VULCANICHE

ATTIVE (coordinatore C. Del Negro).....21

- TASK 1 - TOMOGRAFIE INTEGRATE DEI CAMPI DI POTENZIALE ED ELETTROMAGNETICI IN AMBIENTE VULCANICO.....22
- TASK 2 - INNOVAZIONE TECNOLOGICA E METODOLOGICA NEL MONITORAGGIO DELL'ATTIVITÀ VULCANICA.....23
- TASK 3 - APPROCCI NON TRADIZIONALI PER L'ELABORAZIONE AUTOMATICA DI DATI ACQUISITI DA RETI DI MONITORAGGIO VULCANICO.....24

CARATTERISTICHE CHIMICHE ED ISOTOPICHE DEI GAS E DELLE ACQUE DEL VESUVIO, CAMPI FLEGREI, ISCHIA E VULCANO: VALUTAZIONE DEL RISCHIO VULCANICO (coordinatore D. Stanzione).....28

STUDIO MULTIDISCIPLINARE PER LA DEFINIZIONE DEL BUDGET DI MASSA E DI ENERGIA NEI VULCANI ATTIVI ITALIANI (coordinatore M. Valenza).....32

TEMA 2: SCENARI ERUTTIVI E VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ

STUDI E CONSTRAINTS SU STOCCAGGI INTERMEDI, RISALITA E CONDOTTI ATTRAVERSO LA MODELLIZZAZIONE DEI CAMPI DI STRAIN, E TOMOGRAFIA IN VELOCITÀ E ATTENUAZIONE ALL' ETNA (coordinatore M. Bonafede).....35

- TASK 1 - MODELLIZZAZIONE DEI CAMPI DI STRAIN PROVOCATI DALL' AZIONE DI CONDOTTI ELONGATI VERTICALMENTE.....36
- TASK 2 - MODELLIZZAZIONE "DINAMICA" DELLE VARIAZIONI CLINOMETRICHE ASISMICHE.....37
- TASK 3 - VERIFICA RISULTATI SAR ATTRAVERSO INTEGRAZIONE DATI CLINOMETRICI, LIVELLAZIONE, EDM, GPS.38
- TASK 4 - VERIFICA DELL'INFLAZIONE 1996-97 REGISTRATA DAL GPS ATTRAVERSO UNA COMPARAZIONE CON LA METODOLOGIA SAR.38
- TASK 5A - INFLUENZA DELLE DISCONTINUITÀ STRUTTURALI SU ANOMALIE DI GRAVITÀ, DEFORMAZIONI E SFORZI39
- TASK 5B - MISURA IN LABORATORIO DELLE "COSTANTI ELASTICHE STATICHE E DINAMICHE"39
- TASK 6 - UN NUOVO APPROCCIO TOMOGRAFICO IN VELOCITÀ ALL' ETNA.....41

TASK 7 - TOMOGRAFIA IN ATTENUAZIONE ALL'ETNA.....	41
TASK 8 - SIMULAZIONE DI SORGENTI DEFORMATIVE ATTRAVERSO L'UTILIZZO DI METODI NUMERICI.....	43
TASK 9 - SISTEMA DI ALIMENTAZIONE MAGMATICA E DEFORMAZIONE SISMICA ASSOCIATA ALLA RISALITA DEL MAGMA: APPLICAZIONE AD ALCUNI VULCANI ITALIANI.....	44
TASK 10 - DEFINIZIONE DI SCENARI ERUTTIVI PER L'ETNA SULLA BASE DI INDAGINI MULTIDISCIPLINARI INTEGRATE.....	46
TASK 11 - DETERMINAZIONE DELLA DISTRIBUZIONE SPAZIO-TEMPORALE DEGLI SFORZI SISMOGENETICI.....	48
TASK 12 - VINCOLI GEOFISICI SULLA DINAMICA DEL PROCESSO INTRUSIVO.....	49
PERICOLOSITA' DEL VULCANO STROMBOLI (coordinatore M. Rosi).....	51
TASK 1 - ESPLOSIONI MAGGIORI E PAROSSISMI.....	51
TASK 2 - COLLASSI DI VERSANTE E FRANE.....	53
TASK 3 - TSUNAMI.....	55
TASK 4 - SPERIMENTAZIONE DI TECNICHE DI MONITORAGGIO.....	58
TASK 5 - STORIA ERUTTIVA.....	60
TASK 6 - XENOLITI.....	61
ERUZIONI ESPLOSIVE DI VULCANI ATTIVI ITALIANI - SCENARI ERUTTIVI, CARTE DI PERICOLOSITA' E DI RISCHIO: VESUVIO, VULCANO E LIPARI (coordinatore R. Santacroce).....	64
TASK 1 - SISTEMI DI ALIMENTAZIONE.....	65
TASK 2 - DINAMICA ERUTTIVA E MECCANISMI DI TRASPORTO E DI MESSA IN POSTO.....	66
TASK 3 - ZONAZIONE DELLA PERICOLOSITA' E DEL RISCHIO.....	68
SCENARI ERUTTIVI DA RICERCHE DI MODELLISTICA FISICA E VULCANOLOGIA SPERIMENTALE (coordinatore R. Trigila).....	73
TASK 01 - COMPORTAMENTO CHIMICO-FISICO DELLE SPECIE VOLATILI NEI MAGMI.....	74
TASK 02 - DINAMICA DEI SISTEMI MAGMATICI ED INTERAZIONE CON LA STRUTTURA VULCANICA.....	77
TASK 03 - MODELLISTICA TERMOFLUIDODINAMICA DEI PROCESSI DI SALITA MAGMATICA E DI TRASPORTO IN SUPERFICIE.....	80
TASK 04 - SIMULAZIONE SPERIMENTALE E MODELLISTICA PARAMETRIZZATA DI PROCESSI ERUTTIVI E LORO PRECURSORI.....	84
STUDIO DEI DEPOSITI PIROCLASTICI DELL'ETNA FINALIZZATO ALLA RICOSTRUZIONE DELLE PRINCIPALI ERUZIONI ESPLOSIVE ED ALLA VALUTAZIONE DELLA LORO PERICOLOSITA' (coordinatore L. Vezzoli).....	88
TASK 1 - TEFROSTRATIGRAFIA.....	88
TASK 2 - CRONOLOGIA RELATIVA E NUMERICA.....	89
TASK 3 - CARATTERISTICHE FISICHE DELLE ERUZIONI.....	90
TASK 4 - VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITA'.....	91
<u>TEMA 3: DEFINIZIONE DEL RISCHIO, LIVELLI DI ALLERTA E GESTIONE DEL TERRITORIO</u>	
IDENTIFICAZIONE E INTERPRETAZIONE DEI PATTERN SISMICI PRE-ERUTTIVI SU VULCANI EFFUSIVI ED ESPLOSIVI (coordinatore W. Marzocchi).....	92
TASK 1.....	92
TASK 2.....	94
CREAZIONE DI CARTOGRAFIA TEMATICA IN AREE VULCANICHE (coordinatore M.T. Pareschi).....	96
<u>TEMA 4: SVILUPPO E APPLICAZIONE DI METODI DI TELERILEVAMENTO</u>	
SVILUPPO ED APPLICAZIONE DI TECNICHE DI TELERILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEI VULCANI ATTIVI ITALIANI (coordinatore M. Coltelli).....	99
TASK 1 - APPLICAZIONE DELL'INTERFEROMETRIA SAR ALLO STUDIO DELLE DEFORMAZIONI DEL SUOLO.....	100
TASK 2 - APPLICAZIONE DI MODELLI DIGITALI DEL TERRENO (DTM) ALLA VULCANOLOGIA.....	102
TASK 3 - TELERILEVAMENTO DELLE ANOMALIE TERMICHE DEI VULCANI ATTIVI.....	103
TASK 4 - MONITORAGGIO DELLE NUBI ERUTTIVE.....	104
TASK 5: STUDIO DEI GAS EMESSI DAI PLUMES VULCANICI MEDIANTE TECNICHE DI TELERILEVAMENTO.....	105

TEMA 5: METODI INNOVATIVI ED INTEGRATI PER LO STUDIO DELLA STRUTTURA DEI VULCANI

METODOLOGIE SISMICHE INTEGRATE PER LO STUDIO DELLA STRUTTURA DEI VULCANI ATTIVI APPLICAZIONE ALLA CALDERA DEI CAMPI FLEGREI (coordinatore A. Zollo).....109

TASK 1 - STUDIO DELLA STRUTTURA DEI CAMPI FLEGREI DALL'ANALISI INTEGRATA DI DATI SISMICI, GRAVIMETRICI, FLUSSO DI CALORE E DI LABORATORIO.....	110
TASK 2 - TECNICHE PER LO STUDIO DELLA STRUTTURA VULCANICA BASATE SULL'INVERSIONE-MODELLAZIONE DELLE AMPIEZZE E FORME D'ONDA SISMICHE.....	114
TASK 3 - IMPLEMENTAZIONE DI UN DATA-BASE DI DATI SISMICI PER LA CALDERA DEI CAMPI FLEGREI.....	115
TASK 4 PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE DI UNA CAMPAGNA DI ACQUISIZIONE DI DATI SISMICI A RIFLESSIONE (PROGETTO SERAPIS).....	118

TEMA 6: INDAGINI SULLE PARTI SOMMERSE DEI VULCANI ATTIVI ITALIANI

CONOSCENZA DELLE PARTI SOMMERSE DEI VULCANI ITALIANI E VALUTAZIONE DEL POTENZIALE RISCHIO VULCANICO (coordinatori F.L. Chiocci, M. Marani).....123

TASK 1 - RICOSTRUZIONE DEL MODELLO TRIDIMENSIONALE DELLA SUPERFICIE (DTMM).....	124
TASK 2 - CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI FENOMENI DI INSTABILITÀ SOTTOMARINI E DEI FENOMENI SUBAEREI COLLEGATI.....	125
TASK 3 - INDAGINI SULLE PORZIONI SOMMERSE DELL'ISOLA D'ISCHIA	127
TASK 4 - ANALISI DELLA PERICOLOSITÀ DELLE PORZIONI SOMMERSE DEI VULCANI DELL'ARCO EOLIANO, DI USTICA E DEI MONTI SOTTOMARINI CENTROTIRRENICI (MARSILI E VAVILOV).....	129
TASK 5 - INDAGINI SULLA PORZIONE SOMMERSA DELL'APPARATO DELL'ETNA	130
TASK 6 - INDAGINI SULLE PORZIONI SOMMERSE DI STROMBOLI E VULCANO.....	131
TASK 7 - VULCANISMO E GEOLOGIA STRUTTURALE DELL'ISOLA DI ISCHIA.....	134

TEMA 7: CAMPI FLEGREI

DEFINIZIONE E ZONAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ VULCANICA DELLA CALDERA RISORGENTE DEI CAMPI FLEGREI E SUOI EFFETTI SULL'UOMO E SULL'AMBIENTE (coordinatore G. Orsi).....137

TASK 1 - A SSETTO STRUTTURALE DELLA CALDERA DEI CAMPI FLEGREI E SUA EVOLUZIONE IN RELAZIONE ALLA DINAMICA DELLA PIANA CAMPANA E DEL BORDO TIRRENICO DELL'APPENNINO CAMPANO.....	138
TASK 2 - EVOLUZIONE E STATO ATTUALE DEL SISTEMA MAGMATICO.....	141
TASK 3 - PARAMETRI FISICI DELLE ERUZIONI, DINAMICHE ERUTTIVE E MECCANISMI DEPOSIZIONALI.....	143
TASK 4 - MODELLI FISICI DI DISPERSIONE PIROCLASTICA ED EVENTI BRADISISMICI NELLA CALDERA DEI CAMPI FLEGREI, E IMPATTO DELLE ERUZIONI ESPLOSIVE SULL'UOMO E SULL'AMBIENTE.....	146

SIMULAZIONE DI SCENARI ERUTTIVI AI CAMPI FLEGREI BASATA SU STUDI DI CAMPAGNA, DI LABORATORIO E NUMERICI, E IMPLICAZIONI PER L'HAZARD VULCANICO (coordinatore P. Papale).....153

TASK 1.1 - SELEZIONE DI LIVELLI STRATIGRAFICI DI MAGGIORE INTERESSE PER IL PROGETTO, RICOSTRUZIONE DELLA LORO STRATIGRAFIA E DISPERSIONE, E CAMPIONAMENTO.....	155
TASK 2.1 - STUDIO PETROCHIMICO DEI PRODOTTI VULCANICI	156
TASK 2.2 - DETERMINAZIONE DELLA VISCOSITÀ DI MAGMI	158
TASK 2.3 - STUDI DI PETROLOGIA SPERIMENTALE	161
TASK 2.4 - DETERMINAZIONI SPERIMENTALI DEL CARICO DI ROTTURA E DEL COMPORTAMENTO ALLA FRAMMENTAZIONE DEL MAGMA.....	163
TASK 2.5 - DETERMINAZIONE DELLA DIFFUSIVITÀ DEI VOLATILI.....	164
TASK 2.6 - CARATTERIZZAZIONE TESSITURALE DEI PIROCLASTI.....	166
TASK 3.1 - SIMULAZIONI NUMERICHE DELLA DINAMICA DI RISALITA DEI MAGMI.....	168
TASK 3.2 - SIMULAZIONE NUMERICA DEI PROCESSI DI DISPERSIONE GAS/PIROCLASTI E DELLA DINAMICA DEI FLUSSI PIROCLASTICI.....	172

PROGETTI DI DIVULGAZIONE

DIVULGAZIONE DELLA VULCANOLOGIA (coordinatore R. Scandone).....175

TASK 1 - METODOLOGIE DIDATTICHE STANDARD.....	175
TASK 2 (METODOLOGIE DIDATTICHE INFORMATICHE).....	175

EMISSIONI GASSOSE DIFFUSE IN AREE VULCANICHE. ASPETTI GEOCHIMICI, STRUTTURALI E MODELLI FISICI DEL PROCESSO. SVILUPPO DI TECNICHE DI MONITORAGGIO

Coordinatore scientifico del progetto

Chiodini Giovanni – Prof. Associato
INGV – sezione Osservatorio Vesuviano – Napoli

Partecipanti al progetto

UR#	AFFERENZA	RESPONSABILE
1	OV, INGV, Napoli	Chiodini Giovanni
2	IGGI, CNR, Pisa	Cioni Roberto
3	CFTA, Università, Palermo	Parello Francesco
4	DST, Università, Bologna	Todini Ezio
5	LINM, Università, Bologna	Mostacci Domiziano
6	INGV, Sezione 1, Roma	Quattrocchi Fedora

OBIETTIVI GENERALI

L'obiettivo principale del progetto è il riconoscimento, la mappatura e la misura delle strutture a degassamento diffuso (DDS) collegate ai vulcani attivi Italiani e la messa a punto di tecniche adatte al monitoraggio dei flussi gassosi e d'energia termica. In dettaglio gli obiettivi del 1 anno di ricerca erano stati suddivisi nei seguenti Tasks:

- 1) Mappe tematiche delle DDS della Solfatara, Mofete, Vesuvio ed Ischia (OV-NA; ING-Roma; CFTA-UNIPA, IGGI-CNRPI);
- 2) Definizione e adattamento allo studio delle DDS di metodologie geostatistiche appropriate (IGGI-CNRPI, OV-NA);
- 3) Messa a punto di un metodo per la misura diretta dell'energia termica rilasciata da suoli caldi (OV-NA);
- 4) Dati analitici del ^{14}C e prime valutazioni sul degassamento di CO_2 alla Solfatara negli ultimi 20-30 anni (LINM-UNIBO);
- 5) Modellizzazione fisica per lo studio delle DDS (DST-UNIBO, OV-NA).

TASK 1 – Mappe tematiche delle DDS

UR PARTECIPANTI: UR1,UR2, UR3, UR6

OBIETTIVI I ANNO

- a) esecuzione di indagini di dettaglio (mappe di flusso di CO_2 per la delimitazione e caratterizzazione delle DDS) nelle aree anomale collegate al vulcanismo campano: Campi Flegrei (Solfatara e Mofete), Ischia, Vesuvio;
- b) stime di flusso totale di CO_2 e, ove possibile, stime di flusso di calore;
- c) in alcuni casi, rilevamento geologico strutturale di dettaglio da accompagnare alle misure termiche e di flusso di CO_2 ;
- d) campionamento ed analisi chimica dei fluidi fumarolici, analisi dei gas disciolti nelle acque circolanti nelle DDS;

- e) campagne per il rilevamento del noise sismico generato dal movimento dei fluidi in profondità nel caso della Solfatara;
- f) studio isotopico del ^{13}C della CO_2 dei suoli per la definizione delle sorgenti del carbonio

RISULTATI I ANNO

- Sviluppi metodologici

- a) Misure dirette del flusso termico da suoli caldi mediante sensore industriale (vedi task 3).
- b) Misure dirette di flusso di CH_4 dai suoli interessati da degassamento anomalo di CO_2 . Sono state eseguite prove di laboratorio e misure di terreno (Solfatara, Vulcano, emissioni fredde Centro Italia) con una camera d'accumulo equipaggiata con sensore FID. L'obiettivo era quello di caratterizzare il rapporto CH_4/CO_2 dei fluidi che alimentano il processo di degassamento. I risultati ottenuti sono stati inviati ad una rivista internazionale per la pubblicazione (11);
- c) In collaborazione con ricercatori della Pen State University (Cindy Werner) è stato eseguito un test di lunga durata (circa 20 giorni) per l'applicazione del metodo 'Eddy Correlation' alla misura dei flussi di CO_2 nell'area della Solfatara di Pozzuoli. Eddy correlation è una tecnica 'micrometeorologica' che costituisce una possibile alternativa al metodo della camera d'accumulo. Le misure 'Eddy correlation' sono, (1) fatte al di sopra del suolo, non disturbano quindi l'emissione naturale, (2) continue, che permette di utilizzarle per un monitoraggio in continuo, a (3) rappresentative della variabilità spaziale dell'area sorgente (area sopra-vento).

- Acquisizione dati

Nel corso del I anno del progetto sono stati eseguite numerose campagne di misura di: a) flussi CO_2 , b) temperatura suolo, c) gradienti termici nel suolo, d) flussi di calore, e) composizione chimica ed isotopica CO_2 del suolo, f) composizione chimica di fluidi fumarolici. In Tabella 1 sono riportati per ognuna delle categorie sopra descritte il numero totale di misure eseguite nelle diverse aree indagate.

Tabella 1

Area	n. campagne	a	b	c	d	e	f
Solfatara	8	1950	1342	135	95	40	60
Mofete	2	176	176				
Vesuvio	4	866	866				17
Ischia	2	396	396	20			6
Nisyros (*)	6	1868	1868	146	146		34

(*) Le campagne eseguite a Nisyros rientrano in un progetto CEE avente obiettivi in comune con il progetto GNV

- Interpretazione e modellistica

Parte dei dati delle campagne Solfatara e Nisyros sono stati interpretati, pubblicati e presentati a convegni nazionali ed internazionali (5,6,10,18,21,23,24,25). I risultati scientifici ottenuti sono sintetizzati negli abstract dei due lavori, qui di seguito riportati:

Solfatara /rif. 5/:

'Nel presente periodo di quiescenza, il vulcano Solfatara, lontano 1 km da Pozzuoli, rilascia 1500 t d^{-1} di CO_2 idrotermale attraverso degassamento diffuso dal suolo da un'area relativamente piccola (0.5 km^2). Questa quantità di gas è confrontabile con quella rilasciata da emissioni crateriche di molti vulcani attivi. Sulla base del rapporto $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ misurato nelle fumarole ad alta temperatura ubicate nell'area, abbiamo calcolato un rilascio d'energia pari a

$1.19 \times 10^{13} \text{ J d}^{-1}$ (138 MW). La gran parte di questa energia è rilasciata da un processo di condensazione del vapore che avviene nel suolo. L'energia è quindi trasferita all'atmosfera attraverso i suoli caldi dell'area a degassamento diffuso. L'energia termica rilasciata dal processo di degassamento diffuso alla Solfatara è di gran lunga il principale processo di rilascio d'energia dell'intera caldera dei Campi Flegrei. E' un ordine di grandezza superiore al flusso conduttivo di calore che interessa l'intera caldera, e, durante gli ultimi 20 anni, è stata molte volte più grande che l'energia associata alle crisi sismiche ed agli eventi di deformativi. E' possibile che variazioni nel flusso d'energia generato dal corpo magmatico presente nel sottosuolo e/o processi d'argillificazione a piccola profondità determinino pressurizzazione del sistema idrotermale e conseguentemente le deformazioni e gli sciami sismici superficiali che hanno caratterizzato i recenti episodi di 'volcanic unrest' di Pozzuoli.'

Nisyros / rif. 8/:

'Due campagne di misura del flusso di CO₂ nella parte meridionale della piana di Lakki mostrano che la CO₂ è rilasciata principalmente dai crateri d'esplosione freatica. La corrispondenza fra alti flussi di CO₂ e alte temperature del suolo suggerisce che un flusso di fluidi idrotermali caldi interessa l'area. Il vapore condensa vicino alla superficie ed il calore prodotto da luogo ad un flusso termico conduttivo nel suolo, accompagnato da un intenso flusso di CO₂. Si è calcolato che 68 t d⁻¹ di CO₂ idrotermale sono rilasciate dall'area studiata di circa 1.3 km². Ammettendo che un flusso di vapore di 2200 t d⁻¹ accompagna questo flusso di CO₂, l'energia termica rilasciata attraverso la condensazione di vapore risulta di 58 MW.'

I dati ottenuti nelle altre campagne, (flussi di CO₂, flussi termici, temperature, composizioni isotopiche gas del suolo, ecc.) sono in corso d'elaborazione. I principali risultati ottenuti dagli studi strutturali riguardano il riconoscimento di un pattern di fratturazione anomalo collegato alle aree di degassamento ed imputabile a variazioni di pressione dei fluidi all'interno dei sistemi idrotermali (8, 24)

- Altro

Ove possibile sono state campionate le fumarole ubicate nelle zone a degassamento diffuso. Nel caso del Vesuvio l'interpretazione dei dati composizionali chimici ed isotopici ha portato all'elaborazione di un modello geochimico del sistema idrotermale che attualmente alimenta le zone ad alto flusso (6). Un'ulteriore pubblicazione riguarda aspetti metodologici sull'utilizzo di dati isotopici nella definizione delle sorgenti profonde dei fluidi (3). Un lavoro collegato alla ricerca (5) ha riguardato il trattamento dei dati di una stazione automatica per i flussi di CO₂ attiva nell'area di Mammoth Mt. (California, USA). Molti lavori pubblicati nel periodo del progetto hanno riguardato altri aspetti collegati alla stessa tematica del degassamento di CO₂ (1, 2, 4, 12, 13, 14, 16, 17, 20, 21, 22). Infine parte dei risultati del progetto sono stati utilizzati nei rapporti di sorveglianza geochimica dei vulcani campani.

PRODOTTI DELLA RICERCA

Poiché molti lavori sono in comune con differenti task, la lista qui sotto riguarda anche i task 2 e 3

- n. 11 pubblicazioni su riviste internazionali
- n. 14 presentazioni a convegni
- n. 5 Rapporti interni

TASK 2 – Definizione e adattamento allo studio delle DDS di metodologie geostatistiche appropriate

UR PARTECIPANTI: UR1,UR2

OBIETTIVI I ANNO

Le quantità totali di CO₂ rilasciato dalle aree studiate possono essere stimate per mezzo di tecniche statistiche o geostatistiche. Due tecniche statistiche utilizzate fino ad ora sono : a) la media aritmetica dei valori e b) l' approccio grafico-statistico GSA (Graphic Statistical Approach) descritto in *Chiodini et al.*, 1998. GSA accoppia una tecnica per il riconoscimento e la suddivisione di famiglie statistiche all'interno di popolazioni polimodali ed una tecnica per la stima dei parametri statistici, ed i relativi errori, di popolazioni 'log-normal' (Sichel t-estimator). Tali approcci statistici (media aritmetica e GSA) sono stati usati in lavori precedenti per la stima dell'output totale di CO₂. Un grande svantaggio di questi metodi è che non tengono conto della correlazione spaziale dei dati e quindi questo implica una sovrastima dell'errore e quindi della variabilità naturale dei flussi di CO₂. Per scopi di sorveglianza, la misura della 'variabilità naturale' è essenziale per il riconoscimento delle anomalie. L'obiettivo del TASK 2 era quindi la messa a punto di strumenti geostatistici adatti allo studio del flusso.

RISULTATI I ANNO

- Sviluppi metodologici

Nel corso del 2000 questa tematica è stata approfondita dalle UR di Napoli (UR1) e da quella di Pisa (UR2). L'UR1 ha applicato allo studio dei flussi l'algoritmo SGS (Sequential Gaussian Simulation algorithm) usando il codice specifico riportato nel GSLIB software. La simulazione stocastica permette la costruzione di modelli ad alta risoluzione, alternativi ed equiprobabili, della distribuzione spaziale di un attributo. La simulazione si differenzia dal kriging o da qualsiasi altro metodo d'interpolazione perché lo scopo di una simulazione è principalmente la riproduzione del comportamento globale ('texture') e statistico (istogramma, variogramma) dell'attributo, e perché permette di definire l'accuratezza delle stime locali e globali. La misura dell'accuratezza è data dalla differenza fra N alternativi valori simulati in un punto ('local accuracy') o dalla differenza tra N simulazioni alternative di un campo ('global accuracy').

L'UR2 ha acquistato il programma ISATIS che consente la elaborazione di carte e valutazioni di stime globali. Il software permette tra l'altro a) l'analisi statistica dei dati raccolti ed in particolare la costruzione dei variogrammi sperimentali e funzioni correlate, b) il fitting automatico dei variogrammi, potendo scegliere tra diversi modelli quali il nugget, l'esponenziale, lo sferico, il gaussiano, ecc, c) l'identificazione automatica del drift, d) la ricerca del miglior intorno per le valutazioni puntuali, e) la stima dei valori utilizzando vari metodi, dai poligoni di influenza, all'inverso delle distanze fino all'IRF-k kriging e al kriging Lognormale, f) le simulazioni non condizionate e quelle condizionate. Il programma è in fase di messa a punto.

- Acquisizione dati

Sono stati utilizzati i dati acquisiti nell'ambito del Task 1

- Interpretazione e modellistica

L'UR1 ha applicato il metodo delle simulazioni (SGS) alle aree della Solfatara (campagne 1998 e 2000, Fig. 1), Vesuvio (campagna 2000), Ischia (campagna 2001) e Nisyros (campagne 2000). I risultati sono riportati in Tabella 2. Per quanto riguarda l'UR2, la prima applicazione si riferisce ad un set di 608 campioni (maglia di 10x10 m) misurati alla

Solfatarà alla fine del mese di Maggio ed ha lo scopo di studiare l'effetto della dimensione della maglia di campionamento sulle mappe di isoflusso e valore di flusso calcolato sull'intera area, anche in relazione al metodo utilizzato. I dati sono stati in un primo momento utilizzati per determinare il valore del flusso totale con il metodo descritto in Chiodini et al (1998). Tale metodo prescinde da ogni valutazione sulla distribuzione spaziale dell'osservabile. Le varie popolazioni presenti sono riconosciute utilizzando i diagrammi di probabilità. Il flusso segue una distribuzione log-normale. Questo fatto consente di calcolare, utilizzando lo stimatore di Sichel (David,1977), il flusso medio e l'intervallo di confidenza. Inoltre il rapporto tra campioni appartenenti alla popolazione individuata e il numero totale di misure fornisce anche la frazione di superficie assegnabile a quella data popolazione. E' così possibile determinare il flusso totale e l'intervallo di variazione al 95% di confidenza. A partire dalla maglia 10x10 sono state costruite 4 maglie 20x20 e 9 maglie 30x30 in modo da avere il massimo numero di punti per ogni maglia. Per ciascun caso sono stati calcolati i valori medi e l'intervallo di confidenza al 95% con il metodo precedentemente indicato. I risultati ottenuti sono mostrati in Tabella 3. Passando dalle maglie 20x20 a quelle 30x30, la variabilità dei risultati aumenta di molto. Nel primo caso i valori sono contenuti nell'intervallo 83000-73000, mentre nel secondo caso la variazione è tra 87000 e 60000. Chiaramente l'intervallo di confidenza aumenta al diminuire del numero di campioni. Occorre tuttavia osservare che il valore ottenuto con 608 campioni è sempre compreso all'interno dell'intervallo di confidenza delle valutazioni effettuate con maglie molto larghe. Attualmente stiamo valutando la variabilità delle valutazioni utilizzando campionamenti random con 150, 70 e 35 campioni.

Tabella 2

Area	Sup. (Km ²)	n. misure	n. simul.	Output CO2 ton/d	σ
Nisyros-2000	0.67	1268	50	34.6	3.8
Solfatarà -1998	1.38	402	40	1176	107
Solfatarà - 2000	1.38	414	40	1505	158
Vesuvio cone -2000	3.5	510	50	149	28
Ischia - 2001	0.94	337	100	35.6	5.1

Tabella 3

n . cam.	Flusso tot	Max	Min		n . cam.	Flusso tot	Max	Min
608	80029	87452	74342		67	72961	87640	64301
151	82522	97512	72457		68	80439	101143	67506
148	81701	89735	75989		69	87222	106534	76471
156	81142	93942	73424		65	82603	100681	71435
153	73317	83465	66480		67	82299	101763	71372
68	86393	106188	73562		69	68983	81448	56328
68	78887	93640	69614		67	59935	88932	52436

PRODOTTI DELLA RICERCA

Vedi task 1

TASK 3 – Messa a punto di un metodo per la misura diretta dell'energia termica rilasciata da suoli caldi

UR PARTECIPANTI: UR1

OBIETTIVI I ANNO

L'obiettivo di era la ricerca di un metodo per la misura diretta del flusso di calore che interessa i suoli 'caldi' delle DDS.

RISULTATI I ANNO

- Sviluppi metodologici

E' stata eseguita la sperimentazione di un sensore industriale specifico per misure di flusso di calore (da 1 a 1500 W m⁻²) dal suolo prodotto dalla ditta LASMEN (sensore LS). Il sensore ha la forma di un disco (spessore 0.7 cm, diametro 5 cm) composto da due placche d'acciaio (spesse ognuna 0.2 cm) con interposto uno strato a bassa conducibilità termica (resina epossidica). La parte sensibile è una termopila posta nella zona centrale del disco. La misura è fatta inserendo il sensore nel suolo a bassa profondità (1-6 cm) e leggendo a stabilizzazione il potenziale elettrico di LS.

- Acquisizione dati interpretazione e modellistica

Il sensore LS è stato sperimentato attraverso: a) modellizzazione numerica, b) prove di laboratorio e c) misure di terreno.

- a) *modellizzazione numerica*. Per valutare il disturbo nel flusso di calore prodotto nel suolo dalla presenza del sensore e per valutare l'errore conseguente è stata fatta una analisi del transiente termico con il software MARC (2000). E' stato usato un modello bidimensionale ad elementi finiti, la cui maglia è composta da celle a 4 nodi isoparametriche. Un primo risultato è stato il calcolo del tempo teorico di stabilizzazione del sistema che sotto differenti condizioni iniziali e per valori plausibili di K_{soil} è risultato compreso fra circa 30 minuti ed una ora. Allo stato stazionario, I risultati del calcolo hanno permesso di valutare la deviazione nel flusso di calore dovuta alla presenza del sensore nel suolo, ed inoltre hanno permesso di ottenere una relazione per la correzione dei valori misurati basata sulla contemporanea misura dei gradienti termici.
- b) *prove di laboratorio* Per la calibrazione del sensore LS, sono state eseguite 6 prove in laboratorio con uno strumento sviluppato dall'Osservatorio Vesuviano. Nel fondo di un thermos è stata installata una piastra d'alluminio scaldata da una resistenza elettrica alimentata da una corrente variabile conosciuta. Il thermos è stato riempito con ghiaia carbonatica (tests 1, 2, 3 and 4) e sabbia (tests 5 and 6). Il sensore LS è stato posto alla profondità di 5 cm. Durante i test la corrente elettrica è stata cambiata in modo da ottenere una dispersione di calore dalla resistenza elettrica (e dalla piastra d'alluminio, H_p) nel range 50-300 W m². Durante ogni test sono stati misurati il flusso di calore misurato da LS (H_s^*) e il gradiente termico dT/dZ a tempi differenti fino a stabilizzazione. I valori misurati sono stati utilizzati per ricavare H_s (flusso di calore corretto con la relazione trovata mediante la modellizzazione numerica), $K_p (= H_p / dT/dZ$, conducibilità termica del suolo derivata dal flusso di calore rilasciato dalla piastra), $eK_s (= H_s / dT/dZ$ conducibilità termica del suolo derivata dal flusso di calore ottenuto con LS) (Tabella 4).

Tabella 4. Risultati delle prove di laboratorio del sensore LS

	Hp (W m ⁻²)	dT/dZ(°C/m)	Hs* (W m ⁻²)	Hs (W m ⁻²)	λp	λs
Carbonate gravel	99	114	75	92	0.87	0.81
Carbonate gravel	201	243	166	214	0.83	0.88
Carbonate gravel	201	279	181	220	0.72	0.79
Carbonate gravel	305	400	261	320	0.76	0.8
Sand	111	171	90	99	0.65	0.58
Sand	56	106	56	62	0.53	0.59
Sand	56	102	53	58	0.55	0.57

- c) *Campagne di misura alla Solfatara di Pozzuoli e a Nisyros (Grecia)* Sono state fatte 4 campagne, una alla Solfatara e tre in differenti DDS di Nisyros (Stefanos, Polibotes micros e Kaminakia north). Ogni campagna è consistita nella misura di (i) flussi di CO₂ fluxes, (ii) flussi di calore con il sensore LS e (iii) gradienti termici nei primi 20-40 cm di suolo (dT/dZ). Inoltre le fumarole di ognuna delle DDS indagate sono state campionate ed analizzate per ottenere un a possibile valore del rapporto H₂O/CO₂ dei fluidi che alimentano il processo di degassamento prima della condensazione del vapore. Assumendo che i flussi di calore del suolo (H_s) siano interamente generati dal calore rilasciato durante la condensazione, è stato calcolato il flusso di vapore coinvolto (H₂O flux nella Tab. 5) dividendo il flusso di calore per il calore latente d'evaporazione (2257 J g⁻¹) a 100°C. I risultati ottenuti sono riportati in Tab. 5. I rapporti fra i flussi di H₂O e CO₂ sono risultati molto simili ai rapporti H₂O/CO₂ wt misurati nei fluidi fumarolici di ogni area. Questa corrispondenza non è certo fortuita e suggerisce: (i) le stime basate sulle misure di flusso di calore e di CO₂ sono 'affidabili'; (ii) le fumarole di ognuna delle aree indagate sono interessate in modo trascurabile da processi secondari (per es. condensazione); (iii) il processo di degassamento diffuso di CO₂ deriva dalla risalita di fluidi fumarolici che sono pressoché totalmente affetti da condensazione del vapore.

Tabella 5. Risultati delle campagne di misura di flussi di calore e CO₂ alla Solfatara e a Nisyros

		Solfatara	Polibote m.	Stefanos	Kamin. N
Number of observations		94	29	87	28
Area	m ²	37200	261	34800	2800
dT/dz (arithmetic average value)	°C m ⁻¹	161	405	183	153
CO ₂ flux (arithmetic average)	g m ⁻² d ⁻¹	1826	238	207	449
H _s (arithmetic average of corrected values)	W m ⁻²	111	446	175	103
H ₂ O flux (condensed steam equivalent to H _s)	g m ⁻² d ⁻¹	4251	17065	6708	3940
CO ₂ flux / H ₂ O flux		0.43	0.014	0.031	0.114
CO ₂ / H ₂ O (analysed in fumarolic fluids)		0.44	0.021	0.033	0.115

PRODOTTI DELLA RICERCA
Vedi task 1

TASK 4 – Dati analitici del ^{14}C e prime valutazioni sul degassamento di CO_2 alla Solfatara negli ultimi 20-30 anni

UR PARTECIPANTI: UR1, UR5

OBIETTIVI I ANNO

Selezione degli alberi da analizzare nell'area della Solfatara. Campionatura. Analisi di C-14. Prime elaborazioni dei dati e valutazioni.

RISULTATI I ANNO

A seguito di un'appropriata ricognizione del territorio è stato scelto un albero adatto per esposizione all'esperienza proposta (si tratta di un pino piantato intorno al 1940). Parallelamente si è provveduto a scegliere un blank da idoneo sito (un altro pino, peraltro circa coevo del precedente).

Il gruppo di Bologna ha provveduto alla dendrodatazione delle sezioni di albero di interesse: in particolare sono state esaminate due sezioni dell'albero prescelto, una prelevata alla base ed una seconda a 2m circa di altezza, ed una sezione del blank. Si è potuta individuare una corrispondenza perfetta tra le sequenze (seppure com'è naturale a partire da un anello iniziale variabile da una sezione all'altra): le sequenze permettono di stabilire una corrispondenza biunivoca tra i singoli anelli delle tre sezioni. Si sono poi prelevati i microcampioni necessari per la spettrometria di massa (AMS, Atomic Mass Spectrometry), che sono in fase di preparazione per il conteggio sullo spettrometro. Si prevede di avere i primi risultati disponibili nel prossimo mese di settembre.

PRODOTTI DELLA RICERCA

- I dati dendrocronologici sono stati integrati in una banca dati di sequenze, essendovi carenza di dati relativi all'area campana
- E' stata progettata e realizzata un'apparecchiatura di nuovo tipo per la preparazione di campioni per le misure AMS di C-14

TASK 5 – Modellizzazione fisica per lo studio delle DDS

UR PARTECIPANTI: UR1, UR4

OBIETTIVI I ANNO

Gli obiettivi del task 5 prevedevano, per il primo anno, una fase iniziale di ricerca bibliografica, seguita da una seconda fase dedicata alla progettazione ed esecuzione di simulazioni numeriche mirate a:

- verificare il corretto funzionamento del codice, installato su varie piattaforme;
- selezionare un'opportuna griglia di calcolo;
- valutare la rilevanza di parametri fisici importanti del sistema naturale (conducibilità termica, calore specifico, densità, porosità e permeabilità del mezzo poroso);
- riprodurre le condizioni fisiche del sistema naturale, così come si desumono in base ai dati geochimici raccolti in superficie.

RISULTATI I ANNO

- Interpretazione e modellistica

La raccolta e l'analisi dei dati esistenti in bibliografia sulla Solfatara ha consentito la definizione di un modello concettuale (lavoro svolto dalla UR1), ovvero di quell'insieme di ipotesi sul funzionamento del sistema reale e sulle cause delle sue variazioni che costituisce la

base su cui si poggia la successiva fase di modellizzazione. In base al modello concettuale, sono state definite le dimensioni appropriate del dominio di calcolo e le condizioni iniziali ed al contorno compatibili con l'attuale comprensione del sistema reale. Sono inoltre stati identificati valori appropriati per i parametri che caratterizzano il mezzo poroso e che vanno definiti come dati in ingresso al momento dell'applicazione del modello fisico. Laddove la mancanza di misure ha impedito una definizione univoca di questi parametri, è stato definito un ragionevole intervallo di variazione. Parallelamente, si è provveduto all'installazione e alla verifica del corretto funzionamento del codice di calcolo. Le simulazioni sono state eseguite con il codice TOUGH2, sviluppato presso il Lawrence Berkeley National Laboratory (CA, USA), che consente di descrivere il flusso non isoterma di un fluido multi-fase e multi-componente attraverso un mezzo poroso eterogeneo ed anisotropo.

Le simulazioni sono state progettate in base al modello concettuale, considerando una simmetria cilindrica (dimensioni radiali da 1 a 3 km, profondità di 2.5 km) e diverse griglie di calcolo, con un numero di elementi variabile da 200 a 800. Analisi parametriche sono state effettuate sui valori di conducibilità termica, calore specifico e densità della matrice porosa, oltre che della porosità e permeabilità. Sono stati considerati sia sistemi uniformi che sistemi caratterizzati dall'alternarsi di strati con caratteristiche fisiche differenti. Le simulazioni sono state generalmente eseguite considerando un fluido composto da aria e acqua, anche se alcune simulazioni sono già state effettuate considerando invece miscele di acqua e anidride carbonica. Nella maggior parte delle simulazioni il sistema è stato considerato inizialmente statico e caratterizzato da un gradiente di temperatura di 30°C/km. Il profilo di pressione è stato di volta in volta calcolato in base alla dimensione imposta alla zona inizialmente satura d'acqua. Per quanto riguarda le condizioni al contorno, tutte le simulazioni sono state eseguite finora considerando il tetto del sistema aperto al flusso di fluido e di calore, e caratterizzato da valori atmosferici di pressione e temperatura, mentre il margine laterale è stato sempre considerato impermeabile e adiabatico. Parte delle simulazioni è stata poi eseguita considerando la base del dominio impermeabile e imponendo una serie di sorgenti di calore (di intensità variabile da 0.127 a 6,25 W/m²), mentre altre simulazioni sono state effettuate con la base del dominio permeabile e comunicante con un acquifero in ebollizione a 290°C.

I risultati delle simulazioni effettuate sono tuttora in fase di elaborazione, ma hanno sottolineato ancora una volta l'importanza della struttura eterogenea della matrice porosa nel determinare l'evoluzione dell'intero sistema. In particolare si è visto che a prescindere dalle condizioni imposte alla base, la presenza di uno strato a bassa permeabilità rappresenta una condizione necessaria allo sviluppo di una fase di vapore secco (la cui presenza alla Solfatara è suggerita dalla composizione chimica dei gas emessi). La zona impervia separa infatti il vapore in risalita dalla fase liquida che resta confinata nella zona più permeabile. Le simulazioni hanno inoltre dimostrato come la distribuzione di permeabilità influenzi indirettamente anche la rilevanza degli altri parametri fisici che caratterizzano la matrice porosa: un'elevata permeabilità consente una vigorosa circolazione di fluidi, che a sua volta rende meno importanti gli effetti di variazioni della conducibilità termica o del calore specifico del mezzo poroso.

PRODOTTI DELLA RICERCA

- Relazione di fine anno per l'assegno di ricerca

ELENCO PUBBLICAZIONI

a) Riviste internazionali

- Chiodini G., Frondini F., Cardellini C., Parello F. and Peruzzi L. (2000). Rate of diffuse carbon dioxide earth degassing estimated from carbon balance of regional aquifers: the case of Central Apennine (Italy), *J Geophys. Res.*, 105, 8423-8434
- Rogie, J.D., Kerrick, D.M., Chiodini, G., and Frondini, F. (2000). Flux measurements of nonvolcanic CO₂ emission from some vents in central Italy, *J Geophys. Res.*, 105, 8435-8445
- Chiodini G., Allard P., Caliro S. and Parello F. (2000). ¹⁸O exchange between steam and carbon dioxide in volcanic and hydrothermal gases: implications for the source of water, *Geochimica Cosmochimica Acta* 64, 2479-2488
- Chiodini G. and Frondini F. (2001). Carbon dioxide degassing from the Albani Hills volcanic region, Central Italy. *Chemical Geology* 177, 1-2 pp. 67-83
- Brombach T, Hunziker J.C., Chiodini G., Cardellini C. and Marini L. (2001) Soil diffuse degassing and thermal energy fluxes from the southern Lakki plain, Nisyros (Greece). *Geophys. Res. Letter*, 28, 1, 69-72
- Chiodini G., Marini L. e Russo M. Geochemical evidences of high temperature hydrothermal brines at Vesuvio volcano (Italy), *Geochimica et Cosmochimica Acta* 65, 13, 2129-2147
- Rogie, J.D., Kerrick, D.M., Sorey, M.L., Chiodini, G., and Galloway, D.L (2001) Dynamics of Carbon Dioxide Emission at Mammoth Mountain, California *Earth and Planetary Science Letters* (188)3-4, 535-541
- G. Chiodini, F. Frondini, C. Cardellini, D. Granieri, L. Marini, and G. Ventura. CO₂ Degassing and Energy Release at Solfatara Volcano, Campi Flegrei, Italy. (2001) *J Geophys. Res* (accepted)
- F. Parello, G. Capasso, W.D'Alessandro, R. Favara, S. Inguaggiato, - 2001- Kinetic isotope fractionation of CO₂ Carbon due to diffusion processes through the soil. *Water-Rock-10* pp. 1497-1499.
- Brombach, T., G. Chiodini, C.J. Hunziker, L. Marini, and B. Raco, Origin of the fumarolic fluids of Nisyros, Greece, and isotopic evidence for a magmatic contribution, *Bull. Volc.* (submitted)
- Cardellini C., Chiodini G., Frondini F., Granieri D., Lewicki J. and Peruzzi L. A method for quick measurements of soil CH₄ fluxes: application to natural environments and landfills. *Applied Geochemistry* (submitted)

b) Presentazioni a congressi - abstracts

- Cardellini C., Chiodini G., Frondini F., Giaquinto S., Parello F. & Peruzzi L. (2000) Quantification of diffuse carbon dioxide degassing from Central Apennine (Italy): the carbon balance in regional aquifers approach. Goldschmidt 2000, September 3rd-8th, 2000, Oxford, U.K. Journal of Conference Abstracts, Volume 5(2), 285. Cambridge Publications 2000
- Chiodini G., Frondini F., Minelli G., Pialli G. & Cardellini C. (2000) Mantle degassing, CO₂ traps and seismogenesis in Northern Apennines. Riassunti del Convegno "Evoluzione geologica e geodinamica dell'Appennino" pp.86-87. Soc. Geol. It., Foligno 16-18 Febbraio 2000 (abstract).
- Cardellini C., Chiodini G. & Frondini F. (2000) Deep CO₂ emission in Italy: a review. Scuola di Geochimica dei Fluidi - Volume Speciale: speciazione in fase acquosa, speciazione in fase gassosa. Società Italiana di Geochimica (So.Ge.I.). Arezzo, 29 Agosto - 1 Settembre, 2000.

- Avino R., Caliro S., Chiodini G., Di Matteo V., Frondini F., Granieri D., Quarenì F., Russo M. (2000) Heat flow from diffuse degassing structures of active volcanoes Eos Trans. AGU, 81 (48), Fall Meet. Suppl., Abstract V62C-01
- Chiodini G. and Macedonio G. (2000) Natural CO₂ emissions in Italy: observation and modelling. Eos Trans. AGU, 81 (48), Fall Meet. Suppl., Abstract V62C-02
- Rogie J., Kerrick D., Sorey M. and Chiodini G. (2000) Measurement and analysis of magmatic CO₂ at Mammoth Mountain, California, 1997-2000. Eos Trans. AGU, 81 (48), Fall Meet. Suppl., Abstract V72D-12
- Chiodini G., Avino R., Caliro S., Cardellini C., Frondini F., Granieri D., Moretti R., Russo M. (2001) – Volcanic-hydrothermal energy release at Solfatara – OMES 2001, International Workshop on Optical Methods in Earth Sciences, 21-24 Marzo, 2001 Bacoli, Napoli (Italy)
- Chiodini G., Avino R., Caliro S., Cardellini C., Frondini F., Granieri D., Moretti R., Russo M. (2001) – The hydrothermal system of Vesuvio Volcano – OMES 2001, International Workshop on Optical Methods in Earth Sciences, 21-24 Marzo, 2001 Bacoli, Napoli (Italy)
- Macedonio and Chiodini (2001) Observation and modelling natural CO₂ emissions in Italy. Geophysical Research Abstracts, 3, Eur. Geoph. Soc. 26th General Assembly, Nice, March 2001, p. 1080
- Avino, R.; Caliro, S.; Cardellini, C.; Chiodini, G.; Di Matteo, V.; Frondini, F.; Granieri, D.; Moretti, R.; Russo, M (2001) Continuous and discontinuous monitoring of CO₂ soil diffuse degassing in volcanic sites: the case of Solfatara (Campi Flegrei) and vesuvio volcanoes Abstracts, 3, Eur. Geoph. Soc. 26th General Assembly, Nice, March 2001, GRA3 p. 272
- Avino R., Caliro S., Cardellini C., Chiodini G., Di Matteo V., Frondini F., Granieri D., Marini L., Moretti R., Russo M. - Hydrothermal activity at Vesuvio - EGS XXVI General Assembly, 25-30 March, 2001 Nice (France)
- Brombach, T.; Chiodini, G.; Cardellini, C.; Marini, L.; Hunziker, J.C. Soil diffuse degassing and thermal energy fluxes from the southern Lakki plain, Nisyros (Greece) Abstracts, 3, Eur. Geoph. Soc. 26th General Assembly, Nice, March 2001, GRA3 p. 273
- Ventura G., Chiodini G., Granieri D., Frondini F., Cardellini C., Russo M. - Relationships between diffuse degassing and tectonic structures at Nisyros and Campi Flegrei – EGS XXVI General Assembly, 25-30 March, 2001 Nice (France)
- Chiodini G., Caliro S., Cardellini C., Frondini F., Granieri D. - Diffuse soil degassing at Solfatara volcano, Campi Flegrei (Italy) - EGS XXVI General Assembly, 25-30 March, 2001 Nice (France)

c) Rapporti di Sorveglianza

- Chiodini G., Avino R., Caliro S., Cardellini C., Granieri D., Russo M. (2000)- Rapporto di sorveglianza Geochimica: Vesuvio II semestre 1999 - Rendiconto sull'attività di sorveglianza II semestre 1999 (Luglio-Dicembre 1999) - Osservatorio Vesuviano, Febbraio 2000, 31-37.
- Avino R., Caliro S., Cardellini C., Chiodini G., Di Matteo V., Frondini F., Granieri D., Moretti R., Peruzzi L., Russo M. (2000) Rapporto di sorveglianza Geochimica: Vesuvio I semestre 2000 - Rendiconto sull'attività di sorveglianza I semestre 2000 (Gennaio-Giugno 2000) - Osservatorio Vesuviano, Luglio 2000, 25-29.
- Avino R., Caliro S., Cardellini C., Chiodini G., Di Matteo V., Frondini F., Granieri D., Moretti R., Peruzzi L., Russo M. (2000) Rapporto di sorveglianza sulla Geochimica: Campi Flegrei I semestre 2000 - Rendiconto sull'attività di sorveglianza I semestre 2000 (Gennaio-Giugno 2000) - Osservatorio Vesuviano, Luglio 2000, 59-64 .

- Avino R., Caliro S., Cardellini C., Chiodini G., Di Matteo V., Frondini F., Granieri D., Moretti R., Peruzzi L., Russo M. (2001) - Rapporto di sorveglianza Geochimica: Campi Flegrei II semestre 2000 - Rendiconto sull'attività di sorveglianza II semestre 2000 (Luglio-Dicembre 2000) - INGV- Osservatorio Vesuviano, Febbraio 2001, 62-68.
- Avino R., Caliro S., Cardellini C., Chiodini G., Di Matteo V., Frondini F., Granieri D., Moretti R., Russo M. (2001)- Rapporto di sorveglianza Geochimica: Vesuvio II semestre 2000 - Rendiconto sull'attività di sorveglianza II semestre 2000 (Luglio-Dicembre 2000) - INGV- Osservatorio Vesuviano, Febbraio 2001, 23-27.

SVILUPPO DI UN SISTEMA SPETTROSCOPICO INTEGRATO PER LA RIVELAZIONE REMOTA E IN CONTINUA DI GAS VULCANICI

Coordinatore scientifico del progetto

Paolo De Natale – Primo Ricercatore
Istituto Nazionale di Ottica Applicata (INOA)

Partecipanti al progetto

UR#	AFFERENZA	RESPONSABILE
1	INOA	P. De Natale
2	Dip. Sc.Amb., II Univ. Napoli-DSA	L. Gianfrani
3	Cambridge Univ.- CU	C. Oppenheimer
4	Rice Univ.- RU	F.K. Tittel

OBIETTIVI GENERALI

- Task 1: Realizzazione degli spettrometri
- Task 2: Misure spettroscopiche e test di laboratorio
- Task 3: Misure in campo e analisi dati

TASK 1 – Realizzazione degli spettrometri

UR PARTECIPANTI: Tutte
– responsabile Dr. Paolo De Natale

OBIETTIVI

- Progettazione e realizzazione degli spettrometri DLS;
- Modifiche agli spettrometri DFG e FTIR.

Gli obiettivi per il primo anno di progetto, previsti nell'ambito del task 1 sono stati raggiunti. In particolare, è stato realizzato lo spettrometro laser per la misura del rapporto di concentrazione $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$. Quindi, si è realizzato il software per il controllo dello spettrometro, per l'acquisizione dati e per l'analisi degli spettri. Poi, è stato progettato e realizzato un primo spettrometro per la misura di variazioni nel rapporto isotopico $^{13}\text{CO}_2/^{12}\text{CO}_2$.

Sono stati inoltre realizzati numerosi test degli apparati, con lo scopo di ottimizzare le caratteristiche di precisione, accuratezza e risoluzione temporale.

Come descritto in dettaglio nella sez. Risultati I anno, è stato messo a punto il software per l'acquisizione in modo automatico, da PC portatile, degli spettri.

E' stato anche messa a punto una routine di fit per l'analisi dei dati, sempre riguardante gli spettrometri DLS.

Per quanto riguarda lo spettrometro DFG, il principale obiettivo del primo anno del programma di ricerca triennale è stato progettare un sistema trasportabile per la rivelazione di gas, capace di misurare il rapporto isotopico $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ nell'anidride carbonica, ed eseguire test di laboratorio. Questo sensore si basa su spettroscopia a doppio fascio ad assorbimento diretto e utilizza la generazione di differenza di frequenza (DFG) come sorgente spettroscopica di luce coerente.

Come è stato riportato alla Conferenza Optical Methods in Earth Sciences, tenutasi a Bacoli dal 21 al 24 Marzo 2001, il sistema DFG è stato testato con successo in ambiente vulcanico ed è quindi pronto ad essere impiegato sui vulcani italiani previsti nel progetto. Nel corso dei mesi di agosto-settembre, l'unità RU provvederà ad effettuare, negli Stati Uniti, dei test sull'apparato, al fine di ottimizzare l'accuratezza dell'apparato per la misura di rapporti isotopici.

Per lo strumento FTIR, sono state modificate le ottiche di accoppiamento per l'uso sul campo, come discusso nella proposta originaria, usando un telescopio ad inseguimento solare anziché un telescopio Newtoniano. Ciò ha reso possibile le prime misure di flussi di gas vulcanici usando lo FTIR (riportato da Duffell et al., 2001).

Nonostante non fosse previsto nel progetto originario, il gruppo CU ha anche effettuato i primi test di uno spettrometro UV compatto costruito dalla Ocean Optics, direttamente sul campo, al vulcano Masaya, Nicaragua.

Al fine di un utilizzo da parte degli spettrometri DLS ed, eventualmente del DFG, sono state realizzate anche due speciali celle multi-passo (vedi figura 1), in materiali resistenti ad un uso in campo, per aumentare la sensibilità di rivelazione.



Figura 1. Celle multi-passo da usare con gli spettrometri DLS e DFG.

TASK 2 – Misure spettroscopiche e test di laboratorio

UR PARTECIPANTI: Tutte
– responsabile Dr. Livio Gianfrani

OBIETTIVI

- Acquisizione di dati spettroscopici preliminari;
- Prove in laboratorio degli spettrometri;
- Verifica della possibilità di effettuare misure di rapporti isotopici;
- Prove incrociate degli spettrometri.

Come previsto nel task 2, sono state effettuate prove in laboratorio degli spettrometri DLS, sia per la rivelazione di rapporti di concentrazione acqua/anidride carbonica, sia per la misura di rapporti isotopici. I risultati di questo lavoro, effettuato dai gruppi INOA e DSA, è riportato nella bibliografia allegata [2] ed ha consentito di testare l'apparato DLS per ciò che riguarda i livelli di sensibilità, precisione e riproducibilità nella misura di concentrazioni.

E' stata verificata la possibilità di misurare rapporti isotopici, sia con il DLS che con il DFG ed, attualmente, è in corso una ottimizzazione delle procedure al fine di aumentare l'accuratezza della misura, sia in laboratorio che sul campo.

Sono state effettuate, in laboratorio, le misure preliminari di calibrazione per la determinazione della concentrazione delle varie specie da rivelare.

Come descritto nel task 3, e come è riscontrabile dai riferimenti bibliografici allegati, tutti gli spettrometri sono stati testati, sia in laboratorio che sul campo.

Prove incrociate degli spettrometri sono state effettuate sul campo, come descritto nel Task3.

TASK 3 – Misure in campo e analisi dati

UR PARTECIPANTI: Tutte

– responsabile Dr. Paolo De Natale

OBIETTIVI

- Test in campo dei quattro spettrometri;
- Campagne coordinate presso l'isola di Vulcano, il Monte Etna e la Solfatara per:
 - i. Misure di concentrazioni di HCl, CO₂, SO₂, and H₂S nelle emissioni vulcaniche;
 - ii. Misure del rapporto di concentrazione CO₂/H₂O;
 - iii. Misure del rapporto isotopico ¹³CO₂/¹²CO₂, relativo allo standard;
- Analisi dei risultati ottenuti ed interpretazione in chiave geochimico-vulcanologica.

Nel Programma per il I anno non sono state previste misure in campo, per nessuno degli spettrometri, in quanto l'attività in campo era programmata per il II e III anno.

Nonostante ciò, tre degli spettrometri sono stati testati sul campo nel corso del I anno di attività.

In particolare, lo spettrometro DLS per la misura di rapporti di concentrazione CO₂/H₂O è stato provato alla Solfatara, mentre i sistemi DFG e FTIR sono stati utilizzati simultaneamente sul vulcano Masaya, Nicaragua. E' stata lì effettuata l'acquisizione selettiva, in modo automatico, di spettri di CO₂, SO₂, H^{35,37}Cl, H₂O, e CH₄. L'esito del test incrociato, sul campo, dei due spettrometri, è descritto in dettaglio in [10]. Da questo riferimento si riporta la tabella riassuntiva qui di seguito:

Gas Species	DFG Center Frequency (cm ⁻¹)	DFG Measured Concentrations (Min - Max) ppm	Field Sensitivity (MDC)	
			DFG	FTIR (mean)
CH ₄	3028.751	1.85 - 2.05	32 ppb	419 ppb
CO ₂	2388.640	374 - 567	3 ppm	30 ppm
H ₂ O	2649.348	18000 - 21200	670 ppm	710 ppm
HCl	2843.624	MDC - 0.175	15 ppb	15 ppb
SO ₂	2505.239	MDC - 22.65	3 ppm	200 ppb

OBIETTIVI I ANNO

Nel programma del I anno di attività, erano stati inseriti i seguenti obiettivi:

- Progettazione e realizzazione dello spettrometro DLS per misure del rapporto di concentrazione CO₂/H₂O.
- Misure spettroscopiche preliminari su H₂O, CO₂ e ¹³CO₂.
- Realizzazione del sistema di controllo dello spettrometro DLS, per l'acquisizione dati e l'analisi in tempo reale dei profili di riga.

- Preparazione e test dello spettrometro DFG per misure in-situ e in tempo reale di concentrazione di HCl.
- Modifiche allo spettrometro FTIR e implementazione del nuovo sistema di rivelazione.
- Programmazione di campagne di misura coordinate presso la Solfatarà e l'isola di Vulcano, previste nel secondo anno.

RISULTATI I ANNO

Sistema DLS:

- Sviluppi metodologici

È stato progettato e realizzato lo spettrometro DLS per misure del rapporto di concentrazione $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$. Lo spettrometro, operante con un laser a diodo (InGaAsP/InP) DFB con emissione a 2 micron, permette di effettuare misure assolute di concentrazioni, simultaneamente per le molecole di CO_2 e H_2O . Uno studio spettroscopico preliminare, in questa regione spettrale, ha permesso di individuare la coppia di transizioni vibro-rotazionali più adatte a tale scopo: la R(34) della banda $\nu_1+2\nu_2^\circ+\nu_3$ per la CO_2 e la $15_{0,15}\rightarrow 14_{0,14}$ della banda $\nu_2+\nu_3$ per l' H_2O . L'utilizzo di fibre ottiche del tipo comunemente utilizzato per applicazioni in telecomunicazioni, nonostante la radiazione a 2 micron si collochi al limite della finestra ottimale di trasmissione, si è rivelato efficace ed ha consentito di implementare schemi per il monitoraggio a distanza. In particolare, sono state realizzate due diverse configurazioni, una basata su una cella a riflessioni multiple con cammino ottico pari a 50 m e l'altra su una cella di lunghezza pari a circa 30 cm. Nel primo caso, la radiazione trasportata dalla fibra ottica viene collimata in aria, e, dopo la propagazione nella cella multipasso, viene immediatamente rivelata da un fotodiodo. Nel secondo caso, invece, dopo la collimazione in aria e la propagazione nella cella, la radiazione viene nuovamente iniettata in una fibra ottica. Le performance dello spettrometro sono state verificate in laboratorio, attraverso una serie di test sperimentali su miscele certificate di aria sintetica. La riproducibilità nel breve termine (ossia misure ripetute di concentrazione, su un dato campione d'aria, per un tempo dell'ordine di qualche minuto) è risultata pari a circa 0.3 % e 0.5 %, per concentrazioni ambiente di CO_2 e H_2O rispettivamente. L'accuratezza, invece, è risultata migliore dell'1%.

Parallelamente, si è realizzato uno studio spettroscopico, nella medesima regione spettrale, per verificare la possibilità di effettuare misure del rapporto isotopico $^{13}\text{CO}_2/^{12}\text{CO}_2$. Tra le numerose coppie di transizioni accessibili alla sorgente in uso, la più adatta è risultata la R(18) del ^{13}C e la R(44) del ^{12}C , considerando il favorevole rapporto d'intensità e la loro separazione in frequenza. Tuttavia, il medesimo rapporto d'intensità presenta una forte dipendenza dalla temperatura (con una variazione relativa di circa 1% per K), il che rappresenterebbe un limite stringente per misure in campo. In tal senso, situazioni migliori possono essere trovate nell'intorno di 2.007 micron. Per tale motivo, si sta attualmente provvedendo ad acquisire un'altra sorgente laser a diodo con emissione in questa regione spettrale. Ciò nonostante, si è implementato un primo spettrometro per la rivelazione simultanea dei due isotopi, facendo ricorso alla tecnica di *Wavelength Modulation Spectroscopy* con rivelazione in terza armonica. Una prima verifica della precisione nella misura del rapporto isotopico ha fornito un promettente risultato, dell'ordine di 0.1 %.

- Acquisizione dati

L'acquisizione degli spettri avviene attraverso un oscilloscopio digitale, controllato da computer, mediante una scheda GPIB. A tale scopo, è stato realizzato un codice in BASIC che consente di effettuare la completa gestione dell'oscilloscopio nonché l'acquisizione degli spettri. Quest'ultima è realizzata in doppia precisione, usando il formato binario, con due byte per ciascun punto acquisito. Ciò ha permesso di ottenere una risoluzione verticale di 16 bit.

Il programma permette di acquisire fino a 999 spettri in automatica, con una risoluzione temporale variabile a piacimento, con un limite inferiore di 500 ms. In corrispondenza di ciascuno spettro, viene acquisita anche la temperatura del campione gassoso.

- Interpretazione e modellistica

Per le misure di concentrazione, gli spettri acquisiti vengono analizzati mediante un programma in MATLAB, funzionante interamente in automatica. L'analisi consiste in un best fit del profilo di riga, attraverso la routine di Levenberg-Marquardt, e fornisce l'assorbanza integrale in cm^{-1} . Da quest'ultima, si ricava la concentrazione della specie sfruttando la legge di Lambert-Beer. Nell'ambito dello stesso programma, si effettua la calibrazione in frequenza degli spettri e si calcola il fattore di calibrazione per la determinazione della concentrazione, ossia l'intensità di riga S alla temperatura di lavoro, partendo dalla S misurata ad una data temperatura di riferimento. Ciò viene effettuato per entrambe le specie molecolari (H_2O e CO_2).

Sistema DFG:

- Scelta delle righe per le misure di rapporto isotopico

Le forti bande di assorbimento vibrazionale-rotazionale di $^{12}\text{CO}_2$ e $^{13}\text{CO}_2$, centrati rispettivamente a 4.28 e 4.37 micron, forniscono molte coppie di righe che sono adatte per la spettroscopia ad assorbimento diretto. Per scegliere la coppia di righe più adatta, sono state considerate le seguenti condizioni:

- i. L'intensità delle due righe $^{13}\text{CO}_2$ e $^{12}\text{CO}_2$ deve essere quasi identica e la loro separazione spettrale deve essere più piccola dell'intervallo in frequenza della scansione laser (tipicamente 0.3 cm^{-1}) in modo che entrambe le righe dovrebbero essere nella finestra di scansione.
- ii. La concentrazione prevista di CO_2 nel gas delle fumarole è intorno a 10,000 ppm. Per evitare la saturazione del segnale, il picco di assorbimento dovrebbe essere inferiore al 50%.
- iii. Il metodo di regressione lineare (descritto nella sezione successiva) parte dal presupposto che la/le riga/righe $^{12}\text{CO}_2$ sono spettralmente separate dalla/e riga/righe $^{13}\text{CO}_2$. Qualsiasi interferenza tra le due righe isotopiche deteriora la misura.

La coppia di righe più adatta, che soddisfi cioè le esigenze sopra elencate, è centrata a 2299.642 cm^{-1} ($^{12}\text{CO}_2$, P41) e 2299.795 cm^{-1} ($^{13}\text{CO}_2$, R22). La separazione spettrale di queste righe è 0.153 cm^{-1} ed i loro FWHM (larghezza totale a metà altezza) sono 0.0177 cm^{-1} ($^{12}\text{CO}_2$) e 0.01859 cm^{-1} ($^{13}\text{CO}_2$) a 100 Torr di pressione totale. Dal momento che queste righe interferiscono solo con altre righe dello stesso isotopo, la finestra di scansione può essere facilmente divisa in due parti, una contenente le righe che appartengono all'isotopo $^{13}\text{CO}_2$, l'altra contenente le righe che appartengono all'isotopo $^{12}\text{CO}_2$.

- Sensibilità alla temperatura

Dal momento che la naturale abbondanza di ^{13}C è circa l'1%, la riga $^{12}\text{CO}_2$ della coppia di righe precedentemente menzionata deve essere una "riga debole" (paragonata alle altre righe nella stessa branca), mentre la riga $^{13}\text{CO}_2$ deve essere una "riga forte". In altre parole, per rendere la riga $^{12}\text{CO}_2$ di intensità paragonabile, è necessario un fattore di Boltzmann basso. Ciò significa che il livello di energia più basso appartenente alla riga $^{12}\text{CO}_2$ è molto più alto (1340 cm^{-1}) del livello di energia più basso della riga $^{13}\text{CO}_2$ (197 cm^{-1}). Calcoli dettagliati mostrano che per misurare il valore di δ con una precisione dell'1 ‰, la temperatura deve essere stabilizzata a 50mK. Per ottenere questa bassa differenza di temperatura tra il gas di riferimento ed il campione, il gas campione è stato passato attraverso un tubo lungo 1 m avvolto attorno alla cella.

- Esperimento e analisi dei dati

La radiazione DFG generata è stata divisa in due fasci. Il primo fascio passava attraverso la cella di riferimento riempita con gas CO₂ calibrato ($\delta = -7.42$, Cambridge Isotope Laboratories, Inc.) e il secondo passava attraverso la cella campione. I segnali di riferimento e quello campione sono stati misurati simultaneamente utilizzando due rivelatori MCT e due schede di acquisizione dati. I percorsi ottici del fascio di riferimento e del fascio campione sono stati attentamente bilanciati. Inoltre, per minimizzare ogni errore, introdotto dalle differenti lunghezze dei percorsi, la parte in aria del percorso del fascio (zona di generazione DFG, cella, rivelatori) è stata posta all'interno di una scatola (15cm X 30cm X 45cm) detersa con N₂. Un ulteriore vantaggio della pulitura è che l'elevato fondo di assorbimento determinato dalla CO₂ atmosferica può essere eliminato. I dati e i canali di riferimento sono stati successivamente riempiti di N₂ per misurare le linee di base (cioè il fondo in assenza di CO₂).

La regressione lineare fornisce un semplice metodo per valutare i dati misurati. Le finestre di scansione (sia quella per il riferimento che per il campione) sono divise in due parti in modo che le righe appartenenti ad isotopi differenti siano separate. L'assorbimento nel canale di riferimento può essere rappresentata come una funzione dell'assorbimento nel canale campione. L'inclinazione della curva lineare "fittata" produce il rapporto di concentrazione per entrambi gli isotopi ($^{12}C_{sample}/^{12}C_{reference}$ e $^{13}C_{sample}/^{13}C_{reference}$). Dal momento che il rapporto isotopico nel canale di riferimento è conosciuto ($C \equiv ^{13}C_{reference}/^{12}C_{reference}$), il rapporto isotopico nel canale campione può essere calcolato come:

$$\frac{^{13}C_{sample}}{^{12}C_{sample}} = C \cdot \frac{^{13}Slope}{^{12}Slope} .$$

I nostri primi risultati mostrano che siamo in grado di misurare i valori di δ in laboratorio con un'accuratezza di ± 2 . Stiamo programmando di ottimizzare e testare ulteriormente il sistema usando un tasso di flusso più basso e parametri di acquisizione ottimali.

Sistema FTIR:

L'adeguatezza del sistema FTIR per misure in campo è testimoniata dai risultati più recenti, riportati in [10, 12, 14]. Le ottiche di accoppiamento sono state modificate, come previsto nel progetto.

Nel mese di Marzo 2001 si è svolto un Workshop internazionale dal titolo *Optical Methods in Earth Sciences*, organizzato dai gruppi partecipanti al nostro Progetto e sponsorizzato da vari Enti, tra cui GNV ed INGV. Nel corso di questa conferenza, a cui hanno partecipato molti rappresentanti dei principali gruppi di ricerca europei ed americani, è stato possibile fare il punto sulle più avanzate metodologie ottiche applicate alle Scienze della Terra.

Un volume speciale della rivista *Optics and Lasers Engineering*, edita dalla Elsevier, attualmente in preparazione e la cui pubblicazione è prevista entro l'anno, raccoglierà in modo organico i risultati principali presentati nel corso della Conferenza, costituendo pertanto un importante riferimento bibliografico per tutti i gruppi che operano nel settore.

Durante la Conferenza, è stato possibile discutere, con i partecipanti al Progetto i risultati preliminari ottenuti ed è stato possibile pianificare le campagne di misura per i due anni successivi. E' risultato peraltro di estrema importanza confrontare i risultati e le metodologie riguardanti il nostro Progetto con i partecipanti ad altri Progetti GNV, oltre che con gli altri partecipanti al Workshop.

PRODOTTI DELLA RICERCA

- n° 19 pubblicazioni su riviste internazionali
- n° 4 pubblicazioni su atti di convegni
- n° 4 presentazioni a convegni
- n° 2 articoli giornalistici su riviste specializzate

ELENCO PUBBLICAZIONI (includendo lavori in stampa e sottomessi)

- De Natale P, Gianfrani L, and De Natale G. Optical methods for monitoring of volcanoes: techniques and new perspectives. *J. Volc. Geotherm. Res.*, in press (2001).
- Gianfrani L, De Natale P. Remote measurements of volcanic gases with a diode-laser-based spectrometer. *Optics and Photonics News* 11: 44 (2000).
- Gagliardi G, Restieri R, De Biasio G, De Natale P, Cotrufo F, and Gianfrani L. Quantitative diode-laser absorption spectroscopy near 2 μ m and high precision measurements of CO₂ concentration. *Rev. Sci. Instr.*, in press (2001).
- Gagliardi G, Restieri R, Casa G, and Gianfrani L. Chemical and isotopic analysis using diode laser spectroscopy: applications to volcanic gas monitoring. *Opt. Las. Eng.*, in press (2001).
- Gagliardi G, Restieri R, Casa G, and Gianfrani L. Gas concentration measurements in volcanic flows using diode laser spectroscopy. *International workshop on Optical Methods in Earth Sciences, Bacoli, 21-24 Marzo 2001.*
- D. Mazzotti, G. Giusfredi, P. Cancio, P. De Natale High sensitivity spectroscopy of CO₂ around 4.25 micron with difference-frequency radiation. *Opt. Las. Eng.*, in press (2001).
- P. De Natale Novel optical techniques for gas monitoring. *Proceedings of the International workshop on Optical Methods in Earth Sciences, Bacoli, 21-24 Marzo 2001.*
- G. De Natale e P. Ferraro Optical fiber Bragg gratings as strain sensors for monitoring of seismic areas, *Opt. Las. Eng.* (in press. Nov. 2001).
- G. De Natale, Tectonic and volcanic monitoring for geodynamical studies and hazard estimation. *Proceedings of the International workshop on Optical Methods in Earth Sciences, Bacoli, 21-24 Marzo 2001*
- Richter, D., Erdelyi, M., Curl, R.F., Tittel, F.K., Oppenheimer, C., Duffell, H.J., and Burton, M., Field measurement of volcanic gases using tunable diode laser based mid-infrared and Fourier transform infrared spectrometers, *Opt. Las. Eng.* (in press. Nov. 2001).
- F. K. Tittel, D. Richter, M. Erdelyi, C. Oppenheimer, H. J. Duffell, R. L. Jones and M. Burton: Volcanic gas emission measurements using tunable mid-infrared diode laser based spectroscopy, *Proceedings International Workshop on Optical Methods in Earth Sciences, Bacoli, Napoli, Italy, March 21-24, 2001*
- Oppenheimer, C., Burton, M.R., Durieux, J., and Pyle, D.M., Open-path Fourier transform spectroscopy of gas emissions from a carbonatite volcano: Oldoinyo Lengai, Tanzania, *Opt. Las. Eng.* (in press. Nov. 2001).
- Edmonds, M., Pyle, D., and Oppenheimer, C., HCl emissions at Soufriere Hills Volcano, Montserrat, West Indies, during the second phase of dome-building: November 1999 to October 2000, *Bulletin of Volcanology*, in press 2001.
- Duffell, H., Oppenheimer, C., and Burton, M.R., Volcanic SO₂ and HCl emission rates measured by solar occultation spectroscopy, *Geophysical Research Letters*, in press 2001.
- Horrocks, L.A., Oppenheimer, C., Burton, M.R., Open-path Fourier transform infrared spectroscopy of SO₂: an empirical sensitivity analysis, with implications for volcano monitoring, *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, in press 2001.
- Oppenheimer, C., Edmonds, M., Francis, P., and Burton, M.R., Variation in HCl/SO₂ gas ratios observed by Fourier transform spectroscopy at Soufrière Hills Volcano,

- Montserrat, in The eruption of Soufrière Hills Volcano, Montserrat, from 1995 to 1999. Geological Society, London, Memoir (eds., Druitt, T., and Kokelaar, P.), in press 2001.
- Watson, I.M., and Oppenheimer, C., Particle-size distributions of ash-rich volcanic plumes determined by sun photometry, *Atmospheric Environment*, 35, 3561-3572 (2001).
- Edmonds, M., Pyle, D., and Oppenheimer, C., A model for degassing at the Soufrière Hills Volcano, Montserrat, West Indies, based on geochemical data, *Earth and Planetary Science Letters*, 186, 159-173 (2001).
- Burton, M.R., Oppenheimer, C., Horrocks, L.A., Francis, P.W., Diurnal changes in volcanic plume chemistry observed by lunar and solar occultation spectroscopy, *Geophysical Research Letters*, 28, 843-846 (2001).
- Burton, M.R., Oppenheimer, C., Horrocks, L.A., and Francis, P.W., Remote sensing of CO₂ and H₂O emission rates from Masaya volcano, Nicaragua, *Geology*, 28, 915-918 (2000).
- Francis, P., Horrocks, L., and Oppenheimer, C., Monitoring gases from andesite volcanoes, *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 358, 1567-1584 (2000).
- Watson, I.M., Oppenheimer, C., Voight, B., Francis, P.W., Clarke, A., Stix, J., Miller, A., Pyle, D.M., Burton, M.R., Young, S.R., Norton, G., Loughlin, S., Darroux, B., and MVO Staff, The relationship between degassing and deformation at Soufriere Hills volcano, Montserrat, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 98, 117-126 (2000).
- Watson, I.M., and Oppenheimer, C., 2000, Particle size distributions of Mt. Etna's aerosol plume constrained by sun-photometry, *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 105, 9823-9830 (2000).

Articoli giornalistici riguardanti il Progetto pubblicati su riviste specializzate:

- Opto&Laser Europe, *Telecoms devices probe volcanic gases*, 82, p.11 (2001).
- Opto&Laser Europe, *Sensors working overtimes*, 85, pp.37-38 (2001).

INNOVAZIONE TECNOLOGICA ED AUTOMAZIONE NELLE APPLICAZIONI INTEGRATE DEI METODI ELETTROMAGNETICI E DEI CAMPI DI POTENZIALE IN AREE VULCANICHE ATTIVE

Coordinatore scientifico del progetto

Ciro Del Negro – Ricercatore

Sezione di Catania, INGV – Piazza Roma 2 – 95123 Catania

Partecipanti al Progetto

UR#	AFFERENZA	RESPONSABILE
A.1	Dip. di Scienze Fisiche, Università di Napoli	Domenico Patella
A.2	Dip. di Geologia, Paleontologia e Geofisica, Università di Padova	Annalisa Zaja
A.3	Dip. di Geologia e Geofisica, Università di Bari	Domenico Schiavone
B.1	Sezione di Roma 2 – Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia	Antonio Meloni
B.2	Ist. di Metodologie Avanzate di Analisi Ambientale – CNR, Potenza	Vincenzo Lapenna
B.3	Dip. Elettrico, Elettronico e Sistemistico – Università di Catania	Giuseppe Nunnari
B.4	Dip. di Geofisica e Vulcanologia, Università di Napoli	Maurizio Fedi
C.1	Sezione di Catania – Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia	Gennaro Budetta
C.2	Sezione di Catania – Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia	Ciro Del Negro
C.3	Dip. Elettrico, Elettronico e Sistemistico – Università di Catania	Luigi Fortuna

OBIETTIVI GENERALI

Lo scopo del progetto è l'applicazione di un approccio geofisico multi-metodologico che integri i metodi elettromagnetici e dei campi di potenziale per contribuire alla comprensione della struttura fisica e della dinamica dei vulcani attivi. Per raggiungere questi obiettivi s'intende migliorare il potere investigativo dei metodi elettromagnetici e dei campi di potenziale attraverso (i) lo sviluppo di adeguate metodologie di inversione integrata, (ii) l'applicazione di tecnologie avanzate per l'elaborazione dei segnali registrati in continuo e (iii) l'automatizzazione dei processi di controllo e di gestione e dei rilevamenti in tempo reale. I risultati attesi dovrebbero consentire di migliorare la comprensione dei processi vulcanici, aumentare l'efficienza del controllo dei vulcani e accrescere, in modo sostanziale, la capacità di predire la ripresa dell'attività vulcanica attraverso l'osservazione e l'interpretazione di insiemi completi di parametri fisici, basata su dati multidisciplinari.

TASK 1 - Tomografie integrate dei campi di potenziale ed elettromagnetici in ambiente vulcanico

UR PARTECIPANTI: URA.1, URA.2, URA.3

OBIETTIVI I ANNO

È stata effettuata l'elaborazione e l'applicazione di un nuovo metodo d'inversione tomografica integrata di dati elettro-magnetici e gravitazionali. La tomografia 3D è stata impostata per ogni situazione di geometria complessa con superficie topografica irregolare. Lo scopo è di riconoscere la presenza di sorgenti d'anomalie primarie o indotte e di fornirne l'ubicazione in senso probabilistico.

Per il monitoraggio delle aree vulcaniche attive, sono stati valutati i poteri diagnostici dei metodi del Potenziale Spontaneo (PS) e della Geoelettrica dipolare (GE). La metodologia PS è maggiormente utile per l'analisi delle parti più superficiali di un vulcano, mentre quella GE, integrata con sondaggi magnetotellurici (MT) fornisce informazioni anche sulla dinamica delle parti profonde.

È stata avviata la caratterizzazione elettrica del versante SE dell'Etna, utilizzando le metodologie PS, GE e MT. In particolare, i risultati delle misure di PS e le relative inversioni tomografiche, oltre a fornire indicazioni di dettaglio sulle strutture più superficiali e sulla loro dinamica tramite misure ripetute nel tempo, serviranno da vincolo per l'analisi dei rilievi GE e MT.

RISULTATI I ANNO

- Sviluppi metodologici

È stata sviluppata la teoria e verificato l'algoritmo di calcolo della tomografia di probabilità 3D integrata per ogni situazione di geometria complessa con superficie topografica irregolare. È stata applicata con successo all'analisi di dati geofisici integrati disponibili nelle aree vulcaniche del Vesuvio, Etna e Vulcano [UR A.1].

- Acquisizione dati

È stata acquisita una nuova apparecchiatura per rilievi magnetotellurici e sono in corso i test di funzionalità. È in corso la campagna di rilievi geoelettrici dipolari (GE), ed è stato predisposto il progetto di nuove misure SP e MT sul versante SE dell'Etna [UR A.1].

- Modelli MT preliminari

È stato condotto uno studio preliminare del versante SE dell'Etna costruendo alcuni modelli diretti 3D, basandosi su precedenti interpretazioni geologiche e geofisiche. Questo lavoro di modellistica è stato intrapreso per pianificare una corretta disposizione dei sondaggi elettromagnetici MT e TEM, che saranno eseguiti nella seconda metà del mese di luglio 2001 [UR A.2].

- Rielaborazione dei dati gravimetrici

È stato implementato un nuovo programma di calcolo per eseguire la correzione di Bouguer in aree con variazioni significative della superficie topografica. Con questa routine è stata effettuata la riduzione delle 948 stazioni gravimetriche precedentemente acquisite sull'Etna [UR A.3].

PRODOTTI DELLA RICERCA

- n° 6 pubblicazioni su riviste internazionali
- n° 4 presentazioni a convegni
- n° 1 software per la tomografia di probabilità 3D

TASK 2 - Innovazione tecnologica e metodologica nel monitoraggio dell'attività vulcanica

UR PARTECIPANTI: UR B.1, UR B.2, UR B.3, UR B4

OBIETTIVI I ANNO

Nell'ottica di portare rapidamente le osservazioni gravimetriche, magnetiche ed elettriche in continuo a livelli di applicazione di punta per il controllo dei vulcani attivi, è necessario accelerare tutti i processi capaci di affinare le tecniche di acquisizione dei dati e migliorare la capacità di riconoscere nei segnali gli "eventi". Le principali problematiche affrontate possono essere così riassunte:

- a) sviluppo e la sperimentazione di strumenti dedicati ad operare in aree vulcaniche;
- b) applicazione di metodologie statistiche avanzate per ottenere un criterio di valutazione dell'affidabilità dei segnali gravimetrici, magnetici ed elettrici quali precursori di eventi vulcanici;
- c) modellizzazione diretta ed inversa eseguita simultaneamente su dati geofisici acquisiti mediante osservazioni multi-metodologiche.

RISULTATI I ANNO

- Nuova strumentazione

È stato progettato e sperimentato presso l'osservatorio geomagnetico di L'Aquila un prototipo di magnetometro flux-gate tri-assiale autolivellante da utilizzare in aree vulcaniche [UR B.1].

- Sviluppi metodologici

Sono stati state messe a punto un ampio spettro di metodologie e tecniche per il pre-processing, e la successiva caratterizzazione dinamica dei segnali geoelettrici ed elettromagnetici. Prima, sono state sviluppate tecniche per il "denoising" delle serie temporali, ovvero per la rimozione di ogni possibile disturbo, sia climatico che antropico. Particolare attenzione è stata rivolta al problema dei "data missing" che è una situazione riscontrabile di frequente nelle attività di monitoraggio geofisico. La presenza di "data missing" ha richiesto l'uso di tecniche di analisi spettrale, diverse dalla classica FFT, infatti le stime degli spettri di densità di potenza sono state eseguite con il *Lomb Periodogram Method*. Successivamente, l'attività di ricerca è stata rivolta allo sviluppo di tecniche avanzate (modelli autoregressivi, tecniche frattali e multifrattali, variogrammi) per la caratterizzazione dinamica dei segnali geoelettrici. Le tecniche sviluppate sono state applicate e testate nell'analisi delle serie temporali archiviate nella banca dati, organizzata e gestita dall'IMAAA, che contiene oltre 100.000 dati geoelettrici misurati in aree sismicamente attive [UR B.2].

È stato anche avviato uno studio per applicare i metodi basati sulla teoria dei filtri predittivi all'identificazione e alla caratterizzazione di eventi di carattere vulcanomagnetico a partire da dati di reti di monitoraggio magnetico. Questi metodi affrontano il problema generale di stima in cui un campione di ognuna delle varie sequenze misurate viene predetto, in modo adattivo, da combinazioni lineari pesate dei campioni passati di altre sequenze, consentendo così di valutare la mutua correlazione tra i segnali stessi. Come caso particolare c'è ovviamente anche la ricostruzione del segnale ad un dato istante sulla base di una combinazione lineare pesata dei dati passati dello stesso segnale. L'analisi predittiva permette di evidenziare degli intervalli temporali dove sono presenti importanti variazioni statistiche del segnale, dette anche aree di non stazionarietà. Per analizzare le variazioni statistiche dei segnali al variare del tempo è stato implementato un algoritmo RLS (Recursive Least Squares), che fornisce una stima pesata dei campioni in input al predittore [UR B.4].

- Interpretazione e modellistica

Sono stati definiti, in base agli studi esistenti in letteratura, i modelli interpretativi delle variazioni di campo gravimetrico e magnetico in aree vulcaniche ed è stato implementato un *software package* per la generazione diretta di dati sintetici conseguenti all'intrusione di magma in un ipotetico dicco [UR B.3].

PRODOTTI DELLA RICERCA

- n. 7+1 +1 publications on international journals
- n. 10 publications on national journals, proceedings of national and international conferences technical reports
- data bank
- n. 3 + 0 +1 software packages

TASK 3 - Approcci non tradizionali per l'elaborazione automatica di dati acquisiti da reti di monitoraggio vulcanico

UR PARTECIPANTI: UR C.1, UR C.2, UR C.3

OBIETTIVI I ANNO

Al fine di rendere disponibile una base per una risposta in tempo reale in presenza di eventi eruttivi si vuole realizzare un sistema automatico che partendo dalla ricostruzione del comportamento fisico del vulcano fornisca un modello e che, quando sono disponibili dati online, permetta di osservare e prevedere la propagazione/evoluzione dei fenomeni. Le strutture di calcolo classiche risultano inadeguate a risolvere problemi di questo tipo, che richiedono di generalizzare il contenuto informativo di un certo numero di casi. È sorta, pertanto, la necessità di ricorrere a paradigmi computazionali innovativi che operando in maniera integrata possano affrontare efficacemente tali problemi. In particolare ci si riferisce a quelle tecniche denominate *soft computing* che si prestano anche alla risoluzione di problemi che richiedono l'intervento di esperti umani in fase di elaborazione delle informazioni e che danno una stima dell'incertezza con la quale viene ottenuto il modello di un sistema dinamico (il vulcano), avendo a disposizione coppie di valori ingresso-uscita.

RISULTATI I ANNO

- Sviluppi metodologici

Sono state implementate diverse strategie di elaborazione numerica, sia di natura lineare sia non lineare, per aumentare la significatività dei dati ed estrarre dai dati la maggior quantità di informazione possibile. L'attenzione fu dedicata ai seguenti compiti:

1. ammodernamento di una stazione gravimetrica pre-esistente per esperimenti sui fenomeni perturbatori della gravità. È stato progettato e sperimentato un nuovo sistema di termostatazione del gravimetro. Per ridurre le variazioni di temperatura entro il decimo di °C e per ottimizzare il bisogno di energia, è stato utilizzato un sistema di controllo basato sulla Fuzzy-logic [UR C.1].
2. sviluppo di software in ambiente LabView per la gestione veloce dell'analisi dei dati gravimetrici. Il software consente una rapida analisi visiva preliminare, molto importante per orientare i successivi passi nel trattamento dei dati e in particolare per definire le strategie per rimuovere l'effetto dei perturbatori esterni (essenzialmente meteorici) [UR C.1].
3. sviluppo di modelli di influenza dei perturbatori di natura meteorologica sulla gravità. Per modellizzare la relazione tra il segnale gravimetrico e i possibili perturbatori sono in fase

- di test algoritmi di tipo sia lineare che non lineare (Neuro-Fuzzy) che tengono anche conto del ritardo di fase tra segnale perturbante e segnale perturbato [UR C.1].
4. Sviluppo di un software grafico per la modellizzazione vulcanomagnetica (VMM). Sono state implementate in un'unica procedura sotto MatLab le espressioni analitiche di Okada, per il calcolo dei campi di dislocazione e di stress, di Muratami, per il campo elettrocinetico, e di Sasai ed Utsugi, per il campo piezomagnetico. Questa procedura è stata installata anche sul nostro website, all'indirizzo alpha.iiv.ct.cnr.it, per applicazioni remote via internet [UR C.2].
 5. Applicazione delle Reti Neurali Artificiali come classificatore di segnali magnetici. Per la generazione dei campioni è stato utilizzato il simulatore VMM [UR C.2].
 6. Progettazione e sviluppo di una consolle tecnologicamente avanzata per il controllo a distanza di sensori magnetici vettoriali e di sistemi software con un alto livello d'automazione e flessibilità per il trattamento remoto dei dati magnetici [UR C.2].
 7. Applicazione di tecniche di calcolo non convenzionali, tipiche dell'ingegneria della conoscenza, per l'identificazione e la valutazione di transienti magnetici. È stato condotto uno studio per la predizione delle tempeste magnetiche in aree vulcaniche [UR C.3].

Infine, è stata finanziata l'attivazione di un Dottorato di Ricerca di Ingegneria Elettronica ed Automazione avente come specifico argomento lo *Sviluppo di Architetture Intelligenti per il Monitoraggio e il Controllo di Sistemi Complessi*. Il dottorato è stato articolato in modo da svolgere l'attività di studio all'Università di Catania (coordinatore Prof. L. Fortuna) e l'attività di ricerca presso la Sezione di Catania dell'INGV (tutore Dr. C. Del Negro).

PRODOTTI DELLA RICERCA

- n° 9 pubblicazioni su riviste internazionali
- n° 4 pubblicazioni su riviste nazionali, atti, presentazioni a convegni, rapporti tecnici, etc
- n° 2 banche dati
- n° 2 codici di calcolo

ELENCO PUBBLICAZIONI

- Mauriello, P., Patella, D., Petrillo, Z. and Siniscalchi, A., 2000: An integrated magnetotelluric study of the Mt.Etna volcanic structure. *Annali di Geofisica*, vol.43, n.2, 325-342.
- Mauriello, P. and Patella, D., 2000: A physical pattern recognition approach for 2D electromagnetic induction studies. *Annali di Geofisica*, Vol.43, n.2, 343-360.
- Mauriello, P. and Patella, D., 2001: Gravity probability tomography: a new tool for buried mass distribution imaging. *Geophysical Prospecting*, vol.49, n.1, 1-12.
- Mauriello, P. and Patella, D., 2001: Localization of maximum-depth gravity anomaly sources by a distribution of equivalent point masses. *Geophysics*, vol.66, n.5, .
- Vanorio, T., Prasad, M., Patella, D. and Nur, A., 2001: An experimental study of petrophysical properties of volcanic rocks from Etna and Phlegrean Fields. In press on *Geophysical Journal International*.
- Iuliano, T., Mauriello P. and Patella, D., 2001: Looking inside Mount Vesuvius by potential fields integrated geophysical tomographies. In press on *Journal of Volcanology and Geothermal Research*.
- Mauriello, P. and Patella, D., 2001: Magnetic buried sources discrimination by probability tomography. Submitted to *Geophysical Prospecting*.
- Iuliano, T., Mauriello, P. and Patella, D., 2001: Advanced magnetic visualization of the Mt.Vesuvius shallow plumbing system by probability tomography. Submitted to *Annali di Geofisica*.

- Colangelo, G., Lapenna, V., Vallianatos, F. and Nomikos, C. (2000). Investigating the time dynamics of geoelectrical signals measured in two seismotectonic environments of Mediterranean region: the Southern Apennine chain (Southern Italy) and the Hellenic arc (Crete Island, Greece). *Annali di Geofisica*, Vol.43, N.23, 391-408.
- Cuomo, V., Lanfredi, M., Lapenna, V., Macchiato, M., Ragosta, M. and Telesca, L. (2000). Antipersistent dynamics in short time scale variability of self-potential signals, *Annali di Geofisica*, Vol.43, N.23, 271-278.
- Cuomo, V., Lapenna, V., Macchiato, M., Marson, I., Paparo, G., Patella, D., Piscitelli, S. (2000). Geoelectrical and seismoacoustic anomalous signals jointly recorded close to an active fault system in Southern Apennine (Italy). *Physics and Chemistry of the Earth*, Vol. 25, No.3, 255-261.
- Lapenna, V., Macchiato, M., Piscitelli, S. and Telesca, L. (2000). Scale invariance properties in seismicity of Southern Apennine chain (Italy). *Pure and Applied Geophysics*, 157, 589-601.
- Cuomo, V., Di Bello, G., Lapenna, V., Piscitelli, S., Telesca, L., Macchiato, M. and Serio, C., (2000). Robust statistical methods to discriminate extreme events in geoelectrical precursory signals: earthquake prediction. *Natural Hazard*, 21, 247-261.
- Cuomo, V., Di Bello, G., Heinicke, J., Lapenna, V., Martinelli, G., Piscitelli, S. and Telesca, L. (2001). Investigating the temporal fluctuations in geoelectrical and geochemical signals jointly measured in a seismic area of southern Apennine chain (Italy), *Annali di Geofisica* (accepted).
- Telesca, L., Cuomo, V., Lapenna, V. and Macchiato, M. (2001). Intermittent-type temporal fluctuations in seismicity of the Irpinia (southern Italy) region, *Geophys. Res. Lett.*, (accepted).
- Fedi M., La Manna M., Palmieri F., (2001). Non stationary analysis of geomagnetic time sequences from Mt. Etna and North Palm Springs earthquake, *PAGEOPH*, (submitted).
- Nunnari, G., Bertucco, L., (2001). A new software tool for synthetic gravity, magnetic and ground deformation data generation. (in preparation).
- Andò, B. & Carbone, D., 2001. A Methodology for Reducing the Signal from a Continuously Recording Gravity Meter for the Effect of Meteorological Parameters. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, in press.
- Carbone, D., Budetta, G., Greco, F. and Rymer, H., 2001. Combined discrete and continuous gravity observation at Mt Etna. Paper presented at the EUG XI, Strasbourg - 8th-12th April 2001.
- Del Negro, C. & F., Ferrucci (2000). Volcanomagnetic effects at Vulcano Island (Aeolian archipelago, Italy). *Geophysical Journal International*, 140, 83-94.
- Del Negro, C., Ferrucci, F. & Napoli, R., 2000. A review of the volcano-magnetic effects observed between 1981 and 1995 on Mount Etna (Italy), *Phys. Chem. Earth*, 25, 725-730.
- Del Negro, C. & Napoli, R. (2001). Ground and marine magnetic surveys of the lower eastern flank of Etna volcano (Italy). *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, (accettato per la stampa).
- Del Negro, C. & Hashimoto, T., 2001. A gui-based computation of the volcanomagnetic fields and its application to some Italian volcanoes. *Geophys. J. Int.*, sottoposto.
- Del Negro, C., Napoli, R. & Sicali A., 2001. Automated system for magnetic monitoring of active volcanoes, *Bull. Volcanol.*, sottoposto.
- Del Negro, C., Ferrucci, F., Napoli, R., 2001. Marine magnetic investigation of the submarine base of Mt. Etna and Iblei mountains, *Annali di Geofisica*, sottoposto.
- Andò, B., S. Graziani, *Stochastic Resonance: Theory and Applications*, Kluwer Academic Publishers, 2000.

- Arena, P., S. Baglio, L. Fortuna, S. Graziani, Analog Cellular Networks for Multisensor Fusion and Control, IEEE Trans. On Circuits and Systems-I: Fundamental Theory and Applications, Vol. 47, N. 9, Settembre 2000, pp. 1378-1382.
- Andò, B., S. Graziani, Noise tuning in stochastic systems, Int J. of Elect., Vol. 87, No. 6, Giugno 2000, pp. 659-666.
- Andò, B., S. Graziani, Adding noise to Improve Measurement, IEEE Instrumentation & Measurement Magazine, Vol.4, No.1, Marzo 2001, pp. 24-31.
- Del Negro, C., G. Currenti, L. Fortuna, Application of non-conventional techniques for magnetic monitoring of active valcanoes, EUG XI 8 – 12 April 2001, Strasburgo, Francia.

CARATTERISTICHE CHIMICHE ED ISOTOPICHE DEI GAS E DELLE ACQUE DEL VESUVIO, CAMPI FLEGREI, ISCHIA E VULCANO: VALUTAZIONE DEL RISCHIO VULCANICO

Coordinatore scientifico del progetto

Prof. Stanzione Damiano - Professore Ordinario

Dipartimento di Scienze della Terra - Università degli Studi di Napoli Federico II

Partecipanti al progetto

UR#	AFFERENZA	RESPONSABILE
1	Dip.to Scienze della Terra Univ. di Napoli FEDERICO II	Stanzione Damiano
2	Dip.to Scienze della Terra Univ. di Napoli FEDERICO II	Pece Raimondo
3	Dip.to Scienze Ambientali Univ. di Napoli 2	Tedesco Dario

OBIETTIVI GENERALI

L'obiettivo di questo progetto é quello di valutare grazie ad uno studio multidisciplinare le caratteristiche chimiche ed isotopiche delle sorgenti profonde e superficiali dei fluidi emergenti nei sistemi vulcanici del Somma-Vesuvio, dei Campi Flegrei, dell'isola d'Ischia e dell'isola di Vulcano. Lo scopo sarà perseguito attraverso lo studio:

- chimico-isotopico delle acque sotterranee (specie maggiori, minori ed in traccia, ^{18}O , D e ^{13}C);
- dei gas radioattivi presenti nelle acque, nei suoli e nelle fumarole;
- degli isotopi dei gas rari (attraverso lo studio dei gas intrappolati nei fenocristalli e dai gas fumarolici).

Nell'interpretazione dei dati ottenuti, si terrà conto di diversi parametri quali:

- il ruolo della tettonica locale in ciascuna area presa in esame;
- l'evoluzione cronologica della possibile regione sorgente dei fluidi
- l'importanza delle possibili modificazioni indotte dall'interazione tra i fluidi profondi con i gas e gli acquiferi superficiali, con le rocce incassanti e con l'atmosfera.

Si cercherà in tal modo di comprendere le variazioni chimiche ed isotopiche osservate sia nei prodotti vulcanici emessi in passato sia nei fluidi attualmente circolanti nelle aree studiate.

Le misure effettuate durante tale progetto e quelli già esistenti in letteratura costituiranno un prezioso data-base i cui dati potranno essere utilizzati per meglio caratterizzare i meccanismi e le dinamiche che avvengono nei sistemi vulcani studiati.

OBIETTIVI I ANNO

Mantenimento e ulteriore sviluppo delle reti di monitoraggio geochimico delle acque sotterranee.

Tale obiettivo è perseguito attraverso le seguenti linee programmatiche:

- 1) Individuazione delle zone di particolare interesse per lo studio del sistema profondo sulla base dei dati pregressi;
- 2) Inizio attività di monitoraggio geochimico su selezionati punti d'acqua nelle aree di interesse;
- 3) Prime analisi su elementi in traccia presenti nelle acque dell'area vulcanica dei Campi Flegrei

Campagne di misura della composizione chimica, isotopica e radioattività delle acque nei sistemi vulcanici. Il programma prevede il campionamento periodico di acque sotterranee e fluidi fumarolici. La frequenza di questi campionamenti sarà bimestrale per i sistemi vulcanici del Somma-Vesuvio e dei Campi Flegrei; e semestrale per l'isola di Ischia e per l'isola di Vulcano.

Acquisto e prove della strumentazione per le misure di spettrometria alfa, comprendendo la messa a punto della linea chimica fine di separazione di Uranio e Torio.

Acquisto e prove della strumentazione per le misure di spettrometria quadrupolare e di gas cromatografia.

Le misure previste sono:

- traccianti chimici: composizione chimica dei fluidi fumarolici (He, Ne, Ar, H₂, N₂, CH₄, CO, H₂S, CO₂, H₂O);

- rapporti isotopici dell'³He/⁴He, dell'⁴⁰Ar/³⁶Ar, ¹³C/¹²C. Si tratta di un monitoraggio ad ampio spettro per l'acquisizione di informazioni relative alla/e regioni sorgente. Questo campionamento verrà effettuato in tutte le aree vulcaniche in esame.

RISULTATI I ANNO

- Sviluppi metodologici

E' stata messa a punto una linea per ultra vuoto di purificazione dei gas campionati che dovrebbe permettere la preparazione dei campioni da analizzare per l'analisi isotopica o anche per particolari arricchimenti di specie in traccia per l'analisi chimica.

E' stato comprato un nuovo sistema di raffreddamento non basato sull'uso di Azoto liquido per il rivelatore a Germanio Iperpuro che deve funzionare a -196 °C. In tal modo il sistema di spettrometria gamma potrà essere utilizzato in campagna per misure immediate in suoli e fluidi.

- Acquisizione dati

Vesuvio

- 1 campagna di prelievi al Vesuvio con analisi degli elementi maggiori e in traccia (10 punti d'acqua);

- Mapping di Rn con strumentazione portatile EDA RD-200, CO₂ e Hg^o (ph) nei suoli nella parte settentrionale del Somma-Vesuvio

- Elaborazione di un rilievo da elicottero della radioattività gamma naturale (Totale, K-40, Ra-226 e Th-232) dei suoli del Somma-Vesuvio effettuato con rivelatore NaI(Tl)

- Misure periodiche di fluidi al cratere ed alla base del cono per analisi chimiche ed isotopiche.

Campi Flegrei

- 5 campagne di prelievi ai Campi Flegrei con la determinazione degli elementi maggiori e in traccia (Sr, F) (10 punti d'acqua);

- analisi degli elementi in traccia sulle acque dei Campi Flegrei (7 campioni) (B, Sr, Li, Rb, Ba, Fe, Mn, Zn, Cr, Be, Mg, V, Ga, Tl, Al, Cd, Cu, Co, Ni, Pb, Bi, U, Te, Se, Ag).

- Misure settimanali di Radon col metodo Track-Etch, pH, T e Conducibilità elettrica in 2 pozzi d'acqua

- Misure mensili di Radon col metodo Track-Etch in 5 pozzetti distribuiti nella caldera flegrea

- Mapping di Rn con strumentazione portatile EDA RD-200, CO₂ e Hg^o nei suoli nella parte settentrionale dell'area flegrea ad integrazione di analoghi mapping effettuati nell'intera caldera

- Mapping di Hg^o nella Solfatarina di Pozzuoli, con prelievo di campioni a 10 cm e 20 cm di profondità per studiare la diffusione (flusso) di Hg^o

- Misure mensili chimiche ed isotopiche alla Solfatarà di Pozzuoli con ampolle a vuoto ed a soda.

Vulcano (Isole Eolie)

- Campionamento delle acque di 15 pozzi per determinazioni degli elementi maggiori ed in traccia; campionamento di minerali fumarolici.
- Mapping di Rn con strumentazione portatile EDA RD-200, CO₂ e Hg^o nei suoli dell'isola
- Misure di Rn con strumentazione portatile EDA RD-200, pH, T ed Hg^o in 15 pozzi d'acqua presenti nell'isola
- Misure di radioattività gamma con rivelatore NaI(Tl) in 15 pozzi d'acqua presenti nell'isola per misurare K, Ra226, Tl208
- Misure di Rn in fumarole (Spiaggia di Levante e Gran Cratere)
- Campionamento di un condensato della Fumarola F5 sul Gran Cratere.
- Misure periodiche di fluidi ed acque sulle diverse emanazioni gassose presenti sull'isola al cratere ed alla spiaggia, per analisi chimiche ed isotopiche

Isola d'Ischia:

- Misure periodiche di fluidi ed acque sulle diverse emanazioni gassose presenti sull'isola, per analisi chimiche ed isotopiche.
- Interpretazione e modellistica
 - Interpretazione di rilievi radiometrici da elicottero della radioattività naturale in tutta l'area del Somma-Vesuvio
 - In atto: studio e modello di genesi e diffusione del Mercurio vapore alla Solfatarà di Pozzuoli

PRODOTTI DELLA RICERCA

n° 4 pubblicazioni su riviste internazionali

n° 6 pubblicazioni su riviste nazionali, etc

ELENCO PUBBLICAZIONI

- AVINO R., CAPALDI G., DI MATTEO V., PECE R. (2001) - Radon And Mercury In The Groundwaters of Phlegraean Fields (Southern Italy): Temporal and Spatial Variations. 26th European Geophysical Society , Nice, France, 25-30 March 2001
- CHIODINI G., ALLARD P., CALIRO S., PARELLO F. (2000) – 18° exchange between steam and carbon dioxide in volcanic and hydrothermal gases: Implication for the source of water. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 64, 2479-2488.
- ESPOSITO E., PECE R. , PORFIDO S. , TRANFAGLIA G. (2001) - Hydrological Anomalies Precursory of Earthquakes In Southern Apennines (Italy) . Sottomesso per la pubblicazione su "Natural Hazard and Earth System Sciences"
- ESPOSITO E., PECE R. , PORFIDO S. , TRANFAGLIA G. (2001) - Hydrological Anomalies Precursory of Earthquakes In Southern Apennines (Italy) . 26th European Geophysical Society , Nice, France, 25-30 March 2001
- GIGGENBACH W., TEDESCO D. et al- . Evaluation of results from the fourth and fifth IAVCEI field workshop on volcanic gases, Vulcano island (Italy) and Java (Indonesia). *J. Volcanol. Geoth. Res.* In press (2001)
- PORFIDO S., ESPOSITO E., IACCARINO G., PECE R., TRANFAGLIA G., ESPOSITO G., ALAIA F. (2001) - Ground Effects During The 1930, July 23, Irpinia Earthquake (Southern Italy). 26th European Geophysical Society , Nice, France, 25-30 March 2001

- VALENTINO G. M., STANZIONE D. (2001) – Geochemical investigations at Phlegraean Fields (Italy): Variations in thermal waters during 1992-1999. 26th General Assembly of the European Geophysical Union, Nice, 26-30 March 2001, Abstract Volume 3.
- VALENTINO G. M., STANZIONE D. (2001) – Lead distribution in the thermal waters of the Campi Flegrei (Naples, Italy). *Water-Rock Interaction 10*, Cagliari, Italia.. Arehart & Hulston (eds), Balkema, Rotterdam, ISBN 9054109424.
- VALENTINO G. M., STANZIONE D. (2001) – Source processes of the thermal waters of the Phlegraean Fields (Naples, Italy), by means of selected minor and trace elements distribution study. Accepted on *Ghem Geol.*
- VALENTINO G.M. (2000) - Behavior of toxic elements in hydrothermal systems: As and Hg in the thermal waters of Phlegraean Fields (Italy). *J. Conf. Abstracts, Goldschmidt 2000*, 3-8 Sept. 2000, Oxford, UK, 1029.

STUDIO MULTIDISCIPLINARE PER LA DEFINIZIONE DEL BUDGET DI MASSA E DI ENERGIA NEI VULCANI ATTIVI ITALIANI

Coordinatore Scientifico del progetto

Prof. Mariano Valenza – Professore ordinario

Dipartimento di Chimica e Fisica della Terra - Via Archirafi, 36 - Palermo

Partecipanti al progetto

UR#	AFFERENZA	RESPONSABILE
1	Dip. CFTA UNIPA	Valenza Mariano
2	IGGI C.N.R. Pisa	Cioni Roberto
3	CNRS LSCE, CEA-CNRS	Allard Patrick
4	INGV-Ct	Caltabiano Tommaso
5	Dipartimento Geomineralogico UNIBA	Vurro Filippo
6	INGV-Pa	Gurrieri Sergio
7	Dip. CFTA UNIPA	Parello Francesco
8	INGV-Pa	Favara Rocco
9	INGV-Pa	D'Alessandro Walter

OBIETTIVI GENERALI

L'obiettivo principale di questo progetto e' quello di definire i budgets di massa e di energia dell'Etna mediante un approccio multidisciplinare. In considerazione delle modalit  di trasferimento di massa ed energia verso la superficie, il progetto   stato organizzato secondo le seguenti tre linee:

- misure dirette e remote nel plume;
- misure delle emissioni diffuse di gas dai suoli;
- misure nella falda degli elementi maggiori minori ed in tracce, discriminazione della componente di origine vulcanica, stime del deflusso delle falde.

ATTIVITA' SVOLTA DURANTE IL PRIMO ANNO

Le attivit  di tutte le UR sono iniziate pi  o meno secondo quanto previsto dal progetto e le attivit  previste durante il primo anno sono state portate tutte a compimento con risultati positivi. Inoltre, in considerazione del particolare stato di attivit  vulcanica che ha caratterizzato l'Etna in questo ultimo anno, molte misure sul campo di alcune UR sono state potenziate. In particolare, durante il mese di Giugno, in concomitanza dell'eruzione in corso sono state intensificate le misure sul plume sia ai crateri sommitali che a quelli a quota 2600 e 2000. Sono state altres  aumentate le misure sul degassamento diffuso nell'area sommitale, a Zafferana ed a Patern .

1. Contributo al budget da parte del plume.

Per il conseguimento di questo obiettivo hanno operato le UR 1, 3, 4, 5 ed hanno svolto le seguenti attivit :

- Assemblaggio di una stazione per misure continue di SO₂, H₂S, H₂, CO₂ e parametri meteo in atmosfera. La stazione di monitoraggio e' stata calibrata e testata alla Solfatara di Pozzuoli. E' stato sviluppato anche un nuovo metodo per il campionamento e l'analisi di composti organici nel plume. Il metodo consiste nel fare assorbire i VOC pompando aria attraverso un tubo di campionamento il quale era stato preventivamente riempito con un assorbente di carbonio attivo a piu' strati. Le analisi successive sono state fatte per

mezzo di GC-MS con la tecnica del purge and trap. Un complesso di 20 stazioni per il campionamento passivo di gas acidi sui fianchi dell'Etna e' stato altresì sviluppato. Sono state effettuate 5 campagne di misura ai crateri sommitali sulla Bocca Nuova nel periodo Maggio-Luglio 2001. Durante ciascuna campagna, sono stati prelevati campioni per la determinazione di gas acidi, mercurio e polveri. Le concentrazioni degli acidi inorganici nel plume risultavano tra 10000 e 20000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (SO_2) 900-4000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (HCl) e circa 200-500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (HF) in relazione alla diluizione del plume. I rapporti di S/HCl (1.9-2.4) e HCl/HF (2.5-3.9) risultavano abbastanza costanti durante l'intero periodo di indagine. Il rapporto tra le concentrazioni dei vari elementi rispetto a quello dell'anidride solforosa consentirà il calcolo dei flussi dei vari elementi dalle misure COSPEC (UR1).

- Sono state effettuate diverse misure remote sul plume vulcanico usando uno spettrometro (FTIR) sia dal suolo che da elicottero. Queste misure hanno permesso di determinare simultaneamente i rapporti di concentrazione di tre gas vulcanici nel plume (SO_2 , HCl, HF) e le loro variazioni in relazione allo stato di attività vulcanica. Queste misure, inoltre, combinate con le misure di flusso COSPEC consentiranno la determinazione dei flussi di HCl ed HF. Le misure effettuate dall'elicottero sui crateri sommitali dell'Etna, usando la radiazione IR della lava fusa, hanno permesso di ottenere spettri riproducibili all'infrarosso durante una fase eruttiva (Ottobre 2000).
- Sono state usate quattro differenti tecniche spettroscopiche per misure remote della concentrazione di gas nello spettro UV attorno a 300nm (DIAL) e tecniche passive (DOAS e COSPEC). Le differenti tecniche danno risultati abbastanza comparabili. Durante il primo anno di questo progetto sono state effettuate 128 campagne di misure di flusso di SO_2 dai crateri sommitali dell'Etna mediante COSPEC montato su un fuoristrada o su una nave. I valori di Flusso di SO_2 erano di circa 4700 ton/giorno, più bassi del valor medio di 5500 ton/giorno (UR4).
- Le ricerche di questa unità hanno essenzialmente riguardato l'Etna ma, in subordine l'isola di Vulcano. Dal 7 al 17 agosto 2000 e' stata effettuata una prima campagna di campionamento, mentre una seconda e' stata effettuata nei primi mesi del 2001. Sono stati campionati direttamente dal suolo incrostazioni fumaroliche e sono state identificate le fasi mineralogiche mediante diffrazione a raggi X ed analisi qualitative mediante SEM-EDS. Le fasi individuate sono principalmente costituite da zolfo, solfati anidri ed idrati, cloruri. Infine e' stata osservata una sostanziale variazione nella ubicazione delle fumarole principalmente dovuta alla recente attività vulcanica (UR5).

2. Output dai suoli.

Sono state completate tutte le attività previste per il primo anno e precisamente:

- Individuazione di un'area per la realizzazione di un pozzo dedicato alla sperimentazione di sensori a varia profondità. Le aree da utilizzare per tale scopo sono state selezionate sia mediante prospezioni appositamente realizzate sia attraverso i numerosi dati sulle emissioni diffuse disponibili per l'area etnea. Le indagini hanno evidenziato due aree nel versante orientale dell'edificio vulcanico che sia sotto l'aspetto delle emissioni di gas sia per la disponibilità dei proprietari presentano le caratteristiche richieste (UR 6).
- La strumentazione da utilizzare per lo studio della fase fluida captata dal pozzo e' stata acquisita quasi totalmente (Spettrofotometri, pompe, sensori di temperatura e pressione etc). Inoltre sono state effettuate esperimenti di laboratorio per mettere a punto un metodo di campionamento dei gas disciolti mediante l'uso di opportune membrane (UR 6).
- Riguardo la stima del budget di CO_2 emesso dai fianchi dell'Etna sono state effettuate indagini di laboratorio e di campagna per la messa a punto di un metodo per la misura della permeabilità dei suoli e la ricalibrazione del metodo Gurrieri & Valenza. Queste indagini consentiranno il riprocessamento dei numerosi dati di degassamento dal suolo al fine di ottenere una stima di flusso totale più attendibile (UR 6).

3. Contributo al budget da parte della falda.

Nell'ambito di questa parte del progetto sono state effettuate le seguenti attività:

- Sono stati prelevati campioni di roccia fresca e indisturbata, provenienti da cave dell'area etnea (attribuibili alla ben studiata colata storica del 1669). I dati preliminari ottenuti mostrano che il processo di dissoluzione della roccia è sempre incongruente. Dopo un breve periodo iniziale di rapida dissoluzione, le cinetiche di dissoluzione ($\text{moli cm}^{-2} \text{sec}^{-1}$) degli elementi maggiori rilasciati dal solido (Na^+ , K^+ , Mg^{++} , Ca^{++} , Fe e silice) seguono un andamento differenziato: la cinetica del Na è quasi due ordini di grandezza superiore a quella del Mg. Sono tuttora in corso ulteriori analisi chimiche delle soluzioni sperimentali e indagini mineralogiche e petrografiche (SEM-EDS, microsonda) sui campioni di roccia lisciviati sperimentalmente, ma anche su altre rocce basaltiche alterate naturalmente dal contatto per lungo tempo con acque di falda profonde (UR 7).
- Per la formulazione del modello isotopico delle precipitazioni meteoriche (liquide e solide) nell'area dell'Etna è stata installata una rete di 16 pluviometri localizzati a differenti quote distribuiti il più omogeneamente possibile sull'intero edificio vulcanico. E' stato inoltre sviluppato e costruito un nuovo tipo di nivometro capace di raccogliere l'equivalente liquido delle precipitazioni solide che, al di sopra dei 2000 metri di quota, costituiscono la maggior parte dell'apporto meteorico. Il primo di questi nivometri e' stato installato in località Serra la Nave a quota 1750 m (UR8).
- Per lo studio degli acquiferi vulcanici superficiali si è proceduto all'individuazione dei siti da sottoporre a monitoraggio trimestrale (30 siti). Nel corso del primo anno sono stati effettuati tre campionamenti (nov. 00, feb. 01, mag. 01). Per una migliore modellizzazione del ciclo degli elementi nell'acquifero si ritenuto utile analizzare anche la composizione chimica delle anche di pioggia dell'area etnea. A questo scopo sono stati utilizzati i campioni raccolti da 16 pluviometri installati nell'ambito delle attività dell'unità di ricerca numero 8 di questo stesso progetto (UR 9).
- Sono stati effettuati test su schede *wrappate* di circuiti di prova per la misura di T, P e per l'ingresso da elettrodi ad alta impedenza. Inoltre Il *multiplexer* ed il sequenziatore dei canali, seppure in una versione non definitiva, sono stati già realizzati in una forma *wrappata* e provati sul banco. E' stata inoltre definita una metodologia per la misura di conducibilità che dovrebbe permettere di effettuare misure di qualità su un *range* esteso di conducibilità ed in condizioni di alta temperatura, verificata in maniera ancora molto parziale con strumentazione da banco (UR2).

STUDI E CONSTRAINTS SU STOCCAGGI INTERMEDI, RISALITA E CONDOTTI ATTRAVERSO LA MODELLIZZAZIONE DEI CAMPI DI STRAIN, E TOMOGRAFIA IN VELOCITÀ E ATTENUAZIONE ALL' ETNA

Coordinatore scientifico del progetto
Maurizio Bonafede - Professore Ordinario
Dipartimento di Fisica, Università di Bologna

Partecipanti al progetto

UR#	AFFERENZA	RESPONSABILE
1	INGV Sez. di Catania (ex IIV)	Dr. Alessandro Bonaccorso
2	Dipartimento di Fisica - Univ. Bologna	Prof. Maurizio Bonafede
3	INGV Sez. di Catania (ex IIV)	Dr. Domenico Patane`
4	Ist. di Macchine, Fac. Ingegneria - Univ. di Catania	Prof. Guido La Rosa
5	Dipartimento di Scienze Geologiche - Univ. Catania	Prof. Stefano Gresta
6	Dip. Scienze della Terra - Univ. Messina	Prof. Giancarlo Neri
7	INGV Sez. di Catania (ex IIV)	Dr. Eugenio Privitera
8	INGV - Centro Nazionale Terremoti, Roma	Dr. Claudio Chiarabba

PREMESSA

Il progetto è stato finanziato tramite convenzione con il Sistema POSEIDON firmata in data 30/9/2000. I finanziamenti POSEIDON sono pervenuti in data 23/11/2000 al dipartimento di afferenza del coordinatore. Per motivi amministrativi e contabili, legati alla stipula dei subcontratti e alla chiusura dell'esercizio finanziario 2000, detto dipartimento ha potuto trasferirli alle U.R. afferenti solo nel gennaio 2001. Il presente progetto ha quindi ricevuto da soli 6 mesi la disponibilità (parziale) della prima tranche del finanziamento del primo anno (non sono stati resi finora disponibili neppure i fondi inventariabili della prima tranche 2001). La convenzione con il Sistema POSEIDON prevedeva una prima relazione di attività dopo sei mesi dalla stipula della convenzione, regolarmente trasmessa in data 15/5/2001.

Inoltre al progetto originario (limitato alle prime 4 UR) sono state accorpate le UR 5,6,7,8 il che ha reso necessario un lavoro di ridefinizione di sinergie, obiettivi e strategie, portato a compimento, con la collaborazione fattiva di tutte le UR, in occasione del *Workshop di medio termine* del Progetto, tenutosi a Catania nel luglio 2001.

A queste incertezze si è sovrapposta la crisi eruttiva dell'Etna, culminata nell'eruzione del luglio 2001 che ha impegnato i ricercatori della Sezione INGV di Catania in operazioni di monitoraggio.

Nonostante i ritardi e i problemi anzidetti, lo stato di avanzamento della maggior parte delle ricerche rispetta le previsioni; anzi, alcune attività, avviate già precedentemente all'inizio ufficiale del progetto, risultano in fase di completamento.

OBIETTIVI GENERALI

Il progetto mira ad utilizzare i dati geodetici, sismologici, petrografici e geologici (già esistenti o di nuova acquisizione) relativi all'area Etna, per migliorare la conoscenza della struttura, del campo di deformazione e sforzo e dei processi di risalita dei magmi. A tal fine, si procederà ad un confronto dei risultati forniti separatamente dai diversi approcci, per verificare la compatibilità delle interpretazioni fornite, con l'obiettivo finale di un impiego integrato dei diversi dati in procedure di inversione congiunta. In particolare il Progetto prevede la creazione di modelli numerici realistici per lo studio della deformazione e della

sismicità associata ad eventi intrusivi, tenendo conto degli effetti prodotti dalla topografia e dalle eterogeneità elastiche ad anelastiche desumibili da inversioni tomografiche.

TASK 1 - Modellizzazione dei campi di strain provocati dall' azione di condotti elongati verticalmente

UR PARTECIPANTI: UR1, UR3

OBBIETTIVI I ANNO

1.a - Discriminare fra gli effetti indotti da sovrappressione alla sorgente ed effetti collegati alla geometria dei condotti tramite il confronto fra dati di deformazione e modelli.

1.b - Estrarre informazioni sulla profondità di frammentazione del magma e le sue variazioni durante eventi esplosivi parossismici tramite analisi di dettaglio del segnale sismico (polarizzazione e rapporti spettrali alle diverse stazioni).

RISULTATI I ANNO

È proseguita l'analisi preliminare dei segnali clinometrici durante le numerose fasi parossistiche ai crateri sommitali tra il 1998 e il 2000. In particolare si è continuato a verificare i dati registrati durante le fasi parossistiche dal clinometro a base lunga ad alta precisione (lettura laser) installata a quote sommitali presso l' osservatorio di Pizzi Deneri.

Inoltre durante il primo anno, e in particolare nel secondo semestre 2000, si è condotto uno studio sui meccanismi di risalita occorsi durante l' evento intrusivo del gennaio 1998. E' stata vincolata la messa in posto di intrusione, che trova relazione con la susseguente eruzione sommitale del febbraio 1999. Lo studio si è concretizzato attraverso l' analisi dello sciame sismico associato e alla modellizzazione del segnale clinometrico.

- Sviluppi metodologici
 - modelli analitici per le deformazioni prodotte dall' azione di condotti vulcanici elongati verticalmente;
 - utilizzo integrato di dati sismici e di deformazione per vincolare la sorgente intrusiva del gennaio 1998;
 - metodo numerico-analitico di parametrizzazione (*grid search* + inversione analitica);
 - Interpretazione e modellistica;
 - interpretazione e parametrizzazione dell' intrusione del gennaio '98

PRODOTTI DELLA RICERCA

- n° 3 pubblicazioni su riviste internazionali (vedi apposito elenco)
- n° 4 presentazioni a convegni

ELENCO PUBBLICAZIONI

Bonaccorso A. and Davis P., Models of ground deformation from vertical volcanic conduits with application to eruptions of Mount. St. Helens and Mount Etna, *J. Geophys.Res.*, 104, 10531-10542, 1999. Nota : questo lavoro è stato avviato e completato nella fase intercorsa tra la presentazione del progetto e l' approvazione dello stesso.

Bonaccorso A. and Patanè D., Shear response to an intrusive episode at Mt. Etna volcano (January 1998) inferred through seismic and tilt data, *Tectonophysics*, 334/2, 61-75, 2001.

Bonaccorso A., Mt Etna volcano : modelling of ground deformation patterns of recent eruptions and considerations on the associated precursors, Special Number on

“Mechanics and Thermalfluid Dynamics of the Volcanic Processes”, Journal Volcanology and Geothermal Research, in stampa, 2001

Presentazioni a Convegni

- Bonaccorso A., Patanè D., Shear response to an intrusive episode at Mt. Etna volcano (January 1998) inferred through seismic and tilt data, Poster presentato al meeting annuale del dell' American Geophysical Union, S. Francisco, Dicembre 2000.
- Bonaccorso A., Ground deformation modelling and associated precursors of recent eruptions at Mt. Etna volcano, Intervento orale al 18th symposium of the International School of Geophysics, Advances in the assessment of earthquake and volcanic hazard, Erice, Sicily, 5-15 July 2001
- Bonaccorso A., Studio dell'eruzione del Gennaio 1998 e dello sciame sismico associato attraverso dati sismici e clinometrici all'Etna, Convegno di medio termine del Progetto GNV-POSEIDON, Catania 19-20 luglio 2001.
- Bonaccorso A., Deformazione da condotti vulcanici con particolare riferimento all'attività esplosiva 1998-2000 all'Etna, Convegno di medio termine del Progetto GNV-POSEIDON, Catania 19-20 luglio 2001.

TASK 2 - Modellizzazione “dinamica” delle variazioni clinometriche asismiche

UR PARTECIPANTI: UR1

OBIETTIVI I ANNO

Creazione di un catalogo delle deformazioni asismiche all'Etna e suo aggiornamento. Inversione dei dati tramite l'impiego di modelli di sorgenti tensili pressurizzate finalizzate a vincolare la loro profondità`.

RISULTATI I ANNO

Per quanto riguarda le variazioni clinometriche asismiche (transienti “lenti” da ore a giorni) talvolta registrate a scala dell' intero edificio, si è proceduto con l'attenta verifica degli eventi degli ultimi anni ed è stato aggiornato il catalogo contenente le informazioni utili. Inoltre per quattro eventi registrati a 7-8 stazioni sono state condotte delle preliminari localizzazioni che individuano velocità di propagazione comprese tra 4.8 e 5.6 km/giorno. La sorgente del fenomeno, in considerazione geometrica puntiforme, risulterebbe localizzata in un' area tra 4 e 6 km sotto il livello del mare, appena decentrata a SW rispetto ai crateri. Gli effetti registrati appaiono relazionabili a meccanismi tensili.

- Sviluppi metodologici:
 - inversione parametrica per un crack tensile con altezza variabile nel tempo per simulare il segnale clinometrico.
- Interpretazione e modellistica:
 - interpretazione e parametrizzazione dell' intrusione del gennaio '98
 - Prima interpretazione sulla posizione e meccanismi della sorgente che produce le variazioni clinometriche asismiche.

PRODOTTI DELLA RICERCA

- n° 2 pubblicazioni su riviste internazionali (vedi apposito elenco)
- n° 2 presentazioni a convegni

ELENCO PUBBLICAZIONI

Bonaccorso A., Mt Etna volcano : modelling of ground deformation patterns of recent eruptions and considerations on the associated precursors, Special Number on "Mechanics and Thermalfluid Dynamics of the Volcanic Processes", Journal Volcanology and Geothermal Research, in stampa, 2001
 Gambino S., Coseismic and aseismic tilt variations on Mt. Etna, Pageoph, sottoposto 2001

Presentazioni a convegni

Bonaccorso A., Ground deformation modelling and associated precursors of recent eruptions at Mt. Etna volcano, Intervento orale al 18th symposium of the International School of Geophysics, Advances in the assessment of earthquake and volcanic hazard, Erice, Sicily, 5-15 July 2001
 Gambino S. et al., Deformazioni cosismiche e asismiche all'Etna, Convegno di medio termine del Progetto GNV-POSEIDON, Catania 19-20 luglio 2001.

TASK 3 - Verifica risultati SAR attraverso integrazione dati clinometrici, livellazione, EDM, GPS.

UR PARTECIPANTI: UR1, subcontraente IRECE-NA

OBIETTIVI I ANNO

Confronto dei risultati ottenuti dall'inversione dei dati geodetici e dei dati di interferometria SAR .

RISULTATI I ANNO

Sono state condotte le prime valutazioni di interferogrammi sintetici relativi agli effetti della sorgente depressurizzante associata all'eruzione 1991-92. Questa sorgente è quella già modellata attraverso le misure geodetiche terrestri e spaziale. Questo primo studio è stato finalizzato al confronto con gli interferogrammi misurati con la tecnologia SAR. Considerati i numerosi miglioramenti approcci di recente presentati in letteratura riguardo il filtraggio di effetti topografici e troposferici nella valutazione delle frange interferometriche, nella parte finale del primo anno si è iniziato, con il contributo dell'IRECE, un'analisi di ulteriori dati, ottenuti dall'ASI. L'analisi di questo nuovo set di interferogrammi, tutti a cavallo dell'eruzione e mai sinora utilizzati nei precedenti lavori , si prefigge lo scopo di meglio vincolare la sorgente in gioco.

- Acquisizione dati:

i dati SAR sono stati forniti dall'ESA al progetto ERS AO3. 359 dal titolo "Development of SAR Techniques aimed at managing Natural Disasters in geodynamically active areas ".

PRODOTTI DELLA RICERCA

Presentazione a convegno

Bonaccorso A. et al., Applicazione dell'interferometria differenziale per lo studio dell'eruzione 92-93, Convegno di medio termine del Progetto GNV-POSEIDON, Catania 19-20 luglio 2001.

TASK 4 - Verifica dell'inflation 1996-97 registrata dal GPS attraverso una comparazione con la metodologia SAR.

UR PARTECIPANTI: UR1

OBIETTIVI I ANNO

non previste attività nel primo anno.

TASK 5A - Influenza delle discontinuità strutturali su anomalie di gravità, deformazioni e sforzi***TASK 5B - Misura in laboratorio delle "Costanti elastiche statiche e dinamiche"***

UR PARTECIPANTI: UR2

OBIETTIVI I ANNO

- *Influenza delle discontinuità strutturali su deformazioni e sforzi:* Studio degli sforzi indotti da dicchi intrusivi attraverso superficie di discontinuità strutturali, tenendo conto della inclinazione del dicco rispetto alla giacitura degli strati, dell'estensione del dicco nonché di relazioni costitutive viscoelastiche per gli strati più profondi. Ricerca di soluzioni matematiche rigorose per modelli semplificati.
- *Variazioni di gravità in aree vulcaniche:* valutazione dei contributi dovuti a (1) ingresso di massa magmatica, (2) contrazione e/o dilatazione del mezzo circostante, (3) deformazione delle superficie sepolte di discontinuità (4) variazione del livello di essoluzione dei volatili. Nel corso del primo anno l'attenzione è stata concentrata su modelli elasticamente omogenei e stratificati in densità.
- *Attività sperimentali di laboratorio:* dedicate a studiare la differenza fra moduli dinamici e statici nelle lave etnee, a pressione e temperatura normali.

RISULTATI I ANNO

- *Influenza delle discontinuità strutturali su deformazioni e sforzi.* Sono stati condotti studi di modellistica teorica per valutare l'effetto delle eterogeneità strutturali sui campi di deformazione e sforzo indotti da fenomeni intrusivi. Sono stati elaborati modelli analitici per dicchi posti in prossimità o attraverso superfici di discontinuità strutturale, con orientazione arbitraria rispetto alla giacitura della superficie di discontinuità. I modelli analitici sono stati confrontati con modelli numerici (Boundary element e Finite element) per verificare la capacità dei modelli numerici di gestire soluzioni singolari, come quelle che si presentano all'intersezione fra il dicco e una superficie di discontinuità. Una volta testati, i modelli numerici sono stati impiegati per inserire nel modello gradi crescenti di complessità, come la presenza di una superficie libera, ovvero semplici topografie ed eterogeneità sepolte axi-simmetriche. Si sono inoltre studiati gli effetti della topografia e delle eterogeneità strutturali sepolte sul campo di deformazione prodotto da una sorgente isotropa di pressione (sorgente di Mogi), mostrando come la stima della profondità della sorgente possa essere influenzata significativamente dalla presenza di eterogeneità.
- *Variazioni di gravità in aree vulcaniche.* Abbiamo analizzato modelli di sorgenti deformative isotrope per valutare il potere risolutivo delle variazioni gravimetriche, in congiunzione con le deformazioni del suolo, nell'inferire la reologia del mezzo interessato e la quantità di magma immesso in una regione di stazionamento superficiale, nella fase pre-eruttiva. Infatti, se si assume che la deformazione del mezzo sia determinata da una immissione di masse magmatiche provenienti dal mantello e che la reologia del mezzo sia elastica, esiste una relazione univoca fra massa del magma, deformazione del suolo e variazione di gravità. Se la reologia del mezzo è visco-elastica, si possono avere deformazioni elevate con sovrappressioni contenute, ma i risultati della ricerca hanno

mostrato che le variazioni residue di gravità sono in ogni caso quelle previste da un mezzo elastico con pari deformazione (cioè con elevata sovrappressione nella sorgente).

- *Attività sperimentali di laboratorio.* Le costanti elastiche sono parametri di importanza fondamentale ogni volta che si debbano considerare forze e deformazioni, il che capita in una vastissima gamma di problemi vulcanologici. Esistono due maniere fondamentali di misurare i parametri elastici. La prima è statica e si basa sulla misura della deformazione indotta su di un corpo da una forza nota. Il secondo metodo è dinamico e si basa sulla misura della velocità di propagazione delle onde elastiche all'interno del materiale. Per questioni di fenomeni anelastici intrinseci non è affatto scontato che i valori coincidano e, anzi, essi possono differire in maniera sostanziale. Nel primo anno di attività abbiamo utilizzato la tecnica di Ciccotti et al. (2001) per misurare la compliance statica in campioni di lava e arenaria. Questi campioni erano a forma di lastra con una frattura centrale di lunghezza variabile, preparati per il test di Double Torsion. Per tali provini esiste infatti una relazione che lega la compliance alla lunghezza (misurata) della frattura in funzione dei moduli elastici statici. La relazione originale, che deriva da un modello analitico, porta a risultati sostanzialmente errati in molti casi, ed è stata corretta con un modello numerico agli elementi finiti. Misurando la compliance dei provini per varie lunghezze della frattura, e adottando la curva teorica corretta si ottiene una stima accurata dei moduli elastici statici. Nella fase preliminare i vari metodi sono stati messi a punto su provini in PMMA (plexiglass) in quanto che le proprietà reologiche di questo materiale sono ben note ed inoltre esso è facile da tagliare e permette una ispezione ottica delle fratture. Confrontando i valori stimati per il modulo di Young, utilizzando il metodo di Double Torsion, con oscillazioni forzate da 0.01 kHz a 100 Hz e utilizzando la propagazione di onde ultrasoniche a 50 kHz e 1 MHz, si è riscontrato un aumento del modulo di Young del 100%, da 2 a 4 Gpa.

PRODOTTI DELLA RICERCA

- n° 5 pubblicazioni su riviste internazionali (vedi elenco)
- n° 5 presentazioni a convegni, rapporti tecnici, etc
- 2 codici di calcolo
- 2 tesi di laurea e di dottorato

ELENCO PUBBLICAZIONI (includendo lavori in stampa e sottomessi)

- Ciccotti M., 2000. A realistic finite-element model for the Double Torsion loading configuration. *J. Am. Ceram. Soc.* 83 [11], pp. 2737-44.
- Ciccotti M., Gonzato G., and Mulargia F., 2000. The Double Torsion loading configuration for fracture propagation: an improved methodology for the load-relaxation at constant displacement. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 37, pp. 1103--1113.
- Ciccotti M., Negri N., Gonzato G., Mulargia F., 2001. Practical application of an improved methodology for the Double Torsion load relaxation method. *Int. J. of Rock Mech. Min. Sci.* In press.
- Bonafede, M., Parenti, B. and Rivalta, E., 2001. On strike slip faulting in layered media, *Geophys. J. Int.*, submitted.
- Rivalta, E., Mangiavillano, W. and Bonafede, M., 2001. The edge dislocation problem in a layered elastic medium, *Geophys. J. Int.*, submitted.

Presentazioni a Convegni

- Bonafede M., 2000. Modelling Ground Deformation and Gravity Residuals at "Campi Flegrei" Caldera (Italy): Constraints on Source Processes, *EOS Trans. AGU*, 81 (48), Fall Meet. Suppl. Abstract G21A-02, 2000.

- Bonafede, M., 2001. Modelling ground deformation and gravity residuals in volcanic regions, EGS 26-th General Assembly, Geophys. Res. Abstract, 3, GRA3-1069.
- Bonafede M., 2001. Deformazioni del suolo e variazioni di gravità in aree vulcaniche: contributo di sorgenti immerse in mezzi elastici e visco-elastici, Convegno di medio termine del Progetto GNV-POSEIDON, Catania 19-20 luglio 2001.
- Ciccotti M. e Mulargia F. 2001. Costanti elastiche statiche e dinamiche: relazione sui primi mesi di attività, Convegno di medio termine del Progetto GNV-POSEIDON, Catania 19-20 luglio 2001.
- Trasatti, E., Bonafede M., Giunchi C., Cianetti S. 2001. Modellazione numerica di aree vulcaniche e studio dell'effetto delle eterogeneità strutturali del mezzo nelle deformazioni causate, Convegno di medio termine del Progetto GNV-POSEIDON, Catania 19-20 luglio 2001.

Tesi di laurea

- Trasatti, E., Bonafede M., Giunchi C., Cianetti S. 2001. Modellazione numerica di intrusioni magmatiche in mezzi eterogenei: applicazione all'Etna, Tesi di Laurea in Fisica, Università di Bologna.
- Bonafede M. e Pallante, P., 2001. Variazioni residue di gravità e deformazioni indotte da fenomeni vulcanici, Tesi di Laurea in Fisica, Università di Bologna.

TASK 6 - Un nuovo approccio tomografico in velocità all'Etna

TASK 7 - Tomografia in attenuazione all'Etna

OBIETTIVI I ANNO

In seno alla task SCM, L'UR3 (INGV-CT2) effettuerà in collaborazione con il Department of Geological Sciences Virginia Tech - USA (VT) un nuovo approccio tomografico in velocità dell'area etnea, utilizzando tutti i dati recenti (terremoti locali registrati nel periodo 1988-2001) di più elevata qualità (registrazioni digitali). I risultati che deriveranno da questa ricerca, consentiranno anche attraverso un confronto con quelli già pubblicati, di valutare quelli che sono i limiti attuali di uno studio tomografico all'Etna, al fine di indirizzare in futuro le indagini per poter ottenere un modello crostale affidabile per l'area. Tale ricerca sarà propedeutica allo studio tomografico in attenuazione, che verrà svolto nella seconda fase dall'IIV in collaborazione con l'Università di Granada - Spagna (UG).

Gli obiettivi del primo anno (in parte spostati temporalmente) sono:

- Analisi dei dati
- Modello 3D in velocità (V_p e V_p/V_s)
- Ri-localizzazione dei terremoti utilizzando il modello 3D elaborato

RISULTATI I ANNO

L'attività di ricerca dell'UU.RR. INGV-CT2 e VT sono iniziate in ritardo rispetto agli altri progetti GNV, in quanto il supporto economico, derivante da fondi Poseidon, è stato messo a disposizione solamente dal Gennaio 2001.

Tuttavia, già a partire da Novembre 2000 si era proceduto ad intraprendere rapporti con gli altri gruppi di ricerca coinvolti nei sottoprogetti 6) e 7). In particolare, nel mese di Dicembre è stato svolto un periodo di lavoro a Catania con il responsabile dell'U.R. dell'Università di Granada, per la definizione delle metodologie e delle procedure di analisi da utilizzare per lo studio tomografico in attenuazione, mentre in occasione del Convegno AGU tenutosi a S. Francisco sono stati intrapresi rapporti con l'U.R. VT per lo studio tomografico in velocità. Successivamente si è proceduto ad approntare il data set da utilizzare per le analisi.

L'inizio del presente progetto ha fatto sì che si potesse dare anche avvio ad uno studio di dettaglio sull'attività che ha caratterizzato l'Etna in questi ultimi anni, attraverso l'integrazione dei dati sismologici e di deformazione del suolo. Al convegno AGU è stato pertanto presentato, in collaborazione con il task SDS, un lavoro preliminare dal titolo "Shear response to an intrusive episode at Mt. Etna Volcano (January 1998) inferred through seismic and tilt data". Una parte di questo lavoro è stato mirato alla ri-localizzazione dei terremoti etnei utilizzando i modelli di velocità 3D disponibili per l'area. In particolare, è stato utilizzato il modello 1D di Hirn et al. (1991) e il modello 3D di Chiarabba et al. (2000) per valutare, anche se preliminarmente, quelli che sono gli effetti che le variazioni laterali di velocità hanno sulla stima degli azimuth e degli angoli di incidenza e quindi sul calcolo dei meccanismi focali.

Si è proceduto anche ad estendere il rapporto di collaborazione con l'U.R. ING (responsabile Chiarabba C.) per gli studi relativi all'analisi dell'attenuazione all'Etna e per procedere ad effettuare alcuni miglioramenti preliminari al modello 3D di Chiarabba et al. (2000).

La maggior parte del lavoro svolto in questi mesi è stato mirato a realizzare i moduli software e le procedure di analisi necessarie all'elaborazione dei dati, in maniera tale da integrare e migliorare il programma di analisi off-line ASDP (Patanè e Ferrari, 1999, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 113/1-4, p. 57-74). Ciò allo scopo di avere un unico strumento informatico che consenta a tutte le U.R. coinvolte nel progetto di rielaborare in maniera semplice ed interattiva l'intero data set (1988-2001) disponibile, costituito dai dati delle reti permanenti IIV e Poseidon e delle reti temporanee OV, i quali presentano differenti formati di registrazione.

Il data set terremoti locali 1988-2001 è in fase di completamento e già da Aprile è iniziata l'analisi dati. Si ritiene che entro fine anno si possa già avere una prima inversione tomografica.

PRODOTTI DELLA RICERCA

- n° 1 pubblicazione su riviste internazionali e 1 presentazione a convegno
- n° 1 presentazione a convegno
- n° 1 data base (in continuo aggiornamento)
- diversi codici di calcolo per l'analisi dati

ELENCO PUBBLICAZIONI

Bonaccorso A. and Patanè D. (2001) Shear response to an intrusive episode at Mt. Etna volcano (January 1998) inferred through seismic and tilt data. *Tectonophysics*, 334, 61-75.

Presentazione a Convegno

Patane`, D.: Tomografia in velocità ed attenuazione all'Etna: stato dell'arte e prospettive future, Convegno di medio termine del Progetto GNV-POSEIDON, Catania 19-20 luglio 2001.

TASK 8 - Simulazione di sorgenti deformative attraverso l'utilizzo di metodi numerici

UR PARTECIPANTI: UR4, UR1, UR2

OBIETTIVI I ANNO - SDS

Il programma di ricerca di questa U.R. persegue l'obiettivo di verificare gli effetti di sorgenti interne al sistema vulcanico, attraverso l'utilizzo di tecniche numeriche a elementi finiti, utilizzando specifici software sulla base di modelli analoghi realizzati per applicazioni di tipo meccanico.

In particolare, una volta perfezionata la 'calibrazione' dei modelli FEM e meglio individuata la conoscenza del mezzo, si potranno eseguire simulazioni numeriche sui comportamenti attesi al variare di determinati parametri fisici (ubicazione, pressioni e/o spostamenti, forme della sorgente, topografia). La 'calibrazione' sarà effettuata basandosi sui risultati analitici già ottenuti in mezzi omogenei.

RISULTATI I ANNO - SDS

- Sviluppi metodologici

Le deformazioni della superficie di un'area vulcanica sono usualmente causate da variazioni di pressione o spostamenti delle sorgenti interne, per questo motivo è di fondamentale importanza studiarne la loro influenza in funzione della loro forma e profondità.

Per capire un sistema complesso, come quello in esame, è spesso necessario estrarre le sue caratteristiche essenziali, ed usarle per la creazione di un modello. Un modello consente di analizzare il sistema, e di predirne il suo comportamento in differenti condizioni e parametri.

Nella ricerca da noi svolta abbiamo utilizzato dei modelli numerici. La chiave di un buon modello agli elementi finiti, consiste nel trovare un accordo tra la complessità necessaria per riprodurre la situazione reale, e la semplicità richiesta per la risoluzione della analisi. In particolare si è partiti dalla semplificazione della topografia della zona vulcanica, assunta di forma prismatica o cilindrica, con superficie libera piana. All'interno di tali sistemi sono state ubicate delle sorgenti di forma piana (faglie) o sferica con differenti profondità di posizionamento rispetto alla superficie libera; le sorgenti piane sono soggette a spostamenti normali alla loro superficie, mentre le sferiche a spostamenti radiali o a variazioni di pressione

Sono state eseguite diverse analisi per la calibrazione di questo strumento di calcolo confrontando i risultati ottenuti con quelli teorici attesi.

Le geometrie sono state realizzate al CAD ed importate nel codice di calcolo FEMAP per la 'meshatura', in seguito trasferite in MARC per il set-up dei modelli, necessario per le successive analisi all'interno dello stesso programma. In tali modelli è stata sfruttata la simmetria allo scopo di diminuire i tempi computazionali.

- Interpretazione e modellistica

La prima fase del lavoro si è concentrata sulla scelta delle giuste dimensioni e della tipologia di elementi da usare per questo tipo di simulazioni. A tale scopo sono stati realizzati 3 modelli bisimmetrici, di forma prismatica, di dimensioni differenti in cui la sorgente, di forma piana e verticale, è stata posta alla profondità di 0.5 km; tutti i modelli sono stati 'meshati' con elementi brick a 8 nodi e a 12 nodi ed elementi tetra 12. Come condizioni al contorno, alla superficie della base dei modelli è stato impedito lo spostamento verticale, mentre la superficie superiore è stata lasciata completamente libera; inoltre alla superficie verticale contenente la sorgente, per simmetria sono stati impediti gli spostamenti orizzontali.

Le caratteristiche meccaniche del mezzo sono state assunte come isotropo ed omogeneo con modulo elastico $E=49000 \text{ N/mm}^2$ e coefficiente di Poisson $\nu=0.25$. Il valore del modulo elastico si è ricavato come valore medio della distribuzione dei moduli elastici in funzione

della profondità ottenuta tramite la misurazione della velocità del suono. Questo valore concorda con quello utilizzato da altri autori in analisi simili (Numerical modeling of surface deformation and mechanical stability of Vesuvius volcano-Russo et altri).

Il confronto dei risultati FEM con quelli 'analitici' ottenuti per mezzi omogenei, ha messo in evidenza che ci sono sostanziali differenze nella scelta della tipologia di elementi; nello specifico gli elementi che più si addicono a questo tipo di modellazione sono i brick a 12 nodi, mentre i brick a 8 nodi e i tetra danno valori che si allontanano sempre più da quelli teorici. Il raffronto dei modelli con differenti dimensioni ha permesso di affermare che il modello con dimensioni di 10 km*10 km*14 km fornisce risultati che hanno sufficiente rispondenza con quelli analitici, consentendo di diminuire drasticamente i tempi di calcolo.

Stabilite le giuste dimensioni e gli elementi da usare si sono successivamente realizzati dei modelli con sorgente inclinata di 15° rispetto alla verticale, e con sorgente sferica. Nei modelli che contengono un crack inclinato, per assegnare lo spostamento all'interno del mezzo si è utilizzata la tecnica degli 'split-nodes' (A simple and efficient method for introducing faults into finite element computations- H. J. Melosh e A. Rafsky).

In tutte le simulazioni le deformazioni sulla superficie libera, sul piano di simmetria della sorgente, mostrano una perfetta rispondenza con quelle teoriche tranne nel primo tratto, in cui non sono perfettamente coincidenti ma quasi uguali. Questo è giustificato dalla presenza di tensioni non nulle sulla superficie libera, che contrasta con la teoria. Alla soluzione di tale problema siamo attualmente lavorando incrementando il numero di elementi nella zona immediatamente vicina alla sorgente anche se questo provoca un aumento esponenziale dei tempi computazionali.

Dai risultati dei modelli assialsimmetrici con sorgente sferica si è calcolato il rapporto tra il sollevamento massimo u_m , (misurato sulla superficie libera e sull'asse di simmetria) e lo spostamento u_0 imposto alle sue pareti per vari rapporti h/a (h = profondità del centro della sorgente – a =raggio della sfera). La legge di variazione di tale rapporto rispecchia quella indicata in letteratura (Finite element deformation of an elastic, non uniform medium produced by a dilating or pressurized magma chamber-F. Quarenì).

PRODOTTI DELLA RICERCA

- n° 1 presentazione a convegni
- codici di calcolo

Presentazioni a Convegni

Marco Elia M., Occhipinti Amato R, 2001. Applicazioni del metodo degli elementi finiti nello studio di deformazioni in aree vulcaniche, Convegno di medio termine del Progetto GNV-POSEIDON, Catania 19-20 luglio 2001.

TASK 9 - Sistema di alimentazione magmatica e deformazione sismica associata alla risalita del magma: applicazione ad alcuni vulcani italiani

UR PARTECIPANTI: UR8, UR3, UR7

OBIETTIVI I ANNO

Modello tridimensionale della velocità delle onde P, localizzazioni dei terremoti con mezzi di velocità eterogenei, meccanismi focali dei terremoti più forti avvenuti negli ultimi anni (magnitudo superiore a 2.0), misura dei rapporti spettrali dei terremoti t^* , relazioni di fase che simulano la risalita magmatica trattando il sistema alle pressioni e temperature ottenute per via modellistica.

RISULTATI I ANNO

La ricerca dell'U.R. ING e' iniziata in ritardo in quanto l'U.R. e' stata prima spostata su un altro progetto e quindi condivisa da due progetti. Il supporto economico, derivante da fondi Poseidon, e' stato reso disponibile solamente da Gennaio 2001. Nel primo anno sono stati presi rapporti con gli altri gruppi di ricerca del progetto per l'analisi dell'attenuazione del vulcano Etna e per una valutazione circa miglioramenti possibili nel calcolo del modello Vp e Vp/Vs. Il data set terremoti locali 1994-2000 e' in fase di costruzione. Per quanto riguarda la parte di geofisica sperimentale sono stati eseguiti i primi rilievi di fattibilita', preparato il data set di campioni di roccia su cui effettuare gli esperimenti e iniziato un primo stage presso il laboratorio.....

1) *Modello di velocità*: E' stato calcolato un modello tridimensionale di velocità delle onde P per la crosta al di sotto del vulcano. Le caratteristiche principali della struttura profonda sono state riconosciute: un grosso corpo ad alta Vp nella crosta superiore esteso fino a 18 km di profondità. I terremoti avvenuti nel periodo 1994-98 sono stati rilocalizzati nel modello tridimensionale ottenendo forti miglioramenti.

2) *Meccanismi Focali*: Sono state eseguite riletture accurate dei primi arrivi sui sismogrammi registrati dalla rete Poseidon nel periodo 1994-1998 per il calcolo dei meccanismi focali degli eventi sismici. La procedura che viene applicata alle letture per il calcolo dei meccanismi focali è quella delle polarità delle onde P. Ad oggi sono stati processati e calcolati 112 meccanismi focali di eventi avvenuti nel periodo Novembre 1994 - Dicembre 1995. Le letture relative alla rete Poseidon sono in corso di integrazione con quelle disponibili per altre stazioni sismiche operanti al vulcano.

3) *Attenuazione*: E' stata messa a punto una procedura per il calcolo dei T-star da usare nell'inversione per l'attenuazione. La procedura consiste in diversi step:

- selezione della finestra attorno alla fase P
- Valutazione del rapporto segnale-rumore
- Correzione per la risposta strumentale
 - Inversione degli spettri in spostamento per il calcolo del t-star
 - Correzione per gli effetti di sito
 - Inversione dei t-star per il calcolo dell'attenuazione

La fase di riletture accurate delle fasi P è propedeutica ed indispensabile alla stima dei t-star

4) *Geofisica Sperimentale*: Sono in studio le proprietà fisiche delle rocce del M.Etna (basalti e gabbri) svolgendo esperimenti con l'apparato multi-anvil. E' stata misurata la conduttività elettrica di due campioni (basalto CSE 16042k e gabbro TMP 21Y) a pressione di 900 e 1500

Mpa, temperature variabili tra 400 e 800 °C (subsolidus) e frequenze tra 0.1 e 10⁵ Hz. I campioni scelti sono rappresentativi della composizione piu' primitiva del magma. Le pressioni e temperature alle quali sono stati condotti gli esperimenti corrispondono a quelle riscontrabili nella crosta inferiore e al passaggio con il mantello superiore. In esperimenti successivi verranno condotti alle temperatura del liquidus per investigare il comportamento sotto condizioni di fusione parziale. Gli esperimenti sono stati condotti al laboratorio del Bayerisches Geoinstitut of Bayreuth in collaborazione con il dott. Brent Poe.

Una interpretazione preliminare degli spettri di impedenza ottenuti durante gli esperimenti di conduttività mostrano che il basalto e i gabbri hanno differente resistenza elettrica per le stesse condizioni di pressione e temperatura, i.e., a 800 °C e 900 MPa i basalti hanno una resistenza di un fattore 4 più alta del gabbro. I risultati mostrano inoltre che la resistenza dei due campioni è dipendente dalla pressione, mentre l'energia di attivazione rimane la stessa.

PRODOTTI DELLA RICERCA

- n° 3 pubblicazione internazionale (task 9/1)
- n° 2 presentazioni a convegni:

- Banca dati terremoti della Rete Poseidon 1994-1998.

ELENCO PUBBLICAZIONI

Chiarabba C, Amato A. Boschi E., and Barberi F., 2000: Recent seismicity and tomographic modeling of the Mount Etna plumbing system, *Journal Geophysical Research*, 10,923-10,938.

De Gori P, G.B. Cimini, C. Chiarabba, G. De Natale, C. Troise and A. Deschamps, 2001: Teleseismic tomography of the Campanian volcanic area and surrounding apenninic belt, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, in press.

De Natale G., C. Troise, F. Pingue, P. De Gori, and C. Chiarabba 2001: Structure and dynamics of the Somma-Vesuvius volcanic complex, *Mineral. and Petrol.*, in press.

Presentazioni a Convegni

Chiarabba C., P. De Gori, M. Moretti, e P. Scarlato 2001: Sistemi di alimentazione magmatica da tomografia sismica e geofisica sperimentale, atti del Workshop "Evaluation magmatic processes by laboratory experiments, physical modeling and field measurements, 15-18, Roma, 27-29 Giugno, 2001.

Chiarabba C. et al., 2001: Vincoli alla struttura profonda del Mt. Etna da tomografia sismica, Convegno di medio termine del Progetto GNV-POSEIDON, Catania 19-20 luglio 2001.

TASK 10 - Definizione di scenari eruttivi per l'Etna sulla base di indagini multidisciplinari integrate

UR PARTECIPANTI: UR5

OBIETTIVI I ANNO

Organizzazione dei diversi data-base; scelta dei diversi eventi eruttivi per i quali realizzare gli scenari; validazione dei diversi database; realizzazione degli scenari sulla base delle singole discipline; acquisizione di nuovi dati.

RISULTATI I ANNO

La ricerca in oggetto è stata finanziata per 40 ML per il I anno. Finora è stata accreditata solo la prima tranche di 20 ML.

I prodotti relativi al I anno della ricerca sono stati i seguenti:

L'integrazione di dati sismotettonici e macrosismici per gli anni 1981-1991 ha portato, oltre alla costituzione del database, anche al confronto tra le anomalie dei campi macrosismici e quelle relative alla velocità di propagazione delle onde sismiche all'Etna ha permesso di evidenziare zone di anomalia nei diversi settori del vulcano che potranno essere utilizzate nello sviluppo di modelli di velocità 3D.

La costituzione di un database relativo a dati geofisici, vulcanologici, petrografici, geochimici ed isotopici per gli anni 1981-1991 ha permesso di iniziare una nuova valutazione del meccanismo eruttivo per l'eruzione del marzo 1981.

L'analisi dell'attività sismica nel periodo 1983-1996, in relazione ai fenomeni intrusivi del 1989-1991, ha evidenziato come anche attraverso l'analisi di parametri sismologici quantitativi quali le dimensioni frattali e il coefficiente b della relazione di Gutenberg-Richter, risulta evidente la variazione di stile di attività del vulcano tra il periodo 1983-88 e quello 1993-96. Tale studio può essere di notevole interesse nella definizione di possibili scenari dinamici del vulcano.

L'analisi del tremore vulcanico associato ad eruzioni parossistiche, con particolare riguardo agli episodi eruttivi del settembre 1989, ha evidenziato come previsioni basate su approcci

di tipo statistico possano essere effettuate con una incertezza ragionevole. Resta opinabile l'utilità della "previsione" di tali fenomeni, mentre è ancora da definire nel dettaglio la dinamica del loro meccanismo eruttivo. A tale proposito, è stata testata la validità del modello di Chouet per quanto riguarda la sorgente del tremore vulcanico all'Etna in occasione di episodi di fontane di lava al Cratere di NE. Il modello non si mostra soddisfacente nella rappresentazione del fenomeno.

Risultati molto promettenti derivano invece dall'applicazione di tecniche di localizzazione ipocentrale di precisione, ad alcuni sciami di terremoti associati alle prime fasi dell'eruzione del 1991-93. Il confronto tra i risultati e i modelli di sorgente di deformazione stanno offrendo numerosi spunti di riflessione sulla "reale" consistenza ed evoluzione temporale del dicco eruttivo.

Infine è proseguita la raccolta dei dati relativi all'attività vulcanica dei crateri sommitali osservata e documentata per il periodo luglio 2000 - giugno 2001.

- Sviluppi metodologici
localizzazioni di precisione di eventi sismici in aree vulcaniche
- Acquisizione dati
 - nuovi vulcanologici relativi all'attività intracraterica dell'Etna
 - costituzione di database
- Interpretazione e modellistica
modello termodinamico di un dicco intrusivo

PRODOTTI DELLA RICERCA

- n° 4 pubblicazioni su riviste internazionali
- n° 1 pubblicazioni su riviste nazionali,
- n° 6 presentazioni a convegni
- n° 1 banca dati (catalogo macrosismico dell'Etna)

ELENCO PUBBLICAZIONI (includendo lavori in stampa e sottomessi)

- Azzaro R., Barbano M.S., Antichi B., Rigano R., 2000. Macroseismic catalogue of Mt. Etna earthquakes from 1832 to 1998. *Acta Vulcanologica*, 12, 1, 3-36, e CDROM.
- Barbano M.S., De Rubeis V., Tosi P., Vinciguerra S., 2000. Clustering properties of Etna seismicity during 1981-1991. *Journal of Seismology*, 4 (2), 191-196.
- Lombardo G., Barbano M.S., Costanzo S., 2000. Anomalies of seismic wave propagation at Mt. Etna Volcano, Italy. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 101, 171-182.
- Vinciguerra S., Gresta S., Barbano M.S. and Distefano G., 2001. The two behaviours of Mt. Etna volcano between 1983-1988 and 1993-1996: evidences from b value and fractal dimension of seismicity. *Geophys. Res. Lett.*, 28, 11, 2257-2261.
- Musumeci C., Gresta S. and Malone S., 2001. Magma system recharge of Mount St. Helens (USA) from precise relative hypocenter location of microearthquakes. *J. Geophys. Res.* (submitted May 2001)

Presentazioni a congressi

- Lombardo G., Imposa S., Coco G., Corrao M. 2000 - Features of volcanic tremor associated with recent eruptive episodes at Mt. Etna volcano (Italy). ESC General Assembly, Lisbon, Portugal, W.G. "Seismic Phenomena Associated with Volcanic Activity", Sao Miguel, Azzorre, p. 49.

Privitera E., Gresta S., Cammarata L., 2000. Spectral analysis of volcanic tremor at Mount Etna during a summit explosive eruption: a critical study of the Chouet's source model. ESC General Assembly, Lisbon, Portugal, W.G. "Seismic Phenomena Associated with Volcanic Activity", Sao Miguel, Azzorre,

TASK 11 - Determinazione della distribuzione spazio-temporale degli sforzi sismogenetici

UR PARTECIPANTI: UR6, UR7

OBIETTIVI I ANNO

Analisi intensiva dei dati degli eventi sismici originatisi nell'area etnea nel periodo 1988-1999. Elaborazione di tali dati per il calcolo dei parametri sismici di base (ipocentri, magnitudo e meccanismi focali) ed avvio delle stime dei parametri di stress e strain

RISULTATI I ANNO

- Sviluppi metodologici

Non erano in programma specifici sviluppi metodologici, i quali viceversa dovranno auspicabilmente essere conseguiti nella fase di determinazione dei parametri di stress e strain (II° anno). Possono comunque essere citati a ragione gli sviluppi nel calcolo dei parametri focali ottenuti dalle analisi effettuate in struttura crostale 3D.

- Acquisizione dati

I risultati possono ritenersi soddisfacenti e corrispondono a quanto programmato e specificatamente indicato alla voce "Obiettivi".

Le analisi dei parametri focali hanno consentito di costituire un dataset di meccanismi alquanto consistente (oltre 200 soluzioni focali di qualità compatibile con le esigenze di calcolo dei tensori stress-strain) il che rende ottimisti in relazione alle successive fasi di attuazione del progetto. Il campione comprende tutti gli eventi sismici localizzati nella crosta etnea nel periodo di riferimento dell'indagine, aventi magnitudo maggiore o eguale a 2.7. Sono altresì presenti numerosi terremoti di magnitudo inferiore ($2.0 < M < 2.7$). La sismicità copre in maniera soddisfacente l'intero complesso vulcanico, anche se si evidenziano eterogeneità di distribuzione ipocentrale peraltro già note da precedenti studi. Le incertezze sui parametri ipocentrali risultano generalmente contenute entro i 3 Km e gli errori sui parametri del meccanismo sono valutati entro i 20°. Sono in corso verifiche dei calcoli focali attraverso l'impiego di modelli tridimensionali di velocità crostale.

Le attività del primo anno, come del resto ampiamente programmato, si sono sviluppate nell'ambito di una sistematica collaborazione con l'UR. coordinata dal Dott. E. Privitera. Tale collaborazione rappresenterà un punto di forza anche nello svolgimento dell'attività del secondo e terzo anno, anche se in questo caso gli obiettivi primari delle rispettive UU.RR. (Neri e -Privitera) si diversificheranno, puntando sulle analisi stress-strain nel primo caso, e sullo studio dei patterns sismici e confronti con altri dati geofisici e vulcanologici, nel secondo).

- Interpretazione e modellistica

Tale fase del progetto corrisponde al terzo anno di attività

PRODOTTI DELLA RICERCA

- n° 1 pubblicazione su rivista internazionale (completamento di un lavoro iniziato precedentemente all'avvio del progetto)
- n° 1 presentazione a convegni

- database dei meccanismi focali etnei per il periodo Gennaio 1988 - Gennaio 1999

ELENCO PUBBLICAZIONI (includendo lavori in stampa e sottomessi)

Barberi G., Cocina O., Neri G., Privitera E., Spampinato S., 2000. Volcanological inferences from seismic-strain tensor computations at Mt. Etna volcano, Sicily. *Boll. Volc.*, 62, 318-330.

Presentazioni a Convegni

Neri G. and Cocina O., Evoluzione del campo degli sforzi sismogenetici e fenomenologie di sciame nell'area etnea nel periodo 1988-1998, Convegno di medio termine del Progetto GNV-POSEIDON, Catania 19-20 luglio 2001.

TASK 12 - Vincoli geofisici sulla dinamica del processo intrusivo

UR PARTECIPANTI: UR7, UR6

OBIETTIVI I ANNO

- analisi del Tensore Momento Completo (TMC) nel periodo 1994 – 1998;
- realizzazione di un *data base* di meccanismi focali affidabili nel periodo 1990-'98;
- analisi dei tensori di sforzo e di deformazione;
- confronto con dati di deformazione del suolo, gravimetria ed osservazioni vulcanologiche.

RISULTATI I ANNO

Il ritardato inizio del progetto e la mancata assegnazione della seconda rata del finanziamento, hanno determinato alcuni disagi, tra cui l'impossibilità di bandire la borsa di studio prevista, che ha impedito lo sviluppo dell'obiettivo a). Difatti, per quanto riguarda lo studio del TMC, è stato possibile completare una ricerca, già iniziata negli anni antecedenti l'inizio del progetto, che è stata recentemente pubblicata (vedi elenco delle pubblicazioni).

- L'obiettivo b) è stato quasi completamente raggiunto, almeno per ciò che riguarda il calcolo delle soluzioni del piano di faglia mediante il metodo delle polarità, e necessita solamente di alcune verifiche che permettano di validare la qualità del dato elaborato. In questo caso è stato possibile raggiungere risultati superiori, rispetto a quanto programmato, in quanto l'analisi è stata estesa anche agli anni successivi (sino al giugno 2001).
- È tuttora in corso l'analisi dei tensori degli sforzi e delle deformazioni (il raggiungimento dell'obiettivo c) era previsto per il secondo anno del progetto) che a giudicare dalle prime analisi sembrerebbe in grado di arricchire (e forse modificare) alcune delle conclusioni tratte dagli studi precedenti. La recente attività sismica (novembre 2000 – giugno 2001) ha modificato il *pattern* della sismicità osservato negli anni immediatamente precedenti, pertanto si è ritenuto opportuno approfondire alcuni aspetti, avviando delle analisi (tuttora in corso) che potessero indirizzare alla comprensione del fenomeno. In particolare, si è osservato che la distribuzione areale dello strain release nei primi 10 Km di crosta, avviene in aree che sono state attive anche negli anni precedenti prima dell'accadimento di cicli eruttivi al Cratere di Sud-Est, evidenziando che alcune zone sismogenetiche reagiscono alle variazioni positive dello sforzo, attivandosi ripetutamente. L'analisi della distribuzione spaziale degli eventi sismici nell'ultimo periodo (novembre 2000 – giugno 2001), evidenzia l'esistenza di due volumi asismici ubicati, rispettivamente, immediatamente ad est dei Crateri Sommitali (CS), ad una profondità maggiore di 5 Km, ed ovest sud-ovest dei CS, ad una profondità compresa tra 2 e 5 Km. Questi volumi asismici, già noti in letteratura, sono stati interpretati come zone

di stazionamento di masse magmatiche e risultano essere sorgenti di deformazioni lente del suolo e di anomalie di gravità. La sequenza spazio - temporale della sismicità, induce a supporre che nel periodo analizzato si sia verificato un trasferimento di massa tra le due zone di stazionamento. La distribuzione epicentrale evidenzia due importanti allineamenti: il primo con orientazione circa NNW-SSE, è ubicato nell'area che va dalla Schiena dell'Asino, La Montagnola ed i CS; il secondo mostra un allineamento ENE-WSW ed è localizzato nell'area CS, M. Palestra e M. Intraleo. Altre aree sismogenetiche sono state individuate nel settore compreso tra i due allineamenti precedentemente citati e nella Valle del Bove. Sono di rilievo le seguenti osservazioni: i) la distribuzione epicentrale enfatizza la zona asismica superficiale; ii) la sismicità che delinea l'allineamento NNW-SSE presenta un parametro b piuttosto elevato; iii) sempre lo stesso allineamento NNW-SSE presenta un analogo andamento planimetrico della sismicità verificatesi in occasione dello sciame sismico che ha preceduto ed accompagnato (12 - 18 luglio) l'apertura delle fratture da cui si è verificata l'eruzione attualmente in corso. Infine, l'analisi di 98 meccanismi focali elaborati per il periodo novembre 2000 - giugno 2001 ha evidenziato che la direzione azimutale degli assi P converge verso la zona asismica superficiale, individuando pertanto un centro di pressione in tale volume che potrebbe essere all'origine della sismicità osservata.

- L'obiettivo d) viene perseguito gradualmente in funzione della disponibilità delle informazioni che provengono dalle altre discipline e dall'avanzamento delle ricerche esposte ai punti precedenti (il raggiungimento dell'obiettivo d) era previsto per il terzo anno del progetto). Alcune interessanti convergenze sono state già evidenziate ed è attualmente in corso la raccolta sistematica delle informazioni bibliografiche.

PRODOTTI DELLA RICERCA

- n° 2 pubblicazioni su riviste internazionali
- n° 1 presentazioni a convegni,
- banca dati di meccanismi focali nel periodo Gennaio 1988 - Giugno 2001

ELENCO PUBBLICAZIONI (includendo lavori in stampa e sottomessi)

Barberi G., Cocina O., Neri G., Privitera E., Spampinato S., 2000. Volcanological inferences from seismic-strain tensor computations at Mt. Etna volcano, Sicily. *Boll. Volc.*, 62, 318-330.

Sarao`, A, Panza, G.F., Privitera E., Cocina O., 2001. Non-double-couple mechanisms in the seismicity preceding the 1991-93 Etna volcano eruption, *Geophys. J. Int.*, 145, 319-335.

Presentazioni a Convegni

Privitera E., Analisi dell'evoluzione spazio-temporale dei campi di sforzo e deformazione sismica all'Etna e relazioni con i recenti cicli eruttivi del cratere di Sud-Est, Convegno di medio termine del Progetto GNV-POSEIDON, Catania 19-20 luglio 2001.

PERICOLOSITA' DEL VULCANO STROMBOLI

Coordinatore scientifico del progetto

Mauro Rosi - Professore Ordinario

Dipartimento di Scienze della Terra - Università di Pisa

Partecipanti al progetto

UR#	AFFERENZA	RESPONSABILE
1	Dip. Scienze della Terra Univ. Pisa	M. Rosi
2	INGV Catania	M. Pompilio
3	Dip. Scienze della Terra Univ. Firenze	L. Francalanci
4	Istituto Geologia Marina Bologna	M. Marani
5	CIRCFT Università di Padova	A. Vettore
6	Dip. Sc. Geol. Geotecniche Univ. Milano-Bicocca	A. Tibaldi
7	Dip. Fisica Univ. Bologna	S. Tinti
8	Dip. Scienze della Terra Univ. Parma	G. Serri
9	INGV Roma	M. L. Carapezza
10	CNRS-CEA Gif/Yvette Francia	P. Allard

OBIETTIVI GENERALI

Il progetto triennale è finalizzato alla raccolta integrata di dati geologici, petrologici, geochimici e di geologia marina che permetta un sostanziale avanzamento di conoscenze per la definizione degli scenari eruttivi attesi e la previsione a medio termine dei fenomeni pericolosi. Il progetto prevede inoltre l'acquisizione di dati rilevanti alla definizione della pericolosità di fenomeni connessi al franamento catastrofico della Sciara del Fuoco (fenomeni esplosivi e onde di tsunami) con relativa identificazione delle aree esposte ai diversi pericoli. Il progetto si prefigge infine di contribuire alla mitigazione del rischio, mediante la sperimentazione di nuove tecniche di monitoraggio geochimico e petrologico, da utilizzare per la previsione dei fenomeni eruttivi pericolosi.

TASK 1 - Esplosioni maggiori e parossismi

UR PARTECIPANTI: UR1, UR2, UR10, UR3

OBIETTIVI I ANNO

Raccolta e integrazione di dati stratigrafici, geocronologici, petrologici, isotopici e geochimici sui prodotti emessi dall'attività attuale del vulcano fino dal suo inizio. Stima del contenuto in volatili dei magmi, tramite l'analisi delle inclusioni vetrose e delle matrici della frazione juvenile e di misure con tecniche di remote-sensing (COSPEC e FTIR) dei gas contenuti nel pennacchio vulcanico.

RISULTATI I ANNO

Sono state eseguite indagini sull'evoluzione temporale della composizione del magma dello Stromboli attuale (UR Francalanci) analizzando 60 campioni di scorie e pomice eruttate nel corso di "esplosioni maggiori" avvenute negli anni 1998, 1999, e 2000 e di scorie emesse dall'attività ordinaria. Oltre alle analisi di maggiori e tracce su roccia totale, sono state eseguite analisi isotopiche su roccia totale e cristalli singoli di clinopirosseni e plagioclasti di

una scoria e di una pomice, con il metodo delle traverse nucleo-bordo. I dati relativi alle traverse, indicano la presenza di complesse zonature isotopiche. I valori dei nuclei registrano una diminuzione nel tempo del rapporto isotopico. I nuclei dei clinopirosseni e dei plagioclasti di una scoria del 1996 sono sia più che meno radiogenici (0.70605-0.70633) dei bordi (circa 0.7061). Le fasi minerali della pomice del 1996 sono più omogenee isotopicamente (0.70608-0.70616), con solo rari nuclei riassorbiti aventi due composizioni distinte (0.7061 e 0.7063). I risultati sono in accordo con il modello di evoluzione dello Stromboli in cui una riserva di magma di composizione come quella delle scorie è continuamente rialimentata da un magma un po' più primitivo che ha la composizione della pomice.

Il sistema magmatico attuale dello Stromboli, rappresentato dalle due componenti, scorie emesse dall'attività ordinaria e pomici emesse dai parossismi e dalle esplosioni maggiori, è stato indagato dal punto di vista delle inclusioni silicatiche contenute nei minerali (UR Rosi). I risultati fino ad ora ottenuti indicano che le inclusioni silicatiche nei cristalli di olivina coprono un ampio intervallo composizionale ($\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3 = 0.99-0.29$) e testimoniano della presenza di liquidi piuttosto primitivi intrappolati in cristalli forsteritici di olivina contenuti nelle pomici. Le inclusioni silicatiche primitive analizzate in cristalli di olivina delle pomici, alla microsonda elettronica e spettrometria infrarossa (FTIR), mostrano alti contenuti in volatili con H_2O tra 2.3 e 2.8 wt.%, CO_2 tra 894 e 1689 ppm, S tra 2250 e 1660 ppm e Cl tra 2030 e 1660 ppm, e rapporto S/Cl intorno all'unità'. Le inclusioni contenute nei cristalli più faialitici delle scorie dell'attività ordinaria sono praticamente prive di volatili ovvero presentano valori praticamente identici a quelli del vetro della massa fondamentale. Sulla base dei risultati ottenuti viene proposto che il magma degassato, che alimenta l'attività "normale", sia il risultato della cristallizzazione del magma più ricco in volatili indotta da decompressione e perdita di H_2O a bassa pressione. Questo processo dovrebbe verificarsi all'interno del cono. La rapida risalita e l'arrivo in superficie di batches di magma ricco in volatili, e' proposto come il meccanismo principe che produce le esplosioni più energetiche (parossismi ed esplosioni maggiori) a Stromboli.

Sono state eseguiti studi sulla composizione della componente gassosa emessa sia in modo continuo (attività fumarolica) sia impulsivo (esplosioni), che contribuiscono a formare il pennacchio gassoso del vulcano, (UR Allard), utilizzando come metodo di telerilevamento la spettrometria infrarossa con trasformata di Fourier (open-path FTIR). Il metodo consente di determinare, in modo simultaneo, le concentrazioni di vari componenti gassosi nelle emanazioni vulcaniche, misurando il loro spettro di assorbimento della radiazione emessa da una sorgente calda. I risultati dell'applicazione del metodo a Stromboli mostrano: a) una relativa costanza della fase gassosa durante gli intervalli di emanazione non esplosiva, b) brusche e riproducibili variazioni durante le esplosioni che, oltre ad un aumento delle concentrazioni, includono un brusco aumento del CO/CO_2 e COS/CO_2 (x5-10), SO_2/HCl (x2-4) e CO_2/SO_2 (x2-3). Alla luce dei dati sugli stessi volatili disciolti nelle inclusioni vetrose dei cristalli di olivina, le variazioni nei rapporti chimici osservate durante le esplosioni sono consistenti con la risalita veloce e periodica di grosse bolle (slugs) che si formano in profondità con un processo di degassamento in disequilibrio (Rayleigh distillation). In contrasto la fase gassosa non esplosiva è rappresentativa di un degassamento all'equilibrio integrato lungo l'intera colonna magmatica (batch equilibrium degassing). La combinazione di questi dati con quelli di COSPEC per il flusso di SO_2 permetterà di quantificare, in modo più accurato, i flussi gassosi emessi allo Stromboli affinando il bilancio del degassamento magmatico.

PRODOTTI DELLA RICERCA

- n° 6 pubblicazioni e presentazioni a congressi

ELENCO PUBBLICAZIONI

- Métrich, N., Bertagnini, A., Landi, P., Rosi, M. (2000) Crystallisation driven by decompression and water loss at Stromboli volcano (Aeolian islands). *J. Petrol.*, 42:1471-1490.
- Davies G.R. (2000) Complex magma chamber dynamics at Stromboli during the 20th century. *Goldschmidt 2000, Journal of Conference Abstracts*, 5(2), 335.
- Landi, P., Bertagnini, A., Métrich, N., Rosi, M. Oscillatory zoning in plagioclase as a record of the evolution of the crystal-rich magma body at Stromboli . Annual meeting of Coordinate Project «Hazard Assessment of Stromboli Volcano» – 6-8 June 2001.
- Métrich, N., Bertagnini, A., Landi, P., Rosi, M. Chemical variability and volatile content of magmas that sustain the current activity at Stromboli. Annual meeting of Coordinate Project «Hazard Assessment of Stromboli Volcano» – 6-8 June 2001.
- Rosi, M., Bertagnini, A., Landi, P., Métrich, N. The activity of Stromboli from the Sciara del Fuoco collapse to date. Annual meeting of Coordinate Project «Hazard Assessment of Stromboli Volcano» – 6-8 June 2001.
- Métrich, N., Bertagnini, A., Landi, P., Rosi, M. Crystallization driven by decompression and water loss. Stromboli (Aeolian islands): a school case. IAVCEI congress, Bali July 2000.

TASK 2 - Collassi di versante e frane

UR PARTECIPANTI: UR6, UR4

OBIETTIVI I ANNO

Esecuzione di indagini geologiche e geotecniche mediante un rilevamento litostratigrafico e strutturale in scala 1:2000 – 1:5000 della struttura della Sciara del Fuoco; individuazione dei siti più significativi da campionare per la caratterizzazione geotecnica che sarà effettuata negli anni successivi. Revisione ed elaborazione di dati di geologia marina già disponibili presso l'IGM di Bologna da usare come base per la campagna di acquisizione dati in programma per l'anno prossimo.

RISULTATI I ANNO

Ricordando che esistono pochissimi lavori sulla caratterizzazione litotecnica dei prodotti vulcanici, al fine di preparare una carta litotecnica necessaria alle fasi successive del lavoro, si è sperimentata una classificazione della successione rocciosa in unità litologiche utili ai fini geologico-applicativi. Le unità litostratigrafiche sono quindi state suddivise o accorpate in base alle caratteristiche reologiche dominanti, funzione del tipo di materiale, granulometria, grado di cementazione, presenza di matrice, caratteristiche tessiturali dei clasti, ecc.

- Acquisizione dati

La depressione della Sciara del Fuoco e le zone circostanti sono state rilevate in scala 1:5000 al fine di preparare una mappa strutturale, una di meccanica delle rocce, una litologica e una geomorfologica. Queste mappe rappresentano i dati di base che verranno utilizzati per il prosieguo della ricerca negli anni successivi. Il rilevamento strutturale, assieme ai dati litostratigrafici esistenti, hanno confermato lo sviluppo di quattro collassi di settore verso NO negli ultimi 13 ka. In più, il rilevamento strutturale e di meccanica delle rocce hanno mostrato uno scenario complesso di deformazione post 13 ka BP. La deformazione si è prodotta soprattutto attraverso lo sviluppo di fratture e dicchi di direzione da NNE a ENE lungo la zona di debolezza principale di direzione NE che attraversa l'isola e la cima del vulcano. Lo

stesso campo di deformazione ha anche interessato, anche se meno pervasivamente, il fianco NO del cono (cioè a NO della zona di debolezza NE-SO). Le fratture sono rappresentate per lo più da giunti, seguiti in ordine di abbondanza decrescente da fessure, microfaglie e rare faglie. Tutte queste fratture sono per lo più verticali o sub-verticali con immersione bimodale. I piani di frattura sono di estensione moderata con bruschi cambi di direzione nell'ordine di $\pm 15^\circ$ che probabilmente riflettono l'anastomizzazione di strutture originali di raffreddamento sotto l'influenza di un campo di sforzo successivo. Queste strutture hanno interagito con altre deformazioni riconducibili ad un campo di sforzo connesso con la mancanza di contenimento lungo le spalle del primo collasso di settore di 13 ka fa, nonché lungo le spalle dei successivi collassi laterali. Altri giunti hanno direzioni più disperse e rappresentano l'effetto di condizioni locali di erosione, di richiamo gravitativo e raffreddamento dei depositi. Nella parte sommitale della Sciara del Fuoco abbiamo scoperto un sistema di fratture lungo circa 150 m sviluppatosi nell'anno 2000. Esso è costituito da segmenti di direzione NE con dilatazione NW-SE posti a sud dei crateri attivi, e da segmenti ESE con movimenti dominanti trascorrenti sinistri posti lungo la traccia del fianco meridionale dell'ultimo collasso di settore. I movimenti sono stati nell'ordine di 30-50 cm. La carta geomorfologica rivela la distribuzione delle frane superficiali e delle relative scarpate, le zone di erosione preferenziale e i cammini di erosione regressiva delle scarpate principali dei vari collassi di settore. Sono state riconosciute tre tipologie principali di frane superficiali: rock falls, debris flows e rock slides. Alcune scarpate di frana sono presenti anche a monte del villaggio di Stromboli, ad un'altitudine di circa 750 m. Le mappe e i risultati qui esposti brevemente centrano completamente gli obiettivi di questa UR per il primo anno di ricerca.

Altro

Le fratture del 2000 sopra descritte sono state monitorate tramite ripetuti controlli diretti e con l'installazione di capisaldi di ferro fissati con cemento. Dall'inizio del 2001 e fino all'ultimo controllo effettuato il 5 giugno 2001, queste fratture non hanno evidenziato indizi superficiali di ulteriori movimenti. I dati dettagliati su queste fratture sono stati inviati sotto forma di rapporto al Prof. Gasparini, come Presidente del GNV.

Durante il 2000 e il 2001, l'UR Marani ha condotto due crociere oceanografiche, una è stata dedicata all'acquisizione di dati di eco-scandaglio e di sidescan sonar ad alta risoluzione, l'altra alla campionatura dei fondali marini nelle porzioni sottomarine dell'edificio di Stromboli. Le ricerche sono state pianificate tramite l'interpretazione di dati multibeam acquisiti dall'Istituto per la Geologia Marina di Bologna nel 1996 e 1999, che forniscono una batimetria di dettaglio delle zone più profonde di 200 m.

Nel dicembre del 2000, durante la campagna TIR2000, sono stati acquisiti profili di eco-scandaglio ad alta risoluzione (CHIRP) nell'area adiacente la Sciara del Fuoco e nel Canyon di Stromboli. Sulla base dell'interpretazione dei profili CHIRP, sono stati selezionati 10 siti di campionatura nei quali sono state effettuati carotaggi a gravità. Solo 2 dei 10 campionamenti hanno avuto successo con il recupero di una successione sedimentaria di 480 e 91 cm.

Nell'aprile del 2001, durante la campagna VST01, sono stati acquisiti 300 km di linee di sidescan sonar ad alta risoluzione, che offrono la copertura della scarpata sommersa dell'edificio di Stromboli da una profondità di 200 a 1000 m. La scala delle immagini sidescan sonar è 1:3000 con una risoluzione di 0,75 m. I dati sono ancora in corso di correzione ed elaborazione.

- Interpretazione dati

Da un primo studio preliminare, le carote recuperate durante la crociera TIR2000, campionate rispettivamente nel bacino Marsili (profondità di 3300 m) e nel fianco profondo nordoccidentale dell'edificio di Stromboli (profondità 3000 m), risultano composte da una successione stratigrafica costituita principalmente da livelli torbiditici. Nella prima, i livelli sono costituiti soprattutto da una successione di numerose torbiditi vulcanoclastitiche a

spessori ridotti e a grana generalmente fine; un livello di tefra, individuato alla base della carota, e' stato campionato ed analizzato dall'U.R dell'Universita di Pisa, allo scopo di stabilire la sua provenienza. La seconda carote contiene livelli piu' spessi costituiti da vulcanoclastiti a granulometria piu' grossolana. Lo studio dei livelli piu' significativi di entrambe le carote, attraverso l'analisi sedimentologica, geochimica e micropaleontologica e' attualmente in corso presso l'IGM-CNR e UNIPI.

L'interpretazione preliminare dei dati sidescan sonar acquisiti durante la crociera VST01, integrati dai dati CHIRP acquisiti nella campagna TIR2000, ha messo in luce i processi gravitativi attualmente in atto nelle porzioni sommerse dell'edificio di Stromboli. In particolare, la zona adiacente la Sciara del Fuoco e' caratterizzata da un cuneo vulcanoclastico di mare profondo costituito da materiale grossolano organizzato in barre e canali longitudinali con disposizione a ventaglio. In alcune aree blocchi con dimensioni fino a 50 m sono presenti sulla superficie del cuneo. Altri cunei di mare profondo, costituiti da materiale vulcanogenico grossolano, sono stati evidenziati nei fianchi occidentali e meridionali dell'edificio di Stromboli caratterizzati da assenza di piattaforma; anche in questi corpi deposizionali prevalgono forme di fondo orientate longitudinalmente. Depositi vulcanoclastici fini sono presenti nella porzione settentrionale dell'edificio caratterizzata dalla presenza di una piattaforma. Numerose superfici di distacco gravitativo sono la testimonianza di frequenti franamenti sottomarini dovuti a una forte instabilita' dei sedimenti, e che originano l'arretramento del ciglio della piattaforma.

PRODOTTI DELLA RICERCA

- n° 4 pubblicazioni su riviste internazionali, nazionali, presentazioni a congressi, rapporti tecnici e carta geologica

ELENCO PUBBLICAZIONI

- Tibaldi A., 2001. Multiple sector collapses at Stromboli volcano, Italy: how they work. *Bulletin Volcanology*, 63, 2/3, 112-125.
- Tibaldi A. e Pasquarè G. Geological Map of Stromboli. National Project on 1:50,000 Prototype Map Atlas, CNR-SGN-CARG. In stampa.
- Tibaldi A. e Rosi M., 2001. Il campo di fratture del 2000-2001 nella parte SE della Sciara del Fuoco, Stromboli. Rapporto per il G.N.V., Protezione Civile, Milano-Roma, 4 figg. + 4 pagg.
- Gamberi F. e Marani M. (2001). Preliminary results of two oceanographic cruises over the submarine portions of the Stromboli edifice. Annual meeting of the coordinated project "Hazard assessment of Stromboli Volcano". Stromboli 6-8 June 2001.

TASK 3 - Tsunami

UR PARTECIPANTI: UR7, UR5

OBIETTIVI I ANNO

Aggiornamento del codice attualmente in uso per la propagazione delle onde di tsunami, portandolo da 1.5D a 2D, sviluppo di modelli numerici che considerino l'accoppiamento dinamico frana-onde marine, messa a punto di un sistema eco-GPS, realizzazione di una rete GPS ed esecuzione del rilievo batimetrico nel tratto di mare compreso fra Scari e Piscità.

RISULTATI I ANNO

Nell'ambito del primo anno, l'attività dell'Unità di Padova è stata rivolta allo svolgimento dei seguenti compiti: 1) materializzazione di punti di appoggio GPS a terra; 2) predisposizione di un primo prototipo del software di acquisizione e gestione dei dati del rilievo batimetrico; 3) esecuzione di rilievi batimetrici di test sottocosta.

Per quanto riguarda il primo punto si è provveduto alla materializzazione di 6 punti GPS per le stazioni di riferimento a terra, i cui dati sono stati utilizzati per effettuare le correzioni differenziali, in tempo reale, delle osservazioni acquisite durante la navigazione sottocosta. In base alla morfologia dell'isola di Stromboli, l'ubicazione di tali punti è stata scelta in modo da avere una distribuzione uniforme delle stazioni di riferimento garantendo comunque la copertura GPS lungo tutto il perimetro dell'isola stessa. Infine è stata eseguita la compensazione della rete per la determinazione delle coordinate 3D dei punti.

I dati GPS sono stati acquisiti mediante ricevitori Trimble 4000 SSI, a doppia frequenza, con tempi di permanenza su ogni vertice della rete variabili tra 45 minuti e 1 ora, in dipendenza della disponibilità di un numero adeguato di satelliti. Infine le baselines sono state compensate mediante software commerciale Trimble GPSurvey.

Successivamente è stato affrontato l'aspetto relativo all'implementazione di un software dedicato al rilievo batimetrico, che fosse in grado sia di gestire contemporaneamente il flusso di dati provenienti dall'ecoscandaglio e dal ricevitore GPS, sia di visualizzare a video la rotta percorsa durante la navigazione. Il software è caratterizzato da una struttura modulare, i cui componenti principali riguardano la sezione di visualizzazione della traccia seguita dalla barca, il modulo per l'esecuzione in tempo reale della trasformazione di coordinate e quello di sincronizzazione tra i dati acquisiti dall'ecoscandaglio e dal GPS. Il software così realizzato consente sia di pianificare in sede di progetto i profili ortogonali alla costa lungo i quali eseguire il rilievo batimetrico, sia di controllare in tempo reale, durante il rilievo stesso, l'eventuale scostamento della barca dalle traiettorie programmate.

Nel giugno di quest'anno è stato realizzato un rilievo batimetrico di test, che ha interessato la zona dell'isola di Stromboli compresa tra il molo di Scari e Punta dell'Omo, per un'estensione lineare di circa 2.5 Km. Si sono così ottenuti profili batimetrici caratterizzati da interasse di 5m, distanza massima dalla costa di 150-200m e precisione nelle coordinate 3D dei punti dei profili dell'ordine del cm.

Avendo acquisito esperienza nell'ambito della modellazione 3D, l'Unità di Padova ha eseguito delle prove di modellazione del fondale rilevato, trasformando i dati acquisiti come file ASCII in un formato binario compatibile con quello richiesto dal software di modellazione 3D. In tal senso un primo test è stato eseguito su una porzione limitata dell'intero rilievo batimetrico, ottenendo risultati incoraggianti, ma con problematiche legate principalmente alla gestione di elevate quantità di dati avendo a disposizione piattaforme hardware con limitate capacità elaborative.

E' intenzione dell'Unità di Ricerca di Padova di proseguire nell'esecuzione del rilievo batimetrico sottocosta dell'isola. Tuttavia, l'esperienza conseguita nella prima fase di test ha posto in evidenza alcune difficoltà per l'esecuzione del rilievo completo dell'isola nei tempi e modi programmati inizialmente. In particolare la risoluzione richiesta per la maglia di acquisizione (5m) e condizioni meteorologico-ambientali non sempre favorevoli, determinano necessariamente un notevole allungamento dei tempi di lavoro, non garantendo pertanto il rispetto delle specifiche del progetto proposto.

Uno degli obiettivi dell'UR Tinti è l'estensione del codice numerico per la simulazione di frane in modo che possa essere applicato a frane ove gli effetti bidimensionali sono importanti. Il primo passo in questa direzione è stato effettuato simulando la frana che causò la catastrofe del Vajont nel 1963. Si tratta di un caso che è stato ritenuto utile studiare perché: 1) è una frana con fronte molto ampio, ossia molto maggiore della lunghezza longitudinale del corpo di frana, per il quale quindi non è conveniente usare un codice 1D; 2) è una frana emblematica, che generò una catastrofe con oltre 2000 vittime, per la quale è disponibile un set di dati nutrito, ed è quindi possibile confrontare i risultati della simulazione con le osservazioni sperimentali post-evento; 3) è una frana per la quale l'approccio lagrangiano utilizzato dal codice attuale dell'UR Tinti sembra essere il più adatto. La frana è stata simulata suddividendo il corpo di frana in senso longitudinale in subfrane che evolvono in modo indipendente, con verifica a posteriori che il sincronismo tra le varie subfrane sia rispettato in modo soddisfacente: con ciò intendendo che le varie subfrane si staccano contemporaneamente e si muovono assieme con velocità simili sino all'arresto. Il modello ha dato risultati apprezzabili, e particolarmente buono è risultato il confronto tra i depositi calcolati ed osservati (Zaniboni, 2000; Bortolucci et al., 2001). Un ulteriore avanzamento è lo sviluppo di un codice completamente 2D: il codice, già realizzato, è attualmente in fase di test su casi analitici: scivolamento di corpi rigidi su superfici a geometria semplice.

In generale il maremoto prodotto da una frana sottomarina viene studiato considerando che l'energia fluisca a senso unico dal corpo di frana al moto ondoso. In realtà, i due sistemi debbono essere considerati come sistemi mutuamente interagenti anche nel caso di un fluido inviscido che non esercita resistenza sulla superficie del corpo di frana. Lo studio dell'accoppiamento completo fra corpo di frana che si muove sul fondo marino e onde di maremoto è stato affrontato su casi semplici (corpi rigidi, batimetria semplice ed approssimazione di shallow water in fluido inviscido 1D). Lo studio ha messo in evidenza che nella prima fase predomina il passaggio di energia dal corpo di frana al corpo d'acqua (fase di prima generazione del maremoto). Successivamente, l'energia si può trasmettere anche dal moto ondoso al corpo di frana: la frana può cioè essere accelerata o decelerata dalle variazioni di pressione idrostatica associate a cavi e creste delle onde. L'effetto è maggiore quando il moto avviene in regime critico (numero di Froude prossimo a 1). Si è comunque osservato che la dinamica è prevalentemente determinata dal passaggio di energia dal corpo solido al moto ondoso, il che giustifica l'approccio tradizionale che trascura l'accoppiamento completo tra i due sistemi, studiando solo l'effetto del primo sul secondo.

Nel corso del primo anno è stato inoltre migliorato il codice agli elementi finiti per la propagazione del maremoto generato da frane: è stato infatti utilizzato su griglie a risoluzione variabile (da 100 m a 2000 m) che coprono un bacino assai vasto (circa $2 \cdot 10^4 \text{ km}^2$). Il codice è stato prima testato sul caso del maremoto prodotto dal collasso laterale del vulcano Oshima nel mare del Giappone avvenuto nel 1741 (Tinti et al., 2000), per il quale esiste una soddisfacente documentazione storica. Esso è stato poi usato per studiare la propagazione di un maremoto nel Tirreno Meridionale prodotto dal collasso della Sciara del Fuoco a Stromboli (Bortolucci e Tinti, 2001). Lo studio, concentrato sulla propagazione nel mid-field a nel far-field, ha evidenziato che il maremoto non solo produce grandi effetti sulle coste di Stromboli, ma che determina onde di grande ampiezza anche nelle isole vicine (p.e. Panarea, Lipari, Vulcano, ecc.) e che entro 10-15 minuti attacca con violenza le coste di Calabria e Sicilia: le coste più colpite sono quelle attorno a Tropea e Capo Vaticano in Calabria.

PRODOTTI DELLA RICERCA

n° 4 pubblicazioni su riviste internazionali e presentazioni a congressi

ELENCO PUBBLICAZIONI

- Tinti S., Bortolucci E., Satake K., 2000, The 1741 Oshima-Oshima Tsunami, XXVII General Assembly of the European Seismological Commission, 10-15 September 2000, Lisbon, Book of abstract, p.27
- Bortolucci E., Tinti S., 2001, Impact on Calabria and Sicily of a large tsunamigenic scenario-collapse of Stromboli volcano, XXVI EGS General Assembly, 25-30 March 2001 Nice, Geophysical Research Abstracts, Vol. 3, CDROM.
- Bortolucci E., Tinti S., Zaniboni F., 2001, Lagrangian modelling of the 1963 Vajont catastrophic landslide, XXVI EGS General Assembly, 25-30 March 2001 Nice, Geophysical Research Abstracts, Vol. 3, CDROM.
- Tinti S., Bortolucci E., Chiavettieri C., 2001. Tsunami excitation by submarine slides in shallow-water approximation, Pure Applied Geophysics, 158, 759-797.

TASK 4 - Sperimentazione di tecniche di monitoraggio

UR PARTECIPANTI: UR9, UR1

OBIETTIVI I ANNO

Installazione di due stazioni di monitoraggio in continuo del flusso di CO₂ a Pizzillo e nell'area craterica, integrate con sensori per la misura di parametri ambientali, installazione di due stazioni per il monitoraggio in continuo di T, pH e conducibilità in due pozzi, studio di fattibilità di un campionatore continuo di cenere mirato all'individuazione dei siti migliori per posizionare lo strumento e all'ottimizzazione delle sue caratteristiche tecniche.

RISULTATI I ANNO

Gli obiettivi del primo anno sono stati pienamente raggiunti. Le acque termali dei pozzi ubicati alla base dell'edificio vulcanico sono state campionate mensilmente e sono state eseguite le analisi per la composizione chimica, isotopica, elementi in tracce e contenuto in gas disciolti. Quest'ultimo si è rivelato un ottimo tracciante geochimico per l'elevata mobilità del gas, combinata con le differenti solubilità dei vari componenti. La composizione chimica ed isotopica indica che le acque termali sono una miscela di acqua meteorica e acqua di mare (dominante) modificata chimicamente dall'interazione con gas caldi e acidi (principalmente CO₂) di origine profonda. Le acque studiate hanno temperature comprese tra 35 e 52 °C e sono caratterizzate dalla presenza di elio ed anidride carbonica disciolti in concentrazioni diversi ordini di grandezza superiori rispetto ad un'acqua in equilibrio con l'atmosfera. Il carbonio della CO₂ disciolta ha inoltre la stessa composizione isotopica di quello della fumarola craterica. In due pozzi (Fulco e Zurro) monitorati in continuo con sonde multiparametriche (pH, temperatura, conducibilità, livello piezometrico), si sono notate variazioni di alta frequenza probabilmente correlate con le maree. Purtroppo le stazioni di misura hanno avuto diversi problemi tecnici e il set di dati disponibili per il primo anno è molto incompleto. Le stazioni dovranno essere modificate ed in parte riprogettate. Dal dicembre 2000, la piovosità viene misurata e vengono prelevati campioni mensili di pioggia per la composizione isotopica da tre siti (bordo craterico, Pizzillo e Sirenetta). Nel luglio 2001 una prospezione di radon è stata effettuata su 50 punti al suolo lungo i fianchi bassi del vulcano e nelle acque termali. I dati preliminari confermano la presenza di aree di degassamento anomalo a Pizzillo, Piscità e Le Schicciolo. Sono state installate due stazioni per la misura del flusso di CO₂ dal suolo (metodo della camera di accumulo): la prima a dicembre 1999 alla mofeta di Pizzillo e la seconda nell'agosto 2000 sul bordo craterico. I due siti erano stati preventivamente identificati per il rilascio anomalo di gas, la cui composizione

chimica ed isotopica indicava la presenza di una componente profonda (magmatica). I gas di questi due siti sono stati mensilmente campionati ed analizzati. Le stazioni misurano anche i parametri ambientali (pressione e temperatura dell'aria, direzione e velocità del vento, umidità dell'aria e del suolo, piovosità). Nel primo anno di misura le due stazioni hanno confermato le ovvie differenze di degassamento tra il cratere (fondo di 8000 g*m²/giorno con picchi fino a 45000) e la base del vulcano (fondo di circa 200 g*m²/giorno in inverno e di 300 – 400 in estate, con picchi fino a 2000). L'influenza dei parametri ambientali sul flusso di CO₂ è stata valutata mediante un modello di regressione lineare multipla. Pressione e temperatura dell'aria, e umidità del suolo sono i fattori che più influenzano il flusso alla stazione di Pizzillo, mentre sul bordo del cratere il flusso risente soprattutto della velocità del vento che vi raggiunge spesso valori molto elevati. In Fig. 1 sono riportati i valori di flusso di CO₂ misurati a Pizzillo (A) e sul bordo craterico (B) insieme alla curva dei valori "previsti". Questi ultimi sono stati calcolati dal modello statistico assumendo che tutte le variazioni di flusso siano imputabili a variazioni dei parametri ambientali. Buona parte delle variazioni si spiegano con questo modello: circa il 60% per la stazione di Pizzillo e il 35% per quella craterica. Rimangono comunque evidenti anomalie in entrambe le stazioni, particolarmente in alcuni periodi, che lasciano intravedere una possibile connessione con il sistema di degassamento profondo. Nel secondo anno di attività queste anomalie saranno confrontate con i dati sismici e di osservazione diretta dell'attiva esplosiva dello Stromboli.

Un'altra interessante applicazione è la sperimentazione, in corso a Pizzillo, di due tecniche addizionali per il monitoraggio del flusso di CO₂: la concentrazione di CO₂ viene misurata, in continuo, a quattro differenti profondità nel suolo, insieme alla concentrazione dinamica di CO₂ misurata a 50 cm di profondità. Il gradiente di concentrazione della CO₂ verrà utilizzato per stimare la componente diffusiva del flusso sulla base dei valori di permeabilità e porosità misurati sperimentalmente su una carota prelevata in situ. Si sta esplorando la possibilità di utilizzare una strumentazione capace di misurare gradienti di pressione molto piccoli, allo scopo di valutare anche la componente viscosa del flusso. La disponibilità di un set di dati continui sul flusso di CO₂ ottenuti con i metodi della camera di accumulo e della concentrazione dinamica, insieme con i più rilevanti parametri ambientali consentirà, per la prima volta, un confronto sistematico tra i due metodi di misura.

PRODOTTI DELLA RICERCA

n°3 comunicazioni a congressi

ELENCO PUBBLICAZIONI

- M. L. Carapezza and S. Inguaggiato (2001). Interaction between thermal waters and CO₂-rich fluids at Stromboli volcano (Italy). Proc. WRI-10 (R. Cidu ed.) Rotterdam, Balkema.
- M. L. Carapezza and S. Inguaggiato (2001). Continuous and automatic geochemical monitoring at the Stromboli natural laboratory (Aeolian Islands, Italy). Geophys. Res. Abstract, EGS 26th General Assembly, Nice, March 2001.
- M. L. Carapezza and S. Inguaggiato (2001). Search of possible geochemical precursors of major explosions of Stromboli. GNV Stromboli project annual meeting (abstract and oral presentation).

TASK5 - Storia eruttiva

UR PARTECIPANTI: UR1, UR2

OBIETTIVI I ANNO

Ricostruzione della storia eruttiva con tecniche tefrostratigrafiche, datazioni radiometriche e caratterizzazione chimica, mineralogica e del contenuto in volatili dei depositi recenti, post-5.000 yr BP, del vulcano.

RISULTATI I ANNO

Sono state eseguite indagini stratigrafiche sui depositi piroclastici recenti del vulcano, mediante scavo di trincee e osservazioni di campo sia nella zona di Punta Lena (UR Rosi), sia sui fianchi del cono (UR Pompilio). Le trincee stratigrafiche nelle zone distali pianeggianti di Scari /Punta Lena/S. Vincenzo, hanno consentito il riconoscimento di sottili livelli di tefra composti da cenere e lapilli pomicei riconducibili a eventi parossistici dello Stromboli attuale di età compresa tra il III-VII secolo e l'attuale. In due trincee è stato inoltre riconosciuto, poco al disotto dei tefra dello Stromboli attuale, un livello millimetrico composto di cenere e piccole pomice afiriche, di composizione chimica identica a quella del M. Pilato di Lipari. La correlazione pone l'inizio dell'attività attuale dello Stromboli in epoca medievale dopo il secolo VII d.C. Una trincea scavata a monte di S. Vincenzo, ha attraversato due strati archeologici datati all'Età del Bronzo Antico (2000-1500 a.C.) e alla fine del Neolitico (3500-3000 a.C.). Poco al di sotto dello strato archeologico più antico sono stati rinvenuti carboni che hanno dato età calibrate di 2630-2470, 3330-2900, e 2900-2620 a.C. Le età radiometriche sono in ottimo accordo con quelle archeologiche. Poiché i carboni si collocano immediatamente a tetto di ceneri pedogenizzate delle Secche di Lazzaro, le datazioni danno un'età minima all'unità eruttiva delle Secche di Lazzaro. Sui versanti del vulcano e nella parte sommitale, sono state eseguite oltre 40 sezioni stratigrafiche. Lungo i bordi della Sciara si riconoscono depositi di scorie agglutinate che, localmente danno origine a pseudocolate. Altrove sono stati identificati depositi di caduta di (pomice e scorie) e di flusso caldi (hot avalanches). In gran parte dei campioni raccolti e studiati sono presenti le due componenti (povera e ricca in cristalli) che caratterizzano i prodotti dell'attività attuale del vulcano. Datazioni radiometriche preliminari indicano una età convenzionale di 240 ± 40 anni per la successione più alta. Data la vicinanza delle tematiche affrontate le UR Rosi e Pompilio hanno convenuto di unire gli sforzi per pervenire nel secondo anno ad un'unica ricostruzione degli eventi esplosivi maggiori avvenuti nel periodo VII-VIII secolo d.C. - attuale.

PRODOTTI DELLA RICERCA

n°1 pubblicazioni su riviste internazionali

ELENCO PUBBLICAZIONI

Rosi, M., Bertagnini, A. Landi, P. (2000) Onset of the persistent activity at Stromboli volcano (Italy). *Bull. Volcanol.*, 62, 294-300.

TASK 6 - Xenoliti

UR PARTECIPANTI: UR8, UR3

OBIETTIVI I ANNO

Studio petrografico di noduli campionati in varie unità eruttive e delle inclusioni fluide al loro interno.

RISULTATI I ANNO

Tra i noduli studiati provenienti dalle sei unità eruttive di Stromboli, solo i noduli di quarzo contengono inclusioni fluide studiabili.

La ricerca è consistita prevalentemente nello studio delle inclusioni fluide presenti nei noduli di quarzo inclusi nelle lave calcocaline di Strombolicchio e di Paleostromboli II.

I noduli studiati sono costituiti prevalentemente da cristalli di quarzo e subordinati piccoli minerali interstiziali quali plagioclasti, clinopirosseni, K-feldspati, biotiti e quarzo unitamente a del vetro silicatico interstiziale. Alcuni noduli mostrano una ben preservata struttura originaria mentre la maggior parte risulta aver subito un esteso processo di fusione ed un successivo processo di ricristallizzazione ad alta temperatura.

Nei cristalli di quarzo sono state identificate quattro principali categorie di inclusioni fluide distinte sulla base di relazioni tessiturali e sulla base del tipo di fluido contenuto.

Le inclusioni denominate di Tipo I contengono CO₂ in fase liquida+vapore. Si rinvencono isolate o in piccoli gruppi entro gli originari cristalli di quarzo e pertanto possono essere considerate primarie sebbene abbiano subito un processo di riequilibrio successivo al loro incorporamento nella lava ospite.

Le inclusioni di Tipo II risultano monofasiche a temperatura ambiente e contengono CO₂ in fase vapore. Sono le inclusioni più comuni e si rinvencono lungo allineamenti intercristallini. Su basi tessiturali possono venir suddivise in tre sottotipi. La loro origine appare secondaria e successiva ad un processo di decrepitazione delle inclusioni primarie/riequilibrate di Tipo I.

Le inclusioni di Tipo III sono bifasiche, contengono vetro silicatico e CO₂ in fase vapore e sono prevalentemente associate alle inclusioni di Tipo II.

Le inclusioni di tipo IV sono inclusioni bifasiche acquose di chiara origine secondaria disposte lungo piani di frattura ed allineamenti con un evidente aspetto "immaturo".

Le analisi microtermometriche sono state condotte mediante tavolino scaldante/raffreddante sulle inclusioni di Tipo I e II. Il fluido contenuto in entrambi i tipi è supposto essere CO₂ puro in quanto i dati microtermometrici sono molto prossimi alla temperatura del punto triplo per la CO₂ pura.

I dati microtermometrici sulle temperature di omogeneizzazione indicano che le inclusioni di Tipo I omogeneizzano in fase liquida o in condizioni critiche in un intervallo compreso tra 21 e 31 °C con un picco di frequenza a 29-30 °C. Le inclusioni di Tipo II invece omogeneizzano in fase vapore mostrando una distribuzione continua compresa tra 13.5 e 23 °C con un picco di frequenza a 28-29 °C. In generale, non si osservano variazioni nella distribuzione delle temperature di omogeneizzazione tra i campioni di Strombolicchio e quelli di Paleostromboli II.

Nota la composizione del fluido, la temperatura di omogeneizzazione ed i meccanismi di omogeneizzazione può essere calcolata la densità del fluido contenuto. Applicando l'equazione di stato dei gas reali al microsistema inclusioni a due sole variabili (P e T) è possibile ricavare la curva isocora che esprime le condizioni P-T della fase fluida. (Nella presente ricerca è stata utilizzata l'equazione di Kerrick e Jacob per il sistemi a CO₂ pura).

I dati di densità ed i relativi dati di pressione, ottenuti dai due picchi di frequenza delle inclusioni di Tipo I e Tipo II, suggeriscono due fasi di stazionamento del magma a pressioni rispettivamente di circa 2.5-2.6 kbar e 0.8 kbar.

- Acquisizione dati

- due campagne di terreno a Stromboli (campionatura) per ampliare il "range" composizionale degli inclusi magmatici e degli xenoliti cristallini del basamento in corso di studio. La campionatura è stata focalizzata sia sui prodotti del Paleostromboli che sugli eiectiones dell'attività parossistica attuale ("eruzioni maggiori");
- studi petrografici in sezione sottile dei campioni;
- analisi al SEM e in microsonda elettronica delle principali fasi minerali e dei vetri silicatici interstiziali presenti negli xenoliti;
- studi preliminari al TEM;
- studi sulle inclusioni fluide e vetrose presenti negli xenoliti;
- analisi degli elementi maggiori e in tracce in ICP-OES-MS (Actlabs, Canada) su roccia totale degli xenoliti più rappresentativi;
- analisi isotopiche (TIMS) di Sr, Nd e Pb su campioni selezionati (Copenhagen);
- partecipazioni a congressi nazionali e internazionali e al meeting annuale del Progetto.

- Interpretazione dei dati

Per quanto riguarda la caratterizzazione dei liquidi di fusione parziale della crosta continentale di Stromboli (Renzulli et al., 2000a, b) è stato portato a termine e pubblicato sul Bulletin of Volcanology uno studio sull'origine dei liquidi silicatici ad elevati contenuti di silice presenti in alcuni xenoliti (Renzulli et al., 2001a).

Tra gli eiectiones delle eruzioni attuali più violente (rispetto alle normali esplosioni del vulcano), sono stati recentemente scoperti e campionati xenoliti vetrosi ("buchiti") ricoperti o non da un sottile "film" (millimetrico) di scoria basaltica giovanile. Le "buchiti" *stricto sensu* sono rocce prevalentemente vetrose che si formano per fusione parziale di rocce ricche in Al (protoliti pelitici o arenacei), tipicamente indotte da intrusioni di magmi. Diversi campioni di queste buchiti probabilmente emessi durante alcune delle eruzioni "parossistiche" attuali e recenti di Stromboli (1930? 1944?) sono attualmente oggetto di un approfondito studio petrologico (Salvioli et al., 2001a). Questo tipo di xenoliti rappresentano uno strumento ideale per la caratterizzazione geochimica dei liquidi che si formano "oggi" per fusione parziale "in-situ" del basamento cristallino del vulcano e per lo studio dei processi di contaminazione dei magmi basaltici dell'attività attuale del vulcano.

La mineralogia modale (mullite, sillimanite, spinello ercinitico, cordierite, corindone ± quarzo) ed il vetro ricco in Al delle buchiti di Stromboli sono a favore di una loro origine per fusione parziale sia di sedimenti di tipo pelitico che di arenarie. Lo studio al SEM di queste rocce ha messo in evidenza variazioni composizionali dei vetri anatettici ben correlate con quelle mostrate dalle fasi minerali coesistenti. Stime geotermobarometriche preliminari indicano che la fusione parziale delle rocce sorgenti che hanno prodotto le buchiti è avvenuta *in situ*, nella crosta continentale di Stromboli ad una temperatura di 700-850° C ed una pressione di 2-3 kbars. I dati per ora raccolti suggeriscono una rapida risalita dei liquidi anatettici "buchitici" all'interno del sistema magmatico attuale del vulcano.

Durante il primo anno di attività sono stati selezionati per uno studio petrologico anche xenoliti di quarziti feldspatiche e di hornfelses, caratterizzati da una mineralogia modale e da una tessitura che forniscono importanti informazioni sulle relazioni spazio-temporali dei processi di fusione parziale nella crosta continentale e la risalita in superficie di questi xenoliti (Renzulli et al., 2001b, c). In particolare, l'insieme delle microstrutture presenti nelle quarziti feldspatiche indicano un raffreddamento relativamente lento dei liquidi ibridi prodotti. I processi di fusione parziale che hanno interessato queste rocce sono perciò avvenuti *in situ* e

non sono legati alla storia degli xenoliti durante il loro trasporto in superficie da parte del magma. L'associazione di minerali presenti negli hornfelses (cordierite, Na-K-Ca feldspato, sillimanite, corindone) indicano un metamorfismo di contatto di alto grado su rocce pelitiche, in cui si sono raggiunte le condizioni di incipiente fusione parziale. Le composizioni dei feldspati a Na-K-Ca suggeriscono temperature di circa 850°C, mentre una pressione di formazione di 2-4 kbars può essere estrapolata da comuni griglie petrogenetiche delle rocce metapelitiche. Da indagini preliminari al TEM (Renzulli et al., 2001b), i feldspati di alta temperatura che caratterizzano questi hornfelses non sono interessati da processi di riordino strutturale e/o smescolamenti di tipo peritico/criptoperitico. Per questo motivo è ipotizzabile che la storia sub-solidus (lento raffreddamento) di questi xenoliti sia stata preclusa da una loro risalita in superficie subito dopo il raggiungimento della facies di alto grado metamorfico. Sono state ultimate le indagini sulle inclusioni vetrose e fluide presenti in alcuni inclusi gabbroidi campionati nella sequenza piroclastica della Petrazza allo scopo di definire la temperatura di cristallizzazione delle fasi e la composizione dei fluidi circolanti. Le indagini microtermometriche e spettrometriche hanno rivelato la presenza di CO₂ e S come importanti componenti della fase fluida. H₂O, non riscontrata nelle inclusioni fluide, rimane dissolta nel magma, in quantità anche significative, come dimostrato anche dalle composizioni dei plagioclasti (Salvioli et al., 2001b, c).

Infine è in corso di studio una indagine su noduli cumulitici a granulometria medio-fine, rappresentati da rocce gabbroidi deformate contenenti quantità variabili di materiale interstiziale (vetro e/o vetro + minerali "quenched"). Le relazioni composizionali tra i minerali e le microstrutture di queste rocce indicano una transizione graduale tra i differenti tipi di "fabric" riconosciuti, in stretta relazione con gli incrementi dei tassi di deformazione. I primi risultati di questo studio suggeriscono che lo sviluppo di foliazioni in rocce gabbroidi sub-vulcaniche è controllato da un insieme di condizioni chimico-fisiche comprese tra i due end-members rappresentati dalle deformazioni di flusso "sub-magmatiche" e le deformazioni plastiche relative a processi di ricristallizzazione sub-solidus (Mattioli et al., 2001a, b).

PRODOTTI DELLA RICERCA

n°1 pubblicazione su rivista internazionale

ELENCO PUBBLICAZIONI

Renzulli A., Serri G., Santi P., Mattioli M., Holm P.M. (2001a) - Origin of high-silica liquids at Stromboli volcano (Aeolian Islands, Italy) inferred from crustal xenoliths. Bull. Volcanol., 62, 400-419.

ERUZIONI ESPLOSIVE DI VULCANI ATTIVI ITALIANI - SCENARI ERUTTIVI, CARTE DI PERICOLOSITA' E DI RISCHIO: VESUVIO, VULCANO E LIPARI

Coordinatore scientifico del progetto

Roberto Santacroce - prof. ord. Vulcanologia
Dip. Scienze della Terra - Universita' di Pisa

Partecipanti al progetto

UR	Affiliazione	Responsabile
1	Dip. Scienze della Terra, Universita' della Calabria	Rosanna De Rosa
2	Dip. Geomineralogico Universita' di Bari	Luigi La Volpe
3	Dip. Scienze della Terra, Universita' di Pisa	Roberto Mazzuoli
4	Centro di Studio di Geologia Strutturale e Dinamica, Pisa	Maria Teresa Pareschi
5	Dip. Scienze della Terra, Universita' di Perugia.	Angelo Peccerillo
6	Dip. Scienze della Terra, Universita' di Pisa.	Alessandro Sbrana
7	CRSCM-CNRS, Orleans	Bruno Scaillet

OBIETTIVI GENERALI

L'obiettivo finale e' quello di ricostruire gli scenari eruttivi, in termini di fenomeni esterni e cause interne dei medesimi, di alcune eruzioni esplosive di magnitudo media e medio-piccola (V.E.I. = 3-5) verificatesi nel passato recente (<10.000 anni) al Vesuvio (eruzioni AP2 e AP3, 472 d.C., 512 d.C, 1631), a Vulcano (eruzioni di Commende del VI°sec d.C., di "Pietre Cotte" e del 1888-1890) e verificatesi a Lipari negli ultimi 20.000 anni. I risultati della ricerca dovrebbero permettere di coprire la variabilita' dello spettro fenomenologico degli eventi attesi a medio-breve periodo per i vulcani studiati. I diversi scenari ricostruiti per i diversi vulcani costituiranno la base per la verifica ed il miglioramento dei modelli di funzionamento esistenti (Vesuvio e Vulcano) o prodotti nel corso della ricerca (Lipari) e per la produzione (Lipari) o l'aggiornamento (Vesuvio e Vulcano) delle carte di zonazione della pericolosita' Tali carte verranno inserite in Sistemi Informatici Territoriali, aggiornati o costruiti nell'ambito della ricerca, permettendo il passaggio a carte preliminari di zonazione del rischio.

Il progetto si sviluppa attraverso ricerche a carattere tematico raggruppabili in tre task principali:

1. Sistemi di alimentazione
2. Dinamica eruttiva e meccanismi di trasporto e di messa in posto
3. Zonazione della pericolosita' e del rischio

Nel complesso i risultati del primo anno di lavoro devono essere considerati molto lusinghieri e positivi, con tutti i principali obiettivi prefissati raggiunti o vicini ad esserlo. Nella realta' delle cose questo sarebbe tanto piu' vero in quanto la disponibilita' di finanziamenti e' iniziata tra novembre e gennaio e, di conseguenza, questa relazione e' relativa a non piu' di 6-7 mesi di spesa. E' pero' ovvio, soprattutto per alcune UR, che l'abbondanza dei risultati conseguiti e dei lavori pubblicati riflette un'attivita' gia' in corso al momento dell'approvazione del progetto.

TASK 1 - Sistemi di alimentazione

UR PARTECIPANTI: UR 5, UR6, UR7

OBIETTIVI I ANNO

- a) Avanzamenti nella conoscenza delle condizioni P-T di cristallizzazione del sistema di alimentazione del Vesuvio
- b) Avanzamenti nella conoscenza delle condizioni P-T di cristallizzazione ed evoluzione nei sistemi di alimentazione di La Fossa e Vulcanello
- c) Ricostruzione dei processi di evoluzione e delle condizioni di cristallizzazione dei magmi di Vulcano e Lipari (e delle Eolie in generale) attraverso indagini petrologiche e geochimiche sui prodotti juvenili e sugli inclusi

RISULTATI I ANNO

- Sviluppi metodologici

In collaborazione tra le UR 6 e 7 si stanno sviluppando metodologie analitiche in spettrometria FTIR per la determinazione delle specie volatili (H₂O e CO₂) in inclusioni silicatiche attraverso attività coordinate interlaboratorio. Sono stati sintetizzati vetri fonolitici standard a tenore noto nelle specie volatili sopra dette. I vetri standard sono stati utilizzati per la determinazione dei coefficienti di assorbimento e sono in corso le misure FTIR degli stessi standard. E' in fase di pre-installazione a Siena un tavolino riscaldante Vernadsky.

- Acquisizione dati

Vesuvio - Nelle inclusioni silicatiche (MI) di olivine forsteritiche nei prodotti piroclastici delle eruzioni del 1794, 1822 e 1872 del Vesuvio e' stata riconosciuta la presenza di fusi tefritici intrappolati in condizioni di medio-alta pressione in condizioni analoghe a quelle ottenute per le eruzioni del 1944 e del 1906. Sono proseguite le ricerche sulla interazione tra magmi e rocce incassanti per i diversi tipi di camere magmatiche vesuviane. (UR 6-7). Sono proseguiti gli studi sull'attivita' del periodo medievale. Sono stati studiati i prodotti delle eruzioni stromboliane dell'VIII secolo, caratterizzate dalla emissione dei magmi meno evoluti del periodo. Sono stati raccolti dati microanalitici (EDS e FTIR) su masse di fondo, fasi minerali ed inclusioni silicatiche in pirosseni (UR6). Sono stati condotti esperimenti a 100-200 Mpa, 800-900°C e fO₂ tra NNO-NNO+1 (membrane a H₂), su vetri ottenuti dalla fusione delle pomice fonolitiche vesuviane a contenuto variabile in acqua. Gli esperimenti sono stati capaci di riprodurre tutte le fasi mineralogiche presenti nelle fonoliti (UR7).

Vulcano e Isole Eolie - E' stato completata la raccolta dati (mineralogici, geochimici, isotopici e delle inclusioni silicatiche e fluide) relativa alla ricostruzione del funzionamento del sistema di alimentazione di La Fossa (UR 6-7). E' stato completato lo studio delle patine di alterazione (UR 6). Sono stati eseguiti gli studi sulle inclusioni fluide e vetrose contenute negli xenoliti quarzosi delle isole di Vulcano, Filicudi, Alicudi e Salina (UR5).

- Interpretazione e modellistica

Vesuvio - E' stata ottenuta conferma che magmi profondi hanno alimentato serbatoi magmatici superficiali per l'intero periodo 1631-1944. Sono stati ricostruiti i processi di interazione tra magmi vesuviani di diversa temperatura e composizione e rocce carbonatiche portando significativi contributi alla comprensione della genesi delle rocce di skarn. I dati raccolti per le eruzioni medievali suggeriscono la presenza di processi di degassamento preruttivo a sistema aperto in risalita e una importante cristallizzazione sineruttiva per decompressione (UR 6). Le relazioni sperimentali di fase a 200 MPa mostrano andamenti

sistematici e consistenti. Il risultato più significativo riguarda la non stabilità dell'anfibolo a temperatura superiore agli 825°C nei fusi fonolitici (eruzioni di Mercato, Avellino e Pompei) qualunque sia il loro contenuto in acqua. La temperatura pre-eruttiva delle fonoliti (per P intorno a 200 Mpa) deve quindi essere stata < 825°C (UR7). Lo studio delle MI dei prodotti femici del Vesuvio ha confermato il coinvolgimento di magma profondo, risalito rapidamente e mescolatosi con magma residente. Tale processo appare, come già ipotizzato, ripetitivo e ciclico. Esso può essere riconosciuto solo attraverso lo studio delle MI (UR 6-7). È stato sviluppato un modello numerico per l'evoluzione termica e composizionale della camera magmatica al Vesuvio per i periodi 1874/1906 e 1944 attuale, ottenendo le caratteristiche fondamentali reologiche del magma nella camera. Inoltre, uno studio numerico su tre secoli di evoluzione termica della camera e della roccia incassante è stato focalizzato sulle caratteristiche dell'anomalia termica attorno al reservoir vesuviano. Il modello utilizza dati di partenza geologici derivanti dagli studi precedentemente descritti (UR6).

Vulcano e Isole Eolie - La distribuzione bimodale delle densità dei fluidi intrappolati nei cristalli di quarzo degli xenoliti di Vulcano indica chiaramente che esistono due distinti livelli di intrappolamento posti a diverse profondità. Se tali livelli rappresentano camere magmatiche, viene confermata l'ipotesi basata su dati geochemici di una evoluzione polibarcica dei magmi di Vulcano. I dati cristallografici relativi ai clinopirosseni provenienti da rocce mafiche di composizione analoga di vari apparati eoliani hanno mostrato forti variazioni che indicano una cristallizzazione a varie pressioni. Tali variazioni sono fortemente correlate con il tempo e la posizione dei vulcani indicando una risalita delle camere magmatiche verso livelli più superficiali procedendo dagli apparati più antichi a quelli più recenti e dai vulcani della parte occidentale a quelli centrali e orientali dell'arco (UR5)

TASK 2 - Dinamica eruttiva e meccanismi di trasporto e di messa in posto

UR PARTECIPANTI: UR1, UR2, UR3, UR6

OBIETTIVI I ANNO

- Definizione degli schemi interpretativi da usare per la categorizzazione dei depositi di flusso, in funzione dei caratteri strutturali e tessiturali e dei risultati delle indagini di laboratorio.
- Vesuvio: avanzamenti nella definizione degli scenari di eruzioni subpliniane; studio tessiturale e composizionale dei depositi di caduta riferiti a eruzioni di diversa energia rappresentative della variabilità eruttiva del vulcano.
- Vulcano: avanzamenti nella definizione degli scenari di eruzioni vulcaniane;
- Lipari: avanzamenti nella definizione della dinamica eruttiva dei magmi riolitici recenti di Lipari;

RISULTATI I ANNO

- Sviluppi metodologici
- È stato elaborato un metodo fisico-sedimentologico che, dai caratteri strutturali e tessiturali dei depositi, consente di ricavare la velocità e la densità dei flussi piroclastici diluiti e turbolenti (surge). Esso (brevemente discusso nella relazione dell'UR 2) può essere direttamente utilizzato per il calcolo della pressione dinamica, e quindi per definire in modo quantitativo la pericolosità dei flussi piroclastici turbolenti e diluiti.

Attraverso analisi di immagini è stato costruito un diagramma classificativo binario basato sul prodotto fra circolarità e allungamento e sul prodotto fra rettangolarità e compattezza, che rende possibile la discriminazione fra clasti dovuti a frammentazione fragile e clasti dovuti a frammentazione duttile. E' stato messo a punto un metodo per il calcolo della dimensione frattale e per l'elaborazione statistica elementare e multivariata dei risultati dell'analisi frattale (UR 2).

- Acquisizione dati

Vesuvio – Sono state intraprese campagne di terreno comuni (UR 1-2-6) per lo studio di dettaglio della stratigrafia e delle facies dei depositi delle eruzioni AP2 e del 472.

Vulcano – E' stata completata la raccolta dati relativa ai depositi della eruzione della Breccia di Commenda. E' stato condotto uno studio al SEM sui caratteri delle particelle di cenere dei depositi dell'eruzione 1888-1890 affioranti sull'orlo del cratere di La Fossa, con lo scopo di definire: i) i processi di frammentazione e quindi migliorare la ricostruzione dei processi eruttivi ii) contribuire all'aggiornamento dello scenario eruttivo. E' stata inoltre condotta una campagna per il campionamento di strati da surge di tutte le successioni stratigrafiche del cono di La Fossa, mirata agli studi sperimentali sui processi di devetrificazione e di trasformazione sin e posteruttiva del vetro vulcanico per definire il tipo di fluidi con cui il magma ha interagito durante i processi freatomagmatici e risalire alla temperatura di messa in posto dei flussi.

Lipari - stratigrafia di dettaglio dei prodotti piu' recenti e studi tettonico-strutturali (UR3); dati preliminari sulla temperatura, il contenuto in volatili pre-eruttivo e la profondità di stazionamento del magma riolitico di Monte Guardia (UR1)

- Interpretazione e modellistica

Vesuvio - Per quanto la ricostruzione stratigrafica sia ancora preliminare viene confermato che l'eruzione di Pollena e' stata caratterizzata da una fase iniziale con dinamiche prevalentemente da caduta e frammentazione magmatica ed una fase successiva con dinamiche prevalentemente da surge e frammentazione freatomagmatica (UR2). I caratteri strutturali e tessiturali dei depositi da surge fanno prevedere che nel prosieguo del progetto sarà possibile applicare il modello fisico-sedimentologico, illustrato nella sezione sugli sviluppi metodologici, per ricostruire la velocità e la densità dei flussi. I dati preliminari sembrano indicare che per le eruzioni di tipo pliniano e sub-pliniano i parametri composizionali della frazione cineritica, non variano significativamente con la distanza dal centro di emissione (UR1).

Vulcano – E' in stesura una nota scientifica dedicata alla ricostruzione dello scenario e dei meccanismi eruttivi dell'eruzione della Breccia di Commenda nella quale il "motore" prevalente della eruzione è rappresentato dal sistema idrotermale acido di La Fossa (UR6). I risultati delle indagini sulle ceneri dell'eruzione 1888-1890 hanno permesso di chiarire che le dinamiche di frammentazione siano da legare prevalentemente a processi di interazione magma/acqua. L'eruzione del 1880-1890 non deve essere considerata come una tipologia eruttiva a se stante: essa, piu' semplicemente, è caratterizzata da esplosioni freatomagmatiche di magnitudo molto più piccola che nelle eruzioni precedenti di La Fossa (UR2).

Lipari - lo studio di dettaglio dell'eruzione del Monte Guardia (ca 22 ka) ha messo in evidenza che l'efficienza dell'interazione magma-acqua è aumentata nel corso dell'eruzione. La componente juvenile della sequenza piroclastica mostra evidenze del mescolamento del magma riolitico con uno più basico. Sono state determinate le proporzioni del mescolamento, i processi di mingling e mixing e le ricadute di questi sulle dinamiche eruttive (UR1-3).

TASK 3 - Zonazione della pericolosità e del rischio

UR PARTECIPANTI: UR4, UR6

OBIETTIVI I ANNO

Vesuvio – Avanzamenti nella valutazione della pericolosità legata allo scorrimento delle colate di fango: indagini geologiche e geomorfologiche sulle zone sorgenti delle colate di fango; mappe preliminari di propensione al dissesto; indagini sui debris flows sineruttivi in Appennino.

Affinamento delle carte di pericolosità relative alla caduta di piroclastiti al Vesuvio

RISULTATI I ANNO

- Sviluppi metodologici

Vesuvio - E' iniziata la ricostruzione 3D dei fan di dispersione dei flussi piroclastici nel settore nord orientale del Somma e la messa a punto di tecniche di rappresentazione 3D su programmi dedicati (UR6). E' in corso lo studio sugli effetti dello scorrimento di debris flows in aree abitate (Episcopio), per valutare i danni indotti dall'impatto di questi flussi sulle strutture. Sono in elaborazione tabelle preliminari che mettono in correlazione i danni (distruzione totale, danneggiamento parziale, ecc) con opportuni valori delle forze di impatto (idrostatica, dinamica a collisionale – dovuta ai grossi oggetti trasportati).

- Acquisizione dati

Vesuvio - Sono stati raccolti dati geologici, geotecnici e sedimentologici sui depositi di lahar presenti sulle pendici del Somma-Vesuvio e sui debris flows sineruttivi presenti sui contrafforti appenninici: oltre 40 sezioni sono state studiate in dettaglio (UR4).

- Interpretazione e modellistica

Vesuvio - E' stata completata l'elaborazione dei dati relativi ai depositi di caduta di 24 eruzioni esplosive post 20ka e sono state approntate carte tematiche di pericolosità probabilistiche attraverso l'integrazione di dati geologici e di modellistica fisica (UR6). Le analisi di facies hanno portato alla distinzione di due principali tipi di depositi vulcanoclastici (lahar): sineruttivi, quelli originati durante e/o immediatamente dopo un'eruzione (essenzialmente caratterizzati dalla omogeneità litologica del materiale vulcanico rimosso, appartenente spesso per più del 90% all'eruzione alle cui spese si è avuta l'erosione) e intereruttivi, originatesi in periodi di prolungata stasi eruttiva o comunque a distanza di tempo dall'ultimo evento eruttivo (molto più eterogenei); è stata effettuata la suddivisione, su basi morfologiche e stratigrafiche, tra aree sorgenti ed aree inondabili per debris flows sineruttivi. Per quanto riguarda l'aspetto relativo agli alluvionamenti (flussi diluiti) sono state effettuate delle simulazioni con un modello bidimensionale che dà informazioni sulle grandezze idrauliche integrate sulla profondità di flusso; l'evento massimo di riferimento si è ricavata dalle misurazioni storiche (150 mm). (UR4).

PRODOTTI DELLA RICERCA

- n° 18 pubblicazioni stampate (10) o in stampa su riviste internazionali
- n° 1 pubblicazione su Atti di Congressi Internazionali
- n° 1 pubblicazione su Riviste Nazionali
- n° 14 lavori terminati e sottoposti per la stampa
- n° 20 presentazioni a convegni

ELENCO PUBBLICAZIONI

1. lavori pubblicati

- Ambrosio M., Dellomonaco G., Fagioli M.T., Giannini F., Pareschi M.T., Pignatelli L., Rosi M., Santacroce R., Sulpizio R., Zanchetta G. (2000): Utilizzo di fioretto meccanico e carotiere microstratigrafico inguainante per la valutazione degli spessori e della stratigrafia delle coltri vulcanoclastiche soggette a fenomeni di colata rapida di fango, *Geologia Tecnica e Ambientale*, , 23-32.
- Cioni R., Gurioli L., Sbrana A., Vougioukalakis G. (2000). Precursory phenomena and destructive events related to the 1628 BC Minoan (Thera, Greece) and AD 79 (Vesuvius, Italy) plinian eruptions. Inferences from the stratigraphy in the archaeological areas. *Royal Geol. Soc. of London, Spec. Publ.* 171, 123-141.
- DE ASTIS G., PECCERILLO A., KEMPTON P. D., LA VOLPE L., WU T.W. (2000) Transition from calcalkaline to potassium-rich magmatism in subduction environments: geochemical and Sr, Nd, Pb isotopic constraints from the Island of Vulcano (Aeolian arc). *Contrib. Mineral. Petrol.*, 139, 684-703.
- Dellino P, La Volpe L (2000) Structures and grain size distribution in surge deposits as a tool for modelling the dynamics of dilute pyroclastic density currents at La Fossa di Vulcano (Aeolian Islands, Italy). *J Volcanol Geoth Res* 96: 57-78
- Fulignati P., Marianelli P. and Sbrana A. (2000): The feeding system of 1944 eruption of Vesuvius: data from mafic nodules. *Neues Jahrbuch fur Mineralogie, Monatshefte* 419-432.
- Fulignati P., Marianelli P., Santacroce R. and Sbrana A. (2000) The skarn shell of the 1944 Vesuvius magma chamber. genesis and P-T-X conditions from melt and fluid inclusion data. *Eur. Journ. Mineralogy*, 12 , 1025-1039.
- Fulignati P., Marianelli P., Sbrana A. (2000): Glass-bearing fergusonites from the rigid crust of the 1944 Vesuvius magma chamber. *Mineral. Mag.* 64:263-278.
- NAZZARENI S., MOLIN M., PECCERILLO A., ZANAZZI P.F.(2001) Volcanological implications of crystal chemical variations in clinopyroxenes from the Aeolian arc (Southern Tyrrhenian Sea, Italy). *Bull. Volcanol.*,
- Pareschi M.T., GIS tecnology for Volcanic risk management and mitigation, NATO Advanced Research Workshop, GIS for Emergency Preparedness and Health Risk Reduction, Budapest, 22nd-25th April 2001, pag. 32
- Pareschi M.T., Favalli M., Giannini F., Sulpizio R., Zanchetta G., Santacroce R. (2000): May 5, 1998, debris flows in circumvesuvian area (southern Italy): Insight for hazard assessment. *Geology* 28 (7), 639-642.
- Zanchetta G., Di Vito A., Fallick A.E., Sulpizio R. 2000 - Stable isotopes of pedogenic carbonate from Somma-Vesuvius area, southern Italy, over the last 18 ka: palaeoclimatic implications. *Journal of Quaternary Science*, 15(8), 813-824.
- Sulpizio R., Di Vito M., Zanchetta G. 2000 - Landscape response to the deposition of airfall pyroclastics from large explosive eruptions: an example from the Campanian area (Southern Italy). *Phys. Chem. Earth*, 25(9-11), 759-762.

2. lavori in stampa

- Del Moro., Fulignati P., Marianelli P., Sbrana A. (2001). Magma-carbonate wall rocks exchanges in the shallow magma chamber of the 1944 eruption of Vesuvius. *Journ. Volcan. Geoth. Res.* In press
- Dellino, P., Isaia, R., La Volpe, L., Orsi, G. (2001) Statistical Analysis Of Textural Data From Complex Pyroclastic Sequences: Implications For Fragmentation Processes Of The Agnano - Monte Spina Tephra (4.1 Ka), Phlegraean Fields (Southern Italy). *Bull. Volcanol.* InPress

- Dellino, P., Liotino, G. (2001) The fractal and multifractal dimension of volcanic ash particles contour: a test study on the utility and volcanological relevance. *Jour. Volcanol. Geoth. Res.* In press
- Fulignati P., Kamenetsky V.S., Marianelli P., Sbrana A., Mernagh T.P. (2001). A melt inclusion record of immiscibility between silicate, hydrosaline and carbonate melts: applications to skarn genesis at Mt. Vesuvius. *Geology.* In press
- Mazzarini F., Pareschi M.T., Sbrana A., Favalli M., and Fulignati P. (2001). Surface hydrothermal alteration mapping at Vulcano Island using MIVIS data. *International Journal of Remote Sensing* in press.
- Pareschi M.T., Santacroce R., Sulpizio R., Zanchetta G. (2001): Volcaniclastic debris flows in the Clanio Valley (Campania, Italy): insights for the assessment of hazard potential. *Geomorphology*, in press.
- PECCERILLO A Geochemistry of Quaternary magmatism in central-southern Italy: genesis of primary melts and interaction with crustal rocks. *Geoch. Intern.* In stampa.
- PECCERILLO A. Geochemical similarities between Vesuvius and Stromboli volcanoes: petrogenetic and geodynamic implications. *Mineral. Petrol.*, in stampa.

3. lavori sottoposti per la stampa

- Andronico D, Cioni R. Contrasting styles of Mount Vesuvius activity in the period between the Avellino and Pompeii plinian eruptions, and some implications for assessment of future hazards. *Bull. Volcanol.* Sottoposto
- Bisson M., Cosimi G., Favalli M., Leoni F.M., Mazzarini F., Pareschi MT., Santacroce R., Sgro S., Sulpizio R., Zanchetta G. 2001 A comprehensive database for the assessment of debris flows hazard in two-selected areas of Campania (southern Italy). submitted.
- Büttner, R., Dellino, P., La Volpe, L., Lorenz, V., Zimanowski, B. Thermohydraulic explosions in phreatomagmatic eruptions as evidenced by the comparison between pyroclasts and products from Molten Fuel Coolant Interaction experiments. *Jour. Geoph. Res.* Submitted
- CALANCHI N., PECCERILLO A., ROSSI P.M., TRANNE C., KEMPTON P., BARBIERI M., WU T.W. Compositional variability and dynamics of the upper mantle beneath the Aeolian arc: data from the island of Panarea. Inviato per la pubblicazione.
- Cioni R., Longo A., Macedonio G., Santacroce R., Sbrana A., Sulpizio R., Andronico D. Assessing pyroclastic fall hazard through field data and numerical simulations: the example from Vesuvius. *Journal Geophysical Research* Sottoposto
- De Rosa R. Guillou H. Mazzuoli R. Ventura G.: New K-Ar ages of volcanic rocks from the western and central sector of the Aeolian islands: implications for the evolution of the volcanism. Sottomesso per la stampa
- DE ROSA R., VENTURA G., PECCERILLO A., MAZZUOLI R., BARBIERI M., WU T.W. Magmatic evolution of Salina Island (Aeolian Archipelago, Southern Tyrrhenian Sea). Sottomesso per la pubblicazione.
- Fulignati P., Luperini W., Sbrana A., Greco V. Environmental impact of an acid fumarole plume on a passively degassing volcano (Vulcano island, Italy): I - formation of rock coatings. *Journal Volcanology and Geothermal Research.* Sottoposto.
- Gurioli L, Cioni R, Sbrana A, Zanello E Transport and deposition from pyroclastic flows over a densely inhabited area: the deposits of AD 79 eruption of Vesuvius at Herculaneum (Italy). *Sedimentology.* Sottoposto
- Scaillet, B., Pichavant, M., Cioni, R., Sbrana, A. and Marianelli, P. Phase equilibrium constraints on pre-eruption conditions of Plinian events at Vesuvius. To be submitted for the special issue of *Journal of Geothermal and Volcanological Research* on Vesuvius and Campi Phlegrei.

- Siani G., Sulpizio R., Paterne M. and Sbrana A. Detailed tephrochronology for the last 18000 years in the South Adriatic deep-sea sediments and correlations with terrestrial deposits. Journ. Volcan. Geoth. Res. Sottoposto
- Todesco M., A.Neri, T.Esposti Ongaro, P.Papale, G.Macedonio, R.Santacroce, A.Longo "Pyroclastic flow impact at Vesuvius from numerical modeling. I.Large scale dynamics" J. Geoph. Res. Sottoposto
- Zanchetta G., Leoni F.M, Pareschi M.T., Santacroce R., Sulpizio R., 2001: The destructive power of debris flows: dynamic pressures and structural damages of May, 5-6 1998 event in the Sarno area (Campania, southern Italy). submitted.
- ZANON V., FREZZOTTI M.L., PECCERILLO A. (2001) Magmatic feeding system and crustal magma accumulation beneath Vulcano Island (Italy): evidence from fluid inclusions in quartz xenoliths. Sottomesso per la pubblicazione.

4. Riassunti e presentazioni a Convegni

- Barontini S., S. Cavazza, M.T. Pareschi , G. Zanchetta , Delineation of sin-eruptive floods in circumvesuvian plain, 2001 General Assembly of the EGS, Nice, 26-30 March, 2001.
- Dellino, P. (2000) Phreatomagmatic deposits: fragmentation, transportation and deposition mechanisms. Terra Nostra/6, 99-105. International Maar Conference, August 20-23,2000.
- Dellino, P., Isaia, R., Veneruso, M. (2001). Is "Boundary Layer" A Good Approximation Of Pyroclastic Density Currents At Phlegraean Fields? EGS conference, Nizza, Aprile 2001.
- Dellino, P., Isaia,R., La Volpe, L., Orsi, G. (2001).Contrasting Eruption Dynamics Revealed By The Complex Pyroclastic Sequence Of The Agnano - Monte Spina Eruption (4.1 Ka) At Phlegraean Fields (Southern Italy). EGS General Assembly, Nice, 25-30 March 2001.
- Fulignati P. (2000): Study of the hydrothermal systems related to Italian active volcano magma chambers (Vesuvius and Vulcano): application to volcanology and to the search for geothermal and mineral resources. Plinius, 23, 77-83. Abstract
- Fulignati, P., Kamenetsky, V.S., Marianelli, P., Sbrana, A., Mernagh, T.P. (2001): The 472AD (Pollena eruption) Vesuvius magma chamber: magmatic immiscibility and skarn genesis at the crystallizing margins as evidenced from melt inclusion study. Riassunti III congresso FIST, Chieti 2001. Abstract
- Fulignati, P., Marianelli, P., Santacroce, R., Sbrana, A. (2001): Evolution of Vesuvius magma chamber-wall rock interface as constrained by fluid inclusion studies. Riassunti del EUG XI Strasbourg 8-12 Aprile 2001, 809. Abstract
- Fulignati, P., Marianelli, P., Santacroce, R., Sbrana, A. (2001): The feeding system of 1944 eruption of Vesuvius: P-T-X conditions from melt and fluid inclusion data. Riassunti del EGS XXVI General Assembly, Nice 2001. Abstract
- Fulignati, P., Marianelli, P., Santacroce, R., Sbrana, A. (2001): Melt and fluid inclusion study as a tool for investigating the feeding system of Vesuvius and the evolution of the magma chamber-wall rock interface. Riassunti III congresso FIST, Chieti 2001. Abstract
- Leoni F.M., Pareschi M.T., Santacroce R., Sulpizio R., Zanchetta G, Volcanoclastic debris flows in circumvolcanic areas: the May 5-6 1998, event in the Campanian region, Italy, II International Conference: Cities on Volcanoes, New Zeland, 12-16 February 2001
- Longo A., Macedonio G., Santacroce R. - A numerical model for the thermal evolution of the Vesuvius magma chamber" European Union of Geosciences, EUG XI, Strasburgo, France, 8-12 Aprile 2001. Abstract

- Longo A., Macedonio G., Santacroce R. - Crystals nucleation and growth within a cooling magma chamber" European Geophysical Society, XXVI General Assembly, Nice, France, March 26-30 2001. Abstract
- Longo A., Macedonio G., Santacroce R. - Modelling Vesuvius magma chamber cooling and compositional evolution" European Geophysical Society, XXV General Assembly, Nice, France, Aprile 25-29 2000. Abstract
- Pareschi M.T., M.Rosi, A.Meriggi, GIS and Volcanic Risk Management, abstract accepted for oral presentation at the International conference: Cities on Volcanoes, 12-16 February 2001, New Zealand.
- PECCERILLO A. (2000) Stromboli and Vesuvius: two volcanoes one source. IAVCEI General Assembly, Bali, Indonesia, July 18-22, 2000.
- SANTO A., PECCERILLO A. (2000) Magma evolution at Filicudi, Aeolian arc, Southern Tyrrhenian Sea. IAVCEI General Assembly, Bali, Indonesia, July 18-22, 2000.
- Scaillet, B., Pichavant, M., Cioni, R., Sbrana, A. and Marianelli, P. (2001) Phase equilibrium constraints on pre-eruption conditions of Plinian events at Vesuvius. EGS.
- ZANON V., FREZZOTTI M.L. PECCERILLO A. (2001) Melt and fluid inclusion studies on quartz xenoliths from the Aeolian Islands (Southern Italy): evidence for crustal contamination. EUG, Strasbourg, Aprile 2001.
- ZANON V., FREZZOTTI M.L., PECCERILLO A. (2000) Fluid inclusions in quartz xenoliths in lavas and pyroclastics from Vulcano (Aeolian Islands, Italy): implications for a multi-stage magma ascent. IAVCEI General Assembly, Bali, Indonesia, July 18-22, 2000.
- ZANON V., PECCERILLO A., FREZZOTTI M.L. (2000) Magmatic feeding system and crustal magma accumulation beneath the Island of Vulcano (Aeolian Arc, Italy) as evidenced by fluid inclusions. 31st Internat. Geol. Congress, Rio de Janeiro, Brasile, August 2000.

SCENARI ERUTTIVI DA RICERCHE DI MODELLISTICA FISICA E VULCANOLOGIA SPERIMENTALE

Coordinatore scientifico del progetto

Prof. Raffaello Trigila - Professore ordinario di Vulcanologia.
Dipartimento di Scienze della Terra - Università di Roma, "La Sapienza".

Partecipanti al progetto

UR#	AFFERENZA	RESPONSABILE
01	Dip. di Fisica , Univ. di Bologna	Prof.Michele Dragoni
02	Mars Center, Napoli	Prof.Francesco Gaeta
03	Osserv. Vesuviano-INGV, Napoli	Prof. Giovanni Macedonio
04	CSGSDA-CNR,c/o DST,Univ. Pisa	Dott. Augusto Neri
05	INGV, c/o DST, Univ. di Pisa	Dott. Paolo Papale
06	DST, Università di Camerino	Prof. Michael Carroll
07	DSMP, Università di Torino	Dott. Corrado Cigolini
08	DGV, Univ. Federico II, Napoli	Prof. Benedetto De Vivo
09	DSG, Università di Roma 3	Prof. Daniela Dolfi
10	IGF-INGV, Palermo	Prof. Pasquale M. Nuccio
11	IIV-INGV, Catania	Dott. Massimo Pompilio
12	DST, Univ.di Roma "La Sapienza"	Prof. Raffaello Trigila
13	CNT-INGV, Roma	Prof. Claudio Chiarabba
14	Osserv. Vesuviano-INGV, Napoli	Prof. Giuseppe De Natale
15	BGHRC, Univ.College, London	Prof. Christopher Kilburn
16	DST, Università di Trieste	Prof. Giuliano Panza
17	DST, Università di Firenze	Dott. Maurizio Ripepe

OBIETTIVI GENERALI

Il progetto di ricerca ha come obiettivo primario la costruzione di una base interpretativo-metodologica dei processi vulcanici basata sul legame stretto tra i vincoli legati a risultanze fenomenologiche (i.e.: dell'attività vulcanica, dei suoi precursori e dei suoi prodotti), la modellistica fisica e, ove le prime manchino (i.e.: nel caso delle fenomenologie intratelluriche), la vulcanologia sperimentale.

Integrando la ripartizione usuale della ricerca in questo campo per "aree vulcaniche", il progetto si propone, quindi, di vincolare alcuni principi generali di funzionamento dei vulcani, che possano essere convenientemente utilizzati per la comprensione e la previsione delle fasi eruttive alla formulazione di "scenari", intesi come la rappresentazione di un processo che va dall'instaurarsi dei primi fenomeni precursori fino alle fasi eruttive vere e proprie.

In quest'ambito sono stati identificati alcuni nodi cruciali dalla cui analisi dipende l'attendibilità degli scenari che possono essere proposti per i vulcani studiati. Questi obiettivi, d'importanza centrale e più congeniali per le metodologie d'indagine utilizzate nel Progetto approvato, sono quattro e precisamente: i) il ruolo della componente volatile dei magmi sull'evoluzione dei sistemi pre-eruttivi ed eruttivi, ii) gli effetti dell'interazione fra dinamica del sistema magmatico e struttura vulcanica tramite la simulazione dei parametri osservabili legati alle variazioni dei campi di sforzo, iii) la rappresentazione in modelli numerici e termofluidodinamici dei principi e delle leggi che regolano l'evoluzione dei sistemi magmatici nei serbatoi subvulcanici, la loro salita in superficie nei condotti ed infine i

meccanismi eruttivi veri e propri, iv) la valutazione e la verifica sperimentale di alcuni parametri utilizzati come precursori eruttivi (i.e.: l'andamento della deformazione e della fratturazione di sistemi rocciosi sottoposti a campi di sforzo provocati da fluidi o da fusi magmatici) e di altri considerati di base fra i meccanismi d'innescio delle eruzioni, come è il caso dell'interazione magma-acqua.

ATTIVITA' DI COORDINAMENTO

1. – E' stato attivato il sito web del Progetto per la divulgazione delle informazioni relative al coordinamento del Progetto e la divulgazione dei risultati scientifici. Il sito, la cui struttura ed aggiornamento sono a cura di C.Troise, G.De Natale e G. Macedonio dell'Osservatorio Vesuviano, si può visitare all'indirizzo: www.res.ov.ingv.it/trigila.

2. – Nell'ambito delle Riunioni di Progetto previste nella Proposta è stato organizzato il Workshop di Primo Anno, dal titolo: *“Evaluating magmatic processes by laboratory experiments, physical modeling and field measurements”*. Il workshop si è tenuto a Roma dal 27 al 29 Giugno 2001, presso la Sede dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, a Via di Vigna Murata 605. Si sono iscritti al Workshop ed hanno partecipato ai lavori un centinaio di ricercatori oltre agli invitati stranieri. I contributi di questi ultimi, su temi di ricerca che sono centrali per i Task nei quali è articolato il Progetto, hanno riguardato: i) *Advances in the understanding of crystal-melt partitioning* (Task 1) da parte di B.J. Wood; ii) *Dynamics of magma chambers and caldera collapse* (Task 2 e Task 3) da parte di J. Marti; iii) *Modeling the mechanics of volcanic structures* (Task 2) da parte di F.Cornet; costituendo un punto di riferimento per la formazione e l'aggiornamento degli operatori che fanno capo al Progetto.

Al Workshop hanno partecipato 16 delle 17 U.R. in cui è articolato il Progetto contribuendo con 26 Comunicazioni. I Proceedings, sono stati pubblicati in un volumetto di 144 pagine, distribuito al Workshop e successivamente inviato ai Responsabili interessati dell'INGV, del GNV, del PROCIV e della Commissione di Valutazione del GNV-Framework Program.

TASK 01 - Comportamento chimico-fisico delle specie volatili nei magmi

UR PARTECIPANTI: UR 06, UR 08, UR 09, UR 10, UR 11, UR 12

– responsabile Dr. P.M.Nuccio

OBIETTIVI I ANNO

- Sviluppi metodologici

- Sviluppo di metodologie sperimentali sulla solubilità di He, Ne, N₂ in fusi silicatici contenenti H₂O e CO₂, e di Cl in fusi di composizione fonolitica e trachitica. Sviluppo di una metodologia FTIR a riflettanza diffusa per l'analisi dell'H₂O su vetri finemente vescicolati non analizzabili secondo il metodo classico per trasmissione.

- Acquisizione dati

- Studio nelle vulcaniti del Somma-Vesuvio delle inclusioni silicatiche od anche fluide (per CO₂ + H₂O) con l'analisi degli altri componenti volatili presenti (SO₂, Cl, F) e messa a punto di metodologie sperimentali per la determinazione della solubilità di questi componenti volatili; acquisizione di dati sul contenuto di H₂O e sulla struttura dei vetri delle pomice dell'eruzione del Vesuvio del 79 d.c..
- 3.- Studio del contenuto in H₂O + CO₂ delle inclusioni vetrose di eruzioni dell'Etna a diversa tipologia e chimismo.
- 4.- Studio sperimentale del controllo di H₂O e CO₂ sulle relazioni di fase fino a 500 MPa in sistemi rappresentativi dei magmi dell'Etna e di Stromboli anche al fine di una loro evoluzione di tipo seriale

RISULTATI I ANNO

1. E' stata sviluppata una metodologia originale per la realizzazione di un sistema chiuso multifase contenente nel fuso i volatili maggiori $H_2O + CO_2$ ed un gas inerte in concentrazioni rigorosamente note per potere condurre quei bilanci di massa necessari al calcolo della ripartizione vapore-fuso del gas inerte. Il problema è stato risolto tramite la sintesi ad alta pressione di un vetro silicatico di composizione uguale a quella del campione studiato contenente una quantità misurabile di gas inerte disciolto ed utilizzando frammenti di quel vetro per caricare di una quantità nota di gas inerte il campione studiato. Con tale procedura è stata studiata la solubilità di He in fusi silicatici contenenti $H_2O + CO_2$ ottenuti da campioni di composizione basaltica e riolitica provenienti dall'Is di Vulcano. E' stata anche verificata un'importante dipendenza della suddetta solubilità in funzione delle quantità di CO_2 ma soprattutto di H_2O presenti nel sistema. E' in fase di studio l'estensione del metodo per la determinazione delle solubilità di N_2 , Ne ed Ar e la preparazione di un modello che consenta di calcolare direttamente la solubilità del gas inerte note le variabili intensive di controllo del sistema fra cui $H_2O(m)$ e $CO_2(m)$.

Le ricerche sulla solubilità di Cl in fusi di composizione trachitica e fonolitica si svolgono all'Università di Camerino dove è in fase di installazione un impianto idrotermale a raffreddamento rapido. I risultati finora ottenuti mettono in evidenza la maggiore solubilità del Cl (di un fattore 2) in fusi alcalini evoluti rispetto a fusi riolitici sintetizzati alle stesse condizioni dei primi. Gli esperimenti sono stati eseguiti in condizioni in cui il fuso trachitico coesiste sia con una fase fluida acquosa che con una brina ricca in sali. I risultati ottenuti indicano che la solubilità del Cl aumenta al diminuire della pressione; confrontando questi dati con le abbondanze di Cl misurate nelle inclusioni di melt e nella matrice vetrosa delle pomice dei depositi dell'Ignimbrite Campana suggeriscono che i magmi trachitici più evoluti abbiano avuto origine ad una profondità minima di 2-3 km.

2. Dallo studio sistematico delle composizioni delle inclusioni vetrose nei fenocristalli delle vulcaniti emesse nel corso dell'attività del Somma-Vesuvio si osserva che i magmi dell'attività precalderica (>14.000 YBP) risultano più ricchi in silice rispetto a quelli sin- e post-calderici che a loro volta risultano arricchiti in S, Cl, CaO, MgO e P_2O_5 ed altri elementi in traccia. Inoltre, i dati delle inclusioni vetrose indicano che i magmi (di età < 3.550YBP) associati all'attività pliniana e sub-pliniana sono più ricchi in H_2O ed S e con rapporti S/Cl significativamente più elevati rispetto ai magmi associati alle eruzioni interpliniane. I risultati delle ricerche mostrano come la solubilità di Cl possa variare nei magmi vesuviani in funzione della loro composizione. A causa di ciò al diminuire di Ca, Mg, e Fe si determina una brusca riduzione della concentrazione in Cl ed ipotizzando un meccanismo di "third boiling" si può osservare un aumento generale della componente volatile nei melts per effetto della cristallizzazione di fasi anidre o povere in elementi volatili. Altri risultati riguardano lo studio delle inclusioni fluide e vetrose degli skarns al Vesuvio che chiarisce come l'assimilazione di rocce carbonatiche da parte del magma alcalino sia avvenuta a moderata profondità (<5km) e lo studio delle inclusioni vetrose nei fenocristalli di xenoliti in breccie e litici sia del Somma che dei Campi Flegrei che fa ipotizzare un legame genetico fra i due complessi vulcanici.

Tramite la preparazione di standard ottenuti sperimentalmente ad alta P ed alta T è stata calibrata su campioni di pomice grigie e bianche dell'eruzione del Vesuvio del 79 d.c. la tecnica per l'analisi FTIR dell' H_2O disciolta nel vetro. I risultati ottenuti dallo studio sui caratteri strutturali delle pomice e sul loro contenuto in H_2O indicano che: a) Le caratteristiche granulometriche, di porosità e di tenore in H_2O evidenziano uno stato stazionario della colonna durante la fase di emissione delle pomice bianche. b) Le stesse caratteristiche rivelano, per le pomice grigie modalità di emissione controllate dalle dimensioni del condotto. c) La porosità, ed il contenuto di acqua residua sono

indipendenti sia dalla classe granulometrica dei clasti analizzati, sia dalla zona di provenienza e pertanto rispecchiano, al contrario dei caratteri granulometrici, l'evoluzione del magma fino al momento della frammentazione. d) Il tenore in H₂O nei vetri subisce una brusca diminuzione al passaggio pomici bianche-pomici grigie per aumentare successivamente nel corso dell'eruzione. f) La BSD evidenzia, sia nei campioni delle pomici bianche che in quelli delle grigie, un doppio stadio di vescicolazione: il primo relazionabile alla depressurizzazione nella camera magmatica; il secondo, numericamente più importante, relazionabile alla risalita nel condotto prima della frammentazione. Infine, sempre al Vesuvio su campioni dell'eruzione del 1944, è stata valutata sperimentalmente l'influenza della diffusione di CO₂ da parte delle rocce incassanti la camera magmatica come *trigger* per la exsoluzione dell'H₂O e quindi del *quenching* del magma residuo nella camera stessa, ed il controllo dell'H₂O(liq), sui coefficienti di partizione fra clinopirosseno e fuso di alcuni elementi traccia, in particolare terre rare,.

3. Lo studio sui tenori in H₂O e CO₂ nelle inclusioni vetrose dei fenocristalli di olivina nei tefra basaltici a composizione picritica dell'Etna, in quelli hawaiiitici dell'eruzione pliniana del 122BC, in quelli delle fontane di lava dell'eruzione 1995-96, ed nelle inclusioni dei bordi vetrosi di lave a pillow a chimismo tholeitico dragate fino a 1700m sul versante E del vulcano hanno dato valori massimi di H₂O e CO₂ rispettivamente di 2.7%, del 3%, dell'1.8% e dell'1.3% per l'H₂O e di 1500ppm, 4-500ppm, 200ppm e non rilevabili per il CO₂. Il complesso dei dati raccolti indica che i magmi dell'Etna sono già ricchi in volatili negli stadi iniziali dell'evoluzione magmatica con conseguenze significative sulle relazioni di fase e sulle proprietà reologiche dei magmi stessi.

4. Su campioni rappresentativi di magmi dell'Etna a vario grado di differenziazione sono stati effettuati fino ad oggi 98 esperimenti, a temperature nell'intervallo liquidus - solidus ed a pressioni comprese fra quella atmosferica e 500MPa. Questi dati oltre a fornire informazioni sul controllo della componente volatile sulla composizione dei liquidi differenziati permettono una stima delle proprietà reologiche di questi ultimi in particolare della pressione di galleggiamento esercitata dai fusi a seconda del tenore in volatili disciolti e quindi della loro velocità di salita in superficie.

I risultati di esperimenti d'equilibrio effettuati a pressione atmosferica ed a temperature nell'intervallo liquidus-solidus su 4 campioni raccolti al Vulcano Stromboli e rispettivamente di serie magmatica calco-alcalina, calco-alcalina alta in potassio, shoshonitica e alcalino-potassica mettono in evidenza un significativo arricchimento in K₂O a fronte di un moderato arricchimento in SiO₂. Risultati preliminari di esperimenti in saturazione di H₂O ed a pressioni fino a 200MPa mostrano invece un'inversione di questa tendenza.

PRODOTTI DELLA RICERCA

- n° 13 pubblicazioni su riviste internazionali
- n° 15 pubblicazioni su riviste nazionali, atti, presentazione a convegni, etc

ELENCO PUBBLICAZIONI (includendo lavori in stampa e sottomessi)

Corsaro R.A., Neri M., Pompilio M.: (2001) - Paleo-environmental and volcano-tectonic evolution of the south-eastern flank of Mt.Etna in the last 225 ka inferred from the volcanic succession of the "Timpe", Acireale, Sicily. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, (in press).

Corsaro R. A. e Pompilio M.: (2001) - Buoyancy of magmas at Mt.Etna: effects on the localisation of magma reservoirs and on the eruptive styles. *Earth and Planetary Science Letters* (submitted).

- Couch, S., Sparks R.S.J., Carroll M.R.: (2001) - Convective self-mixing of magmas in open-system chambers. *Nature*, 411, 1037-1039.
- Danyushevsky L.V., and Lima A.: (2001) - Relationships between Campi Flegrei and Mt Somma volcanism: evidence from melt inclusions in clinopyroxene phenocrysts from volcanic breccia xenoliths. *Mineralogy and Petrology*. Special issue: Mt Somma – Vesuvius and volcanism of the Campanian Plain (De Vivo B. & Rolandi G., Edts) (in press).
- De Natale, G., Chiarabba, C., Troise, C., Trigila, R., Dolfi, D., Kissling, E.: (2001) - Determination of 3D sub-structure at Somma-Vesuvius volcano: the effect of magma quenching due to gas exsolution, *J. Geophys. Research* (submitted).
- Gilg H.A., Lima A., Somma R., Belkin H.E., De Vivo B., Ayuso R. A.: (2001) - Isotope geochemistry and fluid inclusion study of skarns from Vesuvius. *Mineralogy and Petrology*. Special issue: Mt Somma – Vesuvius and volcanism of the Campanian Plain (De Vivo B. & Rolandi G., Edts) (in press).
- Nuccio P.M., Paonita A.: (2000) - Investigation of the He solubility in H₂O-CO₂ bearing silicate liquids at moderate pressure II: the Extended Ionic Porosity (EIP) model. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 183, 499-512.
- Paonita A., Gigli G., Gozzi D., Nuccio P.M., Trigila R.: (2000) - Investigation of the He solubility in H₂O-CO₂ bearing silicate liquids at moderate pressure: a new experimental method. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 181, 595-604.
- Raia F., Webster J.D., De Vivo B.: (2000) - Pre-eruptive volatile contents of Vesuvius magmas: constraints on eruptive history and behavior. I – The medieval and modern interplinian activities. *Eur. J. Mineral.*, 12: 179 – 193.
- Signorelli, S., Carroll, M.R.: (2000) - Solubility and fluid-melt partitioning of Cl in hydrous phonolitic melts. *Geochimica Cosmochimica Acta* 64, 2851-2862.
- Signorelli, S., Vaggelli G., Romano C., Carroll M.R.: (2001) - Volatile zoning (H₂O, F, Cl, S) of Campanian Ignimbrite magmas (Phlegrean Fields, Italy): evidence from the study of glass inclusions and matrix glasses. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 140, 543-553.
- Webster J.D., De Vivo B.: (2001) - Experimental and modeled solubilities of chlorine in aluminosilicate melts, consequences of magma evolution, and implications for magmatic brine exsolution at Mt. Somma-Vesuvius. *American Mineralogist* (in press).
- Webster J.D., Raia F., De Vivo B., Rolandi G.: (2001) - The behavior of chlorine and sulfur during differentiation of the Mt Somma-Vesuvius magmatic system. *Mineralogy and Petrology*. Special issue: Mt Somma – Vesuvius and volcanism of the Campanian Plain (De Vivo B. & Rolandi G., Edts) (in press).

TASK 02 - Dinamica dei sistemi magmatici ed interazione con la struttura vulcanica

UR PARTECIPANTI: UR 13, UR 14, UR 15, UR 16

– responsabile Dr. G. De Natale)

OBIETTIVI I ANNO

Nell'ambito dell'obiettivo generale sulla messa a punto di modelli strutturali di edifici vulcanici vengono sviluppati i metodi per:

1.- L'inversione e l'interpretazione di dati sismici e geodetici in relazione alle variazioni di stress e strain e le ricerche sul tensore momento sismico e tomografia da onde di superficie con interpretazione dei processi sismogenetici di tipo vulcano-tettonico ai Campi Flegrei e Vesuvio.

- 2.- L'analisi, con applicazione al Vesuvio, delle modalità di fratturazione lenta delle rocce vulcaniche e della sua influenza sui fenomeni sismici e sulle emissioni acustiche che precedono le fenomenologie eruttive
- 3.- L'elaborazione di un modello tridimensionale della velocità delle onde P per il vulcano Etna, utilizzando le localizzazioni di terremoti con mezzi di velocità eterogenei e sulla base di meccanismi focali dei terremoti ($M > 2.0$) degli ultimi anni, con misura spettrale dei terremoti t^* , e l'interpretazione dei processi intrusivi tramite tecniche di inversione bayesiana dei dati di deformazione.
- 4.- Lo studio sperimentale ad alta P ed alta T, delle proprietà fisiche (inizialmente la conduttività elettrica) delle rocce costituenti il sistema magmatico-vulcanico ai fini di una migliore definizione del loro comportamento sismico.

RISULTATI I ANNO

- Interpretazione e modellistica

1. E' stata ricavata, dall'inversione congiunta di tutti i dati disponibili di sismica attiva e passiva, un modello strutturale dettagliato P ed S per il Somma-Vesuvio fino a 5 km di profondità. Le anomalie, in particolare l'alta rigidità in asse craterico, è stata interpretata come magma cristallizzato per essoluzione di gas, e modesta diminuzione di temperatura. Integrando la conoscenza strutturale del vulcano nella modellistica dei campi di sforzo generati sia dal peso dell'edificio vulcanico che da variazioni esterne ed interne, è stato possibile ricavare un modello che spiega la genesi della sismicità vulcano-tettonica, che sembra avere validità molto generale nei vulcani centrali. Analoghe interpretazioni strutturali, dall'inversione tomografica dei terremoti avvenuti ai Campi Flegrei dal 1970 al 1984, integrate in un modello semplice di variazione di sforzo in camera magmatica, permettono di spiegare la genesi della sismicità dei Campi Flegrei, che avviene sempre in concomitanza di episodi deformativi significativi. La differenza nella genesi dei terremoti nelle due aree vicine Vesuvio e Campi Flegrei sembra riflettere, in maniera molto più generale, le differenze tra la sismicità delle caldere rispetto ai vulcani centrali. In entrambe le aree studiate, sono stati ricavati modelli generali di attività, di particolare rilievo per l'interpretazione dei futuri processi pre-eruttivi. Ai Campi Flegrei, in particolare, è evidenziata l'importanza dell'interscambio tra sistema magmatico e sistema geotermale. Sebbene già siano stati raggiunti diversi risultati significativi, le ricerche in questi campi saranno continuate nei prossimi anni del progetto, e permetteranno di ricavare modelli ancora più attendibili per l'evoluzione dei processi pre-eruttivi, in particolare per i Campi Flegrei dove l'informazione da dati recenti è molto più dettagliata. Lo studio del tensore momento sismico su 18 terremoti avvenuti nel marzo 1984 in corrispondenza dell'ultima crisi bradisismica, evidenzia un'evoluzione temporale della componente isotropica che merita ulteriori approfondimenti; inoltre si osserva una maggiore concentrazione di elevati valori di componente isotropica intorno ai 3 km di profondità. Le mappe di tomografia ottenute mostrano anomalie nella velocità di gruppo in prossimità del Golfo di Pozzuoli, della regione del Gauro e degli Astroni. Dalle inversioni delle curve di dispersione regionali si otterranno i modelli strutturali.
2. Nel primo anno è stato concluso lo sviluppo di un nuovo modello teorico ed è stata avviata la ricerca sperimentale. Il nuovo modello descrive la crescita di una popolazione di fratture sotto uno stress costante. Questo meccanismo favorisce la fratturazione in grande di una roccia ad uno stress che è inferiore alla sua resistenza teorica. La crescita si sviluppa in tre fasi: la nucleazione di nuove fratture, la crescita di fratture già esistenti, e la coalescenza delle fratture per creare una fratturazione in grande della roccia. Sono stati riconosciuti tutti e tre gli andamenti prima delle eruzioni di Pinatubo

(Filippine) nel 1991 e di Montserrat (Caraibi) nel 1995. Al contrario, fin adesso da dati sperimentali sulle emissioni acustiche è stato riconosciuta solo la fase di nucleazione.

A livello qualitativo, la combinazione delle tre fasi può simulare il comportamento sismico registrato prima di un'eruzione e cioè: un'accelerazione semplice della frequenza degli eventi fino all'eruzione, accelerazione ed attenuazione senza attività eruttiva, ed alternanze fra accelerazione ed attenuazione fino all'eruzione. A livello quantitativo, sono stati individuati dal modello i parametri chiave che controllano la fratturazione lenta: il *fracture toughness*, il modulo di Young, e l'efficienza di corrosione.

3. E' stato elaborato un modello tridimensionale di velocità delle onde P per la crosta sottostante il vulcano Etna. Le caratteristiche principali della struttura profonda indicano un grosso corpo ad alta V_p nella crosta superiore esteso fino a 18 km di profondità. In questo modello tridimensionale i terremoti avvenuti nel periodo 1994-98 sono stati, pertanto, rilocalizzati. Circa i meccanismi focali sono state eseguite riletture accurate dei primi arrivi sui sismogrammi registrati dalla rete Poseidon nel periodo 1994-1998. La procedura che viene applicata alle letture per il calcolo dei meccanismi focali è quella delle polarità delle onde P. Le letture relative alla rete Poseidon sono in corso di integrazione con quelle disponibili per altre stazioni sismiche operanti al vulcano. Altri dati riguardano la procedura per il calcolo dei t^* per l'attenuazione.

E' stata inoltre messa a punto una nuova metodologia di inversione Bayesiana dei dati di deformazione, per l'interpretazione di processi intrusivi. Il metodo è stato applicato all'interpretazione degli spostamenti verticali osservati all'Etna dal 1994 al 1998, ed ha messo in evidenza l'episodio intrusivo più evidente degli ultimi 20 anni. Questi studi, presentati sia al GNGTS 2000 che all'EGS di Nizza 2001, hanno permesso di ipotizzare l'accadimento di un importante episodio eruttivo, che in effetti è iniziato alcuni giorni fa e che, in base all'entità della deformazione osservata, alla profondità dell'intrusione primaria (circa 4 km dal livello del mare), potrebbe innescare una delle più grandi eruzioni (nel senso dei volumi eruttati) degli ultimi 20 anni. I risultati di questo studio hanno evidenti ed attuali implicazioni pratiche, la prima della quale è la necessità di ripetere le misure di livellazione per controllare il grado di drenaggio dell'intrusione primaria da parte della recente attività.

4. Sono in corso di studio le proprietà fisiche delle rocce del M.Etna (basalti e gabbri) tramite esperimenti con un apparato multi-anvil dell'Università di Bayreuth (D). E' stata misurata la conduttività elettrica di due campioni (basalto CSE 16042k e gabbro TMP 21Y) a pressione di 900 e 1500 Mpa, temperature variabili tra 400 e 800 °C (subsolidus) e frequenze tra 0.1Hz e 0.1 MHz. Le pressioni e temperature alle quali sono stati condotti gli esperimenti corrispondono a quelle riscontrabili nella crosta inferiore e al passaggio con il mantello superiore. Una interpretazione preliminare degli spettri di impedenza ottenuti durante gli esperimenti di conduttività mostrano che il basalto e i gabbri hanno differente resistenza elettrica per le stesse condizioni di pressione e temperatura.

PRODOTTI DELLA RICERCA

- n° 11 pubblicazioni su riviste internazionali:
- n° 15 pubblicazioni su riviste, nazionali, atti, presentazione a convegni, etc

ELENCO PUBBLICAZIONI (includendo lavori in stampa e sottomessi)

Chiarabba C., Amato A., Boschi E., and Barberi F.: (2000) - Recent seismicity and tomographic modeling of the Mount Etna plumbing system, *Journal Geophysical Research*, 10,923-10,938.

- De Gori P., Cimini G.B., Chiarabba C., De Natale G., Troise C. and Deschamps A.: (2001) - Teleseismic tomography of the Campanian volcanic area and surrounding apenninic belt, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, (in press).
- De Natale G., Chiarabba C., Troise C., Trigila R., Dolfi D. and Kissling E.: (2001) - Determination of 3D sub-structure at Somma-Vesuvius volcano: the effect of magma quenching due to gas exolution. *Journal Geophysical Research*, (submitted).
- De Natale G., Kuznetsov I., Kronrod T., Peresan A., Saraò A., Troise C. & Panza G.F.: (2001) - The recent seismic crisis of Mt. Vesuvius in the framework of its past 30 years seismic activity. *Geophys. J. Int.* (submitted)
- De Natale G., Troise C., Pingue, F., De Gori, P. and Chiarabba, C.: (2001) - Structure and dynamics of the Somma-Vesuvius volcanic complex. *Mineralogy and Petrology* (in press).
- De Natale, G., Troise, C. and Pingue, F.: (2001) - A 2D mechanical-thermal-fluid-dynamical model for bradisima at Campi Flegrei caldera., *Journ. of Geodynam* (in press).
- Panza G.F. & Saraò A.: (2000) - Monitoring volcanic and geothermal areas by full seismic moment tensor inversion: are non-double couple components always artefacts of modeling? *Geophys. J. Int.*, 143, 353-364.
- Rocchi, V., Sammonds, P., Kilburn C.R.J.: (2001) - Deformation and fracture maps for basaltic rocks. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* (in press)
- Saraò A., Panza G.F., Privitera E., Cocina O.: (2001) - Non double couple mechanisms in the seismicity preceding 1991-1993 Etna volcano eruption. *Geophys. J. Int.* 145, 319-335
- Troise C., Castagnolo D., Peluso F., Gaeta F.S., Mastrolorenzo G. and De Natale G.: (2001). - A 2-D mechanical-thermal-fluid-dynamical model for geothermal systems at calderas, *J. Volcanol. Geotherm. Res.* (in press) .
- Troise C., Pingue F., and De Natale G.: (2001) - Coulomb stress changes at calderas: modeling the seismicity of Campi Flegrei (Southern Italy), *Journ. Geophys. Res.*, (submitted).

TASK 03 - Modellistica termofluidodinamica dei processi di salita magmatica e di trasporto in superficie

UR PARTECIPANTI: UR 01, UR 03, UR 04, UR 05, UR 14

– responsabile Dr. G. Macedonio

OBIETTIVI I ANNO

1. Sviluppo di un modello fisico di svuotamento di una camera magmatica.
2. Sviluppo di un modello fluidodinamico multifase e multicomponente per la simulazione dei processi di dispersione piroclastica da eruzione esplosive.
3. Studi numerici sulla dinamica di ascesa del magma e sulla frammentazione
4. Studi sulla vescicolarità dei prodotti di eruzioni esplosive e loro caratterizzazione tessiturale.
5. Sviluppo di un modello di flusso tridimensionale per un liquido di Bingham isoterma in un canale lavico a pendenza costante
6. Generalizzazione di software di simulazione di maremoti di origine sismica al caso di generazione da flussi piroclastici

RISULTATI I ANNO

1. La dinamica dello svuotamento di una camera magmatica viene descritta quantitativamente modellizzando l'espansione del magma come quella di un fluido comprimibile per pressioni inferiori alla pressione di nucleazione delle bolle che si formano per exsoluzione

dei gas. Nel modello la camera magmatica è assisimmetrica con distribuzione di pressione idrostatica, accoppiata ad un condotto eruttivo a sezione costante in cui scorre il fluido magmatico. La miscela bi-fase liquido/gas viene considerata isoterma, e trattata in modo omogeneo. La frammentazione magmatica viene postulata al raggiungimento del massimo compattamento delle bolle sferiche, quando la frazione volumetrica di gas raggiunge il 75%. Il modello di camera magmatica proposto si pone come un'evoluzione dei modelli proposti da Druit e Sparks (1984), e Bower e Woods (1997, 1998), che considerano nella camera un gradiente di pressione verticale litostatico prefissato. Al contrario, in questo modello la distribuzione in pressione viene ottenuta dall'integrazione dell'equazione dell'idrostatica, dove la densità del magma viene considerata costante per pressioni superiori alla pressione di nucleazione mentre, è modellizzata come quella dello pseudo-gas (liquido incompressibile + gas perfetto) per pressioni inferiori. La solubilità del gas (vapore acqueo) nel magma viene calcolata in funzione della pressione utilizzando una relazione semi-empirica di tipo potenza. I parametri della relazione sono ottenuti utilizzando il modello di Ghiorso e Sack (1995) in funzione della composizione chimica del liquido magmatico. Il modello per il flusso di magma nel condotto eruttivo è basato sulla soluzione delle equazioni di trasporto per uno pseudo-gas isoterma, in condotto a sezione costante. Nella parte dopo la frammentazione, il modello di flusso nel condotto è simile a quello di Buresti e Casarosa (1989, 1990) ma con approssimazione isoterma, e viene esteso in modo naturale anche alla regione a bolle, mediante opportuna modifica del coefficiente di attrito con le pareti. Le condizioni al contorno per il modello del condotto sono sulla pressione alla base del condotto, e sulla velocità, assunta sonica al cratere. Il valore della pressione alla base del condotto coincide con la pressione al tetto della camera magmatica e costituisce la variabile di interfaccia tra i due modelli. La massa di magma nella camera viene ottenuta per integrazione della densità del magma nel volume nella camera, mentre la sua variazione viene fornita dal tasso eruttivo attraverso il condotto. In tal modo i due modelli accoppiati di camera e condotto permettono di conoscere la variazione dei diversi parametri nel tempo tra cui il tasso eruttivo, la velocità del fluido, e la pressione lungo il condotto, al cratere, e alle pareti della camera. Durante gli anni successivi, questo modello verrà accoppiato a modelli strutturali per la descrizione del campo di stress nella parte esterna della camera, al fine di conoscere le eventuali condizioni di collasso della camera magmatica od ostruzione del condotto.

2. Questo aspetto della ricerca ha riguardato l'estensione del precedente modello fisico bifase alla descrizione di miscele multifase e multicomponente. Le fondamentali equazioni di conservazione della massa e di bilancio della quantità di moto e dell'energia per la fase gas e per N fasi solide, rappresentanti particelle di diverse dimensioni e proprietà, sono state risolte su un dominio di calcolo bidimensionale e assisimmetrico. Il modello è stato utilizzato per la realizzazione di alcune simulazioni di messa in posto di flussi piroclastici su topografia piana e con diversa composizione granulometrica. In particolare, le simulazioni hanno permesso di descrivere la diversa dinamica delle varie componenti granulometriche del flusso dando rilevanti indicazioni sui processi di sedimentazione ed elutriazione che avvengono durante la sua messa in posto. Si è inoltre intrapreso lo studio per la parallelizzazione del codice numerico in modo da poter realizzare nel futuro simulazioni tridimensionali del fenomeno.

Questo modello è stato applicato simulando l'eruzione del Vesuvio del 79 AD. Sono state simulate due distinte fasi di picco del flusso di massa Vesuvio che corrispondono rispettivamente all'emissione di magma bianco e grigio con formazione di depositi di fallout intercalati da depositi di flusso durante la fase grigia. I dati di input delle simulazioni, rappresentativi delle due fasi eruttive e determinati indipendentemente, consistono nella composizione del magma liquido, nel contenuto in cristalli e acqua, del flusso di massa, della pressione-temperatura-profondità del magma all'entrata del

condotto. I risultati delle simulazioni sono in sostanziale accordo con la dinamica eruttiva ricostruita da studi vulcanologici indipendenti. In particolare, sia la fase bianca che la fase grigia producono delle colonne sostenute quando si considera la presenza di un 20 wt.% di microliti nel magma. La fase grigia mostra comunque un carattere meno sostenuto con la formazione di collassi parziali della colonna. Senza la presenza di microliti nel magma, le simulazioni prevedono il collasso totale della colonna indicando che, almeno nei casi esaminati, la nucleazione di microliti può giocare un ruolo chiave nella dinamica eruttiva.

Il modello è stato inoltre applicato allo studio della pericolosità dei flussi piroclastici. Sono stati analizzati i risultati delle simulazioni di propagazione di flussi piroclastici al Vesuvio realizzate in un precedente progetto europeo. Le simulazioni numeriche hanno permesso di stimare i tempi di arrivo dei flussi, la loro velocità, densità, temperatura, nonché le massime distanze raggiunte. Inoltre sono stati analizzati gli andamenti della pressione dinamica e della variazione di pressione isotropica, la cui stima è fondamentale per la determinazione delle conseguenze sulle strutture investite .

3. Simulazioni numeriche sono state disegnate per valutare quale tra i due criteri di alto "strain rate" o di "gas bubble overpressure" possa dare luogo alla frammentazione del magma. Abbiamo usato il modello di condotto stazionario, multifase, modificato per tenere conto dell'aumento di pressione nelle bolle di gas. Il criterio di frammentazione secondo strain rate, che si basa sulla transizione di un comportamento del magma da duttile a fragile in seguito all'attraversamento della transizione vetrosa, produce vescicolarità alla frammentazione pari a 0.70-0.80, valore che del resto costituisce il tipico intervallo di vescicolarità delle pomice dei depositi esplosivi. Il criterio di gas bubble overpressure, invece, da luogo a un intervallo di vescicolarità alla frammentazione di 0.30-0.50, molto inferiore a quello mostrato dai campioni naturali. In questo caso, per ottenere vescicolarità dell'ordine di 0.70-0.80 devono essere impiegati valori non realistici della resistenza del magma di alcune decine di MPa. Questo criterio mostra inoltre una corrispondenza diretta tra il contenuto totale di acqua del magma e la sua vescicolarità, relazione che non è mai stata trovata in campioni naturali o riportata in letteratura, e che il criterio di strain rate invece non mostra.

Abbiamo anche condotto uno studio per vedere come i diversi parametri composizionali (composizione del liquido, contenuto in volatili e in cristalli) influenzino la frammentazione. Il primo risultato mostra che, se variamo queste quantità composizionali su un largo spettro di valori, la vescicolarità alla frammentazione non cambia, e abbraccia l'intero intervallo mostrato dalle pomice naturali da 0.60 a 0.85. Inoltre, ognuno dei parametri composizionali gioca un ruolo più o meno complesso sulle condizioni di frammentazione. Un aumento di cristalli porta infatti a una minore vescicolarità alla frammentazione, mentre l'acqua non segue un comportamento lineare, poichè un decremento di acqua produce una vescicolarità più bassa, ma solo per le rioliti e non per le daciti. Infine, l'anidride carbonica influenza soprattutto la profondità di frammentazione, con un aumento di CO₂ che porta a una minore profondità di frammentazione

4. Sono state studiate le tessiture di campioni di pomice provenienti da depositi di caduta e di flusso piroclastico di grandi eruzioni esplosive, inclusa l'eruzione del Pinatubo 1991 e altre eruzioni nell'area Napoletana. I clasti pomiceici sono stati studiati attraverso tecniche di analisi di immagine, e i parametri tessiturali che sono stati misurati sono la vescicolarità, la densità numerica delle vescicole, la forma e taglia delle vescicole, e il contenuto di cristalli totale e in pasta di fondo.

La presenza di prodotti juvenili con diverse caratteristiche tessiturali mescolati insieme e presenti in tutti i livelli stratigrafici viene interpretata come dovuta a gradienti orizzontali delle proprietà del magma nel condotto. Questi gradienti sembrano essere responsabili dell'innesco di processi quali dissipazione viscosa alle pareti del condotto, quindi locali

- incrementi di temperatura e decrementi di viscosità che, a loro volta, influenzano la distribuzione delle variabili di flusso durante la risalita del magma.
5. E' stato sviluppato un modello fluidodinamico tridimensionale di una colata di lava canalizzata che si può applicare anche sui fronti lavici, ove, a causa del raffreddamento, la reologia binghamiana della lava non può essere ignorata. Si è assunto che la lava sia un fluido di Bingham isoterma che scorre in un canale rettangolare con una inclinazione costante. Il profilo di velocità del fluido è stato calcolato risolvendo, in modo semianalitico, l'equazione di Navier-Stokes stazionaria accoppiata con l'equazione costitutiva del fluido di Bingham. Si è calcolata la vorticità del fluido e tramite questa si sono definite la forma e la posizione del *plug* per differenti flussi: un condotto completamente pieno, un condotto parzialmente pieno, un canale aperto. Ciascuna componente del vettore vorticità del fluido soddisfa l'equazione di Laplace ed è stata calcolata applicando il metodo del rilassamento. La portata della colata è stata calcolata per diversi valori dello sforzo di soglia; è emerso che all'aumentare dello sforzo di soglia la reologia di Bingham provoca una significativa diminuzione della portata. Per i valori più elevati dello sforzo di soglia, il *plug* al centro del flusso si salda con quello negli angoli suggerendo un possibile meccanismo reologico di formazione dei tubi di lava. Si è inoltre formulato un modello che descrive gli effetti termici stazionari di un tubo di lava. Si è infine avviato uno studio sistematico dei processi termici che avvengono nelle colate di lava. Tali processi rivestono un ruolo decisivo nella dinamica delle colate. Essi sono studiati tramite la formulazione di modelli analitici o semi-analitici che consentono di riprodurli e di valutarne l'importanza relativa nel raffreddamento dei corpi lavici.
 6. Sono stati esaminati i risultati dei modelli sviluppati dal gruppo di Pisa e dell'Osservatorio Vesuviano, INGV, relativi ad eruzioni vesuviane (Esposti Ongaro et al., 2001; Todesco et al., 2001), che verranno indicati con la sigla MFP (Modello di Flussi Piroclastici) con l'obiettivo di individuare il tipo di meccanismo tsunamigenico "più ragionevole" e di definire i dati calcolabili mediante MFP ed utilizzabili come data-set di ingresso al modello di generazione di maremoto. Si è potuto così determinare che i flussi piroclastici vesuviani che raggiungono il mare con sufficiente energia cinetica hanno densità bassa e tendono a muoversi sulla superficie marina: la pressione esercitata dal flusso sull'acqua è la sorgente del maremoto. I dati rilevanti che calcolabili da MFP sono i dati 1) di fluttuazione della pressione atmosferica a livello del mare, 2) della velocità del flusso piroclastico disaggregata nelle tre componenti (gas, solid phase, mixture), 3) della velocità aggregata del flusso. È stata effettuata la modifica del software di generazione di maremoto per consentire la generazione di onde marine da parte di flussi piroclastici superficiali. Si rammenta che tale software contemplava solo due meccanismi di generazione: generazione tettonica da parte di un terremoto che provoca deformazioni del fondo marino e generazione da parte di movimento di massa (frana subaerea che precipita in mare o frana sottomarina). Infine sono state effettuate simulazioni di maremoto nel golfo di Napoli utilizzando una sorgente statica (assimilabile ad una sorgente sismica): l'esperimento ha consentito di ricavare informazioni significative sulle proprietà di propagazione del bacino napoletano (Piatanesi e Tinti, 2001). Uno dei risultati più interessanti è che l'energia del moto ondoso rimane in parte intrappolata entro il golfo dove vengono eccitati i modi propri di oscillazione e non si trasmette in modo significativo a sud della penisola sorrentina.

PRODOTTI DELLA RICERCA

- n° 10 pubblicazioni su riviste internazionali
- n° 16 pubblicazioni su riviste nazionali, atti, presentazione a convegni, etc

ELENCO PUBBLICAZIONI (includendo lavori in stampa e sottomessi)

- Dragoni M., D'Onza F., Tallarico A.:(2001) - Temperature distribution inside and outside a lava tube. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, (submitted).
- Esposti Ongaro T., Neri A., Todesco M., Macedonio G.: (2001) - Pyroclastic flow hazard at Vesuvius by using numerical simulations. II. Analysis of local flow variables, Sub judge (b).
- Esposti Ongaro T., Cavazzoni C., Neri A., Erbacci G., Macedonio G.: (2001) - Parallel numerical simulation of pyroclastic flow dynamics at Vesuvius, Sub judge (a).
- Mastrolorenzo, G., Brachi, L., Canzanella, A.: (2001) - Vesicularity of various types of pyroclastic deposits of Campi Flegrei volcanic field: evidences of analogies in magma rise and vesiculation mechanisms. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* (in press).
- Neri A., Macedonio G., Gidaspow D., Esposti Ongaro T.: (2001) - Multiparticle simulation of collapsing volcanic columns and pyroclastic flows. Sub judge (a).
- Neri A., Papale P., Del Seppia D.e Santacroce R.: (2001) - Coupled conduit and atmospheric dispersal dynamics of the AD79 Plinian eruption of Vesuvius. *EPSL*, (submitted).
- Papale P.:(2001) - Dynamics of magma flow in volcanic conduits with variable fragmentation efficiency and nonequilibrium pumice degassing. *J. Geophys. Res.*, B6, 106:11043-11065
- Polacci M., Papale P. e Rosi M.: (2001) - Textural heterogeneities in pumices from the climactic eruption of Mount Pinatubo, 15 June 1991, and implications for magma ascent dynamics. *Bull Volcanol* 63:83-97
- Tallarico A., Dragoni M.: (2000) - A three-dimensional Bingham model for channeled lava flows, *J. Geophys. Res.*, 105, 25969-25980.
- Todesco M., Neri A., Esposti Ongaro T., Papale P., Macedonio G., Santacroce R., Longo A. : (2001) - Pyroclastic flow hazard at Vesuvius by using numerical simulations. I. Large-scale dynamics, Sub judge.

TASK 04 – Simulazione sperimentale e modellistica parametrizzata di processi eruttivi e loro precursori

UR PARTECIPANTI: UR 02, UR 03, UR 07, UR 12, UR 15

– responsabile Prof. R. Trigila

OBIETTIVI I ANNO

- Sviluppi metodologici.
 1. Messa a punto dell'attrezzatura sperimentale per la simulazione del processo di interazione magma-H₂O. Calibrazione dei parametri chimici, fisici e cinetici di controllo per la riproduzione quantitativa del fenomeno simulato. Analisi dell'influenza della cinetica del processo sulle variazioni di volume del sistema interagente.
 2. Modello termo-fluido-dinamico del Bradisisma flegreo. Misure sperimentali di flussi di volume su campioni di tufo giallo napoletano in condizioni di equilibrio e di non equilibrio termico.
 3. Studio sperimentale sulla fratturazione delle rocce a P =1atm.e a T fino a 700°C.
- Acquisizione dati
 4. Studio termodinamico delle relazioni di fase in sistemi magmatici rappresentativi di vulcaniti eruttate al Vesuvio e a Stromboli per la determinazione dei parametri di input nei modelli che definiscono le modalità di alimentazione magmatica ed i processi eruttivi.

RISULTATI I ANNO

1. Hanno riguardato essenzialmente la messa a punto dell'assetto dell'attrezzatura sperimentale in ordine a: i) gli aspetti concernenti la riproducibilità sperimentale del processo d'interazione magma-H₂O e, ii) quelli tesi ad isolare gli effetti dei diversi parametri che controllano il processo stesso. Il primo problema è stato risolto tramite un controllo accurato della massa del campione interagente, della massa dell'acqua, della pressione di iniezione di quest'ultima, della pressione di confine del campione interagente, della temperatura d'interazione del campione e di quella dell'acqua. La riproducibilità sperimentale del processo misurata sulla base della variazione di volume nella camera portacampioni in seguito all'interazione è risultata sempre migliore del 90%. Le analisi sugli effetti dei parametri che controllano il processo d'interazione e cioè: i) dello stato fisico del materiale interagente (totalmente fuso, in parte fuso ed in parte cristallino e con o senza volatili disciolti); ii) della pressione e delle modalità di iniezione dell'acqua (isobariche, impulsive); iii) delle proprietà reologiche del materiale interagente (viscosità, densità); iv) del rapporto fra la massa dell'acqua e quella del materiale interagente (che per le caratteristiche strumentali dell'apparecchiatura comporta comunque una integrale trasformazione dell'acqua allo stato sopercritico); v) delle variabili intensive P,T alle quali avviene l'interazione; sono, tuttora, in corso. I dati finora raccolti riguardano, a parità di tutti gli altri parametri di controllo, gli effetti legati allo stato fisico del materiale interagente ed alle diverse modalità di iniezione dell'H₂O sulla distribuzione dell'energia meccanica derivante dalla trasformazione H₂O(liq) → H₂O(gas).
Le indicazioni fornite da questa prima serie di esperimenti sulla distribuzione del lavoro svolto nel processo di interazione mettono in grande evidenza l'importanza dello stato di aggregazione del materiale interagente e delle modalità di iniezione dell'acqua sul trasporto di massa del materiale frammentato. Questo dato ha ovvie ricadute sulla valutazione della pericolosità delle eruzioni idromagmatiche e apre la strada alla elaborazione di un modello eruttivo che include anche questi fra i diversi parametri di controllo. Tale modello risulta di grandissima utilità per quei vulcani come quello dei Colli Albani in cui l'attività idromagmatica apre e chiude cicli importanti dell'attività vulcanica perché potrebbe portare alla valutazione del rischio collegato al verificarsi di un nuovo ciclo di attività vulcanica rispetto a quello derivante da un'attività eruttiva in fase di chiusura.
2. E' stato misurato il flusso di volume in condizioni isoterme su campioni di tufo dei Campi Flegrei provenienti da carote di perforazione a profondità diverse. Conoscendo le dimensioni dei campioni, trascurando la pressione idrostatica presente nell'apparecchiatura e utilizzando la legge di Darcy, è stato possibile calcolare la permeabilità idraulica K di questi tufi. Durante le misure fatte in condizioni di transiente termico una forza aggiuntiva (termoosmotica) spinge il permeante dalla parte calda a quella fredda del campione. L'effetto è quello di far aumentare il valore del flusso di volume in uno stesso campione, per una stessa pressione di lavoro. I valori del flusso di volume, misurato in funzione della pressione di esercizio, vengono riportati su grafici: Il parametro di curva è la temperatura. Nell'intervallo di pressioni e temperature investigato il flusso di volume è proporzionale alla pressione applicata e il valore della permeabilità idraulica K è indipendente dalla temperatura e dalla pressione, essendo una caratteristica intrinseca del mezzo poroso. E' perciò corretta in questo caso l'approssimazione lineare di Poiseuille. I risultati sperimentali sono stati applicati al modello termo-fluido-dinamico proposto per spiegare sia le grandi crisi bradisismiche sia i piccoli uplifts. Questo modello spiega la distribuzione di temperature ai Campi Flegrei in termini di trasporto advettivo del calore ed indica come responsabile delle deformazioni del suolo le variazioni di pressione e temperatura che avvengono alla base degli acquiferi più profondi (circa 3km dalla superficie).
3. E' stato costruito presso l'UCL di Londra, un nuovo apparato sperimentale in grado di operare a T fra quella ambiente e 1,000°C e a P fra quella atmosferica fino a 50 MPa

(equivalente ad una profondità di 2 km) per studiare gli effetti di alcuni parametri sulla formazione di fratture, la loro propagazione e la loro coalescenza fino al collasso strutturale di edifici vulcanici. Fra questi quelli ritenuti più importanti sono: il *fracture toughness*, il modulo di Young, e l'efficienza della corrosione operata dal magma sulla fratturazione di un edificio vulcanico. Alcune misure di prova sotto uno stress tensile, utilizzando dei campioni di K-basalto del Vesuvio hanno dato risultati preliminari (P: 1 atm-30 MPa; T: 20°-650°C) da cui sembra che l'insieme dei parametri chiave che controllano la fratturazione lenta possa cambiare all'interno un edificio vulcanico solo del 10-20%. Se verranno verificati da altri esperimenti, questi risultati indicano che la corrosione potrebbe essere il parametro di controllo che innesca la sismicità prima di un'eruzione.

4. L'analisi petrografica e l'interpretazione tessiturale delle strutture microscopiche ha permesso di riconoscere l'esistenza di noduli di natura mantellica e crostale sia all'interno di vulcaniti del Vesuvio che di Stromboli. Inoltre, lo studio termodinamico di reazioni chiave (rappresentative delle paragenesi di equilibrio) ha permesso di quantificare i regimi termobarometrici associati ai processi d'interazione xenoliti-cumulati-magma che avvengono durante la risalita e lo stazionamento di questi magmi. In particolare, al Vesuvio, l'esistenza di paragenesi di "quenching" presenti nella mesostasi dei noduli dunitici (costituite da microliti di clinopirosseno, olivina (Fo₈₅), plagioclasio (An₇₅₋₇₀) e leucite) permette di inferire che il materiale dunitico, originariamente formatosi in corrispondenza della transizione crosta-mantello, ha stazionato a pressioni di circa 3.5 kbar (a temperature di 1100-1150 °C) prima di essere eruttato. Questi regimi termobarometrici che identificano la presenza di una camera magmatica a circa 10-12 km di profondità. Considerando che il sistema idrotermale di questo vulcano è situato ad una profondità di circa 3.5-4 km (in accordo, tra l'altro, con i tempi di risalita e decadimento del gas radon, ²²²Rn), la porzione attiva della camera magmatica del Vesuvio risulterebbe "confinata", durante le eruzioni recenti, ad una profondità compresa tra circa 4.5-12 km. Inoltre lo studio sperimentale dell'equilibrio fra clinopirosseno e fuso su campioni dell'eruzione del 1944 ha consentito di valutare il controllo dell'H₂O(liq), sui coefficienti di partizione fra clinopirosseno e fuso di alcuni elementi traccia, in particolare terre rare e sulla natura geochemica dei fusi che si generano per frazionamento di clinopirosseno a diverse T, P, e concentrazioni dei componenti volatili. Situazione distinta è quella di Stromboli in cui i processi di "contaminazione" crostale (abbondanti xenoliti di gabbrioriti e gabbri con reazioni di subsolidus) risultano essere amplificati. In questo caso l'interazione tra i magmi andesitici stromboliani e questi materiali avvengono essenzialmente tra i 20 km ed i 9-10 km di profondità.

PRODOTTI DELLA RICERCA

- n° 7 pubblicazioni su riviste internazionali:
- n° 12 pubblicazioni su riviste nazionali, atti, presentazione a convegni, etc.:

ELENCO PUBBLICAZIONI (includendo lavori in stampa e sottomessi)

- Borghi A, Cossio R., Olmi F., Ruffini R., Vaggelli G.: (2001) - EPMA Major and trace element analysis in garnet and its petrological applications. *Mikrochimica Acta* (submitted)
- Cigolini C., Salierno F., G. Gervino, P. Bergese, Marino C., Russo M., Prati P., Ariola V., Bonetti R., Begnini S.: (2001) - High Resolution Radon Monitoring and Hydrodynamics at Mount Vesuvius. *Geophysical Research Letters* (accepted).
- Palladino D.M., Gaeta M., Marra F. - (2001): A large k-foiditic hydromagmatic eruption from the early activity of the Alban Hills volcanic District, Italy. *Bull Volcanol* (in press)

- Peluso F., Arienzo I.:(2001) - Experimental determination of equilibrium and nonequilibrium thermodynamic properties of natural porous media. *Entropie* (submitted)
- Peluso F., Arienzo I.:(2001) - Thermoosmotic effect in natural porous media: nonequilibrium thermophysical properties of Neapolitan Yellow Tuff samples. *JETC*(submitted)
- Rocchi, V., Sammons, P., Kilburn C.R.J.: (2001) - Deformation and fracture maps for basaltic rocks. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* (in press)
- Wood B.J. and Trigila R. – (2001): Experimental determination of aluminous clinopyroxene-melt partition coefficient for potassic liquids, with application to the evolution of the Roman province potassic magmas. *Chemical Geology*, 172, 213-223.

STUDIO DEI DEPOSITI PIROCLASTICI DELL'ETNA FINALIZZATO ALLA RICOSTRUZIONE DELLE PRINCIPALI ERUZIONI ESPLOSIVE ED ALLA VALUTAZIONE DELLA LORO PERICOLOSITA'

Coordinatore scientifico del progetto:

Luigina Vezzoli - Prof. Associato
Universita' Insubria - Como

Partecipanti al progetto

UR#	AFFERENZA	RESPONSABILE
1	Universita' dell' Insubria, Como	Luigina Vezzoli
2	INGV sezione Catania	Mauro Coltelli
3	CNR Ist. Geologia Marina Bologna	Luigi Vigliotti

OBIETTIVI GENERALI

Gli obiettivi generali sono suddivisi nei seguenti tasks:

- 1) *Tefrostratigrafia* (UR coinvolte: UR1, UR2, UR3 – Resp. Luigina Vezzoli)
 - 1.1 Studio di dettaglio delle successioni piroclastiche oloceniche fino all'attuale in affioramenti naturali, in trincee e trivellazioni
 - 1.2 Studio delle carote di mare profondo della parte sommersa dell'edificio
 - 1.3 Correlazioni tefrostratigrafiche usando le proprietà magnetiche dei depositi
- 2) *Cronologia relativa e numerica* (UR coinvolte: UR1, UR2, UR3 – Resp. Cesare Ravazzi)
 - 2.1 Cronologia assoluta ¹⁴C e paleomagnetismo
 - 2.2 Cronologia relativa mediante palinologia e geopedologia
- 3) *Caratteristiche fisiche delle eruzioni* (UR coinvolte: UR1, UR2 – Resp. Paola Del Carlo)
 - 3.1 Parametri fisici delle eruzioni calcolati dalla misura dei depositi piroclastici
 - 3.2 Parametri fisici dei magmi calcolati dallo studio dei prodotti piroclastici (VSD, CSD, volatili dai vetri e dalle inclusioni)
 - 3.3 Studio della dinamica del degassamento dei magmi basaltici anche mediante esperimenti di laboratorio
- 4) *Valutazione della pericolosità* (UR coinvolte: UR1, UR2 – Resp. Mauro Coltelli)
 - 4.1 Valutazione dell'impatto delle eruzioni esplosive dell'Etna sul territorio e sulla popolazione

TASK 1 - Tefrostratigrafia

UR PARTECIPANTI: UR1, UR2, UR3

OBIETTIVI I ANNO

- Ricerca di nuove sezioni stratigrafiche naturali.
- Esecuzione di trincee e carotaggi.
- Studio carote marine.
- Campionatura ed analisi magnetostratigrafiche.

RISULTATI I ANNO

Sono state studiate le 28 carote marine prelevate nella crociera oceanografica Urania Etna-99 nella parte sommersa dell'edificio etneo, in cui sono stati identificati macroscopicamente e campionati 40 livelli di tefra. Su di essi sono state effettuate le operazioni di preparazione, l'analisi morfoscopica allo stereomicroscopio per discriminare tefra primari da livelli vulcanoclastici risedimentati. E' in corso l'analisi petrografica degli juvenili in sezione sottile per la caratterizzazione del tipo e moda dell'associazione minerale, del tipo di vetro e vescicolazione.

E' stata misurata la suscettività magnetica di 14 carote prelevate nel mar Jonio ad una profondità compresa tra i 40 e i 1500 metri, selezionate per la loro continuità stratigrafica, la presenza di intervalli temporali significativi e di livelli di tephra correlati ai marker terrestri.. Le carote analizzate sono : ET-99-06, ET-99-07, ET-99-11, ET-99-13, ET-99-16, ET-99-17, ET-99-18, ET-99-20, ET-99-21, ET-99-22, ET-99-24 sulla parte sommersa dell'edificio etneo, ET-99-M11, ET-99-M19, ET-99-M63 sul sea-mount M. Alfeo. Lo scanning delle carote, eseguito ad una risoluzione di 2cm, ha permesso di individuare una serie di livelli vulcanici non sempre visibili ad occhio nudo. Alcuni di questi, attraverso la caratterizzazione petrografica in sezione sottile, sono riferiti a depositi primari depositati negli ultimi 15 ka e correlati con livelli marker di tefra presenti sulle pendici del vulcano.

Tra le carote marine sono state individuate quelle con un record rappresentativo per la ricostruzione dell'attività esplosiva del vulcano nel corso del tempo.

Per l'intervallo di tempo compreso tra il tardi-glaciale e la parte iniziale dell'Olocene è stata individuata come carota di riferimento la ET99-M11 prelevata sul sea-mount M. Alfeo. I sedimenti rappresentativi dell'Olocene iniziale, corrispondente alla deposizione del sapropel S1, sono stati campionati a scala centimetrica ed il contenuto micropaleontologico esaminato attraverso il conteggio dei foraminiferi planktonici. I dati, ancora in via di elaborazione, permetteranno di ricostruire una stratigrafia di dettaglio sulla base delle ecozone riconosciute da Capotondi et al. (1997). I dati verranno integrati con datazioni ^{14}C (AMS) effettuate sui gusci dei foraminiferi planktonici prelevati dal sedimento. In questa carota è stato ritrovato un frammento di legno, la cui datazione, mediante radiocarbonio, verrà utilizzata per calcolare il reservoir del bacino.

Per riempire alcune lacune che sono ancora presenti nella ricostruzione tefrostratigrafica degli ultimi 10 ka, sono stati eseguiti alcuni rilievi in campagna sul basso fianco orientale dell'Etna ed anche all'interno della città di Catania, dove sono state descritte nuove sezioni stratigrafiche. Per quanto riguarda lo scavo e lo studio di trincee e carotaggi nelle aree distali della Sicilia nord-orientale è stata eseguita una ricerca bibliografica sulla cartografia e sulla geologia del Quaternario nell'area dei Monti Nebrodi per selezionare le aree più favorevoli alla sedimentazione e conservazione dei livelli di tephra nei depositi continentali Quaternari.

I Ricercatori della UR INGV CT hanno partecipato al Convegno Internazionale "Cities on Volcanoes 2", Auckland, New Zealand, 12-14 Febbraio 2001 ed a un sopralluogo insieme a B. Houghton sulla frattura eruttiva del Tarawera del 1886 per confrontare questa eruzione pliniana basaltica con quella del 122 a.C. all'Etna.

TASK 2 - Cronologia relativa e numerica

UR PARTECIPANTI: UR1, UR2, UR3

OBIETTIVI I ANNO

- Campionatura e datazioni ^{14}C .
- Campionatura ed analisi paleomagnetiche.
- Completamento analisi palinologiche su sez. 156 e costruzione di diagrammi pollinici.
- Analisi palinologiche su altre sezioni calibrate.

- Campionamento ed analisi geopedologiche.

Per lo studio della cronologia relativa mediante palinologia e geopedologia sono state riesaminate sul terreno le sezioni stratigrafiche n. 4 (Salto del Cane) per l'area meridionale e n. 156 (casa del Fanciullo) per l'area nord-orientale della parte medio-distale dell'edificio vulcanico. Le sezioni sono state pulite e riscavate. I depositi vulcanoclastici sono stati descritti qualitativamente e misurati nei loro parametri fisici, quali granulometria, coesione, colore, superfici di discontinuità, sostanza organica, contenuto in argilla, prima di effettuare il campionamento di livelli ritenuti omogenei e significativi ai fini dell'analisi palinologica e geopedologica.

Uno studio paleomagnetico completo è stato effettuato su un U-channell prelevato dalla stessa sezione della carota ET99-M11 studiato dal punto di vista micropaleontologico. Mediante un magnetometro criogenico è stata misurata non solo la magnetizzazione naturale rimanente (NRM), ma anche magnetizzazioni artificiali, quali la magnetizzazione rimanente anisteretica (ARM) e isoterma (IRM). I risultati verranno utilizzati per ricostruire la curva della variazione secolare del c.m.t. che verrà utilizzata per la cronologia di dettaglio della carota.

Sono stati inoltre campionati livelli di depositi piroclastici di caduta nella sezione stratigrafica terrestre n. 4 (Salto del Cane) per determinazioni paleomagnetiche

Durante la descrizione delle sezioni stratigrafiche sono stati eseguiti alcuni campionamenti di paleosuoli e frammenti di carbone per datazioni ^{14}C , preparati i campioni e spediti per l'analisi radiometrica presso il laboratorio della Beta Analytic Inc. (USA).

TASK 3 - Caratteristiche fisiche delle eruzioni

UR PARTECIPANTI: UR1, UR2

OBIETTIVI I ANNO

- Determinazione dei parametri fisici delle eruzioni.
- Valutazione della classificazione delle eruzioni esplosive etnee.
- Campionatura sul terreno.
- Misure di densità e vescicolazione sui piroclasti.

Allo scopo di ricostruire la dinamica eruttiva dell'eruzione pliniana del 122 aC è stato eseguito un campionamento di dettaglio della sezione stratigrafica n. 128 in cui affiora la parte medio-prossimale del deposito. Sono stati raccolti 100 clasti juvenili su 9 livelli caratteristici della sequenza verticale del deposito. Su ciascun clasto sono state eseguite misure di densità e ricavato il valore di vescicolarità. In base alle misure di densità, sono stati selezionati 10 clasti per ogni campione, rappresentativi della variazione di vescicolarità, su cui sono state eseguite sezioni sottili lucide che serviranno per caratterizzare la popolazione di vescicole e di microliti, usando immagini SEM e la microsonda elettronica. Questi risultati verranno confrontati con quelli ottenuti dalle misure sulle scorie del Tarawera da B. Houghton, allo scopo di rilevare similarità nella dinamica eruttiva delle due eruzioni. Inoltre è stato eseguito il campionamento degli stessi livelli per le analisi granulometriche.

I parametri fisici delle maggiori eruzioni esplosive etnee degli ultimi 12 ka sono stati ricavati dal calcolo del loro volume, attraverso la misura delle aree delle isopache di 12 eruzioni con programmi software (NHI) e l'applicazione del metodo di Pyle (1989).

PRODOTTI DELLA RICERCA

N° 1 Presentazione orale a Convegni

N° 1 Presentazione poster a Convegni

ELENCO PUBBLICAZIONI

- Coltelli M., Del Carlo P., Houghton B.F. (2001): Towards understanding the trigger mechanisms of basaltic Plinian eruptions. Proceedings of the Cities on Volcanoes 2, Auckland, New Zealand 12-14 February 2001.
- Del Carlo P., Cristofolini R., Pompilio M. (2001): Volatile contents and eruptive dynamics of the 122 BC Plinian Etna eruption (Italy). Abstract Volume of the FIST Conference, Chieti, 5-8 Settembre 2001.

TASK 4 - Valutazione della pericolosità

UR PARTECIPANTI: UNICO, INGV-CT

OBIETTIVI I ANNO

Determinazione del numero, tipo, intensità, cronologia e distribuzione degli eventi esplosivi registrati nella sequenza vulcanoclastica etnea.

Per poter valutare la pericolosità delle eruzioni esplosive sono stati trattati in modo statistico il loro numero nell'unità di tempo ed i tipi principali. Dalla ricostruzione tephro e cronostratigrafica è stato ricavato il numero minimo di eventi esplosivi avvenuti negli ultimi 12 ka. Dalla studio delle caratteristiche fisiche delle eruzioni sono stati classificati i diversi tipi di eventi esplosivi (stromboliani, subpliniani, pliniani) che sono stati divisi per classi di magnitudo. Da questi dati è stato ottenuto un diagramma di frequenza delle eruzioni nel periodo olocenico per intervalli temporali di 1 ka.

PRODOTTI DELLA RICERCA

N° 1 Presentazione orale a Convegni

ELENCO PUBBLICAZIONI

- Del Carlo P., Coltelli M., Vezzoli L. (2001): Relationship between communities and volcanoes: the example of Etna. Proceedings of the Cities on Volcanoes 2, Auckland, New Zealand 12-14 February 2001.

IDENTIFICAZIONE E INTERPRETAZIONE DEI PATTERN SISMICI PRE-ERUTTIVI SU VULCANI EFFUSIVI ED ESPLOSIVI.

Coordinatore scientifico del progetto

Warner Marzocchi – Prof. Associato
INGV-Osservatorio Vesuviano

Partecipanti al progetto

UR#	AFFERENZA	RESPONSABILE
1	INGV-OV	Warner Marzocchi
2	Univ. Roma 3	Roberto Scandone
3	INGV-CT	Susanna Falsperla
4	INGV-Roma 1	Antonio Piersanti

OBIETTIVI GENERALI

Gli obiettivi generali sono suddivisi in due tasks.

TASK 1

UR PARTECIPANTI: UR1, UR2, UR3.

OBIETTIVI I ANNO

- Implementazione di un database sismico-vulcanologico a scala globale.
- Inizio dello sviluppo di codici numerici matematico-statistici per l'analisi multivariata da effettuare sul database.
- Analisi dell'attività sismica che accompagna l'eruzione del Mt St Helens
- Selezione e preparazione dei data set dell'Etna e dello Stromboli.

RISULTATI I ANNO

- Implementazione del database di Benoit & McNutt relativo all'attività sismica in aree vulcaniche. In particolare, si sono aggiunti i dati relativi ai precursori delle eruzioni vulcaniche con VEI ≥ 4 avvenute nell'ultimo mezzo secolo.
- Sviluppo di codici informatici per omogeneizzare i dati raccolti con quelli del database di Benoit & McNutt.
- Inizio della costruzione del database globale relativo all'attività sismica in aree vulcaniche in un formato compatibile con i codici numerici di analisi multivariata. I codici sono stati sviluppati in FORTRAN.
- Sviluppo di alcuni codici numerici di Pattern Recognition. Il linguaggio utilizzato è il FORTRAN. Fino ad ora si sono sviluppati due codici basati sul K-nearest neighbor rule (codice KNN) e sul Binary Decision Tree algorithm (codice BDT).
- Inizio di simulazioni numeriche per verificare le reali potenzialità dei codici di Pattern Recognition sviluppati. In particolare, si è posta e si porrà particolare attenzione alle performance dei diversi codici di analisi multivariata nel trattamento di dataset con pochi dati e aventi distribuzioni statistiche discrete e non gaussiane.
- Studio critico delle applicazioni della Pattern Recognition nell'ambito geofisico, con particolare attenzione al caso della previsione degli eventi sismici e vulcanici.

- Pianificazione di una strategia futura per l'utilizzo di tali codici numerici di Pattern Recognition in ambito internazionale, all'interno del programma WOVodat project coordinato dal dr. Christopher Newhall, dell'USGS.
- Analisi dell'accoppiamento tra sismicità regionale ed eruzioni esplosive in collaborazione con l'unità di ricerca coordinata dal dr. Piersanti (TASK 2). I risultati ottenuti indicano che le eruzioni vulcaniche con $VEI \geq 5$ sono significativamente legate alla sismicità regionale che avviene 0-5 e circa 30 anni prima l'eruzione. Le distanze tra terremoti e vulcaniche possono anche essere mille chilometri. Si è ipotizzato che il legame sia dovuto alla propagazione dello sforzo co- e post-sismico. Una tale futura modellazione sarà uno degli obiettivi comuni di questa unità e di quella coordinata dal dr. Piersanti.
- Modellizzazione dell'evoluzione temporale delle maggiori eruzioni esplosive ed applicazione all'eruzione del Mt St Helens. L'analisi della sismicità che ha accompagnato l'eruzione del St Helens dimostra il comportamento viscoelastico delle pareti della camera magmatica con tempi di rilassamento dell'ordine dei mesi. Nel corso dell'eruzione la risposta delle pareti ad un rapido svuotamento e decompressione della camera è analogo a quello di un contenitore rigido e la sismicità profonda è causata dal raggiungimento di una decompressione dell'ordine di 5-10 MPa in periodi di tempo dell'ordine di poche ore. Se la decompressione avviene su tempi più lunghi (dell'ordine dei giorni/mesi) prevale il riaggiustamento elastico senza attività sismica.

Per lo *Stromboli*, la raccolta dei dati è stata curata con riferimento alle seguenti fenomenologie:

Eventi parossistici. Sono state rianalizzate le registrazioni sismiche relative alle sequenze esplosive, rapide successioni di *explosion quakes* associate ad un vistoso incremento dell'ampiezza del tremore vulcanico. Il materiale raccolto comprende sia registrazioni cartacee che digitali inerenti stazioni a corto periodo ed a larga banda.

Tremore vulcanico. In concomitanza con particolari momenti dell'attività eruttiva del vulcano, sono state selezionate ampie finestre temporali per uno studio sulla polarizzazione del tremore (vedi rif. 2 e 5).

Sismicità locale. Prendendo spunto da risultati di una nostra ricerca già conclusa, è stata estesa al 1999 l'analisi della sismicità crostale a carattere locale che abbraccia circa un secolo di osservazioni da catalogo. L'aggiornamento ha rivelato evoluzioni spazio-temporali delle sorgenti sismiche dei terremoti localizzati all'interno dell'edificio vulcanico, che aprono nuove prospettive nello studio dei meccanismi sismogenetici in quest'area.

Per l'*Etna* la nostra ricerca è stata indirizzata allo studio di:

Eventi a lungo periodo. La raccolta, che è in fase di avvio, è mirata all'identificazione di questi particolari eventi sismici nel corso dell'eruzione etnea iniziata il 12.07.2001. I dati verranno anche utilizzati per approfondire lo studio delle interazioni fra meccanismi di fratturazione fragile ed eventuali *cracks* riempiti di fluidi, a completamento di studi già avviati (vedi rif. 6).

Tremore vulcanico. La raccolta dei dati interessa un'ampia finestra temporale caratterizzata da episodi di fontane di lava ed intensa attività stromboliana. Il *set* selezionato costituisce un utile riferimento per l'inquadramento delle fenomenologie parossistiche che hanno preceduto l'inizio dei fenomeni fratturativi ed effusivi in corso (vedi rif.1 e 4).

PRODOTTI DELLA RICERCA

- n° 2 pubblicazioni su riviste internazionali
- n° 8 pubblicazioni su riviste nazionali, atti, presentazioni a convegni, rapporti tecnici, etc
- 3 codici di calcolo

TASK 2

UR PARTECIPANTI: UR4

OBIETTIVI I ANNO

Sviluppo e perfezionamento del modello sferico, viscoelastico, stratificato ed autogravitante di deformazione co- e postsismica al fine di renderne possibile l'applicazione allo studio delle possibili interazioni tra attività sismica ad alto rilascio energetico ed attività vulcanica esplosiva.

RISULTATI I ANNO

Il modello di deformazione co- e postsismica di partenza [Piersanti *et al.*, 1995; 1997] e' stato sviluppato e perfezionato sotto vari aspetti. Inizialmente lo si è reso in gradi di calcolare lo sviluppo temporale del campo di stress associato ad un evento sismico su scala locale [Nostrro *et al.*, 2001] utilizzando un approccio ibrido geometria sferica/geometria piana applicabile, con buona approssimazione, su scala locale. Il passo successivo, è stato quello di passare dall'approccio ibrido sferico/piano ad un approccio completamente in geometria sferica che permettesse di calcolare l'evoluzione del tensore dello sforzo associato ad un evento sismico in qualsiasi punto del volume terrestre. Dal punto di vista numerico, la difficoltà maggiore nel realizzare un progetto di questo genere consiste nell'altissima precisione numerica richiesta per calcolare le componenti armoniche del tensore degli sforzi per gradi armonici fino a 10.000, necessari per assicurare la convergenza della soluzione in tutte le configurazioni oggetto delle nostre indagini. In particolare, rispetto alle componenti del campo di spostamento, in geometria sferica il calcolo completo del tensore degli sforzi implica la conoscenza delle derivate seconde angolari delle funzioni armoniche sferiche che sono estremamente critiche dal punto di vista della precisione numerica. Successivamente al raggiungimento di questo obiettivo, i nostri sforzi si sono diretti principalmente in due direzioni. Da una parte, abbiamo dato il via ad una serie di prime applicazioni allo studio del trasferimento di sforzo dalle strutture sismiche a quelle vulcaniche, simulando l'effetto di tutti i terremoti con magnitudo superiore o uguale a 7 (circa 800), avvenuti nell'ultimo secolo, sulle strutture vulcaniche che hanno dato luogo alle più grandi eruzioni esplosive degli ultimi anni ($VEI \geq 5$). Dall'altra, per poter effettuare simulazioni di maggiore complessità (maggiore dettaglio spazio-temporale, introduzione di ulteriori complessità reologiche, simulazioni modellistico-statistiche utilizzando cataloghi sismici sintetici), stiamo operando il porting e, successivamente, l'ottimizzazione dei nostri codici numerici su di un cluster di supercomputers vettoriali/paralleli NEC SX4.-IBM SP2.

PRODOTTI DELLA RICERCA

- 2 pubblicazioni su riviste internazionali
- 5 presentazioni a convegni
- realizzazione e messa a punto dei pacchetti numerici SferoPiano e VEI (Vulcan Earthquake global Interaction). Si tratta di codici piuttosto complessi: VEI è un pacchetto di parecchie migliaia di righe di programmazione ed una simulazione realistica richiede un tempo macchina su un server scalare di alto livello che va da un giorno ad un mese.

ELENCO PUBBLICAZIONI

- W. Marzocchi, 2001. Remote seismic triggering of large explosive eruptions. *J. Geophys. Res.*, in stampa.
- Scandone R., Giacomelli L, 2001. The slow boiling of magma chambers and the dynamics of explosive eruption, in stampa *J. Volcanol. Geoth. Res.*

- Scandone R., Giacomelli L, 2000, Il risveglio dei vulcani esplosivi, *Le Scienze*, 386, 90-97.
- Scandone R., Giacomelli L, 2000, The temporal evolution of explosive eruptions, *Atti Convegno GNGTS, Roma, Ottobre 2000*, (abstract)
- A. Bonaccorso, J.C. Bousquet, N. Bruno, G. Budetta, T. Caltabiano, S. Calvari, D. Carbone, M. Coltelli, R. Corsaro, P. Del Carlo, C. Del Negro, S. Falsaperla, F. Greco, G. Lanzafame, D. Patanè, M. Pompilio, E. Privitera, G. Puglisi, R. Romano, S. Spampinato (2000). L'Etna: stato del vulcano al giugno 2000 e prospettive di attività. *Rapporto Istituto Naz. Geof. Vulcan.*, 55 pp.
- S. Falsaperla (2001). Shallow and deep origin of fluid replenishment at Stromboli (Italy): insights from seismic data. *Agreement on scientific cooperation DFG-CNR, Final report, Prot. N. 039214*, 7 pp.
- S. Falsaperla & C. Cardaci (2000). Seismic activity at Stromboli in 1996. In stampa su *Acta Vulcanol.*, 12, 1, 109-111.
- S. Falsaperla, D. Patanè, E. Privitera, S. Spampinato (2000). Seismic monitoring of Etna. In: "Mt. Etna: the state of the volcano at June 2000 and overview of activity". Presentato nella sessione poster del Giubileo dei Ricercatori sul tema: "Contribution of earth science to the mitigation of natural hazards", Roma 6 – 10 Settembre, 2000.
- S. Falsaperla & H. Langer (2000). Long-term dynamics of eruptive activity at Stromboli volcano (Italy): insights from volcanic tremor data. Presentato al Fall Meeting di San Francisco, 15 – 19 Dicembre, 2000, *EOS Trans. AGU Fall Meet. Suppl.*, 81: V52F.
- S. Falsaperla, E. Privitera, B. Chouet, P. Dawson (2001). Analysis of long period events recorded on Mt. Etna (Italy) in 1992, and their relationship with eruptive activity. Sottoposto a *J. Volcanol. Geoth. Res.*
- Nostro, C., A. Piersanti and M. Cocco, Normal fault interaction caused by coseismic and postseismic stress changes, *J. Geophys. Res.*, in stampa, 2001.
- Casarotti E., A. Piersanti, F. P. Lucente and E. Boschi, Global postseismic stress diffusion and fault interaction at long distances, *Earth Plan. Sci. Lett.* in stampa, 2001.
- Casarotti, E., A. Piersanti, F. P. Lucente and E. Boschi, Global postseismic stress diffusion and fault interaction at long distances, riassunto esteso XIX conv. G.N.G.T.S., 2000.
- Casarotti, E., A. Piersanti, F. P. Lucente and E. Boschi, Global postseismic stress diffusion and fault interaction at long distances, AGU Fall Meeting, 2000.
- Marzocchi, W., E. Casarotti, and A. Piersanti, Large remote earthquakes promote the occurrence of large explosive eruptions, AGU Fall Meeting, 2000.
- Casarotti, E., A. Piersanti, F. P. Lucente, Global postseismic stress diffusion and fault interaction at long distances, XXVI EGS Assembly, 2001

CREAZIONE DI CARTOGRAFIA TEMATICA IN AREE VULCANICHE

Coordinatore scientifico del progetto

Maria Teresa Pareschi - Direttore CNR
Centro per la Geologia Strutturale
e Dinamica dell'Appennino, Via S. Maria 53, 56126, Pisa.

Partecipanti al progetto

UR#	AFFERENZA	RESPONSABILE
1	CNR-CGSDA	Pareschi Maria Teresa
2	art. 23 CSGSDA-CNR	Favalli Massimiliano
3	Borsita	Marina Bisson
4	assegno ricerca CNR-CGSDA	Sulpizio Roberto
5	assegno ricerca Dipartimento di Scienze della Terra, Pisa	Zanchetta Giovanni

OBIETTIVI I ANNO

Gli obiettivi del primo anno erano:

- La creazione (o completamento) di DEM per i principali vulcani attivi italiani
- Valutazione della pericolosità per fenomeni controllati dalla morfologia.
- Valutazione di volumi dei collassi laterali delle Isole Eolie.
- Creazione di un Sito Internet (DEM e dati morfologici)

RISULTATI I ANNO

- Realizzazione di DTM per le isole Eolie

E' stato realizzato un DEM delle Isole Eolie con passo 5m, comprensivo anche della parte batimetrica. I dati sono stati ottenuti a partire da 253 fotogrammi (230mmx230mm) alla scala effettiva 1:23,000, datati 1994-95. L'errore altimetrico è inferiore ai 2m. Per l'area del cono dell'Isola di Vulcano si sono usati dati di Achilli et al. (1998), con un errore altimetrico inferiore ai 50cm.

La parte batimetrica (avente un'estensione di 2700km²) è stata ricostruita a partire da punti dell'IGM, disponibili lungo rotte distanti da qualche decina ad alcune centinaia di metri l'una dall'altra, in funzione della distanza dalla costa, radiali e parallele alle coste stesse. E' stato sottomesso un lavoro sulla ricostruzione del DTM delle Eolie, comprendente sia la parte emersa che batimetrica, oltre che un lavoro su rivista nazionale, presentazioni a convegni ecc. I dati di Vulcano sono stati utilizzati, unitamente ad immagini MIVIS, per una analisi delle zone alterate dal punto di vista idrotermale.

- Identificazione e ricostruzione dei volumi di debris avalanches alle Eolie.

A partire dal DEM sono state individuate le nicchie di distacco e la parte a mare del deposito di numerose debris avanches alle isole Eolie. Si tratta di una identificazione completamente nuova in alcuni casi, in altri si modificano proposte avanzate, o, rispetto ai dati di letteratura, viene completata l'informazione grazie alla parte batimetrica. Si sono stimati i volumi delle debris avalanches individuate e si è identificato una zona potenzialmente soggetta a un collassamento nella parte nord del cono di Vulcano. Lo slittamento a mare potrebbe essere causa di danni notevoli, legati in particolare a un'onda di tsunami. E' stato sottomesso un lavoro in cui si identificano le debris avalanches, i volumi relativi (con l'analisi combinata del DTM emerso e dei depositi a mare) e le età attraverso una datazione delle formazioni precedenti e successive.

- Completamento di un TIN di dettaglio della Regione Campania.

Il TIN è stato realizzato per l'intera regione. E' di grande risoluzione. Per la sua realizzazione si sono usate curve di livello e punti quotati sparsi, applicando per l'interpolazione un algoritmo che pensiamo di brevettare. I dati ricavati hanno permesso di realizzare analisi morfologiche di propensione al dissesto sia al Vesuvio, che sugli Appennini verso Est (valle del Clanio), sottovento rispetto alle eruzioni pliniane del Vesuvio. I risultati sono stati oggetto di un articolo pubblicato su *Geology* e recentemente di un articolo in press su *Geomorphology*. I dati del DTM sono stati usati anche per la simulazione degli alluvionamenti nella zona a Nord del Vulcano.

- Creazione di un Sito Internet (DEM e dati morfologici)

Per quanto riguarda la realizzazione del sito web, su cui consultare i DEMs dei vulcani Italiani ed eventualmente dampare i dati, e in generale il progetto per la messa in rete di cartografia tematica, lo schema di riferimento è stato disegnato, ma non ancora implementato. Questo è dovuto al fatto che avevo avuto una assegnazione nel primo anno di 120 mil., di cui 28 mi sono stati dati direttamente presso il mio Centro e gli altri su fondi direzione. Di questi ultimi ho potuto spendere L.20.545.994. I restanti fondi non sono risultati disponibili. Mancano all'appello dunque circa 72 milioni che non mi hanno consentito di comprare il software di base per la messa in rete e la realizzazione del sito.

PRODOTTI DELLA RICERCA

- n° pubblicazioni su riviste internazionali (2 submitted)
- n° pubblicazioni su riviste nazionali, atti, presentazioni a convegni, rapporti tecnici, carte, etc

ELENCO PUBBLICAZIONI (includendo lavori in stampa e sottomessi)

- Pareschi M.T., Favalli M., Giannini F., Sulpizio R., Zanchetta G., Santacroce R. May 5, 1998, Debris flows in circumvesuvian areas (Southern Italy), insights for hazard assessment, *Geology*, 28, 7, 639-642.
- Pareschi M.T., L.Cavarra, M.Favalli, F.Giannini, 2000, GIS and Volcanic Risk management, *Natural Hazard*, 21, 361-379.
- Pareschi, Santacroce, Sulpizio, Zanchetta, Volcanoclastic debris flows in the Clanio Valley (Campania, Italy): Insight for the assessment of hazard potential, *Geomorphology*, accepted.
- Mazzarini F., Pareschi M.T., Sbrana A., Favalli M., Fulignati P., Surface hydrothermal alteration mapping at Vulcano Island using MIVIS data, *Internation Journal of Remote Sensing*, 2001, 22, 11, 2045-2070.
- Pareschi M.T., G.Stefani, A.Varone, L.Cavarra, F.Giannini, A GIS for the archaeological area of Pompeii, *Volcanoes Earthquakes & archaeology*, McGuire WG, Griffiths DR, Hancock PL, Stewart IS (eds), *The Archeology of Geological Catastophes*, Geological Society of London, Special Publications, 2000, 171, 143-158.
- M.Favalli, M.T.Pareschi, L.Sinapi, M.Bisson, A.Mori, A morphometric model of the Aeolian Islands, *Geodinamica Acta*, submitted
- M.Favalli, R.Mazzuoli, M.T.Pareschi, Large landslides on the volcanic flanks of Aeolian Islands (South Italy) evidenced by DEM images: inferences on natural hazards, submitted
- F.Mazzarini, M.T.Pareschi, Uso dei dati MIVIS per il rilevamento dell'alterazione idrotermale in aree vulcaniche attive: l'esempio dell'isola di Vulcano, Seminario "I dati

- Iperspettrali MIVIS: ricerca e applicazioni”, 7-8 Giugno 2000, GISFORM, Colorno (Pr).
- M. Favalli, F.Mazzarini, M.T. Pareschi, Simulation of Volcanic plume dispersion at Mt.Etna (Sicily, Italy), 2001 General Assembly of the EGS, Nice, 26-30 March, 2001.
- M.T.Pareschi, GIS technology for Volcanic risk management and mitigation, NATO Advanced Research Workshop, GIS for Emergency Preparedness and Health Risk Reduction, Budapest, 22nd-25th April 2001, pag. 32.
- M. Favalli, G.Graziani, M.T. Pareschi, M. Ranci, The simulation of non explosive volcanic emissions: the case of the SO₂ from the Etna crater, Seventh International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes, 28-31 May, 2001, Belgirate (Lake Maggiore), Italy
- M.T. Pareschi, M.Rosi, A.Meriggi, GIS and Volcanic Risk Management, abstract accepted for oral presentation at the International conference: Cities on Volcanoes, 12-16 February 2001, New Zealand.
- Leoni F.M., Pareschi M.T., Santacroce R., Sulpizio R., Zanchetta G, Volcanoclastic debris flows in circumvolcanic areas: the May 5-6 1998, event in the Campanian region, Italy, II International Conference: Cities on Volcanoes, New Zealand, 12-16 February 2001.
- S. Barontini , S. Cavazza, M.T. Pareschi , G. Zanchetta , Delineation of sin-eruptive floods in circumvesuvian plain, 2001 General Assembly of the EGS, Nice, 26-30 March, 2001.
- M.T. Pareschi, M. Favalli, F. Giannini, M. Bisson, A. Meriggi, Modello altimetrico delle isole Eolie, IAC, Firenze, 2001.
- M.Favalli, A. Mori, M.T.Pareschi, L.Sinapi, Il modello tridimensionale dell'arcipelago Eoliano, un esempio di integrazione tra rilievo fotogrammetrico e batimetrico, Bollettino SIFET, in press

SVILUPPO ED APPLICAZIONE DI TECNICHE DI TELERILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEI VULCANI ATTIVI ITALIANI

Coordinatore scientifico del progetto

Mauro Coltelli - Ricercatore
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - Sezione di Catania

Partecipanti al progetto

UR#	AFFERENZA	RESPONSABILE
1	CNR- CSGSDA, Pisa	Francesco Mazzarini
2	Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Catania	Giuseppe Puglisi
3	Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Centro Nazionale Monitoraggio della Sismicità, Roma	Maria Fabrizia Buongiorno
4	Institut de Physique du Globe de Paris	Pierre Briole
5	CNR- Istituto per il Rilevamento Elettromagnetico dell'Ambiente, Napoli	Riccardo Lanari
6	Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology Pasadena, California	Paul Lundgren
7	Observatoire de Physique du Globe de Clermont- Fd	Georges Duboscq
8	Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Osservatorio Vesuviano, Napoli	Sven Borgstrom
9	Dip. di Elettronica e Informazione, Politecnico di Milano	Claudio Prati
10	Dip. di Fisica, Università di Bologna	Paolo Baldi
11	Dip. Di Elettronica, Informatica e Sistemistica, Università della Calabria, Rende CS	Giuseppe Di Massa
12	Dip. Elettrico, Elettronico e Sistemistico, Università di Catania	Giuseppe Nunnari
13	Dip. Scienze Ingegneria, Sez. Osservatorio Geofisico, Università di Modena	Sergio Pugnaghi
14	Dip. di Costruzioni e Trasporti, Università di Padova	Vladimiro Achilli
15	Dip. Idraulica, Trasporti e Strade, Università La Sapienza di Roma	Maria Marsella

OBIETTIVI GENERALI

Task 1: Applicazione dell'Interferometria SAR allo studio delle deformazioni del suolo

Task 2: Applicazione di Modelli Digitali del Terreno (DTM) alla vulcanologia

Task 3: Telerilevamento delle anomalie termiche dei vulcani attivi

Task 4: Monitoraggio delle nubi eruttive

Task 5: Studio dei gas emessi dai plumes vulcanici mediante tecniche di telerilevamento

TASK 1 - Applicazione dell'Interferometria SAR allo studio delle deformazioni del suolo

UR PARTECIPANTI: UR2, UR8, UR5, UR4, UR6, UR9, UR11, UR12

OBIETTIVI I ANNO

- 1) Produzione di mappe di deformazione con software commerciali e sviluppo di algoritmi di srotolamento della fase in software sperimentali.
- 2) Studio sugli scatteratori permanenti su aree campione.
- 3) Messa a punto di tecniche di misura della retrodiffusione delle microonde su terreni vulcanici.
- 4) Esecuzione di misure per la calibrazione delle misure interferometriche e per la validazione dei risultati.
- 5) Studio e messa a punto di tecniche di filtraggio avanzato basato su approcci multi-scala e sulla disponibilità di informazioni sul ritardo atmosferico del segnale SAR.
- 6) Studio e messa a punto di modelli analitici diretti ed inversi
- 7) Analisi dell'applicazione dei modelli analitici semplici e delle le tecniche di filtraggio ai dati già disponibili per l'area Etna

RISULTATI I ANNO

Complessivamente si può affermare che molti degli obiettivi inizialmente previsti sono stati raggiunti, malgrado l'esistenza di alcuni problemi che hanno fortemente penalizzato il Task e che hanno richiesto una loro riprogrammazione. In pratica questi problemi hanno portato alla non disponibilità dei dati inizialmente previsti nel progetto ed a spostare la data dell'inizio delle attività

Il primo problema è stato la non disponibilità dei dati SAR per il 2000, perché questi sono stati acquisiti dal GNV solo al termine del primo anno; questo ha determinato la necessità di attingere ai data base di ciascuna UR per il raggiungimento degli obiettivi. Il secondo problema riguarda la non disponibilità dei dati 2001, a causa del guasto occorso all'ERS2 nel gennaio 2001; questo ha imposto un calendario di alcune attività di calibrazione diverso da quello previsto. A questi problemi si sono aggiunti anche quelli determinati dal ritardo nel trasferimento dei fondi verso alcune UR (p.e. IPGP).

I risultati sono sinteticamente di seguito riportati, ordinati per numero di Obiettivo sopra indicato.

Obiettivo n.1. Si è proceduto all'elaborazione dei dati SAR mediante software sperimentali e software commerciali, questi ultimi scelti sulla base delle caratteristiche avanzate di interfaccia utente e di qualità, e tipo dei prodotti che è possibile ottenere (DEM, mappe di spostamento). In assenza dei dati acquisiti dal GNV si è proceduto al test del software commerciale ed all'utilizzo di software sperimentali di ricerca utilizzando dati già posseduti in archivio alle varie UR. Il test è stato condotto sia producendo DEM dell'Etna che procedendo allo studio del campo di deformazione associato all'attività parossistica verificatasi all'Etna il 22 luglio 1998 (UR INGV-CT). Il software sperimentale di ricerca è stato applicato dalle UR IREA ed INGV-NA, nello studio dell'episodio di sollevamento verificatosi nel periodo Marzo-Luglio 2000 nell'area flegrea. Inoltre, è stato sviluppato un algoritmo per lo srotolamento della fase relativa ad interferogrammi differenziali che opera su griglia sparsa (UR IREA).

Obiettivo n.2. La non disponibilità dei dati ha impedito il raggiungimento di questo obiettivo come previsto inizialmente. Ad ogni modo, poiché questa attività è strettamente connessa con le misure di calibrazione (vedi Obiettivo 4), in vista delle future acquisizioni SAR nell'area di studio, la UR POLIMI ha progettato e sviluppato alcuni prototipi di nuovi riflettori radar. Il

prossimo anno una rete di questi riflettori sarà installata sull'Etna, in cooperazione con INGV-CT.

Obiettivo n.3. Per ciò che riguarda questo obiettivo, le misure di retrodiffusione in-situ su campioni di suolo, sono state usate per derivare la curva di calibrazione dello scatterometro. Tale curva è stata poi comparata con i risultati provenienti da semplici modelli elettromagnetici di trasmissione e retrodiffusione su suoli omogenei.

Obiettivo n.4. Durante quest'anno, sono state effettuate sessioni di misure GPS su siti selezionati durante i passaggi ERS sull'Etna, al fine di stimare il ritardo troposferico utilizzando approcci implementati in precedenti progetti dalla UR INGV-CT. La configurazione della rete GPS è stata migliorata aumentando il numero delle stazioni da 4, durante la prima sessione, a 12 nell'estate 2001. I dati GPS sono anche utilizzati ai Campi Flegrei per validare le mappe interferometriche di deformazione del suolo relative all'episodio di sollevamento avvenuto nel Marzo-Luglio del 2000.

Obiettivo n.5. Per superare il cosiddetto disturbo speckle, da attribuirsi principalmente a cause di natura intrinseca alle immagini stesse, durante il primo anno di attività è stata studiata una nuova tecnica 2-D per filtrare lo speckle dalle immagini SAR, migliorando le caratteristiche del tradizionale filtro mediano. L'indisponibilità dei dati SAR non ha permesso lo sviluppo della tecnica di filtraggio basata sul ritardo atmosferico del segnale SAR, che verrà affrontata durante il prossimo anno.

Obiettivo n.6. Lo studio dei modelli analitici implica un'azione preliminare, obbligatoria prima di iniziare qualsiasi tipo di lavoro di modellazione: un accurato processamento dei dati GPS disponibili. Le campagne GPS eseguite dall'INGV-CT (precedentemente IIV) nel 1996, 1997 e 1998 sono state accuratamente processate dall'IPGP. I risultati dei confronti sono stati interpretati utilizzando un semplice modello di Mogi. Queste analisi mostrano che una singola sorgente non giustifica da sola i movimenti verso Est osservati su diversi punti GPS situati lungo la costa, ma è richiesto un meccanismo supplementare, come per esempio un possibile movimento lungo faglie.

Obiettivo 7. E' stata eseguita l'inversione congiunta degli interferogrammi dei dati SAR ascendenti e discendenti per l'Etna, permettendo di seguire la dinamica del vulcano a partire dalla fase di quiescenza dal 1993 fino all'inizio dell'attività eruttiva ripresa nel tardo 1995. E' stato anche considerato il calcolo del ritardo troposferico basato sui dati meteorologici. Questi dati sono coerenti con un rigonfiamento causato da una sorgente magmatica sferoidale situata a 5 Km sotto il livello del mare in corrispondenza della sommità, in aggiunta ad uno spostamento del fianco Est etneo lungo uno scollamento basale.

PRODOTTI DELLA RICERCA

- n. 2 pubblicazioni su riviste internazionali
- n. 8 pubblicazioni su riviste nazionali, atti, presentazioni a convegni, rapporti tecnici, etc
- banche dati: dati GPS inerenti ai passaggi dell'ERS2 sull'Etna (UR INGV-CT)
- codici di calcolo: Le UR hanno implementato i seguenti codici: una procedura software, in ANSI C, per il filtraggio dello speckle dalle immagini SAR (UR UNICT). Un prototipo di software, implementato in IDL, per l'esecuzione di un algoritmo di fase unwrapping (UR IREA).
- Altro: costruzione di un riflettore per microonde radar e test sul campo (UR POLIMI)

TASK 2 - Applicazione di Modelli Digitali del Terreno (DTM) alla vulcanologia

UR PARTECIPANTI : UR15, UR14, UR10, UR2

OBIETTIVI 1° ANNO

- 1) Messa a punto delle metodologie di acquisizione e trattamento dei dati GPS per la definizione dei punti di controllo a terra e dei centri di presa fotografici tramite GPS.
- 2) Esecuzione dei voli Fotogrammetrici su Stromboli e Vulcano. Elaborazione digitale dei fotogrammi. Sperimentazione della fotogrammetria da elicottero. Estrazione di DTM SAR
- 3) Verifica delle mappe di variazione morfologica. Validazione di DTM SAR.

RISULTATI 1° ANNO

I risultati sono sinteticamente di seguito riportati, ordinati per numero di Obiettivo sopra indicato.

Obiettivo n.1

Utilizzando i dati acquistati durante il volo fotogrammetrico del 1996 (scala fotografica 1:10.000) è stato sperimentato l'uso dei centri presi GPS in aggiunta ai punti di controllo a terra (GCP) nel procedimento di aerotriangolazione (AT). I risultati sono stati confrontati con quelli ottenuti tramite un procedimento classico (solo GCP). Le precisioni ottenibili sulla determinazione di coordinate tridimensionali sono state verificate tramite l'uso dei punti TEST di coordinate note. Il controllo è stato realizzato su singole strisciate e su un blocco costituito da due strisciate.

Obiettivo n.2

Nel Giugno 2001 si è proceduto all'esecuzione dei voli fotogrammetrici a scala media 1:5000 sul Cratere La Fossa di Vulcano ed aree circostanti, e sull'Isola di Stromboli. E' stato utilizzato un aereo dotato di GPS; pertanto e' stato necessario istituire stazioni di riferimento GPS a terra per la definizione di precisione dei centri di presa tramite soluzione differenziale cinematica OTF. E' stata materializzata una rete d'appoggio costituita da un numero sovrabbondante di punti che sono stati misurati tramite rilievo GPS statico. Tali punti sono stati distribuiti omogeneamente su tutte le aree indagate, sia arealmente che altimetricamente. Inoltre, sono stati realizzati dei rilievi cinematici sull'Isola di Stromboli da utilizzare a ulteriore verifica della qualità del DTM che verrà prodotto.

Presso il Dipartimento di Fisica dell'Università di Bologna è stato messo a punto un laboratorio di fotogrammetria digitale attivando la stazione Helawa acquisita dall'O.V. ed acquistando (con fondi dell'Università) uno scanner fotogrammetrico di alta qualità. A seguito del corso tenuto nel Gennaio 2001, a cui hanno partecipato tre ricercatori (U.O. di Roma, Bologna e Padova), si è proceduto a diverse sperimentazioni del sistema stesso. In particolare è stata effettuata la restituzione dei fotogrammi a scala 1:10000 del volo su Vulcano del 1996, producendo un DEM su griglia di 10 m, e l'ortofoto di tutta l'isola. Inoltre presso il Dipartimento di Idraulica Trasporti e Strade dell'Università di Roma "La Sapienza", è stata attivata la stazione stereofotogrammetrica digitale StereoView Suite, distribuita da NIKON INSTRUMENTS, per la realizzazione di DTM di precisione in alcune aree di dettaglio (aree di frana, ecc.). Tali DTM serviranno di riferimento per le operazioni successive e verranno anche utilizzati come strumenti da affiancare ai rilievi a mare per la simulazione degli tsunami e per lo studio dell'instabilità dei fianchi di edifici vulcanici insulari, nell'ambito dei progetti coordinati da Rosi e Chiocci.

Nel primo anno del progetto non sono stati eseguiti rilievi da elicottero a causa della non disponibilità dell'aeromobile. Sono stati eseguiti alcuni sopralluoghi sull'Isola di Stromboli

per verificare la necessità e la fattibilità di rilievi da elicottero ad integrazione dei rilievi da aereo.

Inoltre non è stato possibile estrarre DTM SAR per la mancanza delle immagini.

Obiettivo n.3

Sono stati eseguiti sopralluoghi sulle isole di Stromboli e Vulcano per l'individuazione di siti idonei alla esecuzione di misure topografiche terrestri. La rete di punti di appoggio fotogrammetrici è stata implementata aumentando il numero di punti in corrispondenza della base della Sciara del Fuoco e delle zone in prossimità dei crateri.

In conseguenza della mancanza delle immagini SAR, vedi obiettivo 2, l'attività di validazione dei DTM SAR non è stata fatta.

PRODOTTI DELLA RICERCA

- n. 1 pubblicazioni su rivista internazionale
- n. 1 presentazione ad un convegno
- Attivazione del laboratorio di fotogrammetria digitale presso l'università di Bologna
- Generazione del DEM al 10.000 e dell'ortofoto dell'Isola di Vulcano

TASK 3 - Telerilevamento delle Anomalie Termiche dei Vulcani Attivi

UR PARTECIPANTI: UR3

OBIETTIVI I ANNO

- 1) Analisi delle serie temporali (eruzione 1984-1993) con dati LANDSAT (serie del 1 JPL), AVHRR, ATSR per la verifica algoritmo dual band. Selezione di 12 immagini Landsat TM per completare i dati della serie 1991-1993

RISULTATI I ANNO

Purtroppo dopo quasi un anno di progetto non abbiamo ancora ricevuto i dati LANDSAT necessari a completare l'analisi statistica della serie 1991-1993, pertanto nel corso del primo anno sono stati affrontati solo aspetti metodologici.

Obiettivo n.1

Sviluppo di un filtro per la determinazione dei pixel radianti su immagini nello SWIR del TM (LANDSAT) utilizzando la serie 1984-1993 fornita dal JPL. Miglioramento delle tecniche di stima della temperatura di sub-pixel.

Applicazione della suddetta metodologia ad immagini acquisite con spettrometri ad immagine su sistemi aerei (che offrono un range dinamico di 16 bit invece degli 8 bit utilizzati dal LANDSAT). Su questi dati si sta anche verificando la possibilità di distinguere i pixel radianti dovuti a campi di fumarole o laghi di lava. (Op 3.1)

Acquisizione digitale della cartografia dell'IGMI relativa all'Etna, georeferenziazione delle mappe su DTM del CNR (1:10.000) (borsa di studio di 7 mesi). Il data base così creato potrà essere utile sia per la pianificazione delle future campagne aeree che per l'interpretazione dei dati multitemporali. Registrazione al DTM di tutta la serie LANDSAT per lo studio dell'andamento del budget radiativo dovuto ai pixel radianti dei crateri sommitali e delle colate laviche attive per future correlazioni statistiche con altri parametri.

PRODOTTI DELLA RICERCA

- n° 2 pubblicazioni su riviste internazionali

- n° 3 codici di calcolo:
 - Dual-band routine per immagini da Landsat 5 TM
 - Dual-band routine per immagini da DAIS
 - Interfaccia MODTRAN per la creazione delle cards

TASK 4 - Monitoraggio Delle Nubi Eruttive

UR PARTECIPANTI: UR2, UR7, UR11

OBIETTIVI I ANNO

- 1) Progettazione e sviluppo del prototipo del Voldorad-2 per usi mobili e da postazione fissa remotabile.
- 2) Studio e messa a punto di algoritmi in grado di valutare il ritardo atmosferico prodotto dalle nubi di cenere vulcanica in relazione alla direzione azimutale e di elevazione di ciascun satellite GPS.
- 3) Studio di modelli semplificati per la previsione della retrodiffusione e la trasmissione delle microonde attraverso nubi piroclastiche.

RISULTATI I ANNO

I risultati sono sinteticamente di seguito riportati, ordinati per numero di Obiettivo sopra indicato.

Obiettivo 1

Basato sull'esperienza acquisita dall'OPGC con il radar Voldorad-1 (entrambi con alta -1KW- e bassa -100W- potenza) sono state definite le specificazioni del Voldorad-2. La potenza emessa sarà meno che 100W e la durata degli impulsi sarà selezionabile da 0.4 a 1.5 μ s (con passi di 0.1 μ s) definendo risoluzioni in range da 60m a 225m. Il radar sarà alloggiato in un'unità (~60x60x60 cm), il suo peso totale sarà approssimativamente 50kg e il consumo totale (PC incluso) sarà circa 200W.

A causa della lunga procedura amministrativa per trasferimento dei fondi (contratto INGV/UBP) l'OPGC non ha ancora ricevuto i fondi stanziati per il primo anno del contratto. Così, la costruzione di Voldorad-2 non è stata intrapresa. Di conseguenza, la nostra attività è stata dedicata allo sviluppo di software per l'unità di processamento dei segnali.

Alcuni di questi aggiornamenti software sono stati provati durante un esperimento all'Etna (3 a 16 di Luglio) sostenuto con fondi INSU/CNRS dell'OPGC ed utilizzando il Voldorad-1 che opera a bassa potenza (60 W). Molti dati sono stati raccolti durante i tre episodi eruttivi osservati dal radar, e dopo la loro analisi, i risultati saranno presi in considerazione per la costruzione di Voldorad-2.

Obiettivo 2

Per il raggiungimento di questo obiettivo è stato dapprima valutato il tipo di software da utilizzare nella prima fase di test. Sulla base della lunga esperienza acquisita nell'abito della valutazione del ritardo atmosferico mediante dati GPS processati con il software Bernese, si è ritenuto opportuno utilizzare questo software anche per la valutazione del ritardo atmosferico prodotto dalle nubi di cenere vulcanica e quindi si è proceduto all'aggiornamento del software con le routine necessarie ad analizzare il ritardo lungo le direzioni di ciascun satellite GPS. Questo consentirà di acquisire la necessaria esperienza per mettere a punto procedure automatiche basate anche su altri software (tipo GIPSY-OASIS) sui quali al momento si ha una minore esperienza.

Dall'analisi del data-base GPS disponibile all'INGV di Catania non è stato trovato per il passato un set di dati idoneo al raggiungimento di questo obiettivo. Comunque durante l'eruzione dell'Etna del luglio-agosto 2001 sono stati acquisiti dati che da una prima sommaria analisi sembrerebbero idonei a questo lavoro e quindi è stato programmato il loro processamento nei prossimi mesi.

Obiettivo 3

Allo scopo di caratterizzare elettricamente le ceneri vulcaniche, è stato adottato un metodo che utilizza un cavo coassiale aperto per ottenere la permittività complessa. Pertanto nel laboratorio del DEIS-UNICAL è stata progettata una sonda operante alle frequenze delle microonde, la cui calibratura è stata ottenuta adoperando liquidi standard quali acqua e metanolo. La procedura consiste nel porre il materiale da esaminare in diretto contatto con la terminazione della sonda, misurando il coefficiente di riflessione in corrispondenza di tale terminazione e ricavando, quindi, l'ammettenza d'ingresso dello stesso materiale. La permittività complessa viene, infine, calcolata risolvendo numericamente, mediante l'algoritmo di Newton, il sistema di equazioni non lineari ottenuto dall'integrale di Marcuvitz. La matrice di scattering del circuito due-porte equivalente alla sonda coassiale è stata calcolata nel range 1-18GHz. E' stato, inoltre, sviluppato un codice di calcolo per la risoluzione dell'integrale di Marcuvitz al fine di ottenere la parte reale e la parte immaginaria della permittività a partire dalle misure dell'ammettenza d'ingresso.

PRODOTTI DELLA RICERCA

- n. 1 pubblicazione sottomessa a una rivista internazionale
- n. 1 presentazione a convegno internazionale
- codice di calcolo per la risoluzione dell'integrale di Marcuvitz per ottenere la permittività complessa

TASK 5: Studio dei gas emessi dai plumes vulcanici mediante tecniche di telerilevamento

UR PARTECIPANTI: UR3, UR13, UR1

OBIETTIVI I ANNO

- 1) Sviluppo di algoritmi per l'inversione analitica dell'equazione di trasferimento radiativo per ottenere il contenuto colonnare dalla misura telerilevata, noti i termini atmosferici, di SO₂ da dati MIVIS 97. Sviluppo di algoritmi con le stesse finalità di quelli al punto precedente applicabili a dati ASTER. Installazione di due stazioni sull'Etna, a differente quota, per la ripresa dati meteorologici. Installazione di un fotometro CIMEL per iniziare la raccolta dati sulle caratteristiche ottiche del plume etneo.
- 2) Completamento dell'analisi dei dati MIVIS 1997 per la verifica della metodologia di stima dell'CO₂ confronto con i dati della campagna MVRRS (FTIR).
- 3) Sviluppo del sistema per la correzione geometrica dei dati telerilevati d'aereo. Studio di modelli 3D di dispersione dei plumes vulcanici

RISULTATI I ANNO

I risultati sono sinteticamente di seguito riportati, ordinati per numero di Obiettivo sopra indicato e raggruppati in Sviluppi metodologici, Acquisizione dati, Interpretazione e modellistica.

- Sviluppi metodologici

Obiettivo 1 Analisi dei vari termini atmosferici dell'equazione di trasferimento radiativo e individuazioni di relazione semplificate per il sensore MIVIS. E' stata messa a punto una tecnica di split-windows per la valutazione del contenuto di SO₂ da dati MIVIS e ASTER (UNIMO, INGV-CNMS).

Obiettivo 2 Sviluppo di un algoritmo per il calcolo dello spessore ottico del plume etneo a partire da dati MIVIS per stimare i parametri relativi agli aerosol da utilizzare nel modello atmosferico per la stima della CO₂. Per quanto riguarda la modellistica mediante codici di trasferimento radiativo con la CO₂ siamo stati costretti a rimandare questa attività a dopo la campagna con il DLR (airborne FTIR) per mancanza di dati di supporto (vedi acquisizione dati) (INGV_CNMS).

Obiettivo 3 Nell'ambito di questa attività è stato sviluppato un codice per la correzione delle distorsioni geometriche delle immagini MIVIS al fine di confrontare le stime di SO₂ ricavate dall'immagine con i modelli di dispersione. Il modello di dispersione sviluppato consiste in due processi distinti: la creazione del campo dei venti che rappresenta il modello di flusso, e la simulazione della dispersione di concentrazioni di particelle in questo modello di flusso. Per generare il campo dei venti, relativo al sorvolo MIVIS 1994 preso come riferimento, è stato usato il Regional Atmospheric Mesoscale flow model (RAMS) (CSGDA).

- Acquisizione dati

Obiettivo 1 Raccolta dei profili verticali atmosferici dalla stazione WMO 16429 (Trapani) per il periodo 1977-200 al fine di determinare il "giorno tipo" utile per la modellistica del trasferimento radiativo (UNIMO).

Obiettivo 2 Sono state richieste le immagini AVIRIS delle HAWAII al fine di sperimentare l'algoritmo di stima della CO₂ su dati piu' idonei del MIVIS. Per quanto riguarda i confronti con i dati acquisiti durante la campagna MVRRS siamo ancora in attesa dei dati relativi alle misure di concentrazione dei gas (misure dirette di CO₂, SO₂, distribuzione delle particelle) e ai rapporti tra specie gassose (ottenute con l'FTIR).

Obiettivo 3 Non è stata effettuata alcuna campagna di misurazioni radiometriche, poiché si intende effettuare tale campagna il prossimo anno assieme ad altre unità di ricerca ed in concomitanza ad un passaggio del satellite ASTER

- Interpretazione e modellistica

Obiettivo 1 I modelli per la determinazione della SO₂ contenuta nel plume etneo sono stati applicati con successo alle immagini MIVIS del 1997 e ad immagini simulate ASTER (UNIMO, INGV-CNMS).

Obiettivo 2 Applicazione di modelli atmosferici al range 0.4-2.5 del MIVIS , stima della distribuzione dello spessore ottico del Plume (INGV-CNMS).

Obiettivo 3 Relativamente alle immagini MIVIS 1994, sorvolo diurno, è stato implementato il modello di dispersione della plume di SO₂ in 3D (CSGDA).

PRODOTTI DELLA RICERCA

- n. 2 pubblicazioni su riviste internazionali
- n. 4 pubblicazioni su riviste nazionali, atti, presentazioni a convegni, rapporti tecnici, etc
- n. 5 codici di calcolo:

Algoritmo Split-Windows per il calcolo della SO₂ da dati MIVIS

Algoritmo Split-Windows per il calcolo della SO₂ da dati ASTER

Modello per la semplificazione delle equazioni di trasferimento radiativo

Algoritmo per la stima dello spessore ottico su dati MIVIS

Algoritmo per la correzione delle distorsioni geometriche dei dati aerei MIVIS

ELENCO PUBBLICAZIONI

- Achilli V., Al-Bayari O., Aquino I., Berardino P., Borgström S., Cecere G., Del Gaudio C., De Martino P., Dubbini M., Fabris M., Galluzzo D., Lanari R., Marzocchi W., Menin A., Ricciardi G.P., Ricco C., Salemi G., Sansosti E., Sepe V., Siniscalchi V., Tesauro M. and Trevisan R. (2001), Un approccio multimetodologico per il monitoraggio geodetico dell'area flegrea - Proceedings of the I A.U.T.e C. Congress, May 17-18, 2001, Naples-Italy (in press).
- Achilli V., Aquino I., Berardino P., Borgström S., Cecere G., Del Gaudio C., De Martino P., Fabris M., Fusco A., Galluzzo D., Lanari R., Menin A., Ricciardi G.P., Ricco C., Salemi G., Sansosti E., Sepe V., Siniscalchi V. and Tesauro M. (2001), Integration of SAR Interferometry with classical geodetic techniques for ground deformation monitoring at the Phlegrean Fields (Naples, Italy) - Proceedings of the Italy-Canada 2001 Workshop on "3D Digital Imaging and Modeling Applications of: Heritage, Industry, Medicine & Land", April 3-4, 2001, Padua-Italy (on CD-ROM).
- Baldi P., Bonvalot S., Briole P., Coltelli M., Gwinner K., Marsella M., Puglisi G, Rème D. (2001)– Validation and comparison of different techniques for the derivation of digital elevation models and volcanic monitoring (Vulcano Island, Italy). International Journal of Remote Sensing (submitted).
- Berardino P., Borgstrom S., Del Gaudio C., De Martino P., Fornaro G., Lanari R., Ricciardi G.P., Sansosti E. and Sepe V. (2001), Potentialities of a SAR/classical geodetic techniques joined approach in civil protection scenarios: the case of Phlegrean Fields (Naples-Italy) - Submitted to Journal of Volcanology and Geothermal Research.
- Berardino P., Fornaro G.,Fusco A., Galluzzo D., Lanari R., Sansosti E., Usai S., A new Approach for Analyzing the Temporal Evolution of Earth Surface Deformations based on the Combination of DIFSAR Interferograms, Proceedings of International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS 2001), Sidney, Australia, July 9-13, 2001.
- Bertucco L., Coltelli M., Nunnari G. & Puglisi G.. A median phase shift filter for enhancement of SAR images (in prep.).
- Catita C. and Briole P., Processing of the Etna98b GPS campaign. IPGP Internal Report, September 2000
- Corradini S. , Pugnaghi s., Teggi S., Buongiorno M.F., Bogliolo M.P. Estimation of sulfur dioxide plume from aster simulated images in the thermal infrared, using split window technique: a case study from mt. Etna volcano, sicily 1997 campaign. Submitted to International Journal of Remote Sensing, June 2000.
- Costanzo S., Di Massa G., Angiulli G., Bertucci B.and Gabriele S., A C-band scatterometer radar for the monitoring of coastal dynamic processes. accepted for a presentation on the Specialist Conference on Microwave Remote Sensing '01 (November 5-9, 2001, Denver, Colorado).
- Dubosclard G., Allard P., Cordesses R., Hervier C., Coltelli M., Privitera E. and Kornprobst J. Doppler radar sounding of volcanic eruption dynamics at Mount Etna (to be submitted).
- Favalli, M., Mazzarini, F., Pareschi, M.T., 2001a. Simulation of volcanic plume dispersion at Mt. Etna (Sicily, Italy). Presented at EGS XXVI General Assembly, Nice, France, March 2001, Geophysical Research Abstracts, Volume 3, 2001.
- Favalli, M., Graziani, G., Mazzarini, F., Pareschi, M.T., Ranci, M., 2001b. The simulation of non-explosive volcanic emissions: the case of the SO2 from the Etna craters. Presented at 7th Int. Conf. On Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes, Belgirate, Italy, May, 2001., Proceedings volume, 423-426.
- Houlié N. and Briole P., Processing of the Etna96 Madviews campaign. IPGP Internal Report, September 2000.

- Houlié N. and Briole P., Processing of the Etna97 campaign. IPGP Internal Report, November 2000.
- Lombardo V. , Buongiorno M.F., Pieri D., Merucci L. .Methodological Study of a Lava Flow Using Short Wavelength Infrared Data From Satellites: A Long-Time Series of Mt. Etna Landsat TM Images (1984-1993). Submitted to Journal of Volcanology and Geothermal research, May 2001.
- Lombardo V., Buongiorno M.F. Sub-Pixel Temperature Retrieval on a Lava Flow Using Dual Band Technique with a 16 Bit Dynamic Range Airborn Sensor: a Case from the 1996 Mt. Etna Eruption. Submitted to Journal of Geophysical research, July 2001.
- Lundgren P., Berardino P., Coltelli M., Fornaro G., Lanari R., Puglisi G., Sansosti E. and Tesauro M., Coupled magma chamber inflation and sector collapse slip observed with SAR interferometry on Mt. Etna volcano. Sottomesso a J. Geoph. Res.
- Mora P., Amadesi E., Baldi P., Casula G., , Fabris M., Ghirotti M., Mazzini E., Pesci A., (2001). Monitoring landslide movements using GPS and Digital Photogrammetry. EGS 2001 Proceedings, Engineering Geology (submitted).
- Pugnaghi S., Teggi S., Corradini S., Buongiorno M.F., Merucci L., Bogliolo M.P. Estimation of SO₂ Abundance in the Mt. Etna Plume Using Two Mivis Thermal Infrared Channels. A Case Study from the Sicily 1997 Campaign. Submitted to Acta Volcanologica, 2001.
- Pugnaghi S., Corradini S., Bogliolo M. P., Buongiorno M. F., Lombardo V., Merucci L., Teggi S., Inversion algorithms to estimate mt. Etna sulphur dioxide emission using tirmivis data, Seminari su "I rilevamenti iperspettrali MIVIS: ricerca e applicazioni, Colorno (PR), 7-8 giugno 2000, in Press in AIT Informa – Rivista Italiana di Telerilevamento, 2000.
- Spinetti C., Buongiorno M.F. V. Lombardo and L.Merucci. Retrieval Aerosol Optical Thickness of Volcanic Plumes by means of the Airborne Multispectral Image Spectrometer (MIVIS): a case study from Mt.Etna Sicily, 16 June 1997. Submitted at "Prof. Fiocco's 70 Birthday: An International Conference on Atmospheric Research Progress and More. Dep. Of Physics, University of Rome "la Sapienza" September 17-18 2001.

METODOLOGIE SISMICHE INTEGRATE PER LO STUDIO DELLA STRUTTURA DEI VULCANI ATTIVI. APPLICAZIONE ALLA CALDERA DEI CAMPI FLEGREI

Coordinatore scientifico del progetto

Aldo Zollo - Prof. Associato di Sismologia
Dipartimento di Scienze Fisiche - Università di Napoli Federico II

Partecipanti al progetto

UR#	AFFERENZA	RESPONSABILE
1	Dipartimento di Scienze Fisiche, Univ. Napoli (DSF1-UNINA)	Aldo Zollo
2	Osservatorio Vesuviano, INGV (OV-INGV)	Paolo Capuano
3	Istituto Nazionale di Geofisica, CNT (CNT-INGV)	Claudio Chiarabba
4	Istituto per la Dinamica dei Processi Ambientali, CNR (IDPA-CNR)	Roberto De Franco
5	Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale (OGS)	Enrico Priolo
6	Geoscience Azur, Univ.Nizza, CNRS (GeoAzur)	Jean Virieux
7	Dipartimento di Scienze Fisiche, Univ. Napoli (DSF2-UNINA)	Grazia Giberti

OBIETTIVI GENERALI

Il progetto si propone l'applicazione di tecniche avanzate per la modellistica di dati di sismica attiva e passiva registrati nella caldera Flegrea per la determinazione di immagini ad alta risoluzione della velocità ed attenuazione delle onde sismiche e la loro comparazione a misure di laboratorio. I modelli fisici della struttura flegrea unitamente a dati sul suo stato termico costituiranno gli ingredienti necessari ad una modellistica preliminare termo-meccanica dei processi deformativi.

Questi obiettivi generali sono ottenuti attraverso una ripartizione dei compiti e delle attività tra le UR partecipanti secondo i tre macro-obiettivi principali :

Task 1: Studio della struttura dei Campi Flegrei dall'analisi integrata di dati sismici, gravimetrici, flusso di calore e di laboratorio.

WPI.1 Modellazione di dati sismici

WPI.2 Modellazione congiunta di dati sismici, gravimetrici, di flusso di calore e di laboratorio

WPI.3 Misure di laboratorio e modellazione termo-meccanica

Task 2: Tecniche per lo studio della struttura vulcanica basate sull'inversione/modellazione delle ampiezze e forme d'onda sismiche.

Task 3: Implementazione di un data-base di dati sismici per la caldera dei Campi Flegrei.

Nuovi dati di sismica a riflessione ad alta risoluzione saranno acquisiti nel Settembre 2001 attraverso una campagna sperimentale (denominata SERAPIS).E' opportuno quindi inserire un altro macro-obiettivo che non appariva nel progetto originale:

Task 4: Progettazione e realizzazione di una campagna di acquisizione di dati sismici a riflessione (progetto SERAPIS)

TASK 1 - Studio della struttura dei Campi Flegrei dall'analisi integrata di dati sismici, gravimetrici, flusso di calore e di laboratorio

Il task 1 ha come obiettivo generale la ricostruzione con dati sismici di immagine tri-dimensionale in velocità ed attenuazione della struttura della caldera flegrea e il confronto di tali modelli con dati di altra natura. Il macro-obiettivo è articolato in tre sub-obiettivi (workpackages).

WP1.1 Vengono applicate tecniche standard ed avanzate per l'inversione di fasi primarie e secondarie (riflesse/convertite) da sismogrammi prodotti da sorgenti attive e microterremoti. L'obiettivo è la determinazione di modelli 3D di velocità delle onde P,S e di attenuazione anelastica, utilizzando osservabili nel dominio del tempo o della frequenza.

WP1.2 I dati sismici, di gravità, di flusso di calore e le misure di laboratorio su campioni di roccia ottenuti in precedenza o durante il progetto verranno assemblati e interpretati congiuntamente per validare e/o fornire vincoli ai modelli di velocità ed attenuazione della struttura flegrea.

WP1.3 Le differenti proprietà fisiche (idrauliche, termiche, elettriche, elastiche, anelastiche) delle rocce vulcaniche saranno misurate in laboratorio e comparate alle misure a scala macroscopica. Le informazioni circa lo stato termico della caldera e le proprietà meccaniche/termiche delle rocce flegree saranno utilizzate per una modellazione quantitativa dei processi di trasferimento del calore e della risposta termo-meccanica della caldera.

UR PARTECIPANTI:

Tutte le UR partecipano alle attività previste dal macroobiettivo 1. In particolare questa è la partecipazione delle singole UR ai diversi workpackages

WP1.1: UR1, UR2, UR3, UR4, UR5, UR6

WP1.2: UR4

WP1.3: UR7

OBIETTIVI I ANNO

- Metodi: Sviluppo ed Applicazione a dati sintetici
Inversione non lineare di tempi di fasi riflesse/convertite.
Ray-tracing 3D per tomografia in velocità/attenuazione.
Revisione codici di tomografia 3D e parametrizzazione.

- Acquisizione, Analisi e Modellazione dati
Analisi preliminare di dati selezionati dei terremoti flegrei del 1984 (rete Wisconsin).
Revisione modelli tomografici esistenti e rilocalizzazione terremoti.
Campionamento e caratterizzazione della mineralogia e della porosità dei campioni. Inizio delle misure (a temperatura ambiente).

RISULTATI I ANNO

- Metodi: Sviluppo ed Applicazione a dati sintetici
Durante il primo anno sono stati adattati e verificati alle differenti geometrie di acquisizione di dati sismici dei Campi Flegrei metodi esistenti, avanzati per la modellazione diretta ed inversa di tempi di arrivo di fasi dirette, riflesse e convertite. Tenendo conto della complessità del volume target, presumibilmente fortemente eterogeneo, sono state sviluppate tecniche di analisi dei dati innovative, la cui verifica è stata operata essenzialmente su dati sintetici. Di seguito vengono elencate e brevemente descritte le metodologie considerate:

Inversione non-lineare di tempi di arrivo di fasi sismiche riflesse (NLIRD)(UR1)

Nel caso 2D si è messo a punto ed applicato a dati sintetici un metodo di inversione non lineare (tecnica di inversione: Algoritmo Genetico) dei tempi di arrivo di fasi riflesse PP, in geometria di acquisizione wide-angle, con sorgenti artificiali poste in superficie. Il metodo è basato sul calcolo di tempi di tragitto mediante il principio di Fermat, ed utilizza il metodo di Podvin & Lecomte (differenze finite dell'equazione iconale). E' stato testato su dati sintetici che riproducono condizioni di acquisizione irregolare, topografia, modello di velocità eterogeneo ed interfaccia di forma qualunque.

Sviluppo di un metodo 2D-3D per la modellazione asintotica del campo d'onda sismico in mezzi eterogenei (UR1)

Il metodo sviluppato in questo lavoro è basato su di un approccio matematico, la teoria delle varietà Lagrangiane, che è stato usato da Maslov (1966) per costruire soluzioni globali delle equazioni di Helmholtz. La tecnica produce un 'campo' di raggi organizzato secondo una struttura gerarchica che rende molto rapida l'individuazione del tubo di flusso che contiene un ricevitore dato. La metodologia è stata testata su modelli sintetici, confrontando i risultati con quelli ottenuti da altre tecniche (Podvin & Lecomte, 1991)(Lambaré et al., 1996). Il metodo ha dimostrato di essere più accurato dei metodi alle differenze finite dell'iconale e più rapido delle tecniche di wavefront-tracing

Tomografia 3D con SimulPS13q e con il codice di Zhao modificato per l'applicazione ai Campi Flegrei. Revisione dei modelli tomografici 3D esistenti(UR3, UR2)

I due programmi consentono di lavorare con ipotesi differenti sulla parametrizzazione del modello. Simulps13q permette di usare un modello con velocità continuamente definite nello spazio, senza discontinuità. Il codice modificato da quello di Zhao consente invece l'uso di superfici di discontinuità nel modello e una velocità interpolata nella parte continua. Sono stati invertiti i tempi di arrivo relativi ad eventi locali avvenuti nel 1984 disponibili su sito ftp del progetto. Su questo data-base sono stati ri-ottenuti modelli 1D e 3D della struttura flegrea che sono stati comparati con quelli originali di Aster & Meyer (1988). Dai risultati preliminari risultano delle analogie con i valori ottenuti da A&M, cioè bassi valori di V_p e V_s e un alto rapporto V_p/V_s , al centro della caldera al di sotto della città di Pozzuoli. La geometria delle anomalie riconosciute è maggiormente definita rispetto a quelle di A&M.

Sviluppi metodologici: inversione sismo gravimetrica 3D(UR4)

Si è sviluppato ed esteso al caso 3D la metodologia di inversione integrata sismo-gravimetrica sviluppata in 2D (Tondi et., 2000). Per quanto riguarda la parte sismica, la tecnica d'inversione 3D è stata sviluppata in collaborazione con l'Università di Praga utilizzando il codice di calcolo CRT (Cervený et al., 1988). Un primo test di applicazione è stato effettuato sui dati Tomoves, dell'area vesuviana.

Tomografia con griglie non strutturate (UR5)

Si è proceduto ad integrare il metodo di discretizzazione e parametrizzazione del modello di velocità mediante interpolazione "Natural Neighbour" proposto da Sambridge, Braun and McQueen (GJI, 122, pp837-857, 1995) nel programma di inversione tomografica sviluppato da Thurber (1983) e sue successive versioni modificate (Michelini & McEvelly, 1991; Michelini et al., 2000). Allo stato attuale si sta testando il programma sia per quello che riguarda il ray-tracing che per la parte di inversione delle velocità ai nodi della griglia non strutturata. Tutto lo sviluppo software è stato svolto in ambiente Linux.

Localizzazione in mezzi 3D con metodi non lineari(UR6,UR1)

Il software 3D eterogeneo NonLinLoc (A. Lomax) è stato migliorato e testato per rimuovere artefatti e risolvere alcune situazioni patologiche allo scopo di giungere ad un software più adatto alle applicazioni reali. Tali applicazioni sono state effettuate sui dati disponibili sul sito ftp del progetto in collaborazione tra le UR1 e UR2. Il software si basa sul calcolo dei tempi di arrivo tramite il metodo di Podvin-Lecomte alle differenze finite applicate all'equazione eiconale. Si continua a sviluppare programmi che utilizzano tale approccio sia per la localizzazione, sia per la ricostruzione della struttura della velocità sismica..

Tomografia linearizzata con calcolo dei tempi mediante metodo Podvin-Lecomte (differenze finite dell'iconale)(UR6)

E' stato sviluppato e testato su dati sintetici un codice 3D per la tomografia linearizzata dei tempi di primo che usa l'algoritmo di Podvin-Lecomte per il calcolo dei tempi di primo arrivo P ed S. Il codice 3D utilizza un tracciamento dei raggi standard che si comporta diversamente quando le discontinuità sono nette; infatti, il metodo di Podvin-Lecomte introduce diffrazioni. Abbiamo così utilizzato la formulazione di Podvin-Lecomte per il problema diretto e costruito intorno a questo un codice per la determinazione della struttura di velocità sismiche, sia per la localizzazione.

*- Acquisizione, Analisi e Modellazione dati**Tomografia di attenuazione 3D dall'inversione di durate degli impulsi P ed S(UR1,UR2)*

E' in corso l'estensione del metodo sviluppato da Zollo e de Lorenzo(2001) ai casi di tracciamento di raggi 3D, all'utilizzo congiunto di dati P ed S ed all'integrazione del database con registrazioni di sismica attiva. Il recupero e l'archiviazione delle forme d'onda dei microterremoti flegrei (sequenza 1984) è in corso. Sono stati scritti, ed implementati alcuni codici che permettono la formattazione (SAC con header completo), la rapida consultazione, selezione ed estrazione di dati dall'archivio, e la misura in modo automatico di quantità di interesse sui sismogrammi.

In collaborazione con Charlotte Rowe dell'Università del Wisconsin (USA) è in corso la preparazione dei dati per l'utilizzo della tecnica di re-picking automatico (messa a punto dalla Rowe), che si basa su metodi di correlazione e clusterizzazione. Le localizzazioni preliminari dei terremoti flegrei (i cui dati sono disponibili sul sito ftp del progetto) nel modello 3D ottenuto da Aster e Meyer (1981) sono state ottenute utilizzando il codice sviluppato da A.Lomax e già applicato ai dati di terremoti vesuviani (Lomax et al., 2001). Lo stesso data base è stato inoltre utilizzato per ottenere modelli preliminari 3D della struttura calderica, applicando la versione 14 del codice SIMULPS (Hasslinger, Virieux) che permette il calcolo 3D delle traiettorie dei raggi senza usare approssimazioni (Figura 1).

3D velocity model and hypocenters

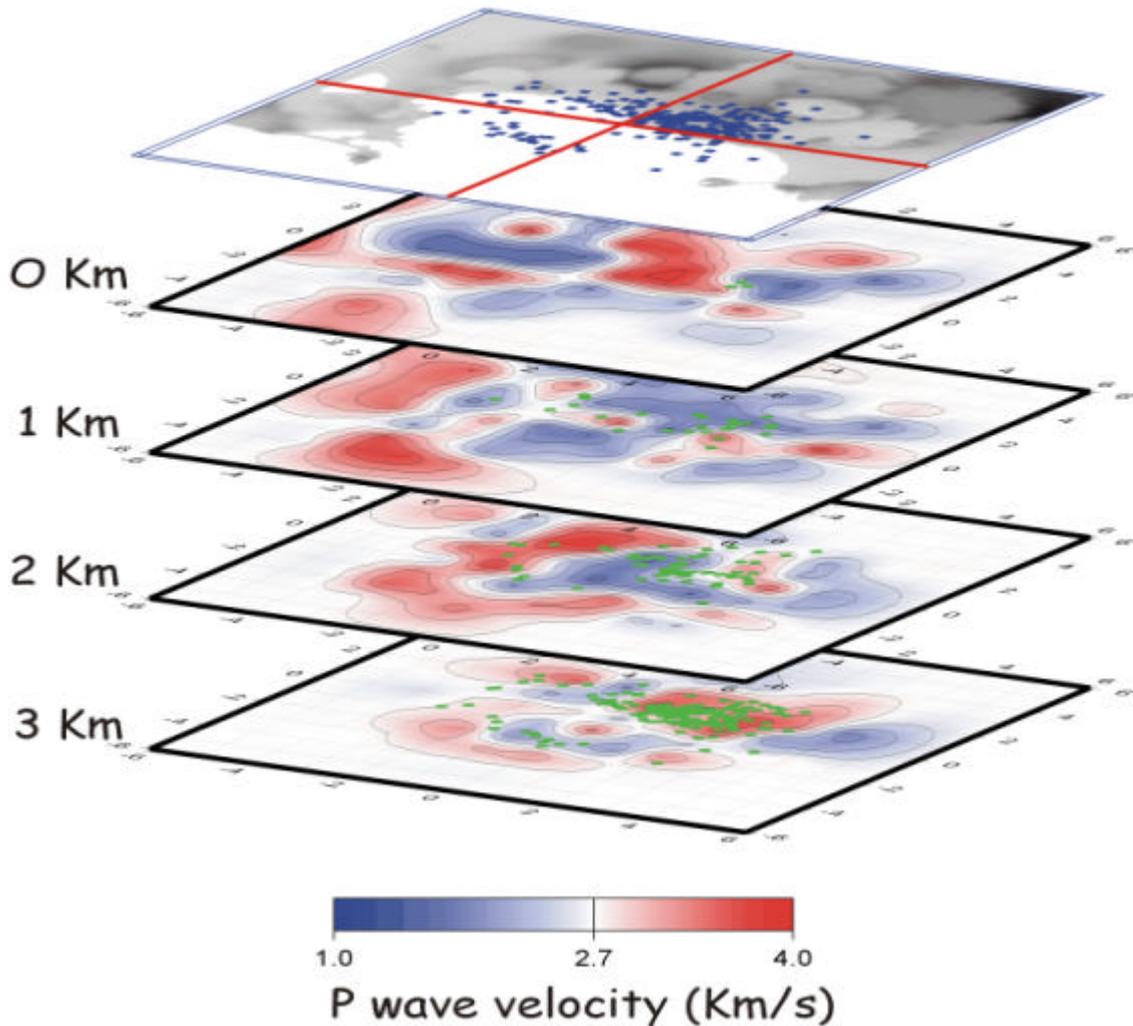


Figura 1. Modello preliminare di velocità delle onde P e di localizzazioni di terremoti flegrei del 1984, i cui tempi di arrivo P ed S sono disponibili sul sito server di progetto. L'immagine è stata ottenuta utilizzando il codice di inversione SIMULPS14 che usa un tracciamento di raggi esatto in un mezzo 3D.

Misura delle proprietà fisiche dei campioni flegrei (UR7)

Sono state effettuate le misure delle proprietà fisiche di 21 campioni, di cui 12 provenienti da 5 pozzi di trivellazione Agip, 9 di superficie, raccolti in varie zone della caldera flegrea. Il lavoro è consistito preliminarmente nella caratterizzazione mineralogica, chimica e petrografica dei campioni. Poi si è proceduto ad una caratterizzazione petrofisica, per determinare la porosità (e per conseguenza la permeabilità) e allo studio delle proprietà di scambio cationico. Infine sono state effettuate misure di conduttività elettrica, termica e le proprietà elastiche e anelastiche. Tra i risultati più rilevanti si menziona l'andamento decrescente della porosità (da 0.5 in superficie a 0.04 a circa 2 km) e della permeabilità (circa due ordini di grandezza) e l'individuazione del periodo di alterazione idrotermale per la zona si S. Vito precedente all'eruzione del Gauro

TASK 2 - Tecniche per lo studio della struttura vulcanica basate sull'inversione-modellazione delle ampiezze e forme d'onda sismiche

Il task 2 ha come obiettivo generale lo studio della struttura vulcanica mediante modellazione diretta/inversa di ampiezze e forme d'onda sismiche da dati di sismica attiva e passiva.

Tecniche avanzate di migrazione di riflettori in mezzi 2-D e 3D, derivate dalla sismica di esplorazione saranno sviluppate, validate attraverso test sintetici ed applicate a dati sperimentali. Un metodo pseudo-spettrale per la simulazione del campo d'onda completo 2D-3D elastico/anelastico sarà sviluppato ed utilizzato per la validazione dei modelli tomografici e d'interfaccia ottenuti per la caldera flegrea.

UR PARTECIPANTI: UR1, UR5

OBIETTIVI I ANNO

- Metodi: Sviluppo ed Applicazione a dati sintetici
- Sviluppo del metodo pseudospettrale di Fourier 3-D con griglie sfalsate.

RISULTATI I ANNO

- Metodi: Sviluppo ed Applicazione a dati sintetici e sperimentali

Inversione 2-D non-lineare di forme d'onda di fasi sismiche riflesse (NLIRD)(UR1)

La tecnica sviluppata per l'inversione dei tempi di arrivo da dati di sismica attiva (Task1 WP1.1) è estesa all'utilizzo delle forme d'onda delle fasi riflesse/convertite. La funzione costo del problema inverso viene calcolata attraverso la semblance / stack delle forme d'onda corrispondenti ad una finestra temporale centrata sul tempo di arrivo della fase considerata. Quest'ultimo viene calcolato utilizzando la tecnica di Podvin & Lecomte ed il principio di Fermat. Il codice è in via di sviluppo e primi test a dati sintetici sono previsti per la prima metà del secondo anno di progetto.

Individuazione di discontinuità nella crosta attraverso l'analisi 3-D di fasi riflesse di eventi sismici locali. (UR1)

E' stata sviluppata una tecnica testata su dati sintetici e sperimentali (terremoti vesuviani) che si basa sull'analisi delle fasi riflesse/convertite da registrazioni di microterremoti. Mediante il calcolo della *semblance* e dello *stack* di sezioni di registrazioni microsismiche *Common Source* a cui è stato applicato il move-out di tempi di arrivo di fasi riflesse/convertite (PP, PS, SP ed SS), è possibile individuare la profondità di interfacce che producono valori massimi di stack o di semblance. I risultati per il caso del Vesuvio mostrano chiaramente la presenza di un riflettore ad una profondità di circa 9 Km, concorde con quelli ottenuti dall'analisi dei dati di sismica attiva del progetto Mareves 97.

Per l'estensione del metodo al caso 3D, si è messo a punto e testato un codice che, dato un modello di interfaccia irregolare e mezzo di velocità 3D, calcola i tempi delle fasi riflesse/convertite mediante tecnica dell'iconale. Sulla base del calcolo di tempi riflessi in mezzi 3D, è in corso d'implementazione un codice di migrazione pre-stack 3D, che dovrebbe dare un'immagine accurata delle eventuali interfacce nella crosta superficiale al di sotto della caldera flegrea.

Modellazione sismica diretta (UR5)

E' stato sviluppato ed implementato un algoritmo per la modellazione 3D dei campi d'onda sismici in strutture geologiche complesse. L'algoritmo è basato sulla soluzione dell'equazione completa delle onde elastiche in mezzi eterogenei con il metodo pseudospettrale di Fourier (Figura 2). L'accuratezza numerica e l'efficienza computazionale sono state migliorate

rispettivamente con l'uso di griglie sfalsate (*staggered*) e con un'implementazione parallela. Maggiori dettagli possono essere trovati nella scheda I anno dell'UR5.

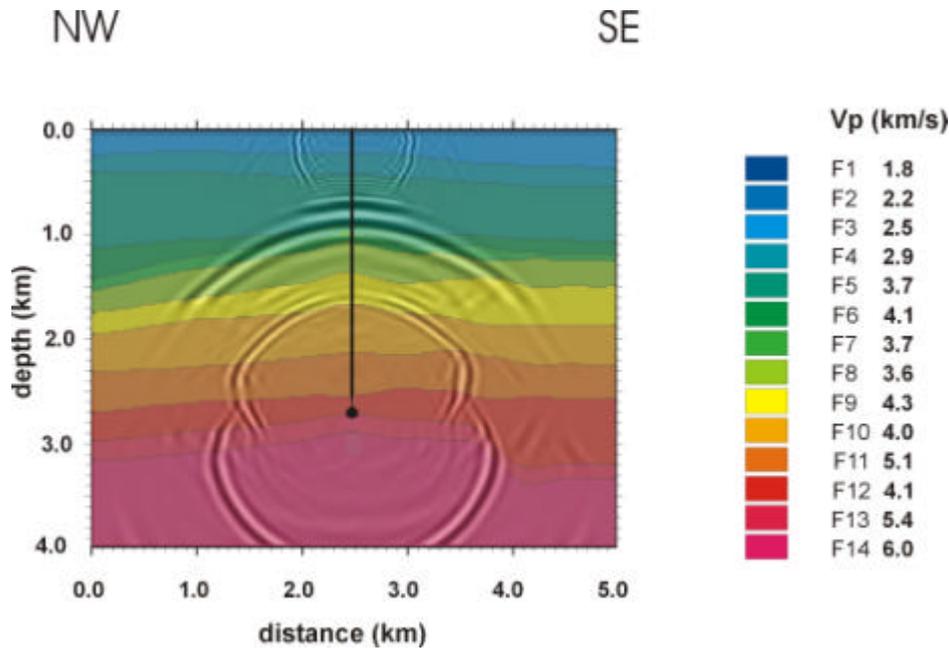


Figura 2. Istantanea della propagazione di campo d'onda in una struttura complessa risolto con il metodo pseudospettrale di Fourier a griglia sfalsata. (Snapshot of the wavefield propagating in a complex structure computed by the staggered Fourier pseudo-spectral method.)

Il metodo pseudospettrale 3D di Fourier è stato validato mediante alcuni test comparativi con metodi analitici e numerici presenti in letteratura. Le prove effettuate comprendono i casi: 1) propagazione in uno spazio omogeneo elastico con sorgente unidirezionale verticale, 2) propagazione in uno spazio omogeneo anelastico ($Q_p=Q_s=130$) con sorgente di doppia coppia con strike, dip e rake di 144° , 42° e 280° , 3) modello 1-d stratificato con sorgente unidirezionale verticale. I risultati delle verifiche effettuate utilizzando diversi approcci hanno dimostrato una buona consistenza tra i diversi metodi. Le imperfezioni riscontrate nel confronto tra le diverse forme d'onda sono imputabili essenzialmente all'impiego di fasce assorbenti e alla de-localizzazione connessa con l'utilizzo di griglie sfalsate. Questi aspetti sono in fase di studio e saranno approfonditi in maggior dettaglio nella prosecuzione della ricerca. Le prove hanno comunque evidenziato rapporti in ampiezza delle fasi P ed S e forme d'onda consistenti per i diversi metodi.

TASK 3 - Implementazione di un data-base di dati sismici per la caldera dei Campi Flegrei

Il task 3 ha come obiettivo generale l'implementazione di un data-base completo di forme d'onda sismiche a 3 componenti riguardante alcune centinaia di microterremoti registrati ai Campi Flegrei durante l'ultima crisi bradisismica nel 1983-1984. I dati furono acquisiti dalla rete sismica digitale dell'Università del Wisconsin e una parte consistente è ancora presso i suoi laboratori. L'attività riguarderà dunque il recupero, la formattazione e l'archiviazione dell'intero set di dati. Il data-base comprenderà anche dati di sismica attiva acquisiti nell'area durante esperimenti passati di DSS e più recentemente durante l'esperimento MareVes97, nel quadro delle ricerche tomografiche sul Vesuvio.

UR PARTECIPANTI: UR1, UR2, UR4, UR7

OBIETTIVI I ANNO

Data-Base

- Implementazione di un data-base delle forme d'onda e tempi di arrivo di terremoti selezionati della crisi del 1984 (rete Wisconsin)
- Recupero e omogeneizzazione dei vecchi dati IRRS dell'esperimento DSS e loro integrazione con i dati Mareves 97
- Costruzione ed aggiornamento del sito "server di progetto".
- Acquisizione di dati, sia fenomenologici che da letteratura, da usare come vincoli al modello termico.

RISULTATI I ANNO

Implementazione di un data-base delle forme d'onda di terremoti ai Campi Flegrei(UR2,UR1)

L'attività del primo anno è consistita principalmente nella verifica delle informazioni e dei dati disponibili presso l'Osservatorio Vesuviano, relativi alla campagna di acquisizione condotta dall'Università del Wisconsin in collaborazione con l'Osservatorio Vesuviano, nel periodo fine 1983 – metà 1984. Presso i laboratori dell'UR2, sono stati individuati circa 30 nastri digitali contenenti i dati, la cui lettura è stata particolarmente problematica, a causa del deterioramento della superficie dei nastri. E' stata ricostruita la sequenza temporale della campagna sismica, individuando i periodi di funzionamento delle stazioni installate e sono state evidenziate le registrazioni sismiche recuperabili (Figura 3).

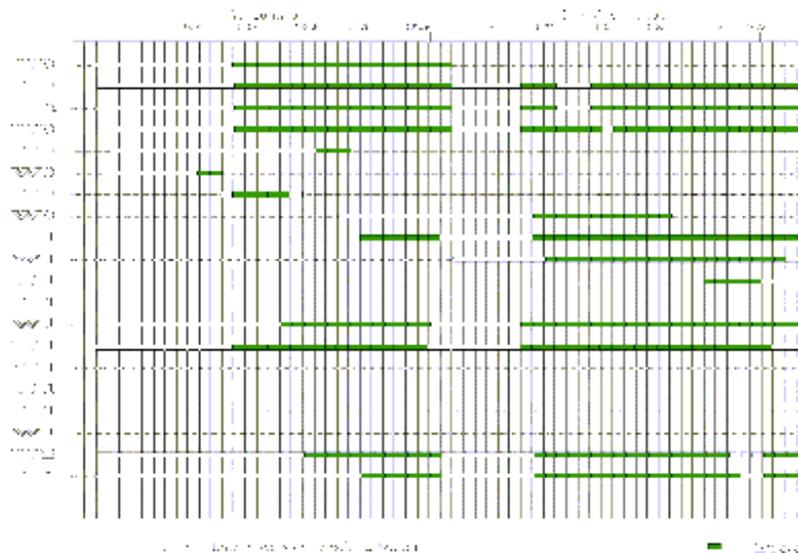


Figura 3 Schema che descrive lo stato attuale del recupero dei dati (forme d'onda) di microterremoti acquisiti tramite la rete digitale a 3 componenti dell'Università del Wisconsin nel periodo Gennaio-Giugno 1984 durante la crisi bradisismica

Sono attualmente disponibili attraverso il sito "server" di progetto:

- 1) le informazioni inerenti le stazioni sismiche utilizzate (coordinate delle stazioni, caratteristiche dei sensori, periodo di funzionamento, tabella di amplificazioni);
- 2) data-base di tempi di primo arrivo P,S. Questo include ed amplia il data-set utilizzato per gli studi tomografici di Aster e Meyer (1988) (relativo al periodo Febbraio-Giugno 1984) in quanto comprende dati disponibili all'OV per il periodo precedente. Il

database attualmente disponibile contiene i tempi di arrivo per circa 2700 eventi, la metà dei quali registrati ad almeno 5 stazioni. Questo corrisponde a circa 12500 letture P e circa 1100 letture S. Attualmente ci si propone di recuperare letture alle stazioni OV operanti nello stesso periodo delle stazioni del Wisconsin e verificarne la loro congruenza, in modo da poter ulteriormente allargare il database.

- 3) le forme d'onda della campagna Wisconsin, in formato SAC o SEG-Y-Reftek, per un set limitato di circa 160 eventi (periodo 15/3 – 15/4 1984) registrati da un numero di stazioni che va da 6 a 11, per un totale di circa 1200 registrazioni a 3 componenti. Si sta ora verificando la congruenza di queste forme d'onda con i tempi di arrivo di cui al punto precedente. Per quanto riguarda il periodo 15/1 – 15/3 si stanno approntando e verificando i codici di calcolo per la trasformazione dei records recuperati dal formato originale al formato SAC o SEG-Y. I primi tests hanno dato esito positivo, per cui in breve tempo sarà possibile aggiornare ed allargare in maniera significativa il database delle forme d'onda.

Acquisizione dati: digitalizzazione dati sismici DSS pregressi 1985-1987(UR4)

E' iniziata l'operazione di recupero e omogeneizzazione dei dati DSS. In particolare sono stati digitalizzati ed archiviati i dati relativi alla campagna sismica Campi Flegrei 1985 relativi all'esperimento microarray. I dati in questione furono acquisiti usando scoppi in mare e utilizzando 20 stazioni mobili analogiche disposte lungo un microarray denso (spaziatura media di 100m e lunghezza massima circa 2.5 km) posizionato in direzione nord-sud nell'area della Caldera. I dati saranno trasferiti al sito server di progetto a seguito del lavoro di omogeneizzazione e integrazione con i rimanenti dati della campagna Campi Flegrei 1985.

Il sito server di progetto(UR1, UR7)

Il sito server di progetto è un sito-ftp dove sono archiviati dati ed informazioni di vario tipo riguardanti la caldera flegrea reso accessibile a tutti i ricercatori partecipanti al progetto (Figura4). Esso viene periodicamente aggiornato con nuovi dati e risultati. Sono attualmente archiviati nel sito i modelli numerici 3D di velocità delle onde P, S (modello Aster & Meyer,1988); di attenuazione anelastica (fattore di qualità Q_p) (modello de Lorenzo, Zollo e Mongelli, 2001); di temperatura derivata dal Q_p (modello de Lorenzo, Zollo e Mongelli, 2001). Il sito inoltre contiene il modello digitale di terreno (30x30 m) e misure di laboratorio su campioni di rocce flegree da rilievi di superficie e di pozzo. Il server accoglie attualmente i dati sismici della campagna MareVes97 (linee Campi Flegrei), i tempi di arrivo e le registrazioni dei terremoti dei Campi Flegrei utilizzati da Aster e Meyer (1988) per l'indagine tomografica 3D, i tempi di arrivo e le registrazioni dei terremoti dei Campi Flegrei alla rete permanente dell'Osservatorio Vesuviano agente nel 1982-1984.

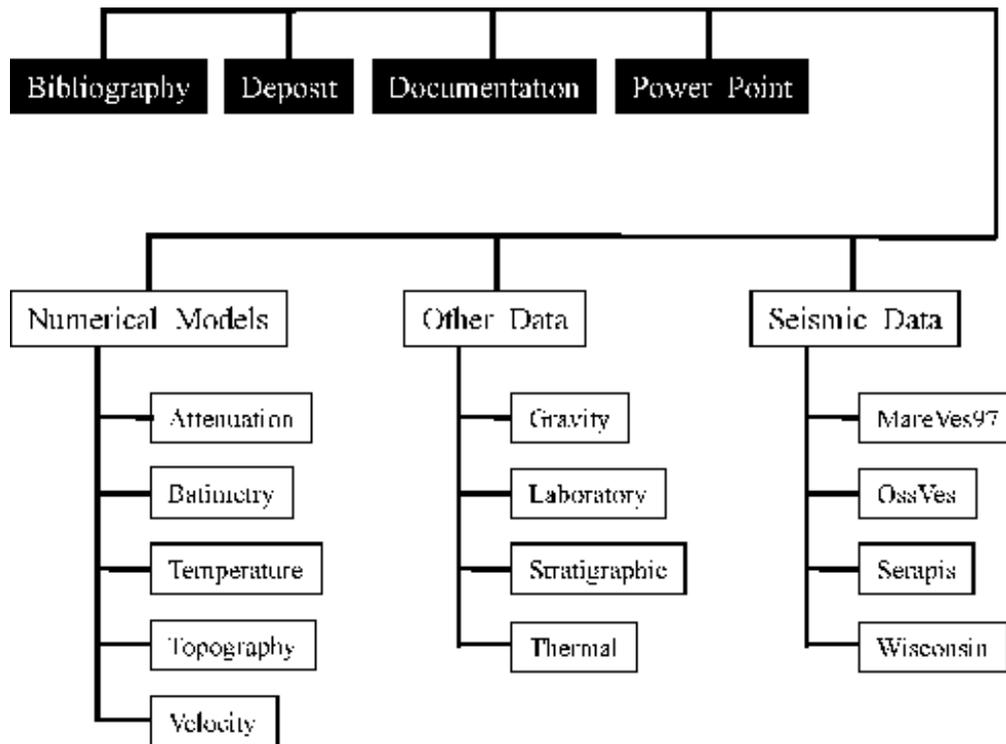


Figura 4. Struttura del sito server del progetto. Esso è suddiviso in due aree principali: aree per la comunicazione tra le Unità di Ricerca (in nero) ed aree per l'archiviazione dei dati (bianco).

TASK 4 Progettazione e realizzazione di una campagna di acquisizione di dati sismici a riflessione (Progetto Serapis)

Il task #4 non compare nel progetto originale, approvato dal GNV, in quanto legato alla realizzazione della campagna di acquisizione di nuovi dati sismici nel progetto SERAPIS. La campagna prevede l'utilizzo della nave francese Nadir per la produzione di sorgenti sismiche in mare e registrazioni mediante stazioni sismiche installate in terra ed OBS a mare. La campagna sarà effettuata nel Settembre 2001 e quasi tutte le UR del progetto sono coinvolte nella parte di acquisizione.

UR PARTECIPANTI: *UR1,UR2,UR3,UR4,UR5,UR6*

OBIETTIVI I ANNO

Non era previsto nel progetto originale

RISULTATI I ANNO

Preparazione della campagna di sismica attiva SERAPIS(UR1,UR2,UR3,UR4,UR5,UR6)

La preparazione dell'esperimento Serapis, che avrà luogo nel periodo 15-21 Settembre 2001, è in corso. Il periodo corrisponde al periodo di transito della nave NADIR dell'Ifremer che effettuerà gli scoppi in mare. Circa 7000 scoppi prodotti da una batteria di 10 cannoncini ad aria compressa saranno registrati da una rete di circa 50 stazioni 3C installate a terra e 80 sismografi da fondale marino. E' stato necessario prevedere nel dettaglio il percorso della nave che effettuerà gli scoppi e configurare l'intera geometria di acquisizione. Si è cercato di conciliare gli scopi scientifici con i vincoli di sicurezza della nave (batimetria), e la necessità di non avvicinarsi alle coste durante la notte. I sismografi da fondale marino saranno disposti

in modo da illuminare le strutture a grande scala, di orientazione appenninica ed anti-appenninica e con un dettaglio maggiore, il centro della caldera flegrea (Figure 5a e 5b)

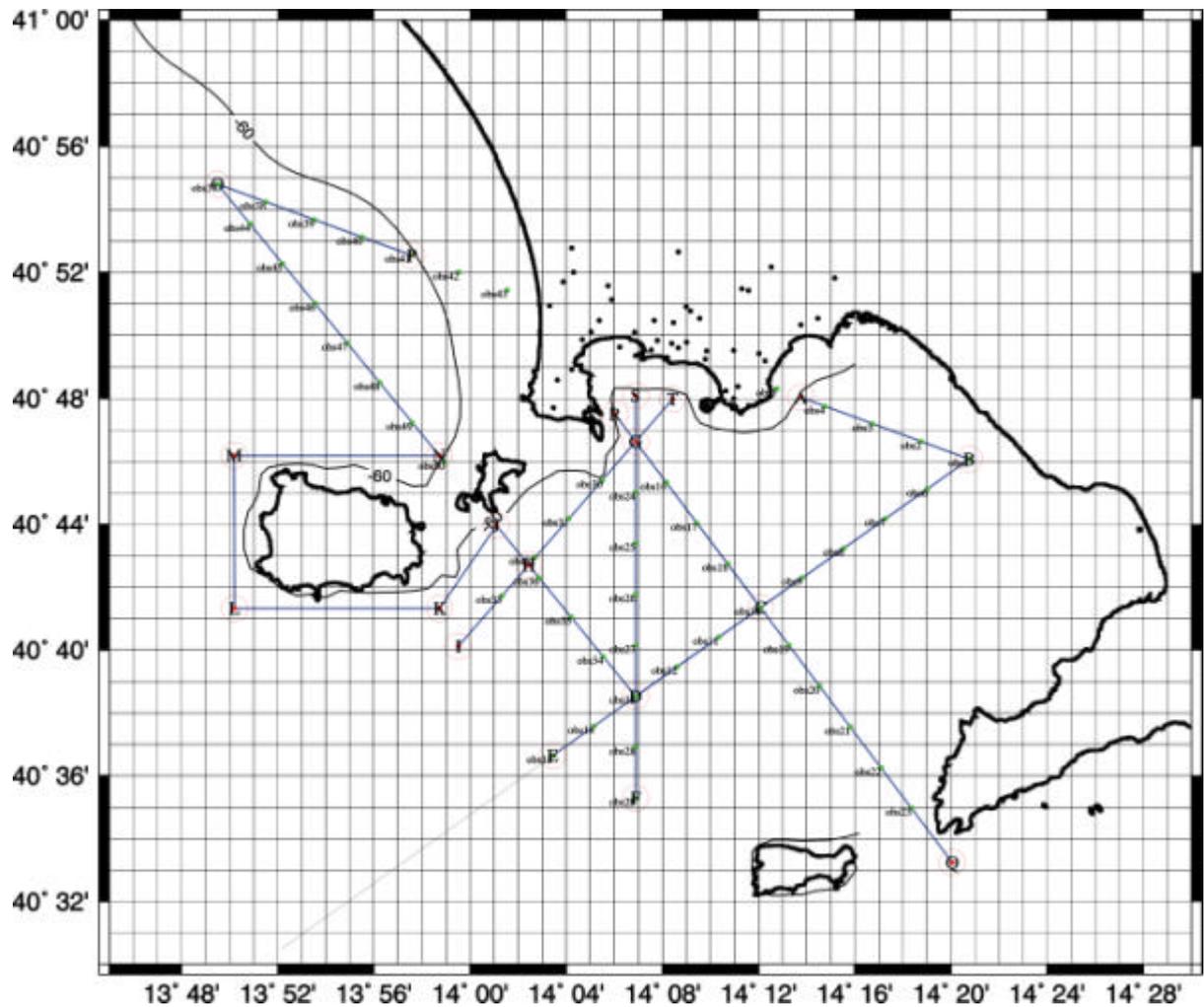


Figura 5a. Geometria di acquisizione prevista per l'esperimento SERAPIS a grande scala. Le linee continue indicano il tragitto della nave, mentre le scritte "obs???" forniscono la posizione dei sismografi da fondale marino. Le stazioni in terra sono riportate mediante punti. Altre stazioni sono previste sull'isola d'Ischia e Procida che non sono indicate in figura.

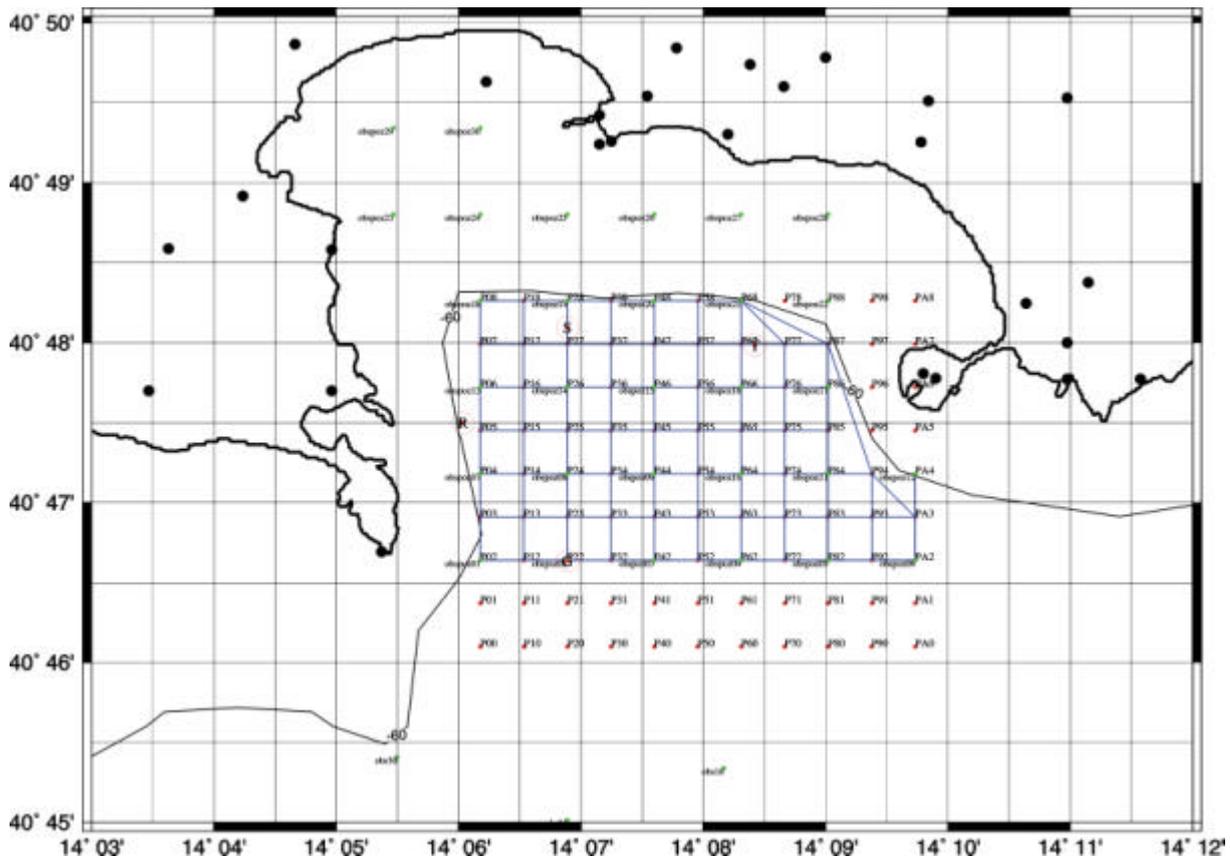


Figura 5b. Geometria di acquisizione prevista per l'esperimento SERAPIS: zoom nella baia di Pozzuoli. Il grigliato rappresenta il tragitto previsto per la nave. Per il significato degli altri simboli riferirsi alla figura 5a

PRODOTTI DELLA RICERCA

- n° 11 pubblicazioni su riviste internazionali
- n° 7 pubblicazioni su riviste nazionali, atti, presentazioni a convegni, rapporti tecnici, etc
- banche dati:
 - Sito FTP del progetto (documenti, modelli numerici, banca dati sismici, modelli digitali di terreno, batimetria, etc.)
 - Archivio forme d'onda selezionate terremoti flegrei (1984), rete Wisconsin
 - Archivio dati sismici DSS Campi Flegrei
 - dati di misure di laboratorio
- codici di calcolo:
 - codici per inversione 2D non lineare di fasi riflesse, migrazione 3D, ray-tracing 2D, inversione di durate di impulsi P/S di microterremoti, procedure di formattazione e preelaborazione dati sismici (UR1)
 - codici di calcolo per la lettura dei dati originali e la trasformazione nei formati più funzionali quali SAC e SEGY (UR2)
 - codice di inversione dei tempi di arrivo di fasi P e S di terremoti locali a scala del vulcano, modificando l'originale versione di Zhao et al., 1994 (UR3)
 - Codice inversione sismica 3-D basata su ART modifica codice CRT (Praga) (UR4)
 - Codice di calcolo per macchine parallele (Cray T3E e SGI Origin 2000) (UR5)
 - Codice 3D per la tomografia linearizzata con metodo Podvin & Lecomte (UR6)

ELENCO PUBBLICAZIONI

- E.Auger, J. Virieux and A. Zollo, 2001 Imaging of a mid-crust reflector beneath Mt. Vesuvius (Southern Italy), and estimation of the associated velocity contrast , *Geophysical J. Int.* submitted
- E.Auger, 2001, *Imagerie sismique du Vésuve*, Phd Thesis, Université de Nice.
- M.L. Bernard , A. Zollo, S. De Lorenzo, G. Iannaccone, 2001, A detailed analysis of P and S pulse widths from selected microearthquakes of Mt. Vesuvius volcano (Southern Italy), *European Geophysical Society General Assembly*, 26-30 March 2001, Nice (France).
- S. de Lorenzo, Zollo A. and F.Mongelli, 2001 Source parameters and 3-D attenuation structure from the inversion of microearthquake pulse width data: Q_p imaging and inferences on the thermal state of the Campi Flegrei Caldera, *Journal of Geophysical Research*, in press
- S. de Lorenzo, P.Gasparini, F.Mongelli and Zollo A. 2001, Thermal state of Campi Flegrei caldera inferred from seismic attenuation tomography , *Journal of Geodynamics*, in press
- L.Improta, R.Frattini, A. Zollo, J.Virieux, A.Herrero and P.Dell'Aversana, 2001, Mapping reflectors in an overthrust-belt region by non-linear inversion of global offset seismic data , *Geophysical J. Int.*, submitted
- A.Lomax, A. Zollo, P. Capuano and J. Virieux, 2001 Precise, absolute earthquake location under Somma-Vesuvius volcano using a new 3D velocity model , *Geophys. J. Int.*, in press
- V.Nisii, 2001, Indagine sulla struttura della crosta dall'analisi di fasi riflesse di terremoti locali. Applicazione al Somma-Vesuvio. Tesi di laurea in Scienze Geologiche, Università di Napoli.
- Seriani G., Wave propagation modeling in complex media by using spectral methods: Recent advances. Invited Lecture at 5th Int. Conf. on Theor. and Comp. Acoustics (ICTCA 2001), May 21-25, 2001, Beijing, China.
- Tondi R., de Franco R. and Barzaghi R, 2000. Sequential Integrated Inversion of refraction and wide angle reflection traveltimes and gravity data for two-dimensional structures. *Geophys. J. Int.*, 141, 679-698.
- Yven B., Rabaute A., Chelini W. and Zamora M., Subsurface geophysics of the Phlegrean Fields : new insights from downhole measurements interpretation, pour soumission à *Journal of Geophysical Research*.
- Yven B., Ildefonse Ph. and Zamora M, Mineralogy of hydrothermally altered tuffs at Phlegrean Fields, Italy, *Geochemistry of Earth's Surface*, Armannsson (ed.), Balkema, Rotterdam, 559-562, 1999.
- Yven B., Minéralogie, microstructure et propriétés physiques des roches volcaniques des Champs Phlégréens (Italie), Thèse de Doctorat (May 2001), unpublished.
- Yven B., Chelini W. and Zamora M., Evolution of petrophysical properties with depth in the Campi Flegrei volcanic complex (Italy) : Influences of hydrothermal alteration mineralogy and microstructure, *EGS 2001*, 26-30 mars 2001, Nice, France.
- Yven B., Rabaute A., Chelini W. and Zamora M., Geophysical structure of the Campi Flegrei geothermal field (Italy) : Combination of laboratory and downhole measurements interpretation, *EGS 2001*, 26-30 mars 2001, Nice, France.
- Yven B., Rabaute A., Chelini W. and Zamora M., Analyse statistique multivariée et interprétation des données de diagraphie des puits San Vito 1 et 3 des Champs Phlégréens (Italie), *RST 2000*, 17-19 avril 2000, Paris, France.
- Yven B., Ildefonse Ph. and Zamora M., Mineralogy of hydrothermally altered tuffs at Phlegrean Fields, Italy, *GES-5*, 16-20 Août 99, Reykjavik, Iceland.

- Zamora M., Sartoris G. and Chelini W., Reply to comment by Jose Pujol on «Laboratory measurements of ultrasonic wave velocities in rocks from the Campi Flegrei volcanic system and their relation to other field data, J. Geophys. Res., 106 (B2) ,:2163-2165, 2001.
- A.Zollo and S. De Lorenzo, 2001, Source parameters and 3-D attenuation structure from the inversion of microearthquakes pulses width data: Method and Synthetic tests, Journal of Geophysical Research, in press.

CONOSCENZA DELLE PARTI SOMMERSE DEI VULCANI ITALIANI E
VALUTAZIONE DEL POTENZIALE RISCHIO VULCANICO

Coordinatori scientifici del progetto

Francesco Latino Chiocci - Prof. Associato
Dip. Sc. Della Terra - Università di Roma "La Sapienza"
Michael Marani, Ricercatore
CNR - Istituto di Geologia Marina di Bologna

Partecipanti al progetto

UR#	AFFERENZA	RESPONSABILE
1	Dip. Sc. della Terra - Univ. "La Sapienza", Roma	Francesco Latino Chiocci
2	CNR- Ist. Geologia Marina, Bologna	Michael Marani
3	CNR-Ist. per la Tettonica Recente, Roma	Paolo Tommasi
4	Dip. Scienze Terra e Geol. Amb. Univ. di Bologna	Claudia Romagnoli
5	CNR-Ist. Geomare Sud — Napoli	Giovanni de Alteriis
6	Osservatorio Vesuviano — Napoli	Sandro de Vita
7	Dip. Scienze della Terra — Univ. "Federico II" Napoli	Maria Rosaria Senatore
8	Dip. Sc. Chimiche, Fisiche e Matematiche, Univ. Insubrica, Como.	Luigina Vezzoli

OBIETTIVI GENERALI

Le attività svolte nel primo anno dalle Unità di Ricerca coinvolte nel progetto hanno riguardato prevalentemente l'organizzazione della ricerca, il reperimento dei dati pregressi, lo svolgimento di alcune campagne a mare e a terra, ed una analisi preliminare dei dati raccolti, essenzialmente rivolta a meglio definire l'acquisizione dei dati nel secondo anno. Le attività previste dalle diverse Task sono state rispettate pienamente sia dal punto di vista scientifico che operativo.

L'unica variazione di rilievo è la mancata operatività dell'Unità di Ricerca UNINA (i cui ricercatori hanno peraltro svolto, non finanziati, alcune delle attività previste), cui non si sono potuti trasferire i fondi del 1° anno a causa della variazione di sede della Responsabile, Prof.ssa M.R. Senatore. E' stata avanzata richiesta all'INGV di variazione; i dettagli relativi sono illustrati nel rapporto di task e nel Progetto Esecutivo per il II anno.

Nel Novembre 2001 si è svolto ad Ischia un incontro scientifico nel quale si è illustrato in dettaglio lo stato delle conoscenze e le tematiche di ricerca di ciascuna UR. Si sono avute approfondite e proficue discussioni scientifiche su: tecniche di rilievo, fattori significativi per le analisi di stabilità, problemi di integrazione di dati terrestri e marini, possibili differenti interpretazioni dei dati di base. Sono state approfondite tematiche riguardanti le differenti ricerche da svolgere, le interazioni e mutue sinergie sia scientifiche sia operative tra Unità di Ricerca, con la pianificazione delle campagne di rilievo, specialmente a mare.

I principali obiettivi raggiunti nel corso del primo anno (descritti nel dettaglio nella sezione successiva) sono: a) la messa a punto di metodologie di integrazione di dati terrestri e marini alti/batimetrici e di riflettività/backscatter, per ora solo applicati a dati a bassa risoluzione, con il reperimento di materiale aereofotografico (anche storico) e di remote sensing sottomarino. b) la definizione delle diverse tipologie di instabilità presenti nelle tre Isole di Ischia, Vulcano e Stromboli, differenti per estensione, tipo di processo e accessibilità del sito. Per quanto riguarda ognuno dei tre casi sono stati individuati i litotipi coinvolti e le possibili metodologie

di indagine da adottare in funzione delle specifiche situazioni logistiche e dei possibili meccanismi di rottura e messa in posto dei depositi. c) la raccolta delle informazioni ad oggi disponibili sui fondali degli apparati vulcanici oggetto dello studio, con l'identificazione di aree e tematiche e tipo di informazioni mancanti e quindi ancora da acquisire. d) l'esecuzione di alcune campagne a mare (sui vulcani centrali, sui versanti di Ischia e di Stromboli) anche in anticipo con quanto previsto nel piano triennale, approfittando di crociere oceanografiche già organizzate in precedenza. A questo proposito occorre ricordare che essendo i calendari nave preparati con un anno di anticipo, solo nel 2002 si potranno avere campagne sui mezzi navali maggiori del CNR (non finanziate dal progetto ma essenziali per la riuscita della ricerca). Sono infatti state richieste tre campagne, separate ma coordinate, dalle U.R. di Roma, Napoli e Bologna. e) la raccolta di campioni di roccia sui versanti sommersi di alcuni edifici vulcanici (Marsili ed Ischia) che permetteranno ai ricercatori che si occupano della petrografia e delle interazioni con la geologia di terra di sviluppare delle prime ipotesi sull'evoluzione degli apparati. f) la messa in posto (in realtà finanziata su altro progetto ma essenziale per la definizione della pericolosità vulcanica) di apparati OBS sui fondali del Tirreno Meridionale. g) la produzione di carte geologiche del versante meridionale dell'isola d'Ischia, da cui sarebbe partito il debris avalanche di enormi dimensioni che si rinviene sui fondali. h) una prima modellizzazione analogica dei meccanismi deformativi responsabili dell'evoluzione vulcano-tettonica dell'Isola d'Ischia, in cui si inquadra l'evento del debris avalanche.

TASK 1 - Ricostruzione del modello tridimensionale della superficie (DTMM)

UR PARTECIPANTI: UR3, UR1

OBIETTIVI I ANNO

- Raccolta ed organizzazione dei dati esistenti sull'isola di Vulcano (DTM)
- Acquisizione e valutazione del materiale fotografico esistente sull'isola d'Ischia per la ricostruzione di un modello numerico tridimensionale.
- Pianificazione di campagna di rilievo a terra ad integrazione dei dati esistenti su Ischia.
- Progettazione del volo fotogrammetrico per integrare il materiale esistente su Ischia.
- Raccolta ed organizzazione di dati batimetrici (multibeam) di campagne realizzate in precedenza dall'IGM e dall'Ist. Idr. della Marina.

RISULTATI I ANNO

Ricerca ed acquisizione del materiale cartografico esistente per le isole di Stromboli e Vulcano (in collaborazione con la Task 2).

Acquisizione di DEM dell'isola di Vulcano relativi al volo 1996 ed elaborati nell'ambito del progetto "Sviluppo ed applicazione di tecniche di telerilevamento per il monitoraggio dei vulcani attivi italiani":

DEM in formato grid di passo 1 metro del Cratere La Fossa ottenuto dal volo a scala 1:5000

DEM in formato grid di passo 10 metri dell'intera isola ottenuto dal volo 1:10000

Elaborazione del DEM di Vulcano per la generazione di carte a curve di livello e di profili altimetrici di alcune aree interessate da fenomeni gravitativi nella zona del cratere La Fossa.

Partecipazione alla campagna di misura GPS per la realizzazione di una rete d'appoggio fotogrammetrico al volo eseguito su Stromboli e Vulcano (Giugno 2001). I dati raccolti saranno utilizzati per la generazione di un DEM dell'Isola di Stromboli e per l'aggiornamento del DEM di Vulcano. Tali DEM verranno messi a disposizione per la realizzazione dei DTMM (Progetto "Sviluppo ed applicazione di tecniche di telerilevamento per il monitoraggio dei vulcani attivi italiani").

Sopralluogo sulle isole di Vulcano e Stromboli e su alcune delle zone interessate da fenomeni d'instabilità gravitativa, allo scopo di valutare la possibilità di integrare dati fotogrammetrici aerei, con eventuali rilievi di fotogrammetria terrestre da mare o da elicottero.

Sopralluogo sull'isola d'Ischia per valutare la fattibilità di rilievi GPS e fotogrammetrici terrestri su alcune località di interesse, da realizzare ad integrazione ed aggiornamento del materiale cartografico già disponibile. Sono in corso di definizione accordi per la realizzazione di un rilievo di fotogrammetria aerea a scala 1:10000.

Raccolta dei dati batimetrici relativi alle isole di Stromboli e Vulcano (in collaborazione con la Task 6), presso l'Istituto Idrografico della Marina Militare di Genova. Tali dati sono stati digitalizzati utilizzando il software Pangea di proprietà del suddetto istituto. La digitalizzazione è stata eseguita a partire dai grafici di scandagliamento originali; sono state poi realizzate carte batimetriche alle scale 1:25000-1:5000 Roma40-Gauss-Boaga e UTM-ED50.

Realizzazione di carte batimetriche di dettaglio delle aree circostanti l'isola di Stromboli e Vulcano alle scale 1:25.000, 1:5.000 (Gauss Boaga – Roma 40) mediante digitalizzazione da grafici di scandagliamento presso l'Istituto Idrografico della Marina Militare di Genova. I dati saranno impiegati come base per la realizzazione di modelli digitali del fondo marino da integrare a DTM terrestri.

PRODOTTI DELLA RICERCA

- n. 1 pubblicazione

ELENCO PUBBLICAZIONI

Anzidei M., Baldi P., F. L. Chiocci, M. Marsella, E. Martorelli, A. Zanutta "Integrazione tra un rilievo fotogrammetrico aereo e batimetria swath il DTMM (Digital Terrain and Marine Model) del versante orientale e meridionale dell'Isola di Palmarola (Lazio)" (2001) Bollettino della Società Geologica Italiana.

TASK 2 - Caratterizzazione geotecnica dei fenomeni di instabilità sottomarini e dei fenomeni subaerei collegati

UR PARTECIPANTI: UR3, UR1, UR8

OBIETTIVI I ANNO

- Analisi bibliografica e raccolta dei dati storici sui fenomeni di instabilità
- Programmazione e realizzazione delle campagne a mare per il prelievo dei campioni di Ischia, Vulcano e Vulcano (compatibilmente con la disponibilità della nave: certa per Ischia, incerta per Vulcano e Stromboli).
- *Ischia*: rilievo dei campioni, analisi dei parametri ricavabili e scelta dei modelli di analisi del fenomeno di trasporto/flusso per debris avalanche per ricostruire l'evoluzione del versante sommerso dell'isola.
- Ricostruzione dei possibili scenari di messa in posto dei depositi dei debris avalanche.
- *Vulcano*: sismica a rifrazione nell'area della frana del 1988.
- Indagini geologiche a mare con basso battente d'acqua da pontone e a terra nelle aree limitrofe.
- Prelievo di blocchi per campionamento materiale prove geotecniche.
- Rilievi strutturali dell'ammasso roccioso.
- Back-analysis della frana del 1988 per ricavare caratteristiche meccaniche in situ delle formazioni coinvolte.

- *Stromboli*: scelta dei modelli e prove per l'acquisizione dei parametri di input delle analisi numeriche.

RISULTATI I ANNO

- Acquisizione dati:

Sono state intraprese e sono ancora parzialmente in corso le seguenti attività.

a) acquisizione del materiale bibliografico sulla geologia e sui fenomeni di instabilità dei siti esaminati e sulle metodologie di modellazione e di caratterizzazione geotecnica adatte alle particolari situazioni dei siti studiati.

b) Reperimento del materiale cartografico ed aerofotografico prodotto nel corso degli anni necessario per lo studio dei caratteri morfologici dei fenomeni di instabilità, per l'ubicazione delle indagini e per l'analisi preliminare delle condizioni di instabilità attraverso modelli numerici e/o analitici. Particolare attenzione è stata rivolta all'acquisizione delle fotografie aeree riprese a distanza di diversi anni (anche storiche) per osservare l'evoluzione della morfologia a più lungo termine. A tale scopo sono state condotte ricerche in archivi nazionali ed internazionali pubblici e privati in parte ancora in corso. Questa attività è condivisa con la Task 1 della stessa UR interessata al materiale aerofotogrammetrico per la restituzione (realizzazione di DEM parziali o totali e successive elaborazioni).

Dai rilievi in sito effettuati, è risultata la necessità di eseguire delle riprese fotogrammetriche frontali delle aree instabili per una migliore quantificazione dei volumi e degli elementi morfologici e strutturali che possono essere utilizzati nello studio di instabilità, da eseguire nei prossimi mesi. A tale scopo sono state individuate le aree di interesse per questa attività, da realizzare in condivisione con la Task 1.

Per lo studio delle caratteristiche morfologiche e strutturali delle aree interessate da instabilità, sono state comunque effettuate delle riprese stereoscopiche frontali da mare con camere non metriche sia a Vulcano sia a Stromboli ad integrazione delle aerofoto esistenti.

Nel corso del sopralluogo effettuato a giugno 2001 sono state meglio definite le indagini geognostiche e geotecniche in sito e la caratterizzazione fisico-meccanica dei materiali in laboratorio sulla base dei vincoli logistici (accessibilità e sicurezza) e delle caratteristiche in sito dei materiali coinvolti nei fenomeni. In particolare a Stromboli si prevede di effettuare dragaggi a mare e prelievi a terra di materiale prodotto dalla sciara in quantità sufficiente (alcuni m³) per modelli fisici e prove di tilting test e di laboratorio su provini di grandi dimensioni. A tale proposito si rende necessario l'uso di elicottero o barconi per il carico del materiale.

Su Vulcano sono stati individuati dei siti per prelevare nel settembre p.v. dei campioni cubici ASTM in particolare aree accessibili ed allo stesso tempo rappresentative dei materiali della successione presente sul fianco NE della Fossa interessato dalla frana del 1988. E', inoltre, in fase di organizzazione per settembre-ottobre p.v. una campagna di sondaggi con prelievo di campioni ed esecuzione di prove pressiometriche, prove penetrometriche dinamiche continue ed indagini geofisiche sulla sommità dell'area della frana. Per l'esecuzione delle indagini è stata richiesta la disponibilità dell'elicottero, da adibire al trasporto delle attrezzature sul versante, utilizzato in precedenza dalla Protezione Civile per altre operazioni di indagine e controllo alle Eolie.

- Interpretazione e modellistica:

Sono stati discussi, per Ischia e Stromboli, dei possibili scenari evolutivi su cui basare le analisi della fase di innesco di fenomeni di instabilità sottomarina e sono state conseguentemente individuate le metodologie di analisi con cui costruire dei primi modelli di taratura.

Sulla base dei rilievi effettuati, dell'analisi delle foto aeree acquisite e delle foto stereoscopiche frontali effettuate da mare, è in corso uno studio per localizzare e circoscrivere

i fenomeni di instabilità di più vaste proporzioni e le zone soggette ad erosione diffusa su vaste aree, per l'Isola di Stromboli. Lo scopo è di individuare le aree di alimentazione dei fenomeni di instabilità e trasporto sottomarini. Parallelamente si stanno analizzando tutte le informazioni di tipo batimetrico e geofisico per ora messe a disposizione degli altri task in attesa di integrarle con le nuove indagini programmate a partire dal prossimo autunno-inverno.

Relativamente a Vulcano è in corso un'analisi delle caratteristiche morfologiche dell'edificio della fossa basata su osservazioni in situ, letteratura precedente, studio delle foto aeree e delle foto stereoscopiche frontali prese nel corso dei rilievi. Si stanno eseguendo inoltre delle analisi di stabilità preliminari con modelli tridimensionali all'equilibrio limite basate sui modelli topografici già in nostro possesso.

Realizzazione di mappe alla scala 1:50.000 (UTM WGS 84) del debris avalanche ischitano mediante l'integrazione di dati sonar a scansione laterale a grande copertura (Tobi) a dati batimetrici a bassa risoluzione.

La realizzazione delle carte è stata eseguita attraverso la ricostruzione di un modello digitale del fondo marino, ed operazioni di "draping" con sonogrammi sonar.

- Altro:

Preliminarmente all'esecuzione di una campagna di prelievo di campioni a mare, si è evidenziata l'opportunità di eseguire un sopralluogo geotecnico, eventualmente accompagnato dalla raccolta di dati geofisici (georadar ed eventualmente geoelettrica), al fine di definire la reale significatività e la possibilità operativa di realizzare carotaggi di sufficiente lunghezza. Sulla base dei risultati del sopralluogo e dei rilievi preliminari, la campagna di prelievo di campioni potrà essere posposta al 2° anno (come già indicato nel rapporto di primo semestre).

TASK 3 - Indagini sulle porzioni sommerse dell'Isola d'Ischia

UR PARTECIPANTI: UR5, UR7, UR1

OBIETTIVI I ANNO:

- Revisione e integrazione dei dati esistenti (TOBI e batimetria interferometrica) ed individuazione dei settori da sottoporre a ulteriori indagini.
- Prima parte dell'esecuzione di campagne in mare (con Urania e con mezzo minore) con acquisizione di dati batimetrici multifascia, sismici, multicanale ad alta risoluzione, magnetometrici e di campioni del fondale.

RISULTATI I ANNO

Un dataset iniziale di dati geofisici e geologici è stato acquisito nel corso della campagna oceanografica "GMS00_05" eseguita dall'11 al 26 ottobre 2000 con la N/O "Urania" (capomissione: G. de Alteriis).

- Interpretazione ed elaborazione geofisica:

I rilievi batimetrici sono stati integrati con i sondaggi puntuali digitalizzati dalle carte nautiche pubblicate dal IIM (Istituto Idrografico della Marina) e georeferenziati su datum WGS84 per ottenere un quadro preliminare dei principali elementi morfologici che insistono sul settore ovest e sud dell'isola tra le isobate 150-1000 m circa. La topografia del fondo ottenuta, pur nei limiti offerti dalla sua risoluzione, mostra che: a) l'isola rappresenta solo il 30% emerso di un intero apparato vulcanico sviluppato in senso E-W; b) nell'offshore ovest, due trends strutturali comprendono allineamenti di edifici monogenici più o meno conservati orientati E-W e WSW-ENE; c) nell'offshore sud si intravedono sulla scarpata superiore

numerose concavità e rilievi isolati che possono costituire indizi di instabilità del versante. La topografia “single-beam” ottenuta costituisce quindi una base di lavoro molto utile per pianificare le successive indagini multi-beam.

E’ iniziata l’interpretazione del dataset acquisto con il side-scan-sonar lungo la base della scarpata a sud di Ischia tra 600 e 1100 metri di profondità. La gestione delle immagini digitali sss viene realizzata con il software ISIS© (Triton Elics). Lo scopo è quello di definire in dettaglio la facies “hummocky” (a blocchi) già investigata con il rilievo TOBI. L’interpretazione procede congiuntamente all’analisi dei profili sub-bottom Chirp. Sono stati rilevati blocchi di dimensioni variabili dalla decina a pochi metri di diametro. I blocchi emergevano da una matrice fangosa piuttosto omogenea dal punto di vista acustico con a luoghi strutture da corrente in corrispondenza degli “hummocks”. Non sono stati generalmente osservati blocchi di dimensioni inferiori al metro. Alcuni blocchi maggiori superano agevolmente i 50-100 m di diametro e si elevano per più di 25-30 m sul fondale. E’ in corso un tentativo di definire, su base statistica, la distribuzione dimensionale dei blocchi all’interno del deposito. L’ apparente assenza dei blocchi sub-metrici e la stratigrafia mostrata dai profili sismici e sub-bottom Chirp (seppur di qualità mediocre dato l’alto indice di diffrazione) suggeriscono l’idea che buona parte del deposito e in particolare il pezzame minore sia sepolto sotto i fanghi pelagici attuali e olocenici e che solo i blocchi maggiori emergano da tale matrice. Tale interpretazione, ancora preliminare, è supportata per ora dalla sequenza incontrata dal carotaggio C848 effettuato sul limite orientale del debris avalanche in corrispondenza dello sbocco del canyon Magnaghi.

E’ stato avviato il processing di alcuni profili sismici a sorgente airgun e watergun sia monocanale che multicanale con lo scopo di verificare se possibile lo spessore del debris avalanche. Il processing è specificamente finalizzato a minimizzare la perdita di risoluzione verticale dovuta alla degradazione delle alte frequenze lungo la colonna d’acqua (spesso superiore a 1000 m) ed alla riduzione della forte diffrazione prodotta dalla topografia accidentata. E’ comunque in programma l’acquisizione di ulteriori profili sismici nel corso del 2002 con sorgente airgun.

In collaborazione con la Task 1 è stato realizzato un draping a partire da dati batimetrici già esistenti (generalmente bassa risoluzione).

Per la realizzazione del draping è stata seguita la seguente metodologia:

- digitalizzazione di carte batimetriche a bassa risoluzione per la creazione di file .dat/. xyz
- creazione del DTM marino realizzando superfici con modelli a triangoli mediante i programmi: Microstation 95/J, Descartes, Tmodel
- operazione di draping attraverso i programmi: Descartes, Artlantis.

Sono state quindi realizzate carte alla scala 1:50.000 (UTM WGS 84) del debris avalanche ischitano, che hanno permesso una maggior comprensione dei lineamenti correlati ai fenomeni d’instabilità a media grande scala.

Si tratta di una metodologia innovativa che agevola notevolmente l’interpretazione dei dati side scan sonar permettendo di differenziare i lineamenti osservati tra quelli morfologici e quelli prodotti dalla tipologia del fondale (natura dei sedimenti, presenza di substrato roccioso sub-affiorante ecc.)

Viste le grandi potenzialità fornite dall’approccio integrato batimetria-sonar a scansione laterale è prevista la realizzazione del draping utilizzando dati batimetrici e sonar ad alta risoluzione.

PRODOTTI DELLA RICERCA

- n. 1 dataset di batimetria a fascio singolo riferita a Datum WGS84 e con posizionamento di alta precisione (DGPS) e standard IHO (International Hydrographic Organisation) nell’offshore Nord, Ovest e Sud dell’isola d’Ischia tra le isobate di 150m e 1100 m circa

- n. 1 comunicazione a congresso internazionale EGS, Nizza, 2001:
De Alteis G., Bruno P. P., Florio G. - Interpretation of geophysical data of the Ischia island (Italy Tyrrhenian sea) during GSM00_05 cruise -
- E' in preparazione una pubblicazione estesa da sottoporre ad una rivista di geologia marina o di vulcanologia che descriva tutti i dati raccolti nel corso della campagna GMS00_05 con particolare riferimento all'offshore sud.

TASK 4 - Analisi della pericolosità delle porzioni sommerse dei vulcani dell'arco Eoliano, di Ustica e dei monti sottomarini centrotirrenici (Marsili e Vavilov)

UR PARTECIPANTI: UR2

OBIETTIVI I ANNO

- Analisi dei dati pregressi ed interpretazione dei dati multibeam.
- Individuazione di aree vulcaniche non note.
- Riconoscimento dei centri vulcanici sommersi a bassa profondità pericolosi per il loro potenziale esplosivo.
- Pianificazione di campagne di ricerca in mare (Tirreno meridionale).
- Rapporto preliminare dei risultati conseguiti

RISULTATI I ANNO

- Acquisizione dati:

Sono state portate avanti alcune delle attività operative del progetto nell'ambito di una crociera effettuata nel 2000. In particolare, fra il 30 Novembre e 13 Dicembre 2000, durante la crociera TIR-2000, sono stati effettuati numerosi dragaggi sui fianchi centrali e meridionali del Monte Marsili per completare la campionatura già iniziata nel Maggio 1998. I campioni di roccia recuperati sono stati pari a circa 80% dei tentativi di campionatura e complessivamente di notevole importanza date le profondità massime raggiunte (~3000 m) e la qualità dei recuperi. La preparazione dei campioni per le successive operazioni di analisi petrografica e geochemica e' attualmente in fase avanzata. Nel corso dell'anno, verranno effettuate le analisi petrografiche e geochemiche dei campioni recuperati.

Come valore aggiunto alla crociera, in collaborazione con l'Istituto GEOMAR di Kiel e l'Università di Amburgo, sono stati deposti 14 OBS/OBH sul fondale del bacino del Marsili. Questo rappresenta un primo esperimento per lo studio dei caratteri tettonici e, possibilmente, vulcanici del bacino.

Interpretazione:

E' in fase avanzata la preparazione dei campioni recuperati nella campagna TIR-2000 dal vulcano Marsili che saranno sottoposti ad analisi geochemiche e petrografiche nel corso dell'anno. I dati ottenuti verranno confrontati con quelli derivanti dalle campionature precedenti per confermarne le interpretazioni che sono oggetto di una pubblicazione e varie comunicazioni a congressi nazionali ed internazionali.

In particolare, sono state recuperate lave basaltiche nelle porzioni più profonde del vulcano Marsili, mentre la zona sommitale si rivela essere composta da lave più evolute (andesiti e andesiti basaltiche). Si e' dimostrato che i basalti sono di due tipologie, geochemicamente distinte, e, tramite simulazioni petrologiche, che le andesiti sommitali derivano, per differenziazione all'interno dell'edificio, da uno dei tipi di basalto. Questi risultati permettono quindi una migliore conoscenza dei meccanismi di crescita del vulcano e, inoltre, offrono la possibilità di riconoscere processi interni che sono potenzialmente fonti di instabilità.

E' in atto la fase preliminare di recupero dei dati registrati dagli OBS/OBH. Questi dati (sebbene disposti a scala regionale nel bacino Marsili) offrono una possibilità di verificare

l'esistenza di vulcanismo sottomarino attivo, attraverso le registrazioni degli OBH. Inoltre, costituiscono un data-set di aggiunta per la comprensione della dinamica litosferica nella zona di retro-arco Tirrenica, anch'essa oggetto di una pubblicazione sottomessa.

PRODOTTI DELLA RICERCA

- n° 2 pubblicazioni su riviste internazionali
- n° 2 pubblicazioni su riviste nazionali, atti, etc.

ELENCO PUBBLICAZIONI

Marani M.P., Trua T. Thermal restriction and slab tearing at the origin of a super-inflated spreading ridge (Marsili volcano, Tyrrhenian Sea), *J. Geophys. Res.*, In press.

Trua T., Serri G., Marani M.P., Renzulli A., Gamberi F. Volcanological and petrological evolution of Marsili seamount (Tyrrhenian Sea, *J. Volc. and Geotherm. Res.*, In press.

TASK 5 - Indagini sulla porzione sommersa dell'apparato dell'Etna

UR PARTECIPANTI: UR2

OBIETTIVI I ANNO

- Analisi dei dati progressi.
- Individuazione dei fattori che provocano l'instabilità dei vulcani, e la loro classificazione
- Pianificazione della campagna in mare.
- Rapporto preliminare dei risultati conseguiti

RISULTATI I ANNO

- Acquisizione dati:

Sono in fase di elaborazione i dati di riflettività multibeam dell'area marina antistante il vulcano. Questi dati forniscono la base per la costruzione di un modello digitale del terreno per l'individuazione dei processi gravitativi e tettonici attivi nella zona. Inoltre, nuovi dati di sismica multicanale acquisiti nello Ionio nord-occidentale, antistanti la costa Siciliana, saranno disponibili nel corso del 2001.

- Interpretazione:

I fattori d'instabilità del vulcano Etna già riconosciuti da lavori precedenti, sono stati approfonditi per permettere la pianificazione di una campagna in mare efficace al raggiungimento degli obiettivi del task. Sono in corso l'analisi e interpretazione dei dati batimetrici e geofisici (magnetometria e sismica) già disponibili nello Ionio settentrionale. Questi dati hanno permesso di individuare una valle sottomarina caratterizzata da flussi gravitativi ad azione erosiva e di trasporto di materiale (debris avalanche) nell'area sotto-costa del Etna. L'orientamento della zona di flusso sembra essere controllata da una faglia con andamento NW-SE, ben evidente morfologicamente. Più al largo, questa linea tettonica, confermando la sua recente attività, causa una deviazione dell'attuale Canyon di Messina. Poco più a sud, sempre antistante l'edificio Etneo, dati multibeam hanno messo in evidenza una nicchia di distacco di una frana a blocchi (rock avalanche) che interessa una estesa area della scarpata superiore, fra le profondità di 700 e 1200 metri.

- Altro:

La realizzazione della campagna geofisica a mare per l'indagine dei settori antistanti l'apparato etneo verrà posposta al secondo anno (come già comunicato nel rapporto di primo semestre).

TASK 6 - Indagini sulle porzioni sommerse di Stromboli e Vulcano

UR PARTECIPANTI: UR2, UR4, UR1

OBIETTIVI I ANNO

- Stromboli:

Interpretazione ed integrazione dei diversi di tipi di dati esistenti ed individuazione di aree chiave da sottoporre ad ulteriori indagini.

Progettazione di campagne in mare per l'acquisizione mirata di dati nuovi.

- Vulcano:

Revisione dei dati batimetrici e sismoacustici esistenti.

Progettazione di campagne in mare per l'acquisizione mirata di dati nuovi.

RISULTATI I ANNO

- Acquisizione dati:

Nel corso di due campagne di ricerca eseguite nel 2000 e 2001, sono stati affrontati alcuni degli obiettivi di questo task da parte dell'U.R. IGM-CNR. La pianificazione delle campagne è stata effettuata sulla base dell'interpretazione dei dati batimetrici di dettaglio (multibeam), e di dati di sidescan sonar a traino profondo (MAK) acquisiti dall'U.R. CNR-IGM, nel 1994, 1996 e 1999. In particolare, durante la crociera TIR2000, effettuata fra il 30 Novembre e 13 Dicembre 2000, sono stati acquisiti profili CHIRP sonar sul versante profondo settentrionale dell'Isola di Stromboli, e, in via esplorativa, sono stati successivamente effettuati alcuni carotaggi. I due recuperi hanno interessato l'area distale del cuneo di frana della Sciarra del Fuoco e la porzione centrale del bacino Marsili.

Inoltre, durante la crociera GEOSTAR 2001, sono stati ritagliati alcuni giorni (campagna VST-01 dal 21 Aprile al 28 Aprile) per effettuare un rilievo SSS e CHIRP sonar dei versanti dell'isola di Stromboli. Sono stati acquisiti 300 km di linee di sidescan sonar ad alta risoluzione, che offrono la copertura della scarpata sommersa dell'edificio di Stromboli fra le una profondità di 200 e 1000 m. Il rilievo side scan sonar è stato eseguito a copertura completa (overlap fra profili di 400 m, swath totale di 600 m; la scala delle immagini sidescan sonar è 1:3000 con una risoluzione di 0,75 m.

- Interpretazione:

In accordo con gli obiettivi previsti dal progetto per il primo anno, l'attività svolta dalle U.R. coinvolte nel task è consistita nella revisione dei dati già acquisiti precedentemente sulle porzioni sommerse di Stromboli e Vulcano e l'interpretazione preliminare dei nuovi dati.

Stromboli

L'U.R. UNI-BO dispone di un fitto reticolo di profili batimetrici e sismici (Sparker 1-4.5 kJ, con una spaziatura di 500-700 m fino a circa 2600 m di profondità e di circa 2 km fino ai 3000 m) che dalla costa occidentale dell'isola si spingono fino al limite settentrionale del Canyon di Stromboli. Informazioni sulle facies acustiche sono fornite da alcune linee di rilievi ecografici a scansione laterale e a traino profondo (MAK-1 e TOBI); campionature del fondale sono, inoltre, state effettuate mediante draga e box-corer sulle principali strutture identificate. L'elaborazione e l'analisi dei diversi dati disponibili ha permesso una dettagliata

ricostruzione del settore, mettendo in luce la sovrapposizione di più dinamiche deposizionali che richiederanno di essere meglio caratterizzate nel corso delle future indagini. In particolare:

- l'ampio deposito a conoide, deposti nel settore antistante la Sciara del Fuoco a seguito degli eventi di collasso laterale che hanno coinvolto il fianco occidentale dell'isola, è stato mappato fino ad una profondità di oltre 2600 metri, dove raggiunge il fondo del Canyon di Stromboli provocando la deviazione del relativo thalweg;
- la superficie della conoide è apparsa interessata da deposizione recente, probabilmente dovuta a flussi gravitativi e torbiditici. Una serie di lobi divergenti, con continuità chilometrica, ricopre buona parte dell'area; la loro natura deposizionale sarà oggetto di future investigazioni;
- il canyon che costituisce il prolungamento in mare della depressione della Sciara del Fuoco è sede di trasporto attivo ad alta energia. Esso, oltre a convogliare in profondità un'ampia percentuale di prodotti vulcanogenici provenienti dalla Sciara, riceve anche apporti (sotto forma di grossi blocchi di lava) provenienti dal settore sommerso NW dell'isola. Alla loro immissione nel Canyon di Stromboli, i sedimenti vulcanogenici provenienti dal fianco occidentale dell'isola sono soggetti a fenomeni di diluizione e mescolamento da parte di correnti ricche di detrito terrigeno, e raggiungono il Bacino del Marsili. Uno degli obiettivi delle future ricerche sarà proprio quello di verificare se e come l'alternarsi a Stromboli di fasi di attività vulcanica, fenomeni di instabilità e periodi di relativa quiescenza, in cui prevalgono gli apporti di origine continentale, possa essere registrato nei sedimenti bacinali.

Le interpretazioni preliminarmente svolte sui profili e le stime morfologico-volumetriche effettuate sono state utilizzate per simulazioni numeriche relative all'evento di instabilità che ha dato luogo alla Sciara del Fuoco e per lo sviluppo di un primo modello di generazione e propagazione di onde di tsunami (Tinti et al., 2000).

I nuovi dati acquisiti nell'ambito del task sono in corso di studio da parte dell'U.R CNR-IGM. Da un primo studio preliminare, le carote recuperate durante la crociera TIR2000, campionate rispettivamente nel bacino Marsili (profondità di 3300 m) e nel fianco profondo nordoccidentale dell'edificio di Stromboli (profondità 3000 m), risultano composte da una successione stratigrafica costituita principalmente da livelli torbiditici. Nella prima, i livelli sono costituiti principalmente da una successione di numerose torbiditi vulcanoclastitiche a spessori ridotti e a grana generalmente fine. Un livello di tefra, individuato alla base della carota, è stato campionato ed analizzato dall'U.R dell'Università di Pisa (che coordina il progetto GNV "Pericolosità del Vulcano Stromboli" di cui fa parte l'U.R. CNR-IGM), allo scopo di stabilire la sua provenienza. La seconda carota contiene livelli più spessi costituiti da vulcanoclastiti a granulometria più grossolana. Lo studio dei livelli più significativi di entrambe le carote, attraverso l'analisi sedimentologica, geochimica e micropaleontologica è attualmente in corso presso l'IGM-CNR.

L'interpretazione preliminare dei dati sidescan sonar acquisiti da parte dell'U.R CNR-IGM, durante la crociera VST01, integrati dai dati CHIRP acquisiti nella campagna TIR2000, ha messo in luce i processi gravitativi attualmente in atto nelle porzioni sommerse dell'edificio di Stromboli. In particolare, la zona adiacente la Sciara del Fuoco è caratterizzata da un cuneo vulcanoclastico di mare profondo costituito da materiale grossolano organizzato in barre e canali longitudinali con disposizione a ventaglio. In alcune aree blocchi con dimensioni fino a 50 m sono presenti sulla superficie del cuneo. Altri cunei di mare profondo, costituiti da materiale vulcanogenico grossolano, sono stati evidenziati nei fianchi occidentali e meridionali dell'edificio di Stromboli caratterizzati da assenza di piattaforma; anche in questi corpi deposizionali prevalgono forme di fondo orientate longitudinalmente. Depositi vulcanoclastici fini sono presenti nella porzione settentrionale dell'edificio caratterizzata dalla presenza di una piattaforma; numerose superfici di distacco gravitativo sono la testimonianza

di frequenti franamenti sottomarini dovuti a una forte instabilità dei sedimenti che originano l'arretramento del ciglio della piattaforma.

Vulcano

La revisione dei dati batimetrici e sismoacustici da parte dell'U.R. UNIBO, (circa 400 km di profili Sparker 1-4.5 kJ, in una maglia regolare con spaziatura di circa 500 m) già acquisiti per l'isola di Vulcano ha sostanzialmente confermato l'assetto asimmetrico dell'edificio vulcanico, caratterizzato dalla presenza di una piattaforma di abrasione sommersa sul solo fianco occidentale, più stabile. Il settore nord-orientale, al contrario, mostra una morfologia più articolata ed è interessato diffusamente da processi morfodinamici erosivi ed instabilità gravitative, che sembrano influenzate da strutture disgiuntive a direzione NE-SW.

L'interpretazione di dati morfobatimetrici di dettaglio (multibeam) e di riflettività del fondo marino da parte dell'U.R. IGM-CNR ha permesso di ricostruire la distribuzione delle facies vulcaniche nella porzione sommersa orientale dell'edificio di Vulcano. Sono state distinte facies vulcaniche primarie, facies vulcanoclastiche risedimentate e facies sedimentarie vulcanogeniche (Gamberi, 2001). Le facies vulcaniche primarie sono rappresentate principalmente da una serie di coni vulcanici composti da lave a cuscino localizzati a nord-est della penisola di Vulcanello a una profondità di circa 400 m. Un'analisi dettagliata della natura dei prodotti vulcanici che compongono questi seamount e' ancora in corso (Gamberi, Aprile 2001, EUG XI). Le facies vulcaniche primarie giocano un ruolo principale nel controllo della distribuzione delle altre facies e nello sviluppo dei principali canyons sottomarini, caratterizzati dalla prevalenza di fenomeni erosivi e di trasporto. Deposizione di materiale vulcanogenico avviene nelle parti distali dei canyons, a causa della espansione laterale dei flussi e della riduzione del gradiente. L'influenza dei processi attivi sull'isola di Vulcano e' particolarmente evidente nell'area adiacente la Baia di Levante, dove, grandi quantità di materiale vulcanogenico prodotto nella parte emergente dell'edificio sono trasportate da flussi gravitativi sottomarini e depositati a formare un cuneo vulcanoclastico.

Nel corso del 2002, sono state proposte campagne consecutive, da parte delle U.R. IGM-CNR e UNIROMA, con coinvolgimento della U.R. UNIBO, per l'acquisizione di dati sonar a scansione laterale, profili sismici e campionature del fondale nell'area.

Realizzazione di carte batimetriche di dettaglio delle isole di Stromboli e Vulcano alle scale 1:25.000, 1:5.000 (Gauss Boaga – Roma 40), mediante digitalizzazione di grafici di scandagliamento presso l'Istituto Idrografico della Marina Militare di Genova. I dati saranno impiegati come supporto di base per la realizzazione di modelli digitali del fondo marino da integrare a DTM terrestri (in collaborazione Task 1) e per operazioni di draping con dati side scan sonar (creazione di DTM marini integrati a dati sonar a scansione laterale).

PRODOTTI DELLA RICERCA

- n° 2 pubblicazioni su riviste internazionali
- n° 3 pubblicazioni su riviste naz., atti, a convegni, rapporti tecnici, etc.

ELENCO PUBBLICAZIONI

- Gamberi F. (2001). Volcanic facies associations in a modern vulcanoclastic apron (Lipari and Vulcano offshore, Aeolian Island Arc), Bull. Volcanol., published online.
- Tinti S., Bortolucci E., Romagnoli C. (2000). Computer simulation of tsunamis due to sector collapse at Stromboli, Italy. J. Volcanol., Geotherm. Res., 96, 103-128.

TASK 7 - Vulcanismo e Geologia strutturale dell'Isola di Ischia

UR PARTECIPANTI: UR6, UR8, UR1

OBIETTIVI I ANNO

- Ricerca e studio bibliografico.
- Prima parte del rilevamento geologico di dettaglio dell'area a sud di M. Epomeo.
- Redazione di una carta morfostrutturale preliminare, basata sull'analisi di fotografie aeree.
- Redazione di una carta del reticolo idrografico che fungerà da base per la preparazione della carta di pericolosità per invasione da debris-flow e mud-flow.
- Prima definizione della geologia di superficie e dell'assetto morfologico e strutturale del settore meridionale dell'isola d'Ischia.
- Ricostruzione della storia vulcanica e deformativa di questo settore dell'isola e suo inserimento nel quadro evolutivo più generale dell'intera isola.
- Prima parte di definizione delle aree interessate dalle differenti fenomenologie eruttive individuate.
- Campionatura di tutte le unità per le quali si prevede di eseguire i diversi tipi di analisi ed avviare la preparazione dei campioni per la successiva fase analitica.
- Stratigrafia dei depositi da mud flow e debris flow.
- Definizione delle aree interessate dalla deposizione di debris flow e mud flow.
- Prima parte dell'esecuzione dei modelli analogici di deformazione.

RISULTATI I ANNO

Nella parte emersa del complesso vulcanico insulare ischitano, il versante meridionale del Monte Epomeo e' individuabile come probabile area sorgente dei fenomeni di instabilità registrati dai depositi di debris flow rilevati sui fondali marini a sud dell'isola. Uno degli obiettivi principali del Task 7 e' stato quindi lo studio e l'analisi dei depositi di debris-flow, debris-avalanche e mud-flow affioranti sul versante meridionale del Monte Epomeo, perche' solo un esame critico della loro composizione, stratigrafia, distribuzione e cronologia fornisce elementi da interfacciare con gli altri obiettivi del progetto, come la caratterizzazione geotecnica dei materiali, la correlazione con l'attività vulcanica coeva e la ricerca del corrispondente subaereo al deposito marino. Abbiamo operato attraverso: a) la ricerca bibliografica, b) il rilevamento stratigrafico e strutturale in due campagne di terreno, c) l'analisi di fotografie aeree, d) la ricostruzione della geologia, stratigrafia, morfologia, cronologia e struttura dei depositi, e) la cartografia geologica.

Lo studio bibliografico e' stato riferito essenzialmente alle metodologie di studio e alla descrizione di eventi simili in ambiente vulcanico e non vulcanico. Il risultato della ricerca bibliografica e' stato che esistono pochi esempi in letteratura di studi di dettaglio per riconoscere e descrivere tali eventi. Quindi lo studio di dettaglio portato avanti in questo progetto comporterà anche conoscenze ed innovazioni metodologiche applicabili ad un modello generale e non solo alla problematica contingente dell'isola d'Ischia.

E' stato svolto un rilevamento geologico di terreno con cartografia a scala 1:5000 e lo studio litostratigrafico di 25 sezioni all'interno dei depositi che costituiscono la copertura detritica del versante e che sono derivati dai fenomeni di instabilità connessi al sollevamento della caldera risorgente ischitana tra 33 ka fa e il presente.

La ricostruzione stratigrafica e l'analisi delle lithofacies ha permesso di individuare e caratterizzare circa 30 unità litostratigrafiche, rappresentanti altrettanti corpi deposizionali generati da debris flow e debris avalanche, intercalati a paleosuoli, depositi alluvionali, lacustri e litorali e depositi piroclastici primari. Di ogni unità sono stati prelevati campioni per l'analisi sedimentologia. Sono state inoltre rilevati direttamente sul terreno tutti i dati possibili di spessore, direzione di flusso e giacitura delle superfici di scorrimento.

La datazione degli eventi e' possibile solo dopo un esame critico della sequenza stratigrafica e quindi alla localizzazione stratigrafica dei possibili oggetti geologici databili. E' stata quindi svolta una apposita campagna di ricerca di paleosuoli e resti vegetali da sottoporre a datazione ¹⁴C. Purtroppo i contatti tra i corpi di debris flow nell'area principale di accumulo sono quasi sempre erosivi e privi di paleosuoli e anche all'interno dei depositi non sono stati rilevati resti vegetali. I paleosuoli sono scarsamente sviluppati solo nelle aree di accumulo marginali, dove in una sezione stratigrafica sono stati campionati e datati due livelli carboniosi che hanno dato eta' oloceniche.

E' stata redatta inoltre una carta morfostrutturale preliminare, basata sull'analisi di fotografie aeree a scala 1:10.000, finalizzata all'integrazione dei dati geometrici e strutturali dei depositi di debris flow, delle superficie di scivolamento e del substrato vulcanico.

Lo studio dell'andamento morfologico e strutturale del substrato e dei rapporti tra quest'ultimo e i depositi di debris flow ha permesso di definire le geometrie dei corpi deposizionali e delle superfici di scorrimento. Sono stati individuati i corpi di debris flow più importanti per volume ed estensione areale. E' iniziata la digitalizzazione della cartografia e dei dati geometrici e strutturali dei corpi rilevati sui quali sara' compiuta l'elaborazione per la definizione quantitativa dei loro parametri fisici.

Durante il primo anno di attività del progetto sono stati effettuati modelli analogici di risorgenza intracalderica, con il fine di comprendere il processo deformativo e le condizioni che possono controllare tale processo (Acocella et al., 2000). Tali risultati sono stati successivamente integrati con i dati di terreno precedentemente acquisiti ad Ischia (Acocella & Funiciello, 1999), con il fine di inquadrare la dinamica ed il tipo di risorgenza riconosciuta sull'isola. I dati acquisiti hanno permesso di riconoscere il tipo di risorgenza ischitana (sollevamento a pistone di un blocco rigido asimmetrico e sostanzialmente indeformato) come un caso limite di risorgenza osservato negli esperimenti (Acocella et al., 2001). Tale tipo di deformazione, comune anche ad altre risorgenze (ad es. Pantelleria) sarebbe controllato dal rapporto tra lo spessore e l'ampiezza della crosta sovrastante la camera magmatica

PRODOTTI DELLA RICERCA

- n° 1 carta geologica a scala 1: 5.000 del versante meridionale del Monte Epomeo, isola d'Ischia;
- n° 1 carta morfostrutturale a scala 1:10.000 del versante meridionale del Monte Epomeo, isola d'Ischia.
- n. 2 pubblicazioni

ELENCO PUBBLICAZIONI

Acocella V., Cifelli F., Funiciello R. (2000) - Analogue models of collapse calderas and resurgent domes. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 104, 81-96.

Acocella V., Cifelli F., Funiciello R. (2001) - The architecture of resurgent domes: insights from analogue models. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, in stampa.

ELENCO COMPLETO PUBBLICAZIONI

Anzidei M., Baldi P., F. L. Chiocci, M. Marsella, E. Martorelli, A. Zanutta "Integrazione tra un rilievo fotogrammetrico aereo e batimetria swath il DTMM (Digital Terrain and Marine Model) del versante orientale e meridionale dell'Isola di Palmarola (Lazio)" (2001) *Bollettino della Societa' Geologica Italiana*.

De Alteis G., Bruno P. P., Florio G.(2001) - Interpretation of geophysical data of the Ischia island (Italy Tyrrhenian sea) during GSM00_05 cruise –

- Marani M.P., Trua T. Thermal restriction and slab tearing at the origin of a super-inflated spreading ridge (Marsili volcano, Tyrrhenian Sea), *J. Geophys. Res.*, In press.
- Trua T., Serri G., Marani M.P., Renzulli A., Gamberi F. Volcanological and petrological evolution of Marsili seamount (Tyrrhenian Sea), *J. Volc. and Geotherm. Res.*, In press.
- Gamberi F. (2001). Volcanic facies associations in a modern volcanoclastic apron (Lipari and Vulcano offshore, Aeolian Island Arc), *Bull. Volcanol.*, published online.
- Gamberi F. e Marani M. (2001). Preliminary results of two oceanographic cruises over the submarine portions of the Stromboli edifice. Annual meeting of the coordinated project "Hazard assessment of Stromboli Volcano". Stromboli 6-8 June 2001.
- Tinti S., Bortolucci E., Romagnoli C. (2000). Computer simulation of tsunamis due to sector collapse at Stromboli, Italy. *J. Volcanol., Geotherm. Res.*, 96, 103-128.
- Acocella V., Cifelli F., Funicello R. (2000) - Analogue models of collapse calderas and resurgent domes. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 104, 81-96.
- Acocella V., Cifelli F., Funicello R. (2001) - The architecture of resurgent domes: insights from analogue models. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, in stampa.
- Carta Geologica a scala 1: 5.000 del versante meridionale del Monte Epomeo, isola d'Ischia;
Carta Morfostrutturale a scala 1:10.000 del versante meridionale del Monte Epomeo, isola d'Ischia.
- de Vita S., Orsi G., Sansivero F., Gialanella C., 2001: Volcanism and human life at Ischia (Southern Italy) over the past 5,000 years, as deduced from geological evidences and historical sources. *Cities on volcanoes 2*, Auckland, New Zealand February 12th – 16th. Abstracts.
- de Vita S., Orsi G., Sansivero F., 2001: Volcanism and caldera resurgence at Ischia (Italy) in the past 2.9 ka: implications for volcanic hazard assessment. *EGS, XXVI General Assembly Nice, France*, 25 - 30 March 2001. Abstracts.
- de Vita S., Orsi G., Piochi M., Sansivero F., (in prep.). Volcanological and structural evolution of the island of Ischia (Italy) over the past 10 ka.

DEFINIZIONE E ZONAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ VULCANICA DELLA
CALDERA RISORGENTE DEI CAMPI FLEGREI E SUOI EFFETTI SULL'UOMO E
SULL'AMBIENTE

Coordinatore scientifico del progetto
Orsi Giovanni - Professore Ordinario
INGV sezione Osservatorio Vesuviano - Napoli

Partecipanti al progetto

UR#	AFFERENZA	RESPONSABILE
1	Dip. Sci. Terra, Univ. Camerino	Carrol Mike
2	Dip. Sci. Terra, Univ. Napoli	D'Antonio Massimo
3	Dip. Geomineralogico, Univ. Bari	Dellino Piero
4	Ins. Min. Petr. Geoc., Univ. Munich	Dingwell Donald
5	Dip. Sci. Terra, Univ. Roma 3	Faccenna Claudio
6	Dip. Sci. Terra, Univ. Pisa	Ferrara Giorgio
7	Dip. Sci. Terra, Univ. Torino	Lanza Roberto
8	Osservatorio Vesuviano - INGV	Macedonio Giovanni
9	Osservatorio Vesuviano - INGV	Orsi Giovanni
10	Dip. Sci. Fis., Univ. Napoli	Patella Domenico
11	Dip. Sci. Terra, Univ. Trieste	Petrini Riccardo
12	Dip. Sci. Terra, Univ. Napoli	Rapolla Antonio
13	Dip. Sci. Terra, Univ. Pisa	Sbrana Alessandro
14	Cen. Interdip. LUPT, Univ. Napoli	Zuccaro Giulio

OBIETTIVI GENERALI

L'obiettivo del progetto è la definizione della pericolosità vulcanica della caldera dei Campi Flegrei in caso di ripresa dell'attività in tempi brevi o medi e la valutazione dell'impatto di un'eruzione esplosiva sull'uomo e sull'ambiente. In particolare ci si propone di definire lo stato attuale del sistema magmatico di alimentazione, le aree a più alta probabilità di apertura di bocche eruttive, gli scenari eruttivi attesi e gli effetti di questi ultimi sull'uomo e sulle strutture edilizie. Si ritiene altresì che per ottimizzare l'interpretazione di tutti i dati raccolti, questi debbano essere modellati sia con metodi numerici che analogici. Inoltre perché i risultati siano facilmente comprensibili ed utilizzabili anche da parte di non esperti in vulcanologia, quali ad esempio operatori di protezione civile, autorità politiche, esperti di gestione del territorio, è necessario che essi siano rappresentati su carte tematiche inserite in un sistema GIS. Tutti i risultati che si raggiungeranno potranno essere utilizzati per un aggiornamento del Piano di Emergenza attualmente in fase di elaborazione da parte del Dipartimento della Protezione Civile e al cui presupposto scientifico hanno contribuito ricercatori di alcune delle UR del presente Progetto (UR Orsi, D'Antonio, Macedonio e Zuccaro).

COMMENTI DEL COORDINATORE DEL PROGETTO

Il progetto è suddiviso nei seguenti 4 Tasks, ciascuno affidato ad un responsabile scientifico:

- Task 1: Assetto strutturale della caldera dei Campi Flegrei e sua evoluzione in relazione alla dinamica della Piana Campana e del bordo Tirrenico dell'Appennino Campano (Resp. Domenico Patella)

- Task 2: Evoluzione e stato attuale del sistema magmatico della caldera dei Campi Flegrei (Resp. Lucia Civetta)
- Task 3: Parametri fisici delle eruzioni, dinamiche eruttive e meccanismi deposizionali (Resp. Luigi La Volpe)
- Task 4: Modellazione fisica della dispersione piroclastica e degli eventi bradisismici nella caldera dei Campi Flegrei e impatto delle eruzioni esplosive sull'uomo e sull'ambiente (Resp. Giovanni Macedonio).

Il coordinamento nell'ambito dello stesso Task e fra Tasks diversi è stato soddisfacente.

Come previsto dal piano di coordinamento presentato dai responsabili di questo e del progetto n. 27 (Coord. Paolo Papale), nel mese di marzo 2001, è stata effettuata una riunione sul terreno alla quale hanno partecipato i ricercatori dei due progetti che conducono ricerche stratigrafico-vulcanologiche. La riunione, dedicata all'analisi di affioramenti selezionati dell'Unità di Agnano-Monte Spina, si è conclusa con una sostanziale convergenza di tutti i partecipanti sulla successione stratigrafica ricostruita dall'UR Orsi e pubblicata in de Vita et al. (1999). Uno dei principali obiettivi raggiunti durante questa riunione è che oggi i due progetti dispongono di una base comune di riferimento per l'eruzione di Agnano-Monte Spina per tutti gli approfondimenti successivi.

Il grado di raggiungimento degli obiettivi previsti per il primo anno e riportati nelle relazioni dei singoli Tasks, è più che soddisfacente e tutto lascia supporre che nel triennio possano essere raggiunti tutti gli obiettivi del programma.

Si segnala che nell'ambito del Task 2, da parte dell'UR Orsi, è stato anticipato lo studio dell'eruzione di Averno 2, previsto per il secondo anno, rinviando al secondo anno lo studio dei depositi dell'eruzione di Monte Nuovo, previsto per il primo anno. L'eruzione di Averno 2, ai fini della definizione della pericolosità, ha lo stesso rilievo di quella di Monte Nuovo: entrambe si sono verificate nell'area occidentale della caldera, all'intersezione di due sistemi di faglie attive. Lo studio di questa eruzione è stato anticipato perché, essendo essa di magnitudo più elevata e i suoi depositi meno conosciuti di quelli dell'eruzione di Monte Nuovo, richiedeva indagini stratigrafiche più lunghe e accurate.

Sembra utile evidenziare che tematiche di ricerca coerenti e/o complementari con quelle sviluppate nell'ambito del progetto sono state assegnate come argomento di alcune tesi di dottorato. Questo è molto positivo perché porta forze nuove e motivate nel progetto e perché i risultati dovranno essere conseguiti nel triennio del corso di dottorato.

I risultati delle ricerche condotte saranno presentati in posters al prossimo convegno del GNV. Inoltre, essi saranno raccolti sotto forma di "riassunti estesi" in un volume speciale del progetto che sarà pubblicato entro la fine del prossimo mese di settembre e distribuito al convegno del GNV.

TASK 1 - Assetto strutturale della caldera dei Campi Flegrei e sua evoluzione in relazione alla dinamica della Piana Campana e del bordo Tirrenico dell'Appennino Campano

UR PARTECIPANTI: UR5, UR9, UR10, UR12.

OBIETTIVI I ANNO

- *Assetto geologico-strutturale dell'area peritirrenica*: Definizione dei caratteri geologico-strutturali delle aree di piana e dei margini della catena, attraverso studi aerofotogeologici e stratigrafici e rilievi strutturali a scala macro e mesoscopica. Revisione dei caratteri macrosismici della sismicità appenninica e peritirrenica (UR Faccenna e Orsi).

- *Assetto geofisico-strutturale dell'area peritirrenica*: Reinterpretazione dei dati di sismica a riflessione nei Golfi di Pozzuoli e Napoli (UR Rapolla). Tomografia integrata di dati di potenziale spontaneo, gravimetrici e di deformazione del suolo (UR Patella).
- *Assetto geologico-strutturale della cCF*: Definizione dei caratteri stratigrafici e dell'assetto strutturale 3D della caldera Flegrea. Ricostruzione della sequenza di unità vulcaniche e sedimentarie intercalate. Messa a punto dell'apparato per la modellazione analogica della caldera Flegrea (UR Orsi e Faccenna).
- *Assetto geofisico-strutturale della cCF*: Progettazione del rilievo aeromagnetico nell'area flegrea e circumflegrea (UR Rapolla). Elaborazione della teoria e dell'algoritmo della tomografia di probabilità 3D per campi em induttivi. Acquisizione e calibrazione di un sistema per misure magnetovariazionali nel Golfo di Pozzuoli (UR Patella).

RISULTATI I ANNO

- Sviluppi metodologici
 - E' stata effettuata, da parte dell'UR Faccenna, la verifica delle proprietà reologiche dei materiali scelti (sabbia e silicone) per effettuare gli esperimenti analogici di collasso calderico e risorgenza intracalderica e lo studio di dettaglio delle proprietà meccaniche della sabbia da utilizzare negli esperimenti per simulare gli effetti di strutture pre-esistenti durante la risorgenza.
 - L'UR Faccenna ha progettato e messo a punto l'apparato per effettuare i modelli analogici e realizzare una serie di esperimenti preliminari.
 - E' in corso, da parte dell'UR Rapolla, lo sviluppo di nuove tecniche di processing dei dati aeromagnetici che consentono di ottenere risoluzione in profondità ed il perfezionamento di tecniche d'analisi per l'interpretazione rapida e semiautomatica di dati magnetici e gravimetrici.
 - E' stato concluso da parte dell'UR Patella lo sviluppo teorico del metodo della tomografia di probabilità 3D per misure elettromagnetiche (em) induttive. Le funzioni scanner sono state definite e opportunamente calibrate al problema in esame. Mediante questo procedimento tomografico si può ottenere un quadro 3D completo della distribuzione delle probabilità d'occorrenza per sorgenti em secondarie indotte a varie profondità.
- Acquisizione dati
 - E' stata reperita la bibliografia e cartografia esistente riguardo l'assetto geologico-strutturale dell'area Flegrea e dell'area circostante (Piana Campana e rilievi appenninici) da parte delle UR Faccenna e Orsi.
 - L'UR Faccenna ha effettuato uno studio delle immagini da satellite e delle foto aeree dell'area appenninica prospiciente la Piana Campana ad est e nordest dei Campi Flegrei, lungo la possibile prosecuzione delle strutture trasversali che caratterizzano l'area flegrea. A tal fine, si è appena iniziata un'analisi di terreno, congiuntamente all'UR Orsi, per definire i caratteri geometrici, cinematici e l'età di tali strutture, anche in rapporto ai sistemi NO-SE.
 - L'UR Orsi ha effettuato un'analisi di foto aeree e immagini da satellite della Piana Campana, compreso il margine occidentale dei rilievi appenninici, al fine di definire la cinematica dei processi deformativi che hanno generato l'assetto attuale della caldera e le loro relazioni con la tettonica regionale. Quest'analisi ha permesso di definire i principali lineamenti strutturali nelle differenti aree e di selezionare i siti in cui effettuare analisi mesostrutturali. Questi siti sono le aree di Canello e la valle del Sebeto, e il cono del Gauro.

- L'UR Orsi ha raccolto logs e carote di nuovi pozzi per definire meglio la distribuzione dei depositi marini e transizionali, sia all'interno sia all'esterno della caldera, al fine di investigare la storia deformativa olocenica della caldera.
 - L'UR Orsi ha effettuato una campionatura dei paleosuoli che separano le differenti unità vulcaniche del terzo periodo di attività della cCF, al fine di investigare le variazioni degli isotopi stabili di O e C nel tempo.
 - L'UR Orsi ha raccolto carte topografiche e tematiche in scala 1:2000-1:5000, in formato cartaceo e, ove disponibile, numerico per la realizzazione della carta geologica dell'area napoletano-flegrea. Presso l'Agenzia di Protezione Civile sono state raccolte ortofoto della Campania. I dati in formato cartaceo sono stati trasformati in formato numerico attraverso la vettorializzazione semiautomatica con il programma ARC/INFO. I dati numerici sono stati omogeneizzati con Arc View GIS e al momento sono utilizzati per la generazione di un DTM accurato e dettagliato dell'area Napoletano-flegrea utilizzando ARC/INFO. E' in corso il rilevamento e l'analisi di logs e carote di pozzi nell'area occidentale dei Campi Flegrei. I risultati sono riportati su carte topografiche di dettaglio (1:4000-1:5000).
 - Da parte dell'UR Rapolla è stata inoltrata all'AGIP la richiesta dei dati aeromagnetici esistenti nell'area flegrea e territori circostanti. E' stato approntato il progetto di una nuova campagna di misure, che coprirà un'area di circa 700 km² a nord dei Camaldoli e delimitata dal Volturno a nord, e dalla città di Caserta a est. La spaziatura delle linee di volo in direzione W-E sarà dell'ordine di 300 m, con tie-lines in direzione N-S spaziate tra loro circa 2.5 km.
 - L'UR Rapolla ha raccolto dati gravimetrici dei Campi Flegrei e Piana Campana, integrandoli con quelli disponibili nell'area vesuviana e ischitana. Ha anche iniziato l'elaborazione dei dati gravimetrici della Piana Campana per la modellizzazione 3D del vasto minimo nell'area napoletana e per l'analisi dei dati trasformati in dati FTG (Full Tensor Gravity).
 - E' stata inoltrata all'AGIP, da parte dell'UR Rapolla, richiesta di trascrizione delle linee sismiche a terra nei Campi Flegrei, che sono calibrate dai pozzi profondi.
 - E' stata completata da parte dell'UR Rapolla la rielaborazione delle linee sismiche CNR-OGS dei golfi di Pozzuoli e Napoli. Per l'interpretazione si stanno utilizzando tecniche quantitative basate sull'analisi degli attributi della traccia complessa.
 - L'UR Patella ha concluso l'iter per l'acquisto di un sistema a tre stazioni per misure magnetovariazionali (MV) terra-mare. Sono state eseguite simulazioni della risposta MV, utilizzando modelli realistici della caldera Flegrea, per controllare la sensibilità e il potere di risoluzione del nuovo metodo. In particolare è stato utilizzato un corpo prismatico immerso in un terreno a tre strati, localizzando il prisma a diverse profondità e caratterizzandolo con diversi contrasti di resistività.
- Interpretazione e Modellistica
- Lo studio di immagini da satellite e foto aeree dei contrafforti appenninici prospicienti la parte centrale della Piana Campana ha permesso all'UR Faccenna di riconoscere, all'interno dell'area studiata: 1) la presenza diffusa di lineamenti ad andamento generalmente NW-SE; 2) una possibile fascia deformativa caratterizzata da strutture trasversali, che rompe la continuità dei sistemi NW-SE, e di ipotizzare che tale fascia sia la prosecuzione delle strutture attive nell'area flegrea.
 - L'analisi strutturale di dettaglio condotta dall'UR Orsi ha permesso di: 1) definire che negli ultimi 100.000 anni, ai margini della Piana Campana, sono state attive strutture ad andamento E-O che hanno dislocato depositi Tirreniani a quote significativamente diverse da quelle di deposizione; 2) riconoscere sul cono del Gauro gli effetti delle fasi tettoniche attive in tempi diversi, nel settore nord-occidentale del blocco de La Starza;

- 3) definire nella valle del Sebeto, in un'area ubicata in prossimità del bordo orientale della cCF, le strutture attive negli ultimi 3500 anni.
- Le simulazioni effettuate dall'UR Patella per controllare la sensibilità del metodo MV hanno permesso di evidenziare una notevole capacità del metodo di differenziare la risposta del corpo anomalo rispetto all'ambiente circostante. È stato realizzato un codice per l'analisi e interpretazione di dati MV terra-mare, che prevede l'estensione del procedimento della tomografia di probabilità al metodo MV.

TASK 2 - Evoluzione e stato attuale del sistema magmatico

UR PARTECIPANTI: UR1, UR2, UR4, UR6, UR11, UR13

OBIETTIVI I ANNO

Ricostruzione della struttura e dell'evoluzione temporale del sistema magmatico, principalmente per il periodo compreso tra 60 e 12 ka, e definizione dei processi operanti nella camera/camere magmatica/magmatiche dei Campi Flegrei, attraverso prove sperimentali e analisi di laboratorio su campioni rappresentativi di periodi di attività magmatica significativi della storia dei Campi Flegrei, selezionati accuratamente in base alla loro posizione stratigrafica.

RISULTATI I ANNO

- Sviluppi metodologici
 - E' stato installato dall'UR Carroll il laboratorio idrotermale a Camerino per l'esecuzione contemporanea di esperimenti di lunga durata su più campioni.
 - Sono stati eseguiti dall'UR Carroll nuovi esperimenti per la stima della fugacità d'acqua in magmi alcalini presso il laboratorio di Bristol (UK), utilizzando le fasi coesistenti Bt-San-Mt.
 - E' in fase di allestimento finale da parte dell'UR D'Antonio il laboratorio di geochimica isotopica e di spettrometria FTIR presso l'Osservatorio Vesuviano.
 - Sono state effettuate dall'UR Dingwell nuove sperimentazioni presso il laboratorio di Monaco per studiare il processo di mixing/mingling, usando campioni rappresentativi del magma più evoluto e di quello meno evoluto emessi durante l'eruzione dell'Ignimbrite Campana (IC).
 - Sono stati effettuati dalle UR Ferrara e Petrini esperimenti per stimare l'effetto sulla composizione isotopica del boro dell'interazione tra vetro e acque.
 - E' stata messa a punto dall'UR Petrini una nuova metodologia analitica NMR su vetri naturali.
 - Le analisi diffrattometriche, le analisi SEM-EDS, le analisi in microsonda, le analisi spettroscopiche tramite NMR, EPR, mossbauer, le analisi ICP-AES e ICP-MS, le analisi isotopiche di Sr, Nd, Pb e B, le analisi di spettrometria FTIR, sono state effettuate da tutte le UR secondo metodologie standard.
- Acquisizione dati
 - Per il raggiungimento degli obiettivi del I anno di attività del Task 2 le sei UR hanno lavorato collaborando tra di loro. In particolare la strategia perseguita è stata quella di studiare gli stessi campioni rappresentativi di fasi significative dell'attività degli ultimi 60 ka dei Campi Flegrei. Sono stati studiati in maggior dettaglio i prodotti dell'attività pre-IC e i prodotti con composizione meno evoluta per definire la struttura, l'evoluzione e lo stato attuale del sistema magmatico nel tempo.

- Sono state effettuate dall'UR D'Antonio 150 analisi alla microsonda elettronica di vetri e minerali in rocce poco evolute più recenti di 12 ka, e in xenoliti rinvenuti in queste, 30 determinazioni della composizione isotopica di Sr ($87\text{Sr}/86\text{Sr} = 0.7068-0.7086$), Nd ($143\text{Nd}/144\text{Nd} = 0.5124-0.5126$) e Pb ($206\text{Pb}/204\text{Pb} = 18.9-19.2$) su roccia totale in prodotti degli ultimi 60 ka di attività, 10 determinazioni della composizione isotopica di Sr ($87\text{Sr}/86\text{Sr} = 0.7077-0.7113$), Nd ($143\text{Nd}/144\text{Nd} = 0.5121-0.5125$) e Pb ($206\text{Pb}/204\text{Pb} = 18.9-19.0$) in xenoliti e rocce ospiti, 35 analisi di elementi maggiori ed in tracce di campioni delle eruzioni di Astroni.
- Sono state effettuate dall'UR D'Antonio, in collaborazione con l'UR Orsi, analisi geochimiche, isotopiche e mineralogiche di 20 campioni prelevati a varie altezze da un carotaggio per definire la chemostratigrafia dei prodotti dell'IC.
- Sono state effettuate dall'UR Ferrara, in collaborazione con l'UR D'Antonio, analisi isotopiche (Sr e B) e geochimiche di 20 campioni rappresentativi dell'attività precedente l'eruzione dell'IC, dell'attività compresa tra IC e TGN (Tufo Giallo Napoletano) e successivi alla messa in posto del TGN. Questi campioni presentano $\delta^{11}\text{B}$ tra -6.7 e -10.6% e rapporti $\text{B}/\text{Nb} = 0.2 - 1.2$.
- Sono state effettuate dall'UR Sbrana analisi in EDS di campioni delle unità del fallout e delle unità di flusso ignimbrico dell'IC, della Breccia Museo (BM), e di vari affioramenti occidentali ed orientali; analisi in EDS su vetri residuali delle masse di fondo e sulle fasi minerali presenti; analisi in EDS delle inclusioni silicatiche nei cristalli di clinopirosseno della BM. Su cristalli selezionati della Breccia Museo e dei flussi ignimbrici dell'IC è iniziato lo studio microtermometrico. Nei campioni della BM le inclusioni ospitate nella salite e all'interfaccia diopside-salite dei cristalli zonati hanno temperature di omogenizzazione fra 850 e 1100°C (40 misure) indicative di cristallizzazione da magmi a temperatura relativamente elevata.
- Sono state effettuate dall'UR Sbrana analisi mineralogiche e petrografiche e delle inclusioni silicatiche (MI) dei prodotti delle eruzioni trachibasaltiche di Solchiaro e Minopoli 2. Le inclusioni nelle olivine di Solchiaro hanno composizione basaltica e rappresentano i magmi più primitivi dell'intera area flegrea. Nelle scorie di Solchiaro sono presenti inclusi magmatici con masse di fondo a composizione latitica con tessiture lobate che testimoniano chiaramente processi di mingling pre- o sineruttivi tra magmi primitivi ed intermedi. Le MI presenti nelle olivine dei prodotti di Minopoli 2 hanno composizione più evoluta, shoshonitica. Entrambi i gruppi di inclusioni hanno tenori elevati in H_2O e CO_2 che consentono di stimare pressioni minime di cristallizzazione di $3-6$ kbar per Solchiaro e $3-4$ kbar per Minopoli. Questi dati preliminari sembrano suggerire sistemi di cristallizzazione profondi ubicati tra 10 e 20 km di profondità.
- Sono state effettuate dall'UR Carroll analisi delle inclusioni silicatiche in vari minerali presenti nei depositi di caduta dell'eruzione dell'IC.
- Sono stati elaborati dall'UR Petrini dati spettroscopici sul TGN, per una correlazione tra caratteristiche strutturali dei fusi/vetri e stratigrafia. I risultati ottenuti hanno mostrato la presenza di ampie variazioni del grado di polimerizzazione del silicio nei vetri durante le prime fasi della attività esplosiva e variazioni nello stato di coordinazione dell'alluminio e del suo ruolo nella struttura, interpretate come eredità strutturali di fusi di alta pressione e diversa temperatura in rapida risalita. E' stata messa in evidenza la coesistenza di vetri a diversa composizione nei prodotti emessi durante le fasi finali della eruzione, ed alcune evidenze spettroscopiche sono state interpretate come dovute ad effettivo mescolamento tra fusi diversi a scala delle unità strutturali.

- Interpretazione e Modellistica
 - I dati geochimici, isotopici e termobarometrici finora raccolti hanno permesso di formulare un'ipotesi sulla struttura del sistema magmatico e la sua evoluzione nel tempo. Il sistema magmatico Flegreo è costituito da un serbatoio profondo, ubicato nella crosta medio-inferiore (10-20 km di profondità) dove magmi mantellici ristagnano e si contaminano con fusi crostali. Questo sistema profondo alimenta a sua volta il sistema superficiale ubicato a pochi km di profondità dove magmi isotopicamente distinti differenziano, si mescolano ed eruttano. Il sistema magmatico profondo alimenta direttamente i centri ubicati lungo le faglie regionali alla periferia della caldera da cui sono stati emessi i magmi meno differenziati e a più alta temperatura dei Campi Flegrei.
 - Studi di dettaglio su prodotti di singole eruzioni hanno permesso di definire l'evoluzione nel tempo del sistema magmatico superficiale prima e durante l'eruzione dell'IC.
 - L'evoluzione del serbatoio magmatico profondo è stata modellata attraverso un processo di contaminazione di magmi mantellici K-basaltici, simili ai prodotti meno evoluti di Procida, da parte di materiali provenienti dal basamento crostale ercinico.
 - La modellazione dei dati NMR sui prodotti del TGN ha permesso di definire un mescolamento sin-eruttivo di porzioni di magma con storia termica diversa, già evidenziato su basi chimiche.
 - I dati relativi alle inclusioni silicatiche indicano che al processo di cristallizzazione frazionata si sovrappongono processi di mescolamento pre-eruttivi tra magmi relativamente primitivi e magmi trachitici. La composizione dei vetri e delle MI segnala anche la presenza di mescolamenti sin-eruttivi tra magmi diversi.
 - Tutti i risultati finora raggiunti concorrono ad evidenziare la complessa struttura del sistema magmatico e l'importante ruolo del processo di mingling pre- e sin-eruttivo tra magmi diversi.

TASK 3 - Parametri fisici delle eruzioni, dinamiche eruttive e meccanismi deposizionali

UR PARTECIPANTI: UR3, UR7, UR9

OBIETTIVI I ANNO

- Rilievi stratigrafici e vulcanologici nelle aree settentrionali, interne ed esterne, della caldera del Tufo Giallo Napoletano. Analisi stratigrafica e vulcanologica dei depositi dei vulcani di Astroni e Monte Nuovo. Ricostruzione della sequenza dei depositi degli ultimi 12 ka. Stima dei volumi di magma emessi e delle altezze delle colonne, e ricostruzione della dispersione del maggior numero di depositi piroclastici possibile. Selezione di campioni per analisi sedimentologiche e petrologiche.
- Selezione di sezioni stratigrafiche e relativo studio dei caratteri strutturali e tessiturali dei depositi piroclastici. Analisi delle variazioni di facies occorrenti in funzione di cambiamenti della topografia del substrato e della distanza dal centro eruttivo. Raccolta di un numero significativo di campioni, rappresentativi di tutte le litofacies, sui quali saranno effettuate analisi granulometriche.
- Campionatura preliminare in siti campione e misure di laboratorio riguardanti i vari aspetti della suscettività magnetica e della magnetizzazione rimanente.

RISULTATI I ANNO

- Sviluppi metodologici

- E' stato approfondito e implementato il modello fisico-sedimentologico proposto dall'UR Dellino per i depositi di dry surge di Vulcano. Questo modello può essere utilizzato per calcolare la pressione dinamica e quindi per quantizzare la pericolosità dei flussi piroclastici turbolenti e diluiti.
- Sono stati ulteriormente implementati da parte dell'UR Dellino i metodi di analisi di immagini per lo studio quantitativo dei caratteri di forma delle particelle di cenere ed è stato costruito un diagramma classificativo binario, basato sul prodotto fra circolarità e allungamento e fra rettangolarità e compattezza, che discrimina i clasti prodotti da frammentazione fragile o duttile.
- E' stato messo a punto dall'UR Dellino un metodo per il calcolo della dimensione frattale e per l'elaborazione statistica elementare e multivariata dei risultati dell'analisi frattale. La sua applicazione ha evidenziato la natura multifrattale di alcune particelle dovute a frammentazione magmatica e la natura frattale di alcune particelle di natura freatomagmatica.
- La metodologia già messa a punto dall'UR Lanza per la misura della temperatura di messa in posto di depositi piroclastici si è dimostrata idonea per l'analisi dei campioni della cCF.
- Molte rocce hanno una coesione minima, per cui è molto difficile o impossibile prelevare campioni orientati per lo studio delle relazioni tra fabric e magnetizzazione. Pertanto l'UR Lanza sta elaborando una procedura di consolidamento in-situ che non alteri le caratteristiche magnetiche della roccia.

- Acquisizione dati

- Sono stati effettuati rilievi stratigrafici e vulcanologici nelle aree settentrionali, sia interne che esterne alla caldera del Tufo Giallo Napoletano ad integrazione degli studi già precedentemente effettuati dai componenti dell'UR Orsi. Questi rilievi sono stati focalizzati all'individuazione dei depositi delle eruzioni avvenute negli ultimi 12 ka e alla definizione della loro successione stratigrafica. Durante i rilievi sono state effettuate misure stratimetriche delle unità affioranti in circa 50 sezioni stratigrafiche.
- La sequenza dei depositi di Averno 2 è stata ricostruita e suddivisa in tre Membri dall'UR Orsi. I livelli da caduta del Membro A sono dispersi prevalentemente verso S-O. I Membri B e C sono costituiti da depositi da surge con intercalati livelli da caduta. I depositi di ciascuno di questi due Membri, che complessivamente coprono un'area di circa 20 km² intorno al centro eruttivo, sono distribuiti in modo asimmetrico. Da tutte le unità sono stati raccolti campioni per analisi sedimentologiche e petrologiche.
- L'eruzione di Astroni ha generato una complessa sequenza di depositi prevalentemente connessi ad attività freatomagmatica e solo subordinatamente magmatica, ricostruita in dettaglio dall'UR Orsi. La sequenza include sette successioni separate da paleosuoli. All'interno della depressione morfologica della caldera di Agnano sono particolarmente abbondanti i depositi da surge, mentre al suo esterno sono diffusi depositi pomicei da caduta connessi con eventi stromboliani e/o subpliniani. Da tutte le unità di Astroni sono stati prelevati campioni per analisi petrologiche. L'UR Dellino, in collaborazione con l'UR Orsi, ha individuato le principali sezioni stratigrafiche sulle quali ha iniziato lo studio di dettaglio dei caratteri strutturali e tessiturali dei depositi e l'analisi delle variazioni di facies. Sono stati prelevati campioni dalle principali unità deposizionali ed è iniziato lo studio granulometrico e la stima dei componenti e delle densità. I depositi da surge mostrano, soprattutto in posizione prossimale, chiare strutture ad onda e associazioni verticali di facies fra tappeto di trazione e strati finemente laminati.

- Per l'eruzione di Agnano-Monte Spina, il cui quadro di riferimento era già sufficientemente completo, gli studi hanno riguardato aspetti connessi con l'impatto che un'eruzione di questo tipo può avere sull'ambiente e sono stati condotti in collaborazione dalle UR Dellino, Lanza, Macedonio, Orsi e Zuccaro. In particolare, l'UR Dellino, in collaborazione con l'UR Orsi, ha categorizzato i depositi piroclastici di questa eruzione in: surge, pyroclastic flow e caduta e ha individuato le diverse litofacies. Le variazioni di facies dei depositi sono state analizzate in funzione della distanza dal cratere e delle variazioni della topografia del substrato. Sono state campionate le unità deposizionali principali di tutte le sezioni studiate in dettaglio e sono state condotte analisi granulometriche, stime dei componenti, analisi di densità e vescicolarità e studio, al microscopio elettronico, della forma dei clasti di cenere.
 - Sono state effettuate campionature preliminari e misure di laboratorio al fine di definire un quadro generale delle caratteristiche paleomagnetiche dei vari litotipi e programmare la campionatura sistematica prevista per il II anno. Sono stati analizzati circa 50 campioni provenienti da quattro livelli dei prodotti di Agnano-Monte Spina. Il grado di definizione della T di messa in posto è variabile da livello a livello. La miglior definizione è stata ottenuta per il livello B2 nelle sezioni di Vallone del Corvo ($240^{\circ}\text{C} < T < 280^{\circ}\text{C}$) e del Campo di Calcio San Gennaro ($380^{\circ}\text{C} < T < 400^{\circ}\text{C}$). Le misure di fabric magnetico hanno fornito risultati di ottima qualità, poichè la dispersione associata alle direzioni di suscettività principali è sempre estremamente ridotta.
 - Per gli esperimenti sulle dinamiche di frammentazione, sono stati scelti i depositi prossimali di Astroni (che presentano grosse bombe e blocchi ossidianacei freschi) e quelli di Minopoli.
 - Per gli esperimenti sui processi di devettrificazione e neoformazione, sono stati selezionati gli strati coesivi varicolori fini di origine freatomagmatica del Membro E di Agnano-Monte Spina.
- Interpretazione e Modellistica
- Una migliore conoscenza dei settori settentrionale e occidentale della cCF e la ricostruzione della storia eruttiva di Averno 2 e di Astroni sono state ottenute attraverso studi stratigrafici e vulcanologici.
 - Carte delle isopache e delle isoplete per pomici e litici massimi di singoli depositi da caduta, e carte della distribuzione areale di singoli depositi da flusso, con particolare attenzione per quelli degli ultimi 5 ka, sono state costruite sulla base dei risultati delle indagini stratigrafiche e stratimetriche.
 - L'eruzione di Averno 2 è stata dominata da fasi freatomagmatiche con intercalate esplosioni magmatiche. I livelli da caduta del Membro A sono stati depositi da colonne alte tra 4 e 7 km. La distribuzione asimmetrica dei depositi da surge dei Membri B e C indica che la paleomorfologia ha influenzato la loro deposizione.
 - I differenti depositi della sequenza di Astroni si sono formati probabilmente durante una unica eruzione di lunga durata con sette fasi parossistiche. L'applicazione del modello sedimentologico (UR Dellino) ha consentito di calcolare per i surge una velocità media di circa 22 m/s alla base del vulcano, una densità media di circa 9.7 kg/m^3 e una pressione dinamica media di circa 2.4 kPa.
 - L'interpretazione combinata dei dati di campagna e dei dati di laboratorio ha permesso di ipotizzare che durante l'eruzione di Agnano-Monte Spina si verificarono sia dinamiche di frammentazione magmatica che dinamiche di frammentazione freatomagmatica. In alcune fasi eruttive queste due dinamiche furono attive contemporaneamente e portarono alla formazione di depositi "misti" per i quali è stato proposto un modello vulcanologico interpretativo. Le direzioni di flusso ottenute con metodi paleomagnetici suggeriscono che la paleotopografia influenzò il movimento

delle correnti piroclastiche. L'associazione verticale di facies fra tappeto di trazione e strato finemente laminato, individuata nei depositi da surge dei livelli B2 ed E2, è stata associata al passaggio di un singolo flusso. Le zone dove i flussi riuscirono a sormontare la topografia e quelle dove furono "bloccati" dagli ostacoli morfologici più elevati sono state individuate attraverso l'analisi delle variazioni di facies dei depositi a ridosso delle colline dei Camaldoli e di Posillipo. L'applicazione del modello sedimentologico (UR Dellino) suggerisce per i surge del livello E2, nella zona della Solfatara, valori medi di velocità di circa 35 m/s, di densità di circa 6.5 kg/m³ e di pressione dinamica di circa 4 kPa. I surge del livello B2, nella zona a nord dell'ostacolo morfologico di Contrada Romano, avevano velocità media di circa 17 m/s, densità media di circa 13 kg/m³ e pressione dinamica media di circa 1.9 kPa.

TASK 4 - Modelli fisici di dispersione piroclastica ed eventi bradisismici nella caldera dei Campi Flegrei, e impatto delle eruzioni esplosive sull'uomo e sull'ambiente.

UR PARTECIPANTI: UR8, UR14

OBIETTIVI I ANNO

- Integrazione dei dati prodotti dall'UR Orsi con i modelli di dispersione piroclastica;
- Analisi dei modelli di scambio termico esistenti da utilizzare per l'area flegrea;
- Raccolta dati mediante tecnica aerofotogrammetrica, delle caratteristiche tipologiche richieste per la classificazione della vulnerabilità vulcanica;
- Campagna di rilevamento per mezzo di interviste guidate, al fine di caratterizzare i Comuni rispetto alla tipologia costruttiva degli edifici ed immissione dei dati in mappa;
- Campagna di rilevamento delle aperture di un edificio campione con determinata tipologia costruttiva e confronto e/o integrazione con i risultati del Progetto CEE Vesuvio.
- Raccolta dati e valutazione della vulnerabilità delle tipologie costruttive dei tetti degli edifici nell'area investigata;
- Raccolta dati e valutazione dei limiti di resistenza delle diverse tipologie strutturali all'impatto di frammenti balistici;
- Calibrazione dei parametri probabilistici richiesti per la correzione statistica delle frequenze tipologiche derivate con il metodo QAO.

RISULTATI I ANNO

- Sviluppi metodologici
 - E' stato adottato un nuovo metodo per la stima del volume di un deposito, mediante best fit della massa totale simulata con un modello di fall-out e i dati di terreno. L'eruzione di Agnano-Monte Spina è stata analizzata utilizzando campioni raccolti sul terreno (dall'UR Orsi), ed un modello di ash fall-out precedentemente sviluppato. La porzione grossolana della distribuzione granulometrica del deposito campionato è stata ottenuta mediante setacciatura standard, mentre la parte fine è stata analizzata utilizzando un Coulter counter, in collaborazione con l'UR Dellino.
 - E' stata svolta una ricerca per individuare software commerciale o di pubblico dominio in grado di simulare il trasporto di calore o di massa nel sottosuolo, sotto differenti ipotesi. I risultati mostrano che nessuno dei codici esistenti è in grado di descrivere in diversi aspetti contemporaneamente.

- Acquisizione dati

- Dati di campagna e di laboratorio prodotti dall'UR Orsi sui due livelli da caduta B1 e D1 dell'eruzione di Agnano Monte Spina, sono stati analizzati utilizzando un modello di caduta di cenere precedentemente sviluppato. Ciascuno dei due livelli è stato studiato e campionato in cinque differenti affioramenti. I dati prodotti comprendono spessore del deposito, dimensioni delle particelle, e analisi dei componenti. Lo spessore dei depositi è stato dapprima convertito in carico (kg/m^2) mediante la densità misurata sul terreno, successivamente, i parametri del modello (massa totale eruttata, velocità del vento, altezza della colonna eruttiva, e distribuzione della velocità di caduta della cenere nella colonna eruttiva) sono state stimate mediante best fit con i dati di campagna (spessori del deposito). La direzione del vento è stata stimata direttamente dalla direzione dell'asse principale di dispersione delle due unità deposizionali (vedi UR Orsi). In questa fase, la presenza di materiale fine nella colonna eruttiva non è stata considerata in quanto il materiale fine emesso durante eruzioni esplosive viene trasportato molto lontano dal cratere e produce depositi sottili, spesso rimaneggiati e difficili da campionare. Inoltre, i balistici non sono considerati nel modello. Nei prossimi mesi i parametri ottenuti verranno confrontati con quelli derivati con altri metodi (es. modello di Pyle, ecc.). La definizione di questi dati, ed in particolare la massa totale eruttata, è estremamente importante per le applicazioni del modello alla pericolosità da caduta di cenere nell'area flegrea.
- Tre codici numerici risultano essere particolarmente adatti per la simulazione dei processi geotermali nella caldera dei Campi Flegrei; questi sono GEOCRACK, MARC e TOUGH2. GEOCRACK è un programma per lo studio di campi geotermici, che consente di eseguire analisi delle deformazioni strutturali accoppiate al flusso di massa fluida e di calore. Esso può essere usato per risolvere molti problemi, tra cui quelli inerenti all'elasticità e al trasferimento di calore. Tuttavia, la sua prerogativa è di calcolare il flusso in rocce fratturate, dove il flusso è fortemente dipendente dall'apertura delle fratture, che a sua volta è una funzione dello stress di contatto e della deformazione termica. Nella versione attualmente disponibile, le proprietà del fluido sono costanti, tranne la viscosità che può essere resa dipendente dalla temperatura. MARC Finite Element Analysis è un pacchetto per analisi ingegneristiche avanzate, con particolare riguardo per i problemi stazionari e transienti non lineari, sia strutturali, sia termici. Il programma offre un'ampissima collezione di procedure di analisi, elementi, materiali e funzioni. E' stato utilizzato per applicazioni industriali e si è sempre dimostrato molto affidabile. Le applicazioni tipiche includono l'analisi di grandi deformazioni e problemi con accoppiamento termo-meccanico. Una rappresentazione estremamente accurata permette di trattare non linearità dovute sia al comportamento dei materiali, sia alla presenza di grandi deformazioni, sia alle condizioni al contorno. I problemi fisici possono essere modellizzati con una vasta scelta di elementi, tra cui materiali porosi con presenza di un fluido mono-fase. Tuttavia, in quest'ultimo caso il problema termo-meccanico non può essere risolto con un accoppiamento esplicito. Inoltre, le proprietà del fluido sono costanti con la temperatura. TOUGH2 è un simulatore generico di flusso di massa e di calore, con applicazioni nell'ingegneria dei campi geotermici, dello smaltimento dei rifiuti nucleari e a problemi di contaminazione ambientale. Tutte le proprietà del fluido dipendono dalla temperatura e il programma può trattare un flusso bi-fase di un fluido acquoso e nella fase di gas, multi-componente e con la presenza di traccianti. Tuttavia, la matrice porosa è indeformabile e non è possibile eseguire un'analisi termo-meccanica accoppiata, né un'analisi strutturale successiva.
- E' stata effettuata una campagna di misura per integrare i dati relativi alla vulnerabilità sismica raccolti precedentemente raccolti nella stessa area. In particolare è stata

effettuata una campagna per caratterizzare le tipologie dei fabbricati dei diversi Comuni, attraverso un'intervista guidata, con informazioni geo-referenziate raccolte nel comune di Pozzuoli. In questo comune, sono stati raccolti campioni, scelti casualmente, per le aperture (porte, finestre, ecc.), per le costruzioni aventi tipologia strutturale simile a quella compresa nella classificazione strutturale della scala macrosismica EMS '98 per la quale la distribuzione era già nota a Pozzuoli da un precedente progetto sulla vulnerabilità sismica dell'area. Sono state studiate le differenti tipologie dei tetti, riscontrabili nell'area. L'interpretazione aereofotogrammetrica è completa per il comune di Pozzuoli, che rappresenta oltre il 50% degli edifici studiati (così programmata per il primo anno del Progetto). Tuttavia, i dati di altri fattori di vulnerabilità, come la pericolosità per oggetti trasportati, non sono stati ancora raccolti. Infine, sono stati raccolti dati demografici per l'area di Pozzuoli.

- Interpretazione e Modellistica

- L'attività sismica ai Campi Flegrei, che ha accompagnato la crisi bradisismica nel 2000, è stata caratterizzata da eventi monocromatici a bassa frequenza (<4Hz), seguiti da eventi a più alta energia e frequenza di tipo vulcano-tettonico, simili a quelli registrati durante le crisi del 1969-70 e 1982-84. L'estrapolazione del profilo di temperatura misurato nei pozzi profondi (Mofete e S. Vito) ottenuto per mezzo di modelli numerici di convezione supercritica dimostrano che nei primi 2km la temperatura è molto vicina alla curva di saturazione del vapore. Quindi, una piccola sovrappressione è in grado di far salire fluidi caldi ad una più bassa pressione di confinamento che può generare la vescicolazione. Il rapido aumento dell'energia del rumore registrato alla Solfatara il 25 marzo 2000, e la presenza di eventi monocromatici a bassa frequenza, potrebbero essere la conseguenza di un aumento di pressione nel sistema termodinamico indotto da un aumento di pressione nel sistema magmatico.
- I risultati di indagini di laboratorio sulla distribuzione delle classi granulometriche e sulla morfologia dei frammenti di cenere di depositi della sequenza di Agnano-Monte Spina condotte dall'UR Dellino, sono stati ulteriormente elaborati per convertire la distribuzione delle classi granulometriche in distribuzione di velocità terminale, assumendo le particelle di forma sferica.
- E' stata valutata la probabilità di definire uno specifico fattore di vulnerabilità vulcanica a una specifica tipologia strutturale EMS '98. Questo risultato permetterà di estendere le informazioni raccolte a campione a tutto l'insieme degli edifici studiati. E' stata elaborata una classificazione tipologica dei tetti e delle aperture a cui sono stati associati i più probabili carichi limite di collasso. Sono stati sviluppati specifici modelli per valutare il carico limite del materiale non reagente a trazione (come volte murarie) e il carico di collasso dei tetti in cemento armato, ferro o legno.

PRODOTTI DELLA RICERCA

- n° 14 articoli su riviste internazionali;
- n° 4 articoli su riviste nazionali;
- n° 4 articoli in preparazione;
- n° 24 presentazioni a congressi;
- n° 1 rapporti interni dell'Osservatorio Vesuviano;
- n° 3 banche dati;
- n° 3 codici di calcolo;
- n° 2 metodologie analitiche;
- n° 1 carta tematica.

- Altri prodotti:
 - Banca dati geochimici (elementi maggiori ed in tracce) ed isotopici (Sr, Nd, Pb) su prodotti dei Campi Flegrei degli ultimi 60 ka di attività – UR D’Antonio.
 - Banca dati dei lineamenti strutturali riconoscibili attraverso remote sensing e presenti lungo la fascia appenninica prospiciente la Piana Campana a est e nord-est dei Campi Flegrei – UR Faccenna.
 - Banca dati sulle caratteristiche delle Tipologie strutturali, dei Tetti e delle Aperture del Comune di Pozzuoli – UR Zuccaro.
 - Mappa delle Tipologie Strutturali degli edifici di Pozzuoli – UR Zuccaro.
 - Nuovo metodo per la stima dei volumi di depositi piroclastici da caduta – UR Macedonio.
 - Software per la tomografia di probabilità 3D per campi em induttivi – UR Patella.
 - Metodologia per l’analisi NMR su vetri naturali – UR Petrini.
 - Il codice di calcolo per la valutazione del collasso limite degli archi, già sviluppato durante precedenti ricerche, è stato modificato ed adattato al caso di studio – UR Zuccaro.
 - Il codice di correzione statistica dell’interpretazione aerofotogrammetria (QAP) è stato adattato al progetto in corso – UR Zuccaro.

ELENCO PUBBLICAZIONI (include lavori in stampa e sottomessi)

- Acocella V. and Funiciello R – 2001. Transverse structures and volcanic activity along the Tyrrhenian margin of central Italy. Mem. Soc. Geol. It., in press.
- Acocella V., Cifelli F. and Funiciello R. – 2001. Formation and architecture of nested collapse calderas: insights from analogue models. Terra Nova, in press.
- Acocella V., Cifelli R. and Funiciello R. – 2001. Formation of non-intersecting nested collapse calderas: insights from analogue models. EGS XXVI Gen. Ass., Nice, France, 25 - 30 March 2001. Abs. Vol.: 80.
- Acocella V., Cifelli R., Funiciello R. – 2000. Experimental models of resurgent domes: implications for volcanic activity. IAVCEI meeting, Bali, Indonesia, July 2000. Abstr. Vol.: 260.
- Braia G., Carroll M., Di Vito M., Isaia R., Orsi G. and Piermattei M. – 2001. The Averno 2 eruption in the Campi Flegrei caldera, Italy. EGS XXVI Gen. Ass., Nice France, 25-30 March 2001. Geophys. Res. Abs.
- Bruno P.P., Di Fiore V. and Rapolla A. - 2001. Study of deep structure in the Gulf of Naples and Gulf of Pozzuoli by reflection seismic method., in prep.
- Bruno P.P., Di Fiore V., Rapolla A. and Cuzzo E. – 2001. Tectonics and morphology of the carbonate basement and correlation with the volcanism in the gulf of Naples. EGS XXVI Gen. Ass., Nice, France, 25 - 30 March 2001. Abs. Vol.
- Büttner R., Dellino P., La Volpe L., Lorenz V. and Zimanowski B. - 2001. Thermohydraulic explosions in phreatomagmatic eruptions as evidenced by the comparison between pyroclasts and products from Molten Fuel Coolant Interaction experiments. J. Geophys. Res., submitted.
- Cella F., Fedi M., Florio G., Grimaldi M. and Rapolla A. - 2001. 3D modelling of the Somma-Vesuvius volcanic area (Campania, Italy) by inversion of gravity data. EGS XXVI Gen. Ass., Nice, France, 25 - 30 March 2001. Geophys. Res. Abs., 3, GRA3: 1144.
- Costa A. – 2001. Ricostruzione fisico-numerica dei depositi da caduta dell'eruzione di Agnano-Monte Spina (4100 anni fa), Internal Rep., Osservatorio Vesuviano,.
- Costa A., de Vita S., Di Vito M. A., Macedonio G., Orsi G. and Tesauro M. – 2001. The Agnano-Monte Spina eruption (Campi Flegrei, Italy): field observations and modelling

- of the fallout deposits. EGS XXVI Gen. Ass., Nice, France, 25 - 30 March 2001. Geophys. Res. Abs.
- Couch S., Sparks R.S.J. and Carroll M.R. – 2001. Convective self-mixing of magmas in open-system chambers. *Nature*, 411: 1037-1039.
- de Alteriis G., Bruno P.P. and Florio G. - 2001. Interpretation of geophysical data acquired off the Ischia island (Italy, Tyrrhenian sea) during the GMS00_05 cruise (October 2000). EGS XXVI Gen. Ass., Nice, France, 25 - 30 March 2001. Geophys. Res. Abs., 3, GRA3: 1149.
- de Vita S., Forte C., Orsi G., Petrini R. and Piochi M. - 2001. Volcanic glass structures explored by NMR spectroscopy: application to the Neapolitan Yellow Tuff. (2001) EGS XXVI Gen. Ass., Nice, France, 25 - 30 March 2001. Geophys. Res. Abs., 3.
- Del Gaudio C., Orsi G., Petrazzuoli S., Ricciardi G., Ricco C., Di Vito M. A. and Isaia R. – 2001. Cyclic nature of small scale unrest episodes at the Campi Flegrei caldera (Italy). EGS XXVI Gen. Ass., Nice, France, 25 - 30 March 2001. Geophys. Res. Abs.
- Dellino P. – 2000. Phreatomagmatic deposits: fragmentation, transportation and deposition mechanisms. *Terra Nostra/6*, 99-105. Int. Maar Conf., August 20-23, 2000.
- Dellino P. and La Volpe L. – 2000. Structures and grain size distribution in surge deposits as a tool for modelling the dynamics of dilute pyroclastic density currents at La Fossa di Vulcano (Aeolian Islands, Italy). *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 96: 57-78.
- Dellino P. and Liotino G. – 2001. The fractal and multifractal dimension of volcanic ash particles contour: a test study on the utility and volcanological relevance. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, in press
- Dellino P., Isaia R. and Veneruso M. - 2001. Is "Boundary Layer" A Good Approximation Of Pyroclastic Density Currents At Phlegraean Fields? EGS XXVI Gen. Ass. Nice France 25-30 March 2001., Abs. Vol.
- Dellino P., Isaia R., La Volpe L. and Orsi G. – 2001. Statistical Analysis Of Textural Data From Complex Pyroclastic Sequences: Implications For Fragmentation Processes Of The Agnano-Monte Spina Tephra (4.1 Ka), Phlegraean Fields (Southern Italy). *Bull. Volcanol.*, in press.
- Dellino P., Isaia R., La Volpe L. and Orsi G. - 2001. Contrasting Eruption Dynamics Revealed By The Complex Pyroclastic Sequence Of The Agnano-Monte Spina Eruption (4.1 Ka) At Phlegraean Fields (Southern Italy). EGS Gen. Ass., Nice, 25-30 March 2001.
- Di Cesare T., Di Vito M. A., Isaia R. and Orsi G. - 2001. The activity of the Astroni volcano (Campi Flegrei caldera). EGS XXVI Gen. Ass., Nice, France, 25 - 30 March 2001. Geophys. Res. Abs.
- Di Maio R., Patella D., Petrillo Z., Siniscalchi A., Cecere G. and De Martino P. – 2000. Application of electric and electromagnetic methods to the study of the Phlegrean Fields caldera, *Ann. Geofis.*, 43, 2: 375-390.
- Fedi M., Florio G. and Rapolla A. - 2001. Analysis of components of FTG in the Campanian Plain. In prep..
- Fedi M., Florio G. and Rapolla A. - 2001. The Volcanism of the Campanian Plain in light of potential field data. In prep..
- Fedi M., Florio G., Paoletti V., Rapolla A., Chiappini M. and Supper R. - 2001. 3D magnetic model of Vesuvius by interpretation of aeromagnetic data. EGS XXVI Gen. Ass., Nice, France, 25 - 30 March 2001. Geophys. Res. Abs., 3, GRA3: 1159.
- Fedi M., Hansen P. C., Paoletti V. and Rapolla A. - 2001. 3D Inversion of Potential Fields with Depth Resolution. *Europ. Assoc. Geoscient. Engin. Conference*, Amsterdam, 11-14 June, 2001.
- Ferrara G., Tonarini S., Forte C. and Petrini R. – 2000. Boron elemental and isotopic fractionation between biotite mica and silicate melt at magmatic temperature - a TIMS-

- NMR study. *Advances on micas*, Riun. Acc. Naz. Lincei, Roma, 2-3 novembre 2000: 165.
- Florio G. and Fedi M. - 2000. On the dependence of the parameters of the Euler's equation. VIII Workshop on Geo-Electromagnetism, Maratea, October 12-14, 2000: 29.
- Iuliano T., Mauriello P. and Patella D. - 2001. A probability tomography approach to the analysis of potential field data in the Campi Flegrei caldera (Italy). *Ann. Geofis.*, 44, 2: 377-395.
- Macedonio G. and Neri A. - 2000. Fluid dynamic models of pyroclastic dispersion processes from explosive eruptions, In: *Capricious Earth: Models and Modelling of Geologic Processes and Objects* (Eds. Glebovitsky, V.A., and Dech, V.N.), Theophrastus Publications, St.Petersburg - Athens: 110-131.
- Mauriello P. and Patella D. - 2000. A physical pattern recognition approach for 2D electromagnetic induction studies. *Ann. Geofis.*, 43, 2: 343-360.
- Neri A., Macedonio G., Tomaso Esposti O. and Gidaspow D. - 2000. Simulation of pyroclastic dispersion processes by using multiphase flow models, AGU 2000 Fall Meeting, San Francisco, California, 15-19 Dec., *Suppl. Eos, Trans.*, 81, 48: F1286-F1287.
- Orsi G., Civetta L., Di Vito M. and Isaia R. - 2001. Volcanic hazard assessment at the restless Campi Flegrei caldera, Italy.
- Ort M., Orsi G., Pappalardo L. and Fisher R.V. - 2001. Emplacement processes in a far-travelled dilute pyroclastic current: anisotropy of magnetic susceptibility studies of the Campanian Ignimbrite. *Bull. Volcanol.*, in press.
- Pappalardo L., Civetta L., de Vita S., Di Vito M., Orsi G., Carandente A. and Fisher R.V. - 2001. Timing of magma extraction during the Campanian Ignimbrite eruption (Campi Flegrei caldera), *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, in revision.
- Pappalardo L., Piochi M., D'Antonio M., Civetta L. and Petrini R. - 2001. Evidence of multi-stage magmatic evolution deduced from Sr, Nd and Pb isotope data: the past 60 ka Campi Flegrei (Italy) history, *J. Petrol.*, submitted.
- Petrini R., Forte C., Orsi G., Piochi M., Pinzino C. and Pedrazzi G. - 2001. Influence of magma dynamics on melt structure: spectroscopic studies on volcanic glasses from the Cretatio Tephra of Ischia (Italy). *Contrib. Mineral. Petrol.*, 140: 532-542.
- Petrini R., Forte C., Tonarini S. and Ferrara G. - 2000. The melt structural control on 11B/10B fractionation at magmatic temperature: a combined TIMS and NMR study on the biotite/glass couples in magmas from the Neogenic-Quaternary volcanism of central Italy. *Plinius*, 24: 170-171.
- Petrini, R.; Orsi, G.; Piochi, M.; Forte, C. and Slejko, F. - 2001. Selective ⁸⁷Sr enrichment and water speciation in volcanic glasses during explosive eruptions: a combined TIMS and NMR study on the Cretatio Tephra. In prep..
- Signorelli S., Vaggelli G., Romano C. and Carroll M.R. - 2001. Volatile zoning (H₂O, F, Cl, S) of Campanian Ignimbrite magmas (Phlegrean Fields, Italy): evidence from the study of glass inclusions and matrix glasses. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 140: 543-553.
- Tonarini S., Civetta L., D'Antonio M., Ferrara G., Leeman W. P. and Necco A. - 2001 Boron geochemistry in the Phlegrean Volcanic District (PVD): role of subduction in the magma genesis. EGS XXVI Gen. Ass., Nice, France, 25 - 30 March 2001. *Geophys. Res. Abs.*, GRA3: 1182
- Tonarini S., Civetta L., D'Antonio M., Ferrara G., Leeman W. P. and Necco A. - 2000. B/Nb and ¹¹B systematics in the Phlegrean Volcanic District (PVD) and Aeolian Islands (relationship between calc-alkaline and potassic orogenic magmatism in Southern Italy). *Goldschmidt Conf., J. Conf. Abs.*, 5(2): 1013

- Vanorio T., Prasad M., Patella D. and A.Nur – 2001. An experimental study of petrophysical properties of volcanic rocks from Etna and Phlegrean Fields. *Geophys. J. Intern.*, in press.
- Zanchetta G., Di Vito M. A., Fallick A.E. and Sulpizio R. - 2000. Stable isotopes of pedogenic carbonates from the Somma-Vesuvius area, southern Italy, over the last 18 kyr: palaeoclimatic implications. *J. Quat. Sci.*, 15(8): 813-824.
- Zuccaro G. and Binetti A. – 2001. Risposta Sismica Di Un Portale Ad Arco In Materiale Nrt Sotto L'azione Di Carichi Verticali Particolari. X Conv. Naz. "L'Ingegneria Sismica in Italia", Potenza and Matera 9 - 13 Sept. 2001.

SIMULAZIONE DI SCENARI ERUTTIVI AI CAMPI FLEGREI BASATA SU STUDI DI CAMPAGNA, DI LABORATORIO E NUMERICI, E IMPLICAZIONI PER L'HAZARD VULCANICO

Coordinatore scientifico del progetto

Paolo Papale - Ricercatore
Istituto Nazionale di Geofisica
Dip.to Scienze della Terra, Pisa

Partecipanti al progetto

UR#	AFFERENZA	RESPONSABILE
1	INGV, Pisa	Papale Paolo
2	Dip. Sci. Terra, Univ. Pisa	Rosi Mauro
3	DSG Univ. Roma Tre	Romano Claudia
4	CNR, Pisa	Neri Augusto

OBIETTIVI GENERALI

L'obiettivo della presente ricerca è costituito dalla definizione quantitativa degli scenari vulcanici alla caldera dei Campi Flegrei. Sono state selezionate alcune eruzioni di riferimento nella storia eruttiva del vulcano, costituite dall'eruzione dell'Ignimbrite Campana (36 ka), di Agnano Monte Spina (4400 BP), di Astroni (3700 BP), e di Monte Nuovo (1538 AD). Tali eruzioni coprono un range di intensità e magnitudo pari a quello che caratterizza l'intera storia eruttiva dei Campi Flegrei. L'eruzione di Agnano Monte Spina rappresenta l'Evento Massimo Atteso (sito web del GNV, Marzo 1999), ed è quindi selezionata per più approfondite indagini all'interno del progetto. L'eruzione dell'Ignimbrite Campana, e le due più recenti di Astroni e Monte Nuovo, rappresentano casi rispettivamente a maggiore e minore intensità eruttiva.

L'obiettivo del progetto verrà raggiunto attraverso la realizzazione dei seguenti gruppi di temi di ricerca (tasks):

1. Studi di Terreno.

Gli studi di terreno sono indirizzati alla selezione di livelli stratigrafici, all'interno di ciascuna delle eruzioni di cui sopra, di maggiore interesse per l'obiettivo del progetto, alla ricostruzione della loro stratigrafia e dispersione, al campionamento per i successivi studi di laboratorio, e al confronto con le predizioni ottenute attraverso le simulazioni numeriche. I livelli stratigrafici che saranno selezionati comprendono quelli prodotti durante fasi di ricaduta da colonne eruttive e fasi di flusso piroclastico.

TASK 1.1: Selezione dei livelli stratigrafici di maggiore interesse per il progetto, ricostruzione della loro stratigrafia e dispersione, e campionamento

- Responsabili: Mauro Rosi, Antonella Bertagnini
- Collaboratori: Patrizia Landi, Margherita Polacci, Andrea Di Muro, Paolo Papale

2. Studi di Laboratorio.

Gli studi di laboratorio sono indirizzati alla determinazione delle proprietà fisiche, chimiche, reologiche, e petrologiche, e al comportamento fisico dei campioni provenienti dai livelli stratigrafici selezionati, alla ricostruzione delle condizioni prima e durante l'eruzione, e alla definizione di equazioni costitutive per le simulazioni numeriche.

TASK 2.1: Studio petrochimico dei prodotti vulcanici

- Responsabili: Patrizia Landi, Mauro Rosi
- Collaboratori: Antonella Bertagnini, Margherita Polacci

TASK 2.2: Determinazione della viscosità dei magmi

- Responsabili: Claudia Romano, Donald B. Dingwell
- Collaboratori: Daniele Giordano, Brent Poe, Lucio Costa

TASK 2.3: Studi di petrologia sperimentale

- Responsabile: Malcolm J. Rutherford
- Collaboratori: Angela Roach

TASK 2.4: Determinazione sperimentale del carico di rottura del magma e del comportamento alla frammentazione

- Responsabile: Donald B. Dingwell
- Collaboratori: Oliver Spieler, Margherita Polacci

TASK 2.5: Determinazione della diffusività dei volatili

- Responsabili: Carmela Freda, Claudia Romano
- Collaboratori: Don Baker, Piergiorgio Scarlato, Paolo Papale

TASK 2.6: Caratterizzazione tessiturale dei piroclasti

- Responsabili: Margherita Polacci, Mauro Rosi, Paolo Papale
- Collaboratori: Patrizia Landi, Laura Pioli

3. Studi Numerici.

Gli studi numerici sono indirizzati alla simulazione delle dinamiche multifase di risalita, degassamento, frammentazione, accelerazione, e dispersione dei magmi nell'atmosfera e lungo flussi piroclastici.

TASK 3.1: Simulazione numerica della dinamica di risalita dei magmi

- Responsabile: Paolo Papale
- Collaboratori: Margherita Polacci, Augusto Neri

TASK 3.2: Simulazione numerica del processo di dispersione gas/piroclasti e della dinamica dei flussi piroclastici

- Responsabile: Augusto Neri
- Collaboratori: Paolo Papale, Tomaso Esposti Ongaro, Andrea Di Muro, Dimitri Gidaspow, Mauro Rosi

Il prodotto finale della presente ricerca è rappresentato dalla definizione quantitativa di scenari eruttivi ai Campi Flegrei, con particolare enfasi alla descrizione dell'eruzione di Agnano Monte Spina che rappresenta l'Evento Massimo Atteso nell'area. Tale prodotto costituirà una base per la definizione quantitativa della pericolosità vulcanica ai Campi Flegrei, e un riferimento per la valutazione del rischio vulcanico.

TASK 1.1 - Selezione di livelli stratigrafici di maggiore interesse per il progetto, ricostruzione della loro stratigrafia e dispersione, e campionamento

UR PARTECIPANTI: UR2

OBIETTIVI I ANNO

Stratigrafia, granulometria, distribuzione dei componenti e campionamento delle eruzioni di Agnano Monte Spina e dell'Ignimbrite Campana; inizio delle ricerche sull'eruzione di Monte Nuovo, e campionamento preliminare delle eruzioni di Monte Nuovo e di Astroni.

RISULTATI I ANNO

Agnano Monte Spina

Durante una prima campagna di studio, sono state identificate le fasi eruttive (corrispondenti ai membri B e D, de Vita et al. 1999) giudicate di maggiore interesse per il progetto. Sono stati campionati sia clasti juvenili che livelli di tephra per le analisi all'interno dei tasks 1 e 2.

Nel corso di una campagna di terreno svolta insieme ai responsabili del progetto GNV n. 16, è stato raggiunto un sostanziale accordo sulla successione stratigrafica generale e la sequenza delle fasi principali che hanno caratterizzato l'eruzione. Di conseguenza, è stato deciso di utilizzare la nomenclatura dei livelli eruttivi già pubblicata, e di raggruppare tali livelli in Unità Inferiori (membri A-C), Unità Intermedie (membro D), e Unità Superiori (membri E-F), sulla base delle principali fasi di quiescenza dell'attività eruttiva.

In due ulteriori campagne di terreno, i seguenti argomenti sono stati identificati per ulteriori e più approfondite indagini.

Flusso di massa durante le fasi pliniane

La dispersione dei livelli di ricaduta accumulatisi durante le fasi eruttive B1 e D1 è stata studiata dai ricercatori di entrambi i progetti 16 e 17, con lo scopo di ricostruire le altezze delle colonne eruttive e i flussi di massa associati. L'applicazione del metodo di Carey e Sparks (1986) alle isoplete dei litici produce altezze di 20 e 22 km per le fasi B1 e D1, rispettivamente. I flussi di massa associati risultano uguali a $2.5 - 2.8 \times 10^7$ e $4.2 - 5.0 \times 10^7$ kg/s. Il secondo range di valori va considerato come una stima minima per la fase D1, in quanto durante tale fase si sono verificati collassi parziali di colonna. Le altezze della colonna ottenute da de Vita et al. (1999) risultano maggiori del 15-20%, a causa del diverso metodo utilizzato (Pyle 1989). L'uso contemporaneo dei metodi di Carey e Sparks (1986) e Wilson e Walker (1987), e le incertezze relative alla ricostruzione dell'altezza della colonna eruttiva, permettono la ricostruzione di un range di flusso di massa ritenuto possibile per ciascuna fase eruttiva considerata: fase B1: $2.5 \times 10^7 - 10^8$ kg/s; fase D1: $4 \times 10^7 - 1.8 \times 10^8$ kg/s. Questi range sono utilizzati all'interno degli studi numerici, tasks 3.

Sia la larghezza dell'area di dispersione che la granulometria del livello basale di ricaduta A1 suggeriscono un'origine da una colonna eruttiva più alta di quella ricostruita da de Vita et al. (1999) (5 km). Di conseguenza, verranno ricostruite nuove isoplete di questo livello, al fine di quantificare il livello di massa durante la fase iniziale dell'eruzione.

Fasi esplosive magmatiche e freatomagmatiche

Dati preliminari sui membri B e D sembrano suggerire l'esistenza di due fasi principali di messa in posto di tipi diversi di flussi piroclastici, ciascuno associato a una propria dinamica eruttiva.

I flussi piroclastici prodotti durante una prima fase non sembrano coesistere con una colonna convettiva sostenuta in grado di disperdere clasti litici o pomicei di dimensioni centimetriche.

Nei depositi relativi, la granulometria fine e le evidenze di condensazione di vapore (lapilli accrezionari) appaiono testimoniare un'origine da attività esplosiva di tipo freatomagmatico. I flussi piroclastici messi in posto durante una successiva fase eruttiva appaiono contemporanei alla presenza di una colonna convettiva sub-pliniana. Almeno nelle fasi iniziali, i depositi non mostrano alcuna evidenza di condensazione di vapore. La presenza di fango interstiziale nella parte finale del deposito di ricaduta appare connessa ad una interazione tra i flussi piroclastici e l'acqua del mare, piuttosto che ad attività freatomagmatica.

Origine dei livelli cineritici a grande dispersione

All'interno dei membri A ed E sono stati identificati livelli cineritici con diverse caratteristiche di dispersione (NE e N-NE) e che includono le città di Napoli e Aversa. L'interpretazione di tali livelli (de Vita et al. 1999) come depositi prodotti da correnti piroclastiche (surge) sembra per il momento questionabile sulla base dei dati sedimentologici. Intendiamo quindi condurre uno studio di dettaglio di questi livelli, che riteniamo invece potersi essere prodotti come ricaduta di cenere da plumes convettivi.

Ignimbrite Campana

Durante una prima indagine di terreno, sono stati campionati i depositi di ricaduta distali per le analisi di laboratorio ai tasks 1 e 2.

Monte Nuovo

Durante il quarto periodo di indagini di terreno, le caratteristiche macroscopiche dei prodotti della fase finale dell'eruzione (terza e quarta fase, Di Vito et al. 1987) sono state investigate. Le caratteristiche dei componenti juvenili di entrambe le fasi considerate sembrano molto simili, e non appaiono compatibili con una origine da attività di tipo stromboliano come descritto in letteratura. Appare invece più probabile una origine connessa alla messa in posto e frammentazione di un duomo di lava di piccolo volume. E' importante tenere conto del fatto che la maggior parte delle vittime si ebbero durante tali fasi eruttive.

Bibliografia Citata

- Carey S and Sparks RSJ (1986) Quantitative models of the fallout and dispersal of tephra from volcanic eruption columns. Bull. Volcanol. 48: 109-125
- De Vita et al. (1999) The Agnano-Monte Spina eruption (4100 years BP) in the restless Campi Flegrei caldera (Italy). Journ. Volcanol. Geoth. Research 91:269-301
- Di Vito M, Lirer L, Mastrolorenzo G, Rolandi G (1987) The 1538 Monte Nuovo eruption (Campi Flegrei, Italy). Bull. Volcanol. 49:608-615.
- Pyle DM (1989) The thickness, volume and grain-size of tephra fall deposits. Bull. Volcanol. 51: 1-15
- Wilson L and Walker GPL (1987) Explosive Volcanic Eruptions – VI. Geophys. J. R. Astr. Soc. 89: 657-679.

TASK 2.1 - Studio petrochimico dei prodotti vulcanici

UR PARTECIPANTI: UR2

OBIETTIVI I ANNO

Analisi di campioni delle eruzioni dell'Ignimbrite Campana e di Agnano Monte Spina; selezione di campioni per studi di inclusioni fluide

RISULTATI I ANNO

Gli studi si sono concentrati sull'eruzione di Agnano Monte Spina, per la quale abbiamo riorganizzato i dati petrochimici dalla letteratura, oltre che quelli ottenuti in passato da Bertagnini A., Landi P. and Rosi M. di Pisa, abbiamo rivisitato i più importanti affioramenti, raccolto nuovi campioni e condotto studi specifici di tipo geochimico e mineralogico. I campioni sono stati raccolti nella sezione-tipo selezionata come rappresentativa della stratigrafia dell'eruzione (vd task 1.1), dove tre principali membri di ricaduta (Inferiori, Intermedi, e Superiori) affiorano. In particolare, la nostra attenzione si è concentrata sui livelli di ricaduta B1 e D1, che appartengono alle unità Inferiori e Intermedie, rispettivamente.

Eruzione di Agnano Monte Spina: caratteristiche composizionali

Tutti i prodotti eruttati durante l'eruzione di AMS hanno una composizione di tipo trachitico evoluto, al limite tra trachiti e alcali-trachiti.

Il membro Inferiore (che comprende il livello B1) ha una composizione leggermente più evoluta rispetto ai membri Intermedio (che comprende il livello D1) e Superiore.

Le fasi minerali consistono di feldspati, sia sanidino che plagioclaso, pirosseno, biotite, e minori ossidi. Il contenuto in cristalli varia dall'8% in peso (alla base) fino all'11% in peso (at tetto) nel livello B1, ed è compreso tra il 9 e 10% in peso nel livello D1. Tra i membri Inferiore e Intermedio si assiste ad una repentina variazione nel contenuto in minerali femici e felsici (livello B1: feldspati 67% in peso, femici 32% in peso, aggregati di cristalli 1% in peso; livello D1: feldspati 35% in peso, femici 65% in peso, aggregati di cristalli 1% in peso). Tali dati, relativi alla quantità e distribuzione dei minerali nei livelli B1 e D1, sono stati utilizzati all'interno delle simulazioni numeriche ai task 3.

I prodotti chimicamente più evoluti dell'eruzione di AMS non sono rappresentati nella sezione tipo. Essi consistono di clasti pomicei che formano depositi di flusso piroclastico nella sequenza di Cavone degli Sbirri, lungo il bordo della caldera.

Composizione dei minerali e della matrice vetrosa

Tre gruppi di campioni di pomici (provenienti dai livelli B1 e D1, e dal flusso piroclastico di Cavone degli Sbirri) sono stati selezionati per gli studi composizionali sui minerali e sulle matrici vetrose.

I dati raccolti indicano che:

- il feldspato potassico ha una composizione alquanto omogenea in tutti i campioni, variando da Or70 a Or80 con BaO da < 0.5 a 2.2% in peso;
- i cristalli di plagioclasio delle pomici di D1 hanno composizioni An70 - An80, sono cribrati con larghe inclusioni vetrose e spesso presentano bordi fortemente arrotondati. I plagioclasii del magma più evoluto hanno normalmente larghi nuclei riassorbiti, identici in composizione ed aspetto ai plagioclasii del livello D1, e bordi privi di inclusioni, a composizione più sodica (An45 - An70) che crescono in equilibrio con la pasta di fondo.
- la matrice vetrosa ha composizione alcali-trachitica e sostanzialmente rimane invariata nei diversi campioni. Il diverso colore dei frammenti pomicei, da grigio scuro a grigio chiaro/avana, differenza evidente in particolare in D1, sembra dipendere soltanto dal diverso tipo di vescicolarità (vd task 2.6).
- Sulla base del geotermometro K-feldspato/plagioclasio di Fuhrman e Lindsley (1988) è stata determinata una temperatura di ~830 °C per il magma più evoluto e ~890°C per il magma meno evoluto.

Le caratteristiche strutturali e composizionali del plagioclasio suggeriscono una storia evolutiva piuttosto complessa dei magmi emessi durante l'eruzione di AMS. Le strutture cribrate ed i bordi arrotondati sono indicativi di eventi petrogenetici che destabilizzano questa fase minerale, quali mescolamento con magmi più caldi che possono alimentare dal basso il

serbatoio magmatico superficiale, mescolamento con magmi più ricchi in volatili (vedi task 2.3) e/o fluidi ricchi in H₂O. Un altro dato che può dare indicazioni sulla storia evolutiva della camera magmatica è il riconoscimento di plagioclasio all'equilibrio più sodico nel magma più evoluto, ed il differente rapporto femici/sialici tra i magmi più e meno evoluti, associati a matrici vetrose a composizione praticamente costante.

Per chiarire questi aspetti è in corso uno studio morfologico e composizionale dei fenocristalli di plagioclasio separati dai campioni di riferimento.

TASK 2.2 - Determinazione della viscosità di magmi

UR PARTECIPANTI: UR3, UR1

OBIETTIVI I ANNO

Parametrizzazione delle relazioni viscosità-temperatura-H₂O

RISULTATI I ANNO

In questo primo anno di attività è stata determinata la viscosità anidra e idrata di alcune eruzioni del sistema dei Campi Flegrei al fine di migliorare le nostre conoscenze sull'attività storica di tale sistema vulcanico e sulle possibili relazioni tra l'attività passata e una possibile ripresa di tale vulcanismo. In questa fase della ricerca si sono determinate le proprietà reologiche dei prodotti delle eruzioni di Agnano Monte Spina (4400 BC) e dell'ignimbrite Campana. Per l'eruzione di Agnano Monte Spina, le equazioni ricavate dalla parametrizzazione dei risultati sperimentali sono state utilizzate nelle simulazioni numeriche dell'attività eruttiva di tale sistema (Task 3.1).

Metodi

Campioni pomicei sono stati campionati dagli strati di ricaduta che coincidono con la fase di flusso massimo dell'eruzione pliniana per l'eruzione di Agnano Monte Spina, (AMS, livelli B1 e D1), e per l'ignimbrite campana. I vetri sono stati separati dai campioni grossolanamente macinati tramite tecniche densimetriche e elettromagnetiche. I campioni sono stati poi portati a fusione a 1 atm e T = 1400-1650 °C. La viscosità anidra ad alta temperatura è stata determinata tramite il viscosimetro a cilindri concentrici in un intervallo di temperatura tra 1500 e 1150 °C e per un intervallo di viscosità (Pa s) da 2.37 to 4.80 secondo il metodo di Dingwell e Virgo (1988). La composizione dei vetri di partenza è stata analizzata tramite microsonda elettronica. Le sintesi dei campioni idrati sono state effettuate nel pistone cilindro. Per ciascuna composizione sono stati effettuati dai tre ai cinque esperimenti a diversi tenori in acqua (H₂O = 0.72 to 3.78 wt%) a T = 1600 °C e P = 10 kbar. I prodotti sperimentali sono stati poi preparati per la misura della viscosità idrata a bassa temperatura tramite il viscosimetro a micropenetrazione e per la misura del tenore in acqua tramite KFT e FTIR. Dettagli sperimentali riguardanti la tecnica di micropenetrazione sono riportati in Hess et al. (1995) e Dingwell et al. (1996). Le misure sono state effettuate in un intervallo di viscosità tra 10^{8.45} to 10^{11.29} Pa s, e in un intervallo di temperatura tra 684 e 814 °C. Il tenore totale in acqua e l'omogeneità dei campioni sono state determinate tramite FTIR e KFT. Per queste determinazioni si è resa anche necessaria la misura dello spessore e della densità di ciascun campione. Per i campioni dell'ignimbrite campana è stato effettuato un numero elevato di sintesi (12) allo scopo di determinare la viscosità anidra e idrata di tali campioni e contemporaneamente allo scopo di determinare i coefficienti di estinzione per la calibrazione dell'IR. I coefficienti di estinzione per composizioni trachitiche non sono infatti disponibili in letteratura ma sono essenziali per la determinazione del tenore assoluto di acqua sia nei campioni in studio sia per ogni altro campione di simile composizione.

Risultati e confronto con studi precedenti

La viscosità in funzione del tenore in acqua è riportata in Fig. 1 insieme a dati di letteratura (Whittington et al., 2001; Romano et al., 2001; Giordano et al., 2001; Hess and Dingwell, 1996). Come si può vedere dall'esame della Fig. 1, la presenza di acqua comporta una diminuzione complessiva della viscosità di tutti i magma, in buon accordo con l'andamento osservato per un grande varietà di campioni sia naturali che sintetici (Schulze et al., 1996; Dingwell et al., 1996; Hess et al., 1996; Holtz et al., 1999; Romano et al., 2000; Giordano et al., 2000; Whittington et al., 2001). Le viscosità anidre e idrate sono state parametrizzate con una equazione del tipo TVF modificata (Giordano et al. (2000)):

$$\log \eta = a_1 + a_2 \ln w_{H_2O} + \frac{b_1 + b_2 w_{H_2O}}{T - (c_1 + c_2 \ln w_{H_2O})} \quad (1)$$

dove η è la viscosità, a_1 , a_2 , b_1 , b_2 , c_1 , c_2 , sono i parametri del fit, w_{H_2O} è la concentrazione dell'acqua in peso percento e T è la temperatura assoluta. Dall'esame della Fig. 1 si osservano tre andamenti distinti, rispettivamente per i liquidi riolitici, trachitici e fonolitici.

Si è individuata una correlazione lineare tra il rapporto $(Na+K+H)/(Si+Al)$ e la viscosità a bassa temperatura per tutti i liquidi presi in esame. L'individuazione di tre andamenti separati e di una dipendenza definita della viscosità con la composizione del magma è un risultato sperimentale molto importante perché permette di semplificare la modellizzazione dei risultati e l'individuazione di una legge generale che permetta di predire la viscosità di fusi a composizione nota. L'equazione 1 è stata utilizzata all'interno delle simulazioni numeriche della risalita e frammentazione del magma (Task 3.1).

È stato inoltre effettuato uno studio complementare sul contenuto originario di acqua dei magmi di AMS, basato sulle misure composizionali in inclusioni fluide all'interno dei cristalli. I risultati preliminari mostrano quantità di acqua disciolta in inclusioni vetrose all'interno di cristalli di pirosseno e plagioclasio fino al 3 – 3.5% in peso. Questo risultato è consistente a quello di analisi simili condotte all'interno del task 2.3, e suggerisce un limite inferiore per la quantità di acqua nel magma da utilizzare all'interno delle simulazioni numeriche ai task 3.

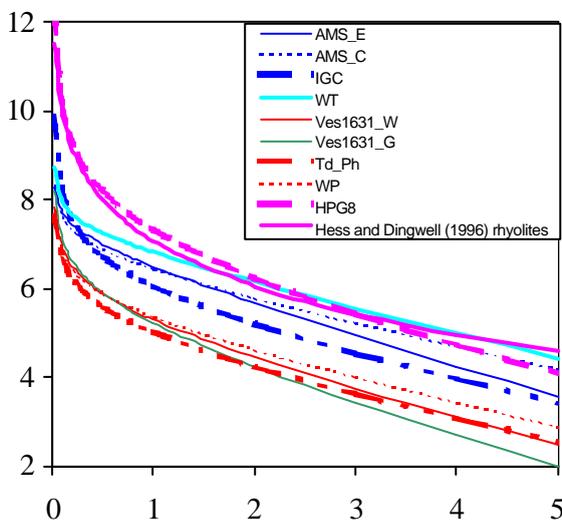


Figura 1 Viscosità in funzione del contenuto d'acqua per i campioni di AMS (livelli B1 e D1), per l'Ignimbrite Campana, e per composizioni fonolitiche e riolitiche dalla letteratura ((Hess and Dingwell, 1996, HPG8=Dingwell et al., 1996; WT=Whittington trachytes, WP=Whittington phonolites, Whittington et al., 2000; Td_Ph= Teide phonolites, Giordano et al., 2000; VES1631= Romano et al., subm.), tutte a $T = 1100$ K. Si possono distinguere i tre gruppi costituiti da rioliti (curve in alto), trachiti (curve intermedie), e fonoliti (curve in basso).

Bibliografia citata

- Dingwell, D.B. and Virgo, D. (1988) Melt viscosities in the Na₂O-FeO-Fe₂O₃-SiO₂ system and factors controlling the relative viscosities of fully polymerized silicate melts. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 52, 395-403.
- Dingwell, D.B., Romano, C., Hess, K.U., (1996) The effect of water on the viscosity of a haplogranitic melt under P-T-X conditions relevant to silicic volcanism. *Contrib.to Mineral. and Petrol.* 124, 19-28.
- Giordano D., Dingwell D.B. and Romano C. (2001) "Viscosity of a Teide phonolite in the welding interval. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 103, 239-245.
- Hess, K.U., Dingwell, D.B., Webb, S.L., (1995) The influence of excess alkalis on the viscosity of a haplogranitic melt. *Am. Mineral.* 80, 297-304.
- Hess, K.U. Dingwell, D.B., (1996) Viscosities of hydrous leucogranitic melts: A non-Arrhenian model. *Am. Mineral.* 81, 1297-1300.
- Holtz, F., Roux, J., Ohlhorst, S., Behrens, H., Shulze, F., (1999) The effects of silica and water on the viscosity of hydrous quartzofeldspathic melts. *American Mineralogist* 84, 27-36.
- Romano, C., Hess, K.U., Mincione, V., Poe, B., Dingwell, D.B., (2001) The viscosities of hydrous XAlSi₃O₈ (X=Li, Na, K, Ca_{0.5}, Mg_{0.5}) melts. *Chemical Geology*, in press.
- Romano, C., Giordano, D., Papale, P., Mincione, V., Dingwell, D.B., Rosi, M. "Anhydrous and hydrous viscosities of alkaline melts from Vesuvius and Phlegrean Fields" Submitted to *Earth Planet. Sci. Lett.*
- Schulze, F., Behrens, H., Holtz, F., Roux, J., Johannes, W., (1996) "The influence of H₂O on the viscosity of a haplogranitic melt" *American Mineralogist* 81, 1155-1165.
- Whittington, A., Richet, P., Linard, Y., Holtz, F., (2001) The viscosity of hydrous phonolites and trachytes. *Chemical geology* 174, 1-3 209-223.

PRODOTTI DELLA RICERCA

Pubblicazioni in riviste internazionali

- Romano, C., Giordano, D., Papale, P., Mincione, V., Dingwell, D.B., Rosi, M., Anhydrous and hydrous viscosities of alkaline melts from Vesuvius and Phlegrean Fields. Submitted to *Earth Planet. Sci. Lett.*

Rapporti e presentazioni a convegni

- Giordano D., Romano C., Papale P., Hess K.U., Dingwell D.B. "Influence of water on the viscosity of magmas from Vesuvius and Phlegrean Fields volcanic systems". EMPG Bergamo, 16-19/4/00 *Journal of Conference Abstracts*
- Papale, P., Dingwell, D.B., Romano, C., Rosi, M., Rutheford, M.J. Possible volcanic scenarios at Phlegrean Fields, based on reconstruction and numerical modeling of the 4100 BP Agnano Monte Spina eruption" EGS Marzo 2001.
- Romano, C., Giordano, D., Papale, P., Mincione, V., Dingwell, D.B., Rosi, M. "Rheological measurements and modeling of Phlegrean Fields eruptive events" EGS Marzo 2001.
- Giordano D., Dingwell D.B, Romano C., Rosi M. "Further progress in phlegrean fields magma rheology". EGS Marzo 2001.

TASK 2.3 - Studi di petrologia sperimentale

UR PARTECIPANTI: UR1

OBIETTIVI I ANNO

Analisi dei fenocristalli e delle inclusioni fluide nei campioni di Agnano Monte Spina, e esperimenti di equilibrio per tali campioni; determinazione della profondità, temperatura, e contenuto in volatili nella regione pre-eruttiva di accumulo del magma.

RISULTATI I ANNO

Esperimenti di equilibrio tra le fasi

Il livello di ricaduta pliniano D1 (vd task 1.1) è stato caratterizzato attraverso esperimenti di equilibrio tra le fasi. Quarantaquattro esperimenti in condizioni di saturazione d'acqua sono stati effettuati usando campioni naturali in TZM and Rene "pressure vessels". Al fine di riprodurre l'assemblaggio naturale di fenocristalli di pirosseno, flogopite, plagioclasio, e K-feldspato sono necessarie pressioni maggiori di 100 MPa (1 kbar) e temperature comprese tra 810 e 850 °C (Fig. 1). A temperature minori l'orneblenda diviene parte dell'assemblaggio stabile di minerali. A temperature maggiori il K-feldspato sparisce dall'assemblaggio stabile. La pressione nella regione di stoccaggio del magma viene ritenuta essere stata maggiore di 1 kbar. Sebbene non ancora confermato sperimentalmente, ci si aspetta che la leucite faccia la sua comparsa tra i minerali in cristallizzazione a pressioni minori.

Campioni provenienti dal livello B1 sono stati caratterizzati attraverso ulteriori tredici esperimenti. Questi esperimenti indicano che gli equilibri di fase determinati per il livello D1 sono direttamente applicabili al livello B1; non ci sono infatti differenze significative negli equilibri di fase per i due magmi.

Esperimenti di fugacità di ossigeno

L'utilizzo del metodo magnetite-ilmenite per la determinazione della fugacità di ossigeno dei campioni dell'eruzione di Agnano Monte Spina non è stato possibile, in quanto solo un ossido di Fe-Ti è presente nei campioni. Diversamente, la fugacità di ossigeno è stata stimata usando il metodo "wet chemical" (vd per esempio Baker e Rutherford 1996).

Un rapporto FeO/FeO^* uguale a 0.85 è stato determinato per un vetro separato dai campioni provenienti dal livello D1. Tale rapporto è stato combinato con la stima di temperatura ottenuta dagli equilibri di fase per determinare un valore di $\log f\text{O}_2$ di -15.17 a 830 °C (Sack et al., 1980). Tale valore corrisponde approssimativamente a una unità logaritmica al di sotto del tampone QFM. Tale stima di $f\text{O}_2$ si è rivelata minore di quanto inizialmente supposto. Quindi, è stato preparato un separato costituito da minerale di flogopite per controllare la stima fatta. Il rapporto $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}^*$ è risultato uguale a 0.16 per la flogopite. Sebbene le relazioni tra ferro ferrico e ferroso nella flogopite e fugacità di ossigeno siano complesse, i dati suggeriscono una fugacità di ossigeno minore di quella corrispondente al tampone NNO (Righter and Carmichael, 1996).

Contenuto in volatili del magma di Agnano Monte Spina

Sono stati preparati dei campioni arricchiti in fenocristalli del livello D1, e sono state condotte analisi preliminari della quantità di volatili nelle inclusioni fluide di tali minerali. Il contenuto in acqua nel liquido intrappolato in cristalli di pirosseno risulta essere circa uguale al 3.5% in peso, suggerendo che la pressione d'acqua possa essere stata intorno ai 650 bars. Le inclusioni fluide nel pirosseno e in altri minerali sono attualmente in fase di analisi attraverso FTIR per definire il contenuto in volatili del magma e le sue variazioni nel tempo.

Interpretazione

I risultati sperimentali ottenuti danno indicazioni sulle condizioni pre-eruttive nella camera magmatica di Agnano Monte Spina. La temperatura era di 830 ± 20 °C, la pressione maggiore di 1 kbar, e la fugacità di ossigeno vicino al tampone QFM. Questi valori vengono direttamente utilizzati all'interno delle simulazioni numeriche ai tasks 3, e forniscono una idea delle possibili condizioni attuali del magma nella camera magmatica dei Campi Flegrei, nell'assunzione che tali condizioni non siano cambiate drasticamente nel corso degli ultimi 4000 anni. A questo proposito, sarà di grande importanza lo studio delle condizioni corrispondenti al magma emesso durante l'eruzione di Monte Nuovo (AD 1538).

PRODOTTI DELLA RICERCA

Rapporti e presentazioni a convegni

Roach, A.L. and Rutherford, M., 2000, Petrography and Experimentally Determined Phase Equilibria of the Agnano Monte Spina Eruption, Phlegrean Fields, Italy: *Eos*, v. 81, no. 48, p. F1253.

Roach, A. and Rutherford, M., 2001, Eruptions of Mixed Magma at the Phlegrean Fields, Italy: Significance for the Homogenization of Magma Chambers: presented at Penrose Conference on Long-Lived Silicic Magma Systems.

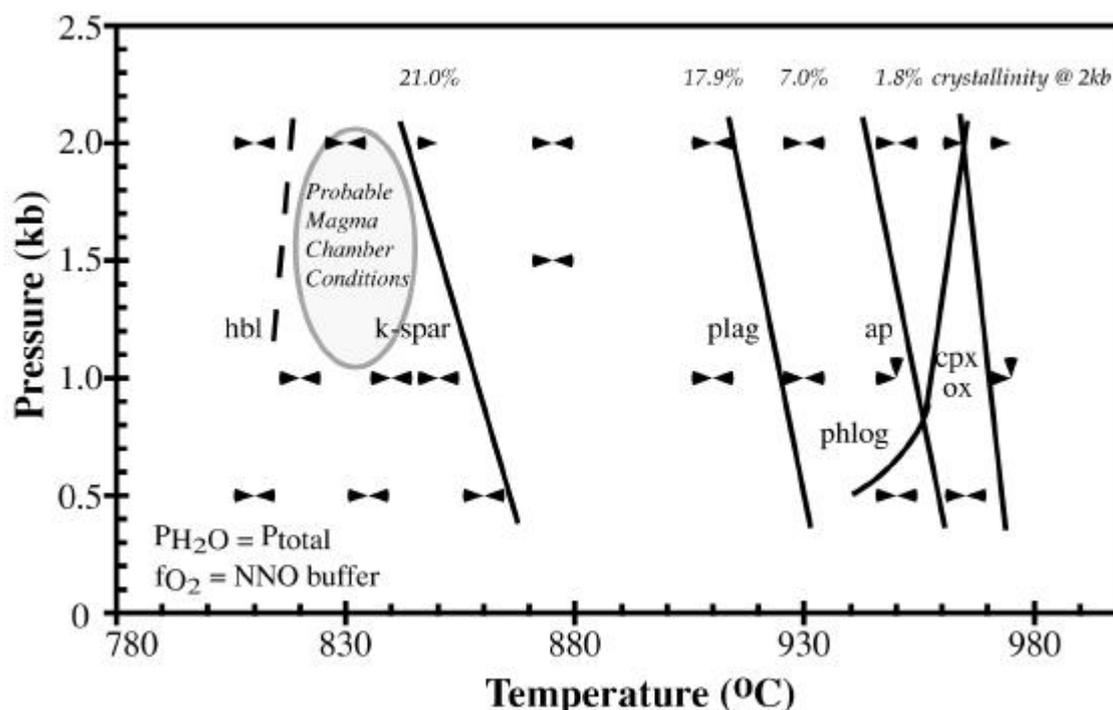


Figura 1. Diagramma pressione-temperatura per il magma trachitico proveniente dal livello D1 dell'eruzione di Agnano Monte Spina, in condizioni di saturazione d'acqua. I simboli triangolari denotano le condizioni sperimentali, e puntano nella direzione di approccio delle condizioni finali dell'esperimento. La presenza di K-feldspato e l'assenza di orneblenda nell'assemblaggio naturale di fenocristalli suggeriscono che la temperatura pre-eruttiva nella camera magmatica fosse compresa tra 810 e 850 °C.

TASK 2.4 - Determinazioni sperimentali del carico di rottura e del comportamento alla frammentazione del magma

UR PARTECIPANTI: UR3

OBIETTIVI I ANNO

Parametrizzazione del carico di rottura dinamico tensile dei magmi in funzione della pressione e temperatura di frammentazione, e tasso di depressurizzazione.

RISULTATI I ANNO

Metodi analitici

Quindici chilogrammi di pomici dell'eruzione di Agnano Monte Spina, provenienti dalla cava (22: N40.50.581/E014.10.476) sono stati campionati e preparati per gli esperimenti di frammentazione con la "bomba di frammentazione" presso l'Università Ludwig Maximilians di Monaco.

La preparazione di campioni cilindrici attraverso l'utilizzo di un carotatore con punte diamantate (diametro: 26 - 60 mm, altezza: 60 mm) è stata resa possibile dalla grande dimensione dei campioni nel deposito. La presenza di fratture di raffreddamento e di vescicole di dimensioni fino a 3-4 cm hanno complicato le operazioni di carotamento; tuttavia, la qualità e precisione dei campioni ottenuti si è rivelata inaspettatamente elevata.

La densità dei campioni cilindrici di pomice è stata sia calcolata attraverso misure di peso e volume, sia misurata attraverso l'utilizzo di un picnometro a elio (Micromeritics Accupyc 1330). Le densità calcolate cadono nell'intervallo 0.43 – 0.77 g/cm³, mentre quelle misurate col picnometro a elio cadono nell'intervallo 1.96 – 2.35 g/cm³. La porosità (vescicole intercomunicanti) risulta quindi essere compresa tra 66 e 81 vol%, alla quale si sommano 0.2 – 17 vol% di vescicole chiuse. La porosità totale varia tra il 70 e l'86 vol%.

Interpretazione delle osservazioni e dei risultati sperimentali

Le vescicole di maggiori dimensioni sono interpretate come il risultato di una frammentazione, ad uno stadio tardivo, di cristalli contenenti inclusioni fluide con elevata percentuale di acqua. Il meccanismo che determina la frammentazione dei cristalli necessita di studi approfonditi. Una prima teoria combina l'elevata pressione interna delle inclusioni fluide con la propagazione di un'onda di decompressione o un'onda di shock (in seguito a interazione magma-acqua) attraverso il sistema. Una frammentazione di cristalli in una fase tardiva dell'eruzione spiega perché le vescicole di grandi dimensioni (> 15 mm) non sono allungate. Frammenti di cristalli si ritrovano localizzati come "clusters" su una delle pareti delle vescicole; in altri casi, i cristalli sembrano essere "esplosi", con i frammenti concentrati lungo tutte le pareti delle vescicole.

Un primo set di esperimenti, durante i quali è stata analizzata la velocità di propagazione dell'onda di frammentazione, è stato completato.

Le caratteristiche tessiturali dei campioni analizzati mostrano un'ampia variabilità. Sono state analizzate pomici caratterizzate sia da vescicole fortemente allungate, del tipo delle pomici tubulari, sia pomici dominate da vescicole subsferiche. La permeabilità di tutti i campioni lungo la loro intera lunghezza appare sempre molto elevata, per cui le condizioni sperimentali non coincidono esattamente con quelle presenti nel magma all'interno del condotto vulcanico. Di conseguenza, il flusso di gas attraverso le vescicole dei campioni analizzati potrebbe essere risultato un fattore controllante lo scenario sperimentale, mentre nella situazione naturale la trasmissione di energia dalla fase gassosa al resto del magma potrebbe essere avvenuta ad una scala più grande di quella sperimentale. Al fine di riprodurre in maniera più adeguata le condizioni naturali, si è quindi disegnata una nuova configurazione sperimentale che permette l'utilizzo di campioni di dimensioni maggiori, fino a 10 – 15 cm di lunghezza. In ogni caso,

misure di permeabilità della pomice sono ritenute necessarie al fine di comprendere la distribuzione locale della pressione immediatamente al di sotto dell'onda di frammentazione, e lo spessore dello strato in frammentazione.

I risultati mostrano che i campioni di pomice analizzati e provenienti dai Campi Flegrei necessitano di differenze di pressione molto elevate al fine di frammentare. La soglia comunemente misurata per le pomice riolitiche provenienti da Santorini è di 3 – 4 MPa. Nel caso dei Campi Flegrei, le soglie richieste risultano di 9 – 10 MPa, e anche in tali casi si osserva solo una parziale frammentazione del campione.

Si è misurata la velocità di propagazione dell'onda di frammentazione in esperimenti con differenze di pressione fino a 30 MPa. Tali velocità risultano essere di 100 – 110 m/s a 20 MPa e 250 – 300 m/s a 30 MPa, queste ultime corrispondenti alle più elevate velocità di frammentazione mai misurate fino ad oggi in esperimenti condotti con la bomba di frammentazione. Tuttavia, ci si attende una riduzione di tali velocità con l'utilizzo di campioni di maggiore lunghezza.

E' stata inoltre testata una ulteriore modifica introdotta alla bomba di frammentazione. Durante le intense discussioni nei mesi passati, è emersa la necessità di controllare il tasso di flusso in prossimità della depressurizzazione iniziale del sistema, problema che è in via di risoluzione attraverso l'aggiunta di un sistema di filtri lungo la traiettoria delle particelle frammentate. I dati ottenuti in questo modo saranno direttamente utilizzabili e/o confrontabili con quelli ottenuti dalle simulazioni numeriche di risalita e frammentazione del magma al task 3.1. L'analisi delle particelle derivanti da tale nuovo apparato sperimentale è tuttavia impossibile, a causa della frammentazione secondaria introdotta dalla collisione delle particelle contro i setacci.

TASK 2.5 - Determinazione della diffusività dei volatili

UR PARTECIPANTI: UR3

OBIETTIVI I ANNO

Preparazione dei materiali di partenza (campioni anidri e campioni saturi in H₂O-CO₂); esperimenti di diffusione dell'acqua a pressione costante e diverse temperature; analisi dei prodotti sperimentali; determinazione dei coefficienti di diffusione.

RISULTATI I ANNO

Come indicato negli obiettivi, il primo anno di ricerca è stato dedicato ai seguenti punti.

Preparazione dei materiali di partenza

Il materiale di partenza per gli esperimenti di diffusione è lo stesso utilizzato per le misure di viscosità (campione AMS59, livello "E" del deposito di Agnano-Monte Spina.). Il vetro anidro è stato prodotto fondendo la matrice vetrosa, a composizione trachitica, del campione AMS59 a 1 atm e 1400-1650 °C. La porzione idrata è stata ottenuta aggiungendo ~10% di H₂O alla polvere e sottoponendo la stessa ad ulteriore fusione a 1250 °C, 1.5 GPa per 1 ora. Oltre alla polvere, con lo stesso procedimento, sono state idratate anche delle carote di dimensioni tali da poter essere introdotte in capsule di 3 mm di diametro.

Esperimenti di diffusione accoppiata

Esperimenti di diffusione accoppiata sono stati condotti presso il *Department of Earth and Planetary Sciences* della *McGill University* in collaborazione con il Prof. Don R. Baker utilizzando il Pistone cilindro. Gli esperimenti sono stati effettuati secondo la tecnica della

diffusione accoppiata ad una pressione di 1.0 GPa e temperature e durate variabili tra 1100 e 1400 °C e tra 0 e 1800 s, rispettivamente. Uno degli obiettivi della ricerca è stato anche individuare una tecnica di preparazione dei campioni che riducesse al minimo la deformazione e la fratturazione del campione stesso. I migliori risultati li abbiamo ottenuti utilizzando un metodo che prevede di accoppiare in una capsula di Pt lunga 9 mm e con un diametro di 3 mm polvere idrata (~9 mg) e un cilindretto di vetro anidro; la capsula viene quindi saldata e posizionata orizzontalmente in un assembly costituito da NaCl-pyrex-grafite-pirofillite-alumina.

Analisi dei prodotti sperimentali attraverso spettroscopia FTIR

I prodotti ottenuti dagli esperimenti di diffusione sono stati sezionati perpendicolarmente alla superficie di contatto tra porzione idrata ed anidra in modo da esporre una superficie in cui fosse analizzabile il profilo di concentrazione completo. I campioni sono stati quindi ridotti in fettine sottili circa 200 µm. I profili di concentrazione di H₂O molecolare e di OH sono stati determinati tramite spettri infrarosso misurati con uno Spettrofotometro Nicolet Fourier Transform (Nicolet Magna 760) nella regione NIR (2500-8000 cm⁻¹), usando una sorgente a W, un beamsplitter di CaF₂ e un detector MCT presso il Dipartimento di Scienze Geologiche (Università di Roma Tre). Le concentrazioni di H₂O molecolare e di OH sono state determinate dalle altezze dei picchi delle bande di assorbimento a 5230 cm⁻¹ e a 4500 cm⁻¹ rispettivamente usando la legge di Beer-Lambert:

$$C_{H_2O \text{ or } OH} = \frac{A \times pm}{r \times t \times e}$$

dove A=assorbimento (altezza o area del picco), pm=peso molecolare di H₂O o OH, ρ=densità del campione, t=spessore del campione, ε=coefficiente di estinzione che dipende dalla composizione chimica del campione. La determinazione del coefficiente di estinzione per una composizione chimica simile a quella in studio è in corso (Task 2.2). I profili di concentrazione di acqua totale (figura 1) si riferiscono alla somma della concentrazione di H₂O_{mol} e OH ottenuta utilizzando il coefficiente di estinzione misurato da Carrol e Blank (1997) per una composizione fonolitica e vanno considerati preliminari.

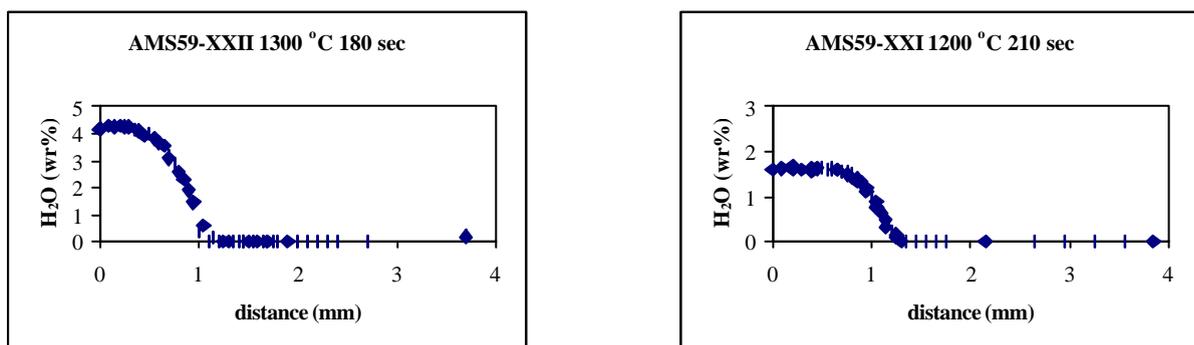


Figura 1 Profili di concentrazione dell'acqua a diverse temperature

Calcolo di D (coefficiente di diffusività dai profili di concentrazione)

Non appena sarà disponibile il coefficiente di estinzione adatto alla composizione in studio si procederà di nuovo al calcolo della concentrazione di acqua lungo i profili di diffusione utilizzando la legge di Beer-Lambert. Quindi calcoleremo la diffusività dell'acqua lungo le traverse analitiche utilizzando la tecnica di Boltzmann-Matano (Crank, 1975). Il calcolo della diffusività dell'acqua usando le traverse analitiche preliminari di figura 1 ha messo in

evidenza che la diffusività di questa specie in fusi rachitici è più efficiente che nei fusi riolitici. Questa conclusione potrebbe avere importanti ripercussioni nei modelli di vescicolazione dei magmi alcalino-potassici.

PRODOTTI DELLA RICERCA

Publicazioni in riviste scientifiche internazionali

Freda C., Baker D.R., Romano C., and Scarlato P., “Water diffusion in natural potassic melts”. Per inclusione all’interno di: Geological Society of London Special Publication Volume “Volcanic Degassing”, in preparazione.

Rapporti e presentazioni a convegni

Freda C., Baker D.R., Romano C., and Scarlato P., “Water diffusion in natural potassic melts.” Peter Francis memorial meeting on Volcanic Degassing” (London, October 2001)

TASK 2.6 - Caratterizzazione tessiturale dei piroclasti

UR PARTECIPANTI: UR1, UR2

OBIETTIVI I ANNO

Studio di campioni provenienti dall’eruzione dell’Ignimbrite Campana e, fino ad un livello avanzato, di Agnano Monte Spina

RISULTATI I ANNO

Studi alla scala macroscopica

Abbiamo condotto uno studio tessiturale di dettaglio sia alla scala macroscopica che microscopica sulle pomice del deposito di caduta di CI (completata) e sui livelli B1 e D1 del deposito di caduta di AMS (in via di completamento). Abbiamo trovato che la frazione juvenile di entrambe le eruzioni può essere suddivisa in almeno 3 categorie “end-member”: 1) pomice *microvescicolate*, equidimensionali, di forma angolosa, da moderatamente a mediamente vescicolate con vescicole eterogenee, 2) pomice *tubulari*, da dense a vescicolate con vario grado di allungamento e deformazione delle vescicole, e 3) pomice espanse, che, a seconda delle caratteristiche dell’eruzione (composizione del liquido, contenuto in cristalli ecc.) possono variare da pomice fortemente espanse, incluse le cosiddette “reticuliti” siliciche (vescicosità > 90%), a pomice rigonfiate, con una porzione interna vescicolata e bordi progressivamente più densi. Abbiamo notato una distribuzione verticale delle categorie di pomice di CI: le microvescicolate costituiscono la maggior parte della frazione juvenile del deposito, le tubulari aumentano bruscamente nella parte superiore mentre le reticuliti sono presenti solo nella porzione inferiore. La distribuzione verticale delle pomice di AMS non è stata ancora effettuata, e lo sarà nei prossimi mesi. Comunque, nel deposito di AMS, come in altri depositi piroclastici di grandi eruzioni esplosive (i.e. eruzione del Pinatubo 1991), si è osservato che le pomice microvescicolate rappresentano la maggior parte dello juvenile, seguite dalle tubulari e dalle espanse.

Studi alla scala microscopica

I risultati dell’analisi tessiturale a scala microscopica sui clasti pomice di CI sono inclusi nel FIRST MID-YEAR REPORT January 2001 (per maggiori dettagli riferirsi a questo) e sono qui brevemente riassunti. Lo studio in backscattering effettuato con il microscopio elettronico a scansione (SEM) ha messo in luce eterogeneità tessiturali piuttosto marcate tra le diverse tipologie di pomice esaminate e all’interno di ciascun singolo clasto. In particolare, le pomice

microvescicolate mostrano aree con vescicole caratterizzate da deformazione e coalescenza accanto a aree con vescicole sub-sferiche a distanze dell'ordine delle decine di microns. Lo studio microtessiturale condotto sulle pomice di AMS presenta la stessa variabilità tessiturale testè descritta. La Fig. 1 mostra immagini in bascattering della frazione juvenile di AMS acquisite con il SEM: a) pomice microvescicolata con presenza di popolazioni eterogenee di vescicole, b) tipica pomice tubulare con vescicole stirate/deformate allineate secondo una direzione preferenziale, c) zona vescicolata e d) zona densa di pomice espansa.

La vescicolarità misurata varia da 0.50 a 0.88 (con una media di 0.71), dato che riflette l'eterogeneo contenuto di vescicole delle diverse tipologie di pomice e fornisce un legame con osservazioni fatte alla scala macroscopica. La densità numerica delle vescicole in pasta di fondo varia da 3.3 a $14.2 \times 10^5 \text{ cm}^{-2}$ con un valore medio di $7.4 \times 10^5 \text{ cm}^{-2}$, molto più alta di quella di CI con un valore medio di $2.5 \times 10^5 \text{ cm}^{-2}$. Questo valore di densità numerica concorda con il piccolo diametro medio delle vescicole in pasta di fondo di $7.2 \text{ }\mu\text{m}$, e potrebbe testimoniare un basso grado di coalescenza delle vescicole stesse rispetto a CI o altre eruzioni esplosive. Comunque la maggior parte dei parametri tessiturali sono stati misurati su pomice del livello di caduta B1, e necessitano di essere verificati anche sui prodotti del livello D1. Questa ricerca è adesso in corso e sarà completata nel giro di un paio di mesi.

Pensiamo che le eterogeneità tessiturali trovate nelle diverse tipologie di pomice sia nel deposito di caduta di CI che di AMS, in corrispondenza di tutti gli orizzonti stratigrafici, possano essere prodotte dalla presenza di gradienti orizzontali delle proprietà del magma all'interno del condotto. Questi gradienti sono responsabili dell'innesco di processi come dissipazione viscosa alle pareti del condotto, quindi locale incremento di temperatura e diminuzione di viscosità, che, a loro volta, influenzano la distribuzione delle variabili di flusso durante la risalita del magma (Polacci et al 2001).

È importante sottolineare che i risultati raggiunti da questo studio durante il primo anno di ricerca indicano che le differenti caratteristiche tessiturali nelle pomice possono riflettersi in diversi stili eruttivi e scenari di hazard.

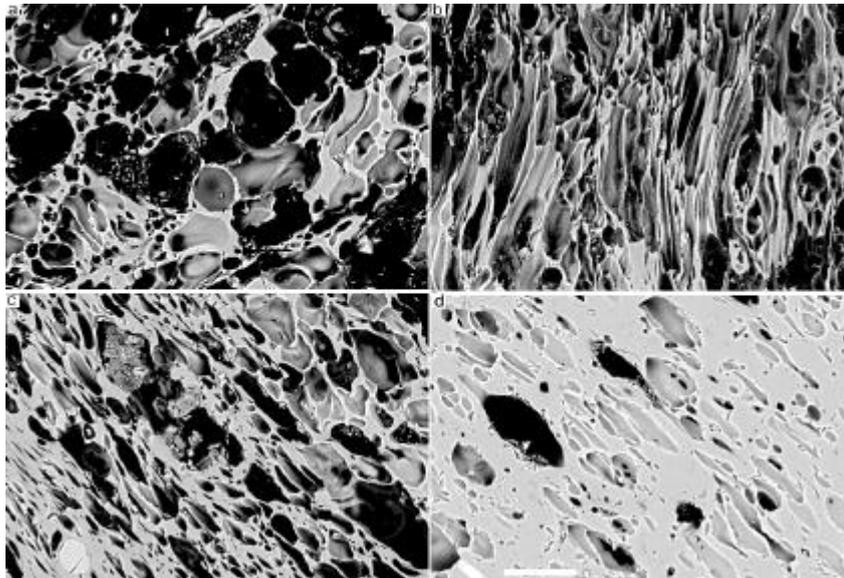


Figura 1 Immagini al SEM di categorie di pomice di AMS. Vedere il testo per ulteriori informazioni. Scala $50 \text{ }\mu\text{m}$ per tutte.

PRODOTTI DELLA RICERCA

Publicazioni su riviste internazionali

M. Polacci (2001) Textural characterization of explosive volcanic products: a window to conduit processes. *Plinius*, special number of Earth and Planetary Science, in stampa.

Polacci, M., and Pioli, L., The texture of pumice from the Campanian Ignimbrite Eruption, Phlegrean Fields, Italy, and implications for magma ascent dynamics. In preparazione per *Bull. Volcanol.*

Rapporti e presentazioni a convegni

M. Polacci (2001) Analisi tessiturale dei prodotti dell'attività vulcanica esplosiva: implicazioni per il processo di risalita dei magmi in condotti eruttivi. Tesi di Dottorato in Scienze della Terra, XII ciclo, Università degli Studi di Pisa

XXVI Assembly of the European Geophysical Society, Nizza, Marzo 26-30 2001: Textural heterogeneities in the fallout deposit of the Campanian Ignimbrite eruption. M. Polacci, L. Pioli and M. Rosi

TASK 3.1 - Simulazioni numeriche della dinamica di risalita dei magmi

UR PARTECIPANTI: UR1, UR4

OBIETTIVI I ANNO

Studi di sensitività, e simulazioni preliminari per l'eruzione di Agnano Monte Spina e Ignimbrite Campana

RISULTATI I ANNO

Sono state effettuate circa 60 simulazioni numeriche della dinamica di risalita dei magmi, con dati di input ed equazioni costitutive definite ai task di terreno e di laboratorio 1 e 2. Le simulazioni numeriche si sono indirizzate a i) investigare le caratteristiche peculiari della dinamica delle eruzioni trachitiche rispetto a quelle riolitiche, queste ultime molto meglio note da studi precedenti, ii) effettuare studi di sensitività su quantità di input ed equazioni costitutive, e iii) effettuare simulazioni preliminari della dinamica di risalita per l'eruzione di Agnano Monte Spina, al fine di studiarne le caratteristiche e produrre condizioni all'uscita del condotto eruttivo da utilizzare come condizioni al contorno per le simulazioni della dinamica di dispersione di gas e piroclasti di cui al task 3.2.

In aggiunta, è stato completato uno studio sugli effetti di diverse efficienze di frammentazione e diverse modalità di degassamento della pomice (equilibrio vs. non equilibrio) sulla dinamica di risalita e frammentazione dei magmi. Il nuovo modello ottenuto permette di tenere conto della formazione di diverse porzioni di pomice, cenere vulcanica, e cristalli liberi in seguito alla frammentazione del magma, ciascuna particella caratterizzata da diverse proprietà fisiche e diverse storie di degassamento. Questo avanzamento nella descrizione della dinamica di risalita dei magmi sarà utile al presente progetto quando all'interno degli studi previsti al task 1.1 verranno prodotti spettri di granulometria e di abbondanza relativa dei componenti nei depositi vulcanici delle eruzioni oggetto di studio. Inoltre, permetterà di porre ulteriori constraints alle possibili dinamiche eruttive sulla base dei risultati degli studi tessiturali condotti ai tasks 2.6 e 2.4.

Dinamica delle eruzioni trachitiche e riolitiche

I magmi trachitici sono caratterizzati da viscosità idrate simili a quelle dei magmi riolitici, come risulta dagli studi sperimentali condotti all'interno del task 2.2. Differenze importanti (ordini di grandezza) compaiono solamente per quantità di acqua disciolta inferiori a circa

l'1% in peso. Tuttavia, in tali condizioni i risultati delle simulazioni numeriche mostrano che nel campo delle condizioni eruttive prese in esame il magma è già frammentato. Di conseguenza, le differenze nella viscosità della porzione liquida del magma diventano scarsamente importanti sulla dinamica generale dell'eruzione. Sebbene la viscosità dei magmi riolitici e trachitici sia quindi simile ai fini della dinamica eruttiva generale, le simulazioni numeriche effettuate mostrano viscosità della miscela magmatica al di sotto del livello di frammentazione significativamente maggiori per le rioliti che per le trachiti, a parità di condizioni eruttive in termini di geometria del condotto eruttivo, temperatura del magma, contenuto in cristalli, e contenuto totale di acqua nel magma (Fig. 1b). La ragione sta nel fatto che i magmi trachitici mostrano una solubilità dell'acqua maggiore dei magmi riolitici (Fig. 1c), e di conseguenza, la quantità di acqua trattenuta nel liquido magmatico ad una certa pressione è maggiore per le trachiti che per le rioliti, con un effetto importante sulla riduzione della viscosità del magma. Poiché la frammentazione del magma viene favorita da una più elevata viscosità della miscela magmatica, a uguali condizioni iniziali i magmi trachitici frammentano a profondità significativamente meno elevate dei magmi riolitici (Fig. 1a). Ci si potrebbe aspettare che, essendo uguale ogni altro dato di input, un magma di composizione trachitica debba corrispondere ad un flusso di massa maggiore rispetto ad uno di composizione riolitica, essendo la viscosità della miscela inferiore nella zona ad elevata viscosità al di sotto del livello di frammentazione (Fig. 1b). Al contrario, i risultati numerici mostrano che tali flussi di massa possono essere maggiori o minori di quelli prodotti da composizioni riolitiche (ad uguali altri dati di input), in funzione delle relazioni tra viscosità della miscela magmatica e profondità di frammentazione. Infatti, mentre la minore viscosità del magma trachitico al di sotto del livello di frammentazione tenderebbe a produrre un flusso di massa maggiore, la minore profondità di frammentazione associata fa sì che l'effetto di dissipazione dell'energia meccanica nella regione ad alta viscosità al di sotto della frammentazione si eserciti per un tratto maggiore del condotto eruttivo. A differenza del precedente, questo effetto tende a produrre un flusso di massa minore. La conclusione è che non è possibile stimare a priori se ad eguali condizioni un magma trachitico corrisponda a maggiore o minore flusso di massa (o intensità) dell'eruzione rispetto a uno riolitico, a causa degli effetti non lineari esercitati da viscosità e solubilità dell'acqua sull'intera dinamica eruttiva. Al contrario, ciascun caso deve essere analizzato mediante simulazioni numeriche. I risultati in Figura 1 mostrano inoltre che per le condizioni specifiche considerate, l'aggiunta di 2% in peso di anidride carbonica al magma trachitico è in grado di produrre una viscosità del magma al di sotto del livello di frammentazione (Fig. 1b) e una profondità di frammentazione (Fig. 1a) simile a quelle che caratterizzano il magma riolitico, a causa dell'importante effetto dell'anidride carbonica di diminuire la quantità di acqua che a ciascuna pressione può essere mantenuta in soluzione nel liquido magmatico (Fig. 1c).

Studi di sensitività

Un set di simulazioni relative al magma trachitico e condizioni simili a quelle ritenute possibili per l'eruzione di Agnano Monte Spina è stato ripetuto due volte, la prima utilizzando la nuova parametrizzazione della viscosità del liquido magmatico ottenuta all'interno degli studi di cui al task 2.2, la seconda utilizzando il modello di Shaw, ampiamente utilizzato in letteratura per calcolare la viscosità dei liquidi magmatici all'interno degli studi numerici di dinamica delle eruzioni. I risultati mostrano che l'utilizzo del modello di Shaw produce importanti errori sulla distribuzione delle quantità di flusso all'interno del condotto vulcanico, e una notevole sottostima (dell'ordine delle centinaia o migliaia di metri) della profondità di frammentazione del magma. Al contrario, le differenze trovate nelle condizioni eruttive calcolate all'uscita del condotto eruttivo sono decisamente meno grandi, sebbene non trascurabili. La ragione appare dovuta al raggiungimento da parte della miscela eruttiva di condizioni di flusso bloccato in corrispondenza dell'uscita del condotto eruttivo. Tale

condizione funziona come un tampone per le variazioni possibili nelle condizioni locali di flusso. Al fine di valutare l'importanza di una descrizione accurata della viscosità del liquido magmatico per il calcolo della dinamica delle eruzioni a grande scala, in un caso le simulazioni della dinamica di dispersione di gas e particelle nell'atmosfera e lungo flussi piroclastici al task 3.2 sono state ripetute con condizioni all'uscita del condotto eruttivo sia determinate attraverso la nuova parametrizzazione al task 2.2, sia attraverso il modello di Shaw.

Determinazione delle condizioni all'interno e all'uscita del condotto eruttivo per l'eruzione di Agnano Monte Spina

Un set di 12 simulazioni numeriche è stato effettuato utilizzando dati di input e equazioni costitutive come prodotte dai tasks di terreno e di laboratorio 1 e 2 al fine di riprodurre quanto più accuratamente possibile le condizioni eruttive durante le fasi B1 e D1 dell'eruzione di Agnano Monte Spina. Per ciascuna fase eruttiva sono state ripetute le simulazioni considerando i flussi di massa minimi e massimi stimati attraverso gli studi compiuti all'interno del task 1.1. E' stato utilizzato un valore della pressione in camera magmatica corrispondente a 100 MPa, considerato un valore minimo sulla base degli studi di petrologia sperimentale al task 2.3. La temperatura del magma è stata scelta uguale a 1100 K per la fase B1, e 1170 K per la fase D1, in accordo ai risultati ottenuti dalla petrologia sperimentale (task 2.3) e dall'applicazione di geotermometri K-feldspato (task 2.1). Per ciascuna fase eruttiva la composizione del liquido magmatico è stata fissata uguale a quella ottenuta dalla massa di fondo delle pomice separata meccanicamente (task 2.2). I due magmi appaiono molto simili, con quello emesso durante la fase B1 leggermente più sodico e meno potassico di quello emesso durante la fase D1. Il contenuto e distribuzione in cristalli per ciascuna fase eruttiva è stato ottenuto sulla base delle determinazioni fatte all'interno del task 2.1. Il contenuto in acqua del magma è stato parametrizzato, ripetendo le simulazioni per contenuti del 2, 4, e 6% in peso. Recenti risultati ottenuti all'interno dei task 2.2 e 2.3 suggeriscono che il contenuto reale di acqua fosse almeno del 3.5% in peso. Le condizioni eruttive calcolate all'uscita del condotto eruttivo, utilizzate per le simulazioni numeriche della dinamica di dispersione gas/particelle all'interno del task 3.2, mostrano i seguenti intervalli: pressione 0.3 – 2.4 MPa, velocità del gas 144 – 245 m/s, velocità delle particelle 125 – 215 m/s, frazione volumetrica del gas 0.96 – 0.99, e densità della miscela eruttiva 35 – 100 kg/m³, con diametri del condotto nell'intervallo 50 – 150 m.

PRODOTTI DELLA RICERCA

Pubblicazioni su riviste internazionali

- Papale, P. (2001) Dynamics of magma flow in volcanic conduits with variable fragmentation efficiency and nonequilibrium pumice degassing. *J. Geophys. Res.*, 106: 11,043-11,065.
- Papale, P., and Giordano, D., Volcanic conduit dynamics of alkaline versus calcalkaline eruptions, in preparazione per *Earth Planet. Sci. Lett.*
- Papale, P., Neri, A., Del Seppia, D., Esposti Ongaro, T., and Polacci, M., Numerical simulations of coupled conduit and pyroclast dispersion dynamics at Phlegrean Fields, Italy, in preparazione per *J. Volcanol. Geotherm. Res.*

Rapporti e presentazioni a convegni

- Papale, P., Dingwell, D.B., Neri, A., Romano, C., Rosi, M. and Rutherford, M.J., Possible volcanic scenarios at Phlegrean Fields, based on reconstruction and numerical modeling of the 4100 BP Agnano Monte Spina eruption. *European Geophysical Society, 2001 Meeting* (electronic supported abstracts).

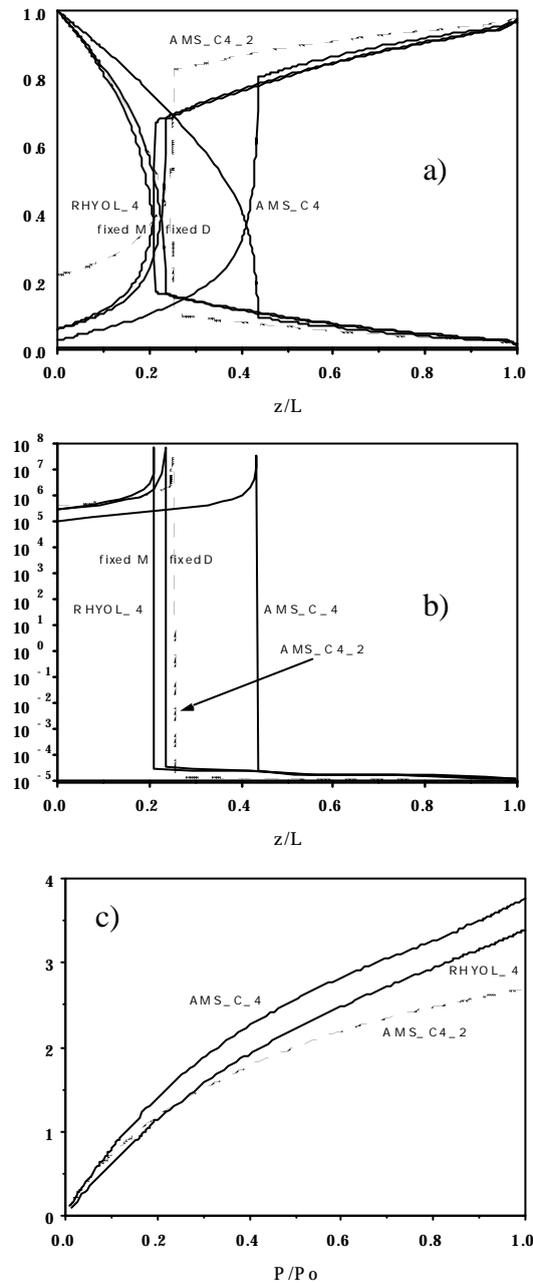


Figura 2 Dinamica all'interno del condotto eruttivo per magmi alcalini (trachiti) e calcoalcalini (rioliti). a): distribuzione della frazione in volume del gas e della pressione nondimensionale; b): distribuzione della viscosità della miscela eruttiva; c) curve di saturazione dell'acqua (calcolate attraverso il modello di Papale 1999). Contenuto in volatili per i run AMS_C4 e RHYOL_4: H₂O = 4 wt%, CO₂ = 0. Contenuto in volatili per il run AMS_C4_2: H₂O = 4 wt%, CO₂ = 2 wt%.

TASK 3.2 - Simulazione numerica dei processi di dispersione gas/piroclasti e della dinamica dei flussi piroclastici

UR PARTECIPANTI: UR4, UR1

OBIETTIVI I ANNO

Studio parametrico delle variabili principali caratterizzanti la miscela eruttiva al cratere

RISULTATI I ANNO

La ricerca svolta è stata finalizzata al completamento di studi parametrici intrapresi nell'ambito di precedenti progetti di ricerca, e di grande interesse per lo studio delle eruzioni dei Campi Flegrei, e alla realizzazione di alcune simulazioni preliminari della dinamica del condotto e della colonna eruttiva di alcune fasi dell'eruzione di Agnano Monte Spina. In particolare il lavoro svolto si è articolato secondo i temi di seguito descritti.

Quantificazione della partizione di massa dei piroclasti durante le eruzioni esplosive

La distribuzione spaziale e temporale delle particelle piroclastiche durante i primi 15 minuti di dispersione da colonne collassate e transizionali è stata studiata per mezzo di un modello transiente, bidimensionale, e trifase (una fase gas e due fasi solide rappresentative di piroclasti di diverse dimensioni e densità) (Neri et al, *sub judice*). Il diverso comportamento della colonna è stato simulato utilizzando diversi contenuti in acqua della miscela eruttiva e assumendo condizioni di ingresso sia di jet bilanciato che di jet in sovrappressione. Le simulazioni hanno permesso di quantificare, per ciascun caso considerato, la massa dei diversi piroclasti in grado di formare le correnti di densità, la colonna co-ignimbricata, e le nubi convettive che si generano dalla fontana e dalla zona prossimale del flusso. Nel caso delle colonne collassate, la massa totale trasportata nel sistema convettivo è stata stimata tra il 10 e il 30 % in peso della massa totale eruttata e varia a seconda del contenuto in acqua. In questo caso le particelle fini sono dominanti nel sistema convettivo. Per più elevati contenuti di acqua la colonna mostra un carattere transizionale collassate/convettivo. Questo regime è caratterizzato da più elevate altezze di collasso, generazione di correnti di densità più diluite, minori distanze raggiunte dai flussi, comportamento della colonna meno stazionario e alimentazione intermittente dei flussi. Per queste colonne, la frazione di massa totale che forma la porzione convettiva può raggiungere il 50 % in peso della massa eruttata con una percentuale significativa di particelle grossolane.

Applicazioni alla valutazione della pericolosità da flussi piroclastici

I risultati di alcune simulazioni di flussi piroclastici realizzate per il Vesuvio nell'ambito di un precedente progetto europeo sono stati ulteriormente analizzati in modo da avere una migliore quantificazione della loro pericolosità. Tramite le simulazioni è stato possibile stimare i tempi di arrivo dei flussi, la loro densità, temperatura, e le massime distanze raggiunte lungo due diversi profili topografici assisimmetrici del Vesuvio. Sono state inoltre analizzate due ulteriori variabili; la pressione dinamica del flusso e la variazione della pressione isotropica rispetto alla pressione atmosferica indisturbata. La stima di queste due variabili è infatti rilevante per la determinazione dei danni e delle vittime causati da un flusso piroclastico al Vesuvio (Todesco et al., *sub judice*; Esposti Ongaro et al., *sub judice*). Anche in questo caso l'analisi delle simulazioni realizzate può essere utile per la stima della pericolosità dei flussi piroclastici ai Campi Flegrei.

Simulazione dell'eruzione di Agnano Monte Spina

E' stata intrapresa la simulazione della dinamica eruttiva associata all'unità B1, una delle due principali unità deposizionali della sequenza eruttiva dell'eruzione di Agnano-Monte Spina.

Questa unità del deposito appare generata da una colonna alla transizione ovvero tra i regimi collassate e convettivo (vd. risultati UR01). I dati di input del modello di dispersione consistono nelle condizioni di uscita del condotto calcolate dal modello di risalita del magma (vd risultati UR03). A sua volta, le condizioni all'uscita del condotto sono state calcolate in funzione della composizione del liquido magmatico, del contenuto in acqua e cristalli, del flusso di massa, e della pressione-temperatura-profondità del magma in ingresso al condotto. In particolare, la dinamica della colonna è stata studiata per tre diversi contenuti d'acqua della miscela (2, 4, e 6% in peso) e per due diversi valori di flusso di massa (2.5×10^7 e 10^8 kg/s). La figura 1 mostra la distribuzione della frazione volumetrica delle particelle, a 600 s, per contenuti di acqua del 2, 4, e 6 % in peso, e per un flusso di massa di 2.5×10^7 kg/s. I risultati delle simulazioni sono sostanzialmente in accordo con lo stile eruttivo determinato da studi vulcanologici indipendenti. In particolare, contenuti in acqua tra il 4 e 6 % in peso sembrano riprodurre al meglio lo stile eruttivo transizionale. Una conclusione simile è stata ottenuta utilizzando un valore dell'intensità quattro volte superiore. Infine, è stata intrapresa l'analisi degli effetti di diverse leggi di viscosità sullo stile eruttivo.

PRODOTTI DELLA RICERCA

Pubblicazioni su riviste internazionali

- Esposti Ongaro T., A.Neri, M.Todesco, G.Macedonio, Pyroclastic flow hazard at Vesuvius by using numerical simulations. II. Analysis of local flow variables, *Sub judice*.
- Neri A., A. Di Muro, M. Rosi, Mass partition during collapsing and transitional columns by using numerical simulations. *Sub judice*.
- Todesco M., A.Neri, T.Esposti Ongaro, P.Papale, G.Macedonio, R.Santacroce, A.Longo, Pyroclastic flow hazard at Vesuvius by using numerical simulations. I. Large-scale dynamics, *Sub judice*.

Rapporti e presentazioni a convegni

- Esposti Ongaro T., A.Neri, M.Todesco, G.Macedonio, Pyroclastic flow hazard at Vesuvius by using numerical simulations. II. Analysis of local flow variables, *VSG Report 2001-4*, Edizioni ETS, 2001.
- Neri A., G.Macedonio, T.Esposti Ongaro, D.Gidaspow, Simulation of pyroclastic dispersion processes by using multiphase flow models. Atti AGU Fall Meeting, San Francisco, Dicembre 2000.
- Neri A., T.Esposti Ongaro, M.Todesco, G.Macedonio, Pyroclastic flow impact at Vesuvius, Italy, Analysis of some hazardous flow variables, Atti Cities on Volcanoes 2, Ackland, Febbraio 2001.
- Neri A., A. Di Muro, M. Rosi, Mass partition during collapsing and transitional columns by using numerical simulations, *VSG Report 2001-1*, Edizioni ETS, 2001.
- Papale P., D. Dingwell, A.Neri, C.Romano, M.Rosi, M.Rutherford, Possible volcanic scenarios at Phlegrean Fields based on reconstruction and numerical modeling of the 4100 BPO Agnano Monte Spina eruption, Atti XXVI EGS General Assembly, Nice, Marzo 2001.
- Todesco M., A.Neri, T.Esposti Ongaro, P.Papale, G.Macedonio, R.Santacroce, A.Longo, Pyroclastic flow hazard at Vesuvius by using numerical simulations. I. Large-scale dynamics, *VSG Report 2001-3*, Edizioni ETS, 2001.

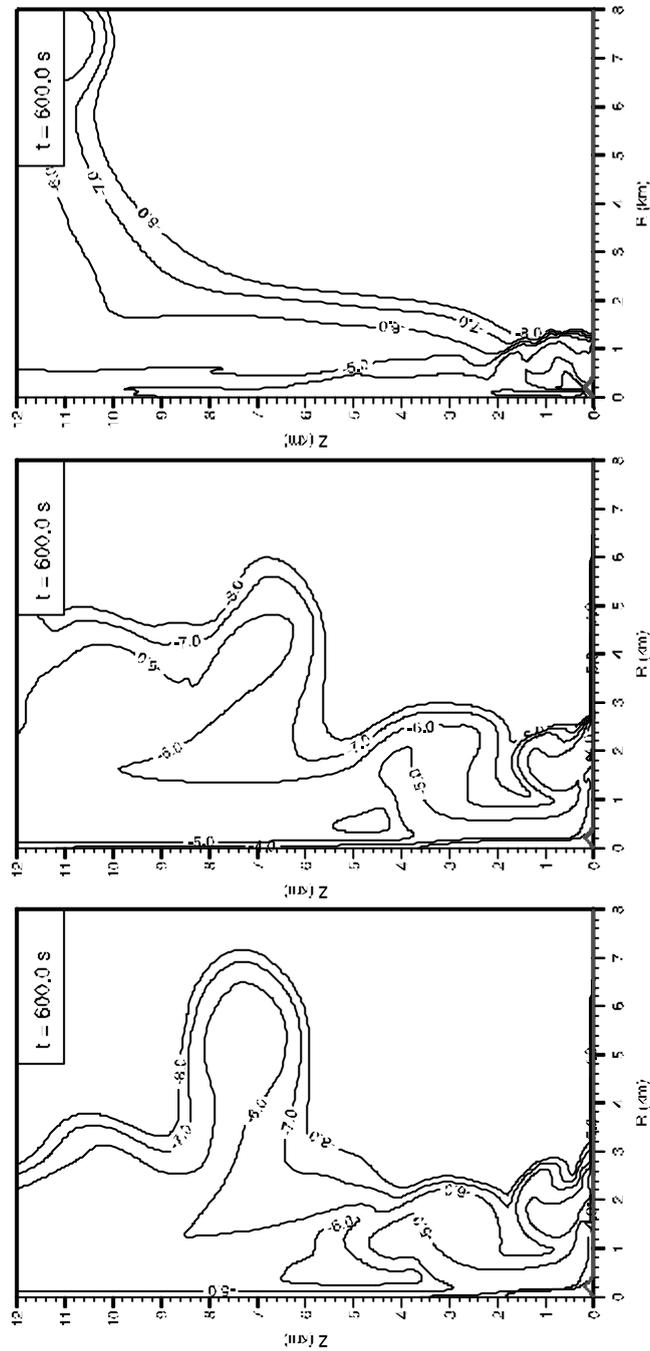


Figura 1. Distribuzione della frazione volumetrica di particelle a 600s per tre simulazioni con il 2 (sinistra), 4 (centro), e 6 (destra) % in peso di acqua nella miscela. L'intensità dell'eruzione è di 2.5×10^7 kg/s in tutti i casi. I valori delle isolinee rappresentano il logaritmo in base 10 della frazione volumetrica di particelle piroclastiche.

DIVULGAZIONE DELLA VULCANOLOGIA

Coordinatore scientifico del progetto
Roberto Scandone Prof. Associato
Dipartimento di Fisica, Università Roma Tre

Partecipanti al progetto

UR#	AFFERENZA	RESPONSABILE
1	Dip. Fisica, Roma Tre	R. Scandone

OBIETTIVI GENERALI

- TASK 1 - Metodologie didattiche standard
- TASK 2 - Metodologie didattiche informatiche

TASK 1 - Metodologie didattiche standard

Responsabile scientifico G. Pasquaré

- Depliant illustrativi delle caratteristiche vulcanologiche e geologiche di tutti i vulcani attivi italiani.
- Sperimentazione di cartografia geologica divulgativa delle aree vulcaniche ed in particolare per l'ETNA. Si pensa di avviare la realizzazione di una carta geologica, opportunamente compilata a fini educativi, per diffondere la conoscenza della fisionomia geologica del territorio a tutti i livelli di apprendimento.

OBIETTIVI I ANNO

depliant illustrativo Etna, Vulcano

RISULTATI I ANNO

2 Depliant Illustrativi ETNA su le caratteristiche generali del vulcano ed il sistema di sorveglianza; entrambi in formato PDF distribuiti attraverso il server della didattica del Gruppo

PRODOTTI DELLA RICERCA

- 2 Depliant in formato PDF

TASK 2 (metodologie didattiche informatiche)

Responsabile scientifico R.Scandone

La schema generale prevede queste voci:

- Pagina indice della didattica sui vulcani italiani.
- Note introduttive di vulcanologia
- Le aree vulcaniche italiane (mappa sensibile)
- L'area vulcanica romana
- L'area vulcanica campana
- Le Eolie

- L'Etna
- I vulcani del canale di Sicilia

OBIETTIVI I ANNO

anno: Pagine Web Etna, Vulcano; inizio servizio:"Chiedi al vulcanologo"

RISULTATI I ANNO

- Pagine Web Etna, Vulcano
- Rassegna Stampa sulla vulcanologia in Italia

PRODOTTI DELLA RICERCA

Pagina Web su didattica della vulcanologia

<http://vulcan.fis.uniroma3.it/GNV/index.html>

COMMENTO SUI RISULTATI DEL PRIMO ANNO

Nel primo anno del progetto il sito ha ricevuto il contatto con oltre 60000 differenti IP (macchine differenti) ed ha fornito un complesso di oltre 20000 MB di informazione. I risultati del primo anno mostrano come maggiormente promettente per lo sviluppo di questo progetto il concentrarsi sullo sviluppo internet della divulgazione in quanto esistono oggettive difficoltà alla produzione e divulgazione di depliant cartacei . Tale distribuzione risulta nel migliore dei casi episodica e ristretta ad aree geografiche determinate. Ci sembra quindi più opportuno che questo aspetto venga delegato alle strutture di base locali (Centri di Informazione di Vulcano e Stromboli, Poseidon, Osservatorio Vesuviano). Per quanto riguarda l'attivazione del servizio di richiesta di informazioni al vulcanologo, il progetto risulta deficitario di personale da dedicare esclusivamente a questa mansione, in quanto specie in momenti di crisi, il server risulta letteralmente inondato dalle richieste. Abbiamo preferito garantire una certa dose di informazione fornendo un servizio di rassegna stampa con informazioni controllate per ciò che riguarda l'attendibilità ed eventualmente commentate. Sarebbe tuttavia opportuno stabilire un collegamento con le agenzie di controllo INGV etc. per garantire anche un'informazione diretta in caso di crisi.

Da un punto di vista informatico è nostra intenzione, sulla base dell'esperienza di questo periodo realizzare depliant informativi-divulgativi in formato pdf che oltre ad essere più economici permettono una diffusione non-episodica, e su scala nazionale. Questa diffusione accompagna quella avviata di consultazione della pagina Web.

Per quanto riguarda la Pagina sulla didattica, è stata realizzata la struttura generale con l'indice che al momento comprende i più importanti vulcani italiani.

Nel prossimo anno ci ripromettiamo di implementare in modo particolare oltre agli obiettivi proposti anche piccole animazioni o video su fenomeni vulcanici.