

Estratto dalla Relazione del Gruppo di Lavoro GNV-DPC

Suggerimenti per il Programma Quadro 2004-06

Relazione finale, Aprile 2004

A. Obiettivi prioritari e articolazione delle ricerche

L'obiettivo prioritario del Secondo Programma Quadro (PQ) del GNV è quello di giungere ad una più precisa definizione della pericolosità e rischio per tutte le aree vulcaniche attive o potenzialmente tali presenti sul territorio nazionale, e per le aree che presentano un significativo degassamento diffuso dal suolo. Per il raggiungimento di tale obiettivo, il PQ prevede che le ricerche vulcanologiche vengano incentrate sui singoli vulcani attivi italiani, e portino al miglioramento delle conoscenze su pericolosità e rischio, e della capacità di preannuncio di eventi pericolosi.

L'esperienza legata alla recente crisi presso l'isola di Panarea nel novembre 2002 suggerisce la necessità che i principali vulcani attivi o potenzialmente tali vengano inclusi nelle attività di ricerca del GNV, al fine di disporre delle conoscenze di base necessarie per la valutazione e l'interpretazione dell'eventuale insorgenza di fenomeni anomali.

Ciascun progetto dovrà essere incentrato su una delle seguenti aree:

- Campi Flegrei
- Vesuvio
- Stromboli
- Etna
- Colli Albani
- Vulcano
- Panarea
- Lipari
- Ischia
- Pantelleria
- Vulcani sottomarini del Canale di Sicilia

Le ricerche da perseguire presso ciascuno dei vulcani attivi di cui sopra si articoleranno sulle seguenti quattro tematiche principali, che rappresentano un processo logico e conoscitivo consequenziale e che sono costituite da:

1. Definizione dello stato attuale del vulcano
2. Studio dei precursori e stima della probabilità di accadimento delle fenomenologie vulcaniche
3. Definizione degli scenari, e stima della pericolosità
4. Valutazione della vulnerabilità, stima e mitigazione del rischio (**aggiunta**: non previsto nel Programma 2004-06)

Le ricerche rivolte a ciascun vulcano attivo, e articolate secondo le tematiche sopra elencate, devono per quanto possibile mirare alla quantificazione dello stato del vulcano e delle fenomenologie attese, ed essere finalizzate alla produzione di risultati utili ai fini della Protezione Civile. Sulle prime sei aree (Campi Flegrei, Vesuvio, Stromboli, Etna, Colli Albani, Vulcano) il

progetto esecutivo GNV dovrà comprendere uno studio completo secondo le tematiche sopra indicate.

Una seconda area di ricerca è costituita dalla seguente:

- Ideazione, sperimentazione e applicazione di tecniche innovative per lo studio dei vulcani attivi

Infine, una terza area di ricerca è costituita da:

- Degassamento diffuso in Italia

Tale ricerca riveste un notevole interesse scientifico e ai fini di Protezione Civile, come risulta evidente dai frequenti episodi di emissioni gassose verificatisi in aree vulcaniche e non.

Le ricerche da perseguire relativamente allo studio del degassamento diffuso in Italia saranno articolate sulle seguenti tematiche:

1. Identificazione e caratterizzazione delle emanazioni gassose, e relazioni con l'ambiente geodinamico, strutturale e idrogeologico
2. Definizione degli scenari, e stima della pericolosità
3. Valutazione della vulnerabilità, stima e mitigazione del rischio

Un aspetto di fondamentale importanza che riguarda le ricerche all'interno di ciascuna area di ricerca sopra elencate consiste nella necessità di fornire stime dell'incertezza associata a ciascun tipo di misura, valutazione, calcolo, eccetera. La conoscenza delle incertezze è indispensabile per confrontare risultati ottenuti da gruppi di ricercatori diversi o attraverso diverse tecniche, per definire il livello delle conoscenze, per valutare la variabilità nei processi e nelle dinamiche, e infine per favorire una valutazione probabilistica della pericolosità e del rischio.

B. Attività relative ai singoli vulcani o aree vulcaniche

1. Definizione dello stato attuale del vulcano

La definizione dello stato attuale di un vulcano implica indagini multidisciplinari volte a definire in modo quantitativo il sistema di alimentazione, la struttura dell'edificio vulcanico e della litosfera sottostante, e l'assetto idrogeologico e geotermico.

Le domande fondamentali cui dare una risposta per ciascun vulcano comprendono: esistono una o più camere magmatiche? Dove sono localizzate? Che geometria e dimensioni hanno? Qual è la composizione del magma coinvolto, in particolare in relazione ai componenti volatili? Esiste un sistema geotermico associato alle zone di stazionamento del magma, quali condizioni lo caratterizzano, e quali sono le interazioni con il sistema magmatico? Esistono acquiferi profondi, e che volumi di fluidi coinvolgono? Esistono zone preferenziali di risalita e stazionamento dei magmi? Quali sono le aree di maggiore probabilità di apertura di fratture e/o bocche eruttive? Qual è lo stato meccanico dell'edificio vulcanico in relazione alla stabilità della struttura? Quali sono le relazioni tra stato attuale del vulcano e fenomeni pre-eruttivi, precursori osservabili, scala e tipo delle eruzioni?

1.1 Sistema di alimentazione

La localizzazione ed evoluzione nello spazio e nel tempo della zona sorgente determina il tipo e i volumi dei magmi primari disponibili per i processi evolutivi che portano alla formazione di camere magmatiche o all'arrivo in superficie di magmi poco differenziati. Variazioni nel tempo della zona sorgente corrispondono alla genesi ed accumulo in zone più superficiali di magmi diversi e quindi in grado di generare fenomenologie diverse. In particolare, il tipo e la quantità di specie volatili esercita un importante controllo sulle proprietà fisiche del magma e sulla sua evoluzione composizionale. A sua volta, queste proprietà influenzano la capacità dei magmi di risalire rapidamente verso la superficie terrestre, o di stazionare all'interno della litosfera determinando la formazione di camere magmatiche. La localizzazione, le dimensioni e la geometria di tali regioni di accumulo del magma, e la loro variabilità nel tempo, costituiscono un insieme di conoscenze fondamentali per predisporre e ottimizzare le tecniche di monitoraggio, per formulare ipotesi sullo stato attuale del magma, e per contribuire alla definizione degli scenari pre-eruttivi ed eruttivi.

1.2 Struttura dell'edificio e della litosfera sottostante

Le zone dove si concentra la risalita del magma e dove è più frequente l'apertura di bocche eruttive sono il risultato di una interazione complessa tra strutture geologiche regionali, strettamente connesse alla tettonica, ed elementi locali legati alla crescita ed alla stabilità dell'edificio vulcanico. Oltre all'assetto geodinamico, gioca un ruolo fondamentale la conoscenza dettagliata della natura della litosfera, della sua complessità, della localizzazione e del rango delle eterogeneità strutturali ad essa associate, e dei lineamenti morfologici e strutturali dell'edificio vulcanico, comprese le eventuali parti sommerse. Tali caratteristiche controllano la distribuzione delle porzioni dell'edificio vulcanico strutturalmente deboli e soggette a collassi.

La conoscenza della struttura della crosta terrestre al di sotto delle aree vulcaniche è fondamentale per la localizzazione degli ipocentri dei terremoti, e l'interpretazione della loro distribuzione spaziale e temporale. E' necessario inoltre conoscere la distribuzione dei parametri fisici e delle caratteristiche meccaniche delle rocce del vulcano e del sottosuolo. Tali distribuzioni sono cruciali per la modellizzazione e interpretazione dell'insieme dei segnali geofisici e geochimici registrati.

1.3 Assetto idrogeologico e sistema geotermico

Le caratteristiche chimico-fisiche dei fluidi rilasciati in superficie risentono in maniera rilevante dell'assetto idrogeologico, e in particolare della eventuale presenza di un sistema geotermico. E' necessario studiare l'insieme dei meccanismi di trasporto della massa e dell'energia che determinano il trasferimento di fluidi e calore dalle regioni profonde del sistema vulcanico verso la superficie. La conoscenza di tali meccanismi, insieme alla caratterizzazione degli acquiferi e del sistema geotermico in termini di localizzazione, estensione, condizioni fisiche, natura e composizione delle fasi presenti, è necessaria per l'interpretazione dei segnali geochimici, deformativi e sismici osservati. La presenza di un sistema geotermico può inoltre essere associata a fenomeni pericolosi quali esplosioni freatiche. L'interazione tra magma e masse di fluidi può portare al verificarsi di esplosioni idromagmatiche o freatomagmatiche con conseguenze rilevanti sugli scenari eruttivi.

2. Studio dei precursori e stima della probabilità di accadimento delle fenomenologie vulcaniche

Lo studio dei fenomeni precursori si articola nella identificazione, quantificazione e modellizzazione dei fenomeni precursori e dei processi fisici e chimici che li generano. Un aspetto

di particolare rilevanza e interesse ai fini del Programma Quadro è rappresentato dallo sviluppo di ricerche volte all'identificazione di eventuali relazioni tra fenomeni precursori e tipologia e scala degli eventi attesi. Sebbene le attività di gestione e potenziamento del monitoraggio non siano previste all'interno del PQ essendo queste contemplate in un'altra sezione della convenzione INGV – Protezione Civile, i dati raccolti da tali attività sono di grande rilevanza ai fini del conseguimento dei risultati all'interno della presente tematica.

Le domande fondamentali cui dare una risposta per ciascun vulcano comprendono: qual è il livello di riferimento che costituisce il background del vulcano? Quali sono le associazioni di segnali che costituiscono precursori a lungo, medio e breve termine? Qual è la relazione tra precursori e probabilità di accadimento dell'evento? Quali sono le relazioni tra fenomeni osservabili e processi che avvengono in profondità? Esiste una relazione tra precursori e tipologia/scala degli eventi eruttivi?

2.1 Identificazione e quantificazione dei fenomeni precursori

Il punto di partenza per il riconoscimento di segnali anomali da parte di un vulcano è costituito dalla definizione del livello di riferimento che costituisce il background del vulcano. Tale definizione è strettamente vincolata al livello delle conoscenze sullo stato del vulcano, al record storico dei fenomeni osservati e al livello del monitoraggio geologico, geofisico e geochimico nella specifica area vulcanica. L'identificazione delle associazioni di segnali precursori può avvenire attraverso osservazioni e modelli fenomenologici, modelli fisici di processi pre-eruttivi, e/o modelli stocastici di comportamento di sistemi complessi. In questo ambito è di grande utilità la costruzione di banche dati multiparametriche contenenti osservazioni di unrest anche su vulcani a comportamento simile. L'analisi statistico/matematica di tale mole di dati è essenziale per l'identificazione dei fenomeni precursori e per la fisica dei processi pre-eruttivi. In ogni caso l'identificazione dei precursori deve essere sottoposta a procedure di validazione statistica sul vulcano in oggetto quando il record storico è sufficiente, altrimenti su vulcani con comportamento simile. All'identificazione e quantificazione dei fenomeni precursori dovrebbe seguire la stima della probabilità di accadimento di diversi eventi su diverse scale temporali.

2.2 Modellizzazione fisica e simulazione numerica dei processi pre-eruttivi

La comprensione delle fenomenologie osservate durante fasi di unrest richiede la modellizzazione fisica dei processi pre-eruttivi, e la soluzione numerica dei sistemi di equazioni che descrivono tali processi. Il punto di partenza per tali simulazioni è costituito dalla conoscenza dello stato del vulcano. Sulla base di tale conoscenza, le simulazioni permettono di riconoscere associazioni tra fenomenologie osservate e possibili processi che le hanno prodotte. A questo proposito, particolare rilevanza assume l'interazione tra i processi che caratterizzano i diversi domini del sistema vulcanico, quali la camera magmatica, le rocce circostanti e soprastanti, il condotto eruttivo e/o il sistema di dicchi, il sistema geotermico. Il modello ottimale prevede quindi l'accoppiamento tra i processi che avvengono nei vari domini, al fine di ottenere un quadro consistente dei processi pre-eruttivi e delle fenomenologie connesse e osservabili, e quindi una migliore identificazione di possibili precursori.

2.3 Stima della tipologia e scala degli eventi attesi

Un aspetto di grande rilevanza ai fini delle problematiche di Protezione Civile è costituito dal riconoscimento di una possibile relazione tra fenomeni precursori e scala e tipologia delle fenomenologie eruttive attese. Allo stato attuale delle conoscenze non è possibile concludere che una tale relazione esista, essendo molti i casi in cui precursori simili hanno preceduto eruzioni di taglia e caratteristiche significativamente diverse. Tuttavia, il generale scarso livello delle

conoscenze sui fenomeni precursori e la rilevanza dell'argomento suggeriscono che il tema sia oggetto di ricerche specifiche.

3. Definizione degli scenari, e stima della pericolosità

Per scenario eruttivo si intende qui la successione di eventi e la distribuzione spazio-temporale delle quantità fisiche caratterizzanti le fenomenologie eruttive. Quando gli scenari sono definiti su base probabilistica, ne discende la definizione della pericolosità vulcanica. A sua volta la pericolosità è definita come la probabilità di accadimento di un evento pericoloso in un dato intervallo spazio-temporale. La definizione degli scenari si basa sulla ricostruzione dei depositi da eruzioni passate, sull'identificazione della tipologia e scala delle fenomenologie attese, e sulla simulazione fisico-matematica dei processi fisici caratterizzanti tali fenomenologie.

Le domande fondamentali cui dare una risposta per ciascun vulcano comprendono: Quali sono i fattori che determinano il verificarsi di fenomenologie diverse e governano le transizioni di stile eruttivo? Quali sono le aree interessate da ciascun tipo di fenomenologia? Qual è la distribuzione spazio-temporale delle quantità fisiche caratterizzanti ciascuna fenomenologia? Quanto pesano le incertezze nella definizione delle condizioni iniziali e al contorno sulle dinamiche simulate? Qual è la probabilità associata ai possibili scenari per la prossima eruzione? Come le osservazioni in tempo reale possono modificare gli scenari eruttivi e le mappe di pericolosità?

3.1 Studio dei depositi vulcanici e ricostruzione della storia eruttiva

La definizione quantitativa delle caratteristiche dei depositi vulcanici è essenziale per l'identificazione delle fenomenologie attese, e fornisce indicazioni sulla successione di eventi durante le eruzioni passate e sulla distribuzione spaziale dei depositi associati alle diverse fenomenologie. Tali informazioni sono inoltre necessarie per la simulazione di eventi passati, al fine di validare i modelli fisico-numeriche di eventi eruttivi o sin-eruttivi.

La ricostruzione della storia eruttiva del vulcano deve mirare alla determinazione delle quantità rilevanti ai fini della definizione degli scenari eruttivi e della pericolosità vulcanica, quali l'intensità e la magnitudo associate alle varie fasi eruttive, i tempi di riposo tra le diverse eruzioni, le aree coinvolte da fenomenologie diverse, la composizione dei magmi eruttati, eccetera. Di particolare rilevanza è la definizione delle quantità e tipo di specie volatili coinvolte nelle varie fasi eruttive. Inoltre, gli studi sui depositi permettono il riconoscimento e la caratterizzazione di fenomenologie rilevanti per la definizione dei processi eruttivi e pre-eruttivi e degli stili eruttivi associati, quali ad esempio mescolamenti tra magmi diversi, svuotamenti parziali o totali di camere magmatiche, collassi della struttura o dell'edificio vulcanico, interazione magma-acqua, eccetera.

3.2 Stima della probabilità associata alla scala e tipologia delle fenomenologie attese

La stima della probabilità associata alla scala e tipologia delle fenomenologie attese si basa su leggi statistiche che integrano le conoscenze sulla storia e comportamento del vulcano (e vulcani a comportamento simile) e sul suo stato attuale, con le leggi fisiche che governano il verificarsi di determinate fenomenologie, e con le indicazioni derivanti dai fenomeni precursori osservati.

3.3 Simulazione dei processi sin- e post-eruttivi

La descrizione della distribuzione spazio-temporale delle quantità fisiche caratterizzanti le fenomenologie attese si basa sulla modellizzazione fisico-matematica e simulazione numerica dei processi sin- e post-eruttivi. Le ricerche potranno anche riguardare fenomenologie connesse all'instabilità dell'edificio vulcanico (frane e maremoti) in relazione o non all'attività eruttiva. A loro volta le simulazioni necessitano della definizione delle condizioni iniziali e al contorno

derivanti dagli studi di cui ai punti precedenti, e volti a ricostruire la storia passata e lo stato attuale di un vulcano, e le variazioni cui si accompagnano i fenomeni precursori. L'accoppiamento di modelli che descrivono fenomenologie tra loro interdipendenti (ad esempio processi a scala diversa o in diversi domini quali la camera magmatica, il condotto di risalita, l'atmosfera, il sistema geotermico e le rocce) permette la simulazione dei processi eruttivi a scala globale. La conoscenza delle proprietà chimiche e fisiche dei magmi e delle rocce rappresenta una condizione necessaria per la simulazione dei processi eruttivi. Misure ed esperimenti di laboratorio volti alla parametrizzazione delle proprietà, definizione degli equilibri di fase, studio di processi quali nucleazione e crescita di fasi, frammentazione dei magmi, fluidizzazione di miscele gas-particelle, accelerazione all'interno di shock tubes, eccetera, forniscono conoscenze centrali per la simulazione dei processi eruttivi e per la validazione dei codici. Studi di sensibilità attraverso i codici numerici permettono la definizione del ruolo dei vari parametri coinvolti (ad es., il contenuto in volatili), fornendo indicazioni sul peso delle incertezze negli scenari e nelle dinamiche simulate. Infine, l'utilizzo dei modelli fisico-matematici permette lo studio dei fattori che determinano il verificarsi di transizioni di stile eruttivo, quali ad esempio il passaggio da fasi effusive a fasi esplosive di una eruzione, o il passaggio da fasi di colonna eruttiva sostenuta a produzione di flussi piroclastici, fornendo indicazioni sui parametri critici che è necessario valutare con maggiore accuratezza ai fini della definizione degli scenari eruttivi.

Durante fasi di unrest e fasi eruttive, è di importanza cruciale poter effettuare previsioni in tempo reale, adattandole ai parametri osservati. A tale scopo è importante sviluppare anche codici di calcolo rapidi, che riproducano le fenomenologie eruttive cogliendone le dinamiche generali pur con un grado di accuratezza minore rispetto ai codici più sofisticati. Tali codici semplificati devono comunque essere preventivamente calibrati e validati, al fine di determinarne l'effettiva possibilità di utilizzo a scopi previsionali.

3.4 Stima della pericolosità

La combinazione tra la definizione dello stato del vulcano, le probabilità associate al verificarsi di eventi eruttivi di diversa scala e coinvolgenti diverse fenomenologie sin-post eruttive, la ricostruzione della storia eruttiva, le informazioni provenienti dai precursori, e i risultati delle simulazioni fisico-matematiche, consente di giungere alla definizione probabilistica della pericolosità vulcanica. La pericolosità vulcanica non viene quindi più riferita, come in passato, ad un singolo scenario atteso (ad esempio, il massimo evento atteso), ma ad una serie di possibili scenari, ciascuno associato ad una probabilità di accadimento. Mappe di pericolosità tematiche rappresentano il territorio suddiviso in aree a diversa probabilità di accadimento di un determinato fenomeno pericoloso (p. es., invasione da parte di flussi piroclastici, lahar, onde di maremoto, collassi parziali della struttura vulcanica, produzione di elevate quantità di gas, o ancora più nel dettaglio, invasione da parte di flussi piroclastici con concentrazione delle ceneri o con pressione dinamica superiore a determinate soglie). La definizione della pericolosità vulcanica su base probabilistica consente di tenere conto delle incertezze relative al comportamento complesso dei vulcani e alla parziale conoscenza del sistema vulcanico.

C. Ideazione, sperimentazione e applicazione di tecniche innovative per lo studio dei vulcani attivi

Un aspetto di grande rilievo è costituito dalle ricerche volte alla ideazione e sperimentazione di nuove strumentazioni e nuove tecnologie per il monitoraggio dei vulcani attivi e per lo studio dei processi vulcanici pre-, sin- e post-eruttivi. Le innovazioni tecnologiche di interesse prioritario devono affrontare i seguenti aspetti:

- Sviluppo di tecnologie per la misura in continuo di parametri fisici o chimici finora non monitorati o monitorati con approccio discontinuo, anche confrontando i risultati ottenuti con tecniche diverse
- Miglioramento della qualità dei dati acquisiti con le tecniche e strumentazioni attualmente in routine
- Ideazione, progettazione e sperimentazione di prototipi di strumenti per l'ottenimento di set di dati multiparametrici con teletrasmissione in automatico dei dati, in ambienti anche ostili
- Ideazione e sperimentazione di tecniche e sensori per il monitoraggio remoto, anche satellitare
- Sviluppo e sperimentazione di codici di calcolo innovativi per la simulazione dei processi vulcanici pre-, sin- e post-eruttivi, con particolare riferimento a sistemi transienti, multidimensionali, multifase e multicomponente, e accoppiamento di dinamiche in domini diversi (camere magmatiche, condotti vulcanici, rocce circostanti, sistema geotermico/idrotermale, atmosfera)
- Applicazione di tecniche innovative per lo studio dei vulcani

D. Attività relative al degassamento diffuso in Italia

Su richiesta del Dip.to della Protezione Civile, le ricerche relative al degassamento diffuso saranno oggetto di un progetto-stralcio specifico e di una contrattazione diretta con i ricercatori interessati. Pertanto si include questa voce all'interno del PQ solo ai fini del coordinamento effettuato da parte del GNV.

Le UR che all'interno di tale progetto saranno impegnate in aree vulcaniche attive, saranno tenute a mettere a disposizione dei progetti sulle medesime aree vulcaniche tutte le informazioni scientifiche acquisite ed a partecipare alle relative attività di coordinamento scientifico. Per contro, i proponenti dei progetti sulle singole aree vulcaniche dovranno tenere conto nella formulazione della proposta di progetto e nello svolgimento dello stesso, delle ricerche attivate all'interno del progetto "Degassamento diffuso in Italia".

1. Identificazione e caratterizzazione delle emanazioni gassose, e relazioni con l'ambiente geodinamico, strutturale e idrogeologico

Il degassamento diffuso dal suolo coinvolge vaste aree del territorio nazionale, comprendenti vulcani attivi, vulcani estinti, aree geotermiche, e aree non vulcaniche. Le domande fondamentali cui dare una risposta comprendono: quali sono e come sono distribuite le aree caratterizzate da emanazioni gassose dal suolo a livelli potenzialmente pericolosi? Quali sono i flussi di gas? Qual è la composizione dei gas emessi, in particolare la concentrazione di componenti dannosi per l'uomo e l'ambiente? Qual è l'origine di tali gas, e quali sono le relazioni con l'ambiente geodinamico e strutturale alla scala locale e regionale, e le relazioni con le condizioni idrogeologiche e ambientali locali? Quali sono le relazioni con altri tipi di fenomenologie naturali osservate nelle stesse aree, in particolare con la sismicità?

2. Definizione degli scenari, e stima della pericolosità

L'entità del degassamento e l'accumulo di gas dipende da numerosi fattori che è necessario investigare al fine di valutare la pericolosità associata. Le domande fondamentali cui dare una risposta comprendono: quali fattori controllano le variazioni dei tassi di degassamento e della composizione delle emanazioni gassose? Quali sono le variazioni spazio-temporali della concentrazione dei gas in aria, nel terreno, e nelle falde acquifere, e da quali fattori dipendono tali variazioni?

3. Valutazione della vulnerabilità, stima e mitigazione del rischio

La valutazione della vulnerabilità riguarda gli effetti del degassamento diffuso sull'uomo e sull'ambiente. La definizione del rischio segue dalla definizione della pericolosità, vulnerabilità, e valore. In questo caso, l'unico valore preso in considerazione è quello legato alla densità di popolazione e di animali. Anche in questo caso, l'utilizzo di tecnologie GIS permette notevoli benefici nella gestione delle informazioni. Le domande fondamentali cui dare una risposta comprendono: quali sono le soglie di concentrazione dei vari componenti presenti nelle emanazioni gassose, dannose per uomini e animali (vedi punto 4.1)? Quali sono le misure precauzionali, i vincoli nell'uso del territorio e gli interventi strutturali o non strutturali da raccomandare per diminuire la vulnerabilità?