

analisi di rapporti isotopici dello zolfo, carbonio e analisi ^{14}C nei fluidi per stabilirne origine ed età radiometrica. Analisi dei rapporti isotopici dei gas rari sono imminenti in collaborazione con il Centre des Recherches Petrographiques et geochemiques CRPG/CNRS, (France, Prof. B. Marty).

1.4 Altre collaborazioni in atto

E' in atto una collaborazione non ancora formalizzata con l' Istituto di Mineralogia e Petrografia e Geochemica dell' Università di Palermo, Prof. Sergio Hauser, per effettuare prospezioni nei gas del suolo e nelle acque di ^{222}Rn , CO_2 , Hg, H_2S , isotopi dello Zolfo e Carbonio e parametri ambientali e idrologici in un'area campione dell'Italia meridionale (Belice); non sono state ancora avviate campagne geochemiche in situ.

1.5 Progetti CEE approvati e finanziati (geochemica dei fluidi in diversi ambienti sismotettonici)

Il gruppo di geochemica dei fluidi dell' I.N.G. è integrato in progetti CEE recentemente approvati dalla Comunità Economica Europea, come segue:

- I.N.G. Associated Partner, per quel che riguarda il monitoraggio geochemico continuo e discreto in aree vulcaniche - in particolare nell' area Etnea - nel programma di ricerca Automatic Geochemical Monitoring in Volcanic Risk Areas, sottoprogetto Remote control of pre-eruptive magmatic gas inputs at Etna from monitoring of groundwaters and soil emanation at selected sites, con main coordinator e sottocapo-progetto: Dott. Patrick Allard (Centres des Faibles Radioactivities, CNRS-CEA, Gif Sur Yvette, Paris) e collaborazione con l' IMPG Palermo (Dott. F. Parello), CEA-IPSN/SERAC, CEN-Saclay (Dott. J.C. Sabroux), LIC, Univ. Savoie (Dott. M. Halbwachs), Ecole Electrochimie (Dott. C. Vitter). Tale progetto è stato approvato e finanziato nell' ambito del Program Environmental - Climate, (Volcanic Risk) 1995 (PL 951349, durata 3 anni).

- I.N.G. Associated Partner, per quel che riguarda il monitoraggio geochemico continuo e discreto in aree sismicamente attive e non della Grecia-Italia e United Kingdom - nel programma di ricerca Geochemical Seismic Zonation, con main coordinator: Prof. Salvatore Lombardi (Università "La Sapienza" di Roma), in collaborazione con università e centri di ricerca inglesi, francesi greci ed italiani (Thessaloniki University (AUT), CNRS - Nancy (CRG), University of Exeter (ERC), Università di Torino (UDT), ENEA AMB-SAF-MET (ASM), III Università di Roma (TUR)). Tale progetto è stato approvato e finanziato nell'ambito del Program Environmental -Climate, (Seismic Risk) 1995 (PL 950124, durata 3 anni).

- I.N.G. Main-Coordinator, nel programma di ricerca GEOSTAR (GEophysical and Oceanographic STation for Abyssal Research), che ha oltre l' I.N.G. come capo-progetto, collaborazioni internazionali quali: IGM-CNR di Bologna, COM-Marseille, Versuchsanstalt fur Wasserbau und Schiffbau (VWS), ORCA Instrumentation (ORC), , Ifremer-France (IFR), Wolfson Sensor Group - University of New-Castle Upon Tyne (WSG), Tecnomare S.p.A. (TEC). Tale progetto è stato approvato e finanziato nell' ambito del MASTIII 1995 (PL 950082, durata 3 anni).

2. Laboratorio di Telerilevamento

Il Laboratorio di Telerilevamento dell'Istituto Nazionale di Geofisica è stato istituito nel 1990 con l'obiettivo di svolgere ricerca applicata nel campo delle Scienze della Terra impiegando le tecniche di rilevamento remoto con sensori spaziali ed aerotrasportati.

Con il tempo le competenze del Laboratorio si sono estese anche all'impiego dei Sistemi Informativi Geografici (GIS) per la gestione di dati territoriali.

2.1 Sperimentazione di nuovi sensori aerotrasportati

Nel 1995 è stata affrontata la problematica delle correzioni atmosferiche dei dati del sensore MIVIS (Multispectral Infrared Visible Imaging Spectrometer - del CNR Progetto L.A.R.A.) acquisiti da aereo sui vulcani dell'Italia Meridionale nel 1994. La completa campagna di misure atmosferiche e meteorologiche eseguita durante i voli ha fornito i dati necessari per la utilizzazione dei modelli di propagazione atmosferica (LOWTRAN e MODTRAN). Questi modelli sono stati impiegati per ricavare dai dati di radianza la riflettanza/emissività al suolo. Sono state eseguite delle analisi sul rapporto segnale/rumore dei vari sensori e sono stati confrontati in un'applicazione sullo Stretto di Messina due metodi di correzione atmosferica.

Le ricerche menzionate sono state svolte in collaborazione con il JPL, Pasadena, CA; l'Osservatorio Geofisico di Modena; l'IROE-CNR di Firenze; il CNR - Progetto L.A.R.A.

2.2 Librerie spettrali

La risposta spettrale dei materiali geologici rappresenta la chiave per l'individuazione degli stessi nelle immagini multispettrali telerilevate. La creazione di un archivio di spettri di riflettanza ed emissività consente di eseguire un'analisi deterministica delle immagini, impiegando tecniche per determinare la composizione litologica di ogni pixel. Nel '95 si è completata la definizione della struttura dell'archivio di dati spettrali, della tipologia dei dati ancillari, delle procedure di misura. Sono state eseguite alcune decine di misure in situ ed in laboratorio alle quali si sono aggiunte le analisi di validazione sui campioni rocciosi (fluorescenza, diffrazione, calcimetria). Nell'ambito del Programma Nazionale di Ricerche in Antartide, per la costituzione della libreria spettrale di litotipi antartici è stato inviato un ricercatore presso la base italiana a Baia Terra Nova per l'esecuzione di misure in situ e campionamenti.

2.3 Studio delle deformazioni crostali

Sono continuati gli studi volti all'individuazione di strutture morfotettoniche attive regionali con l'impiego di dati telerilevati da satellite nelle aree dell'Abruzzo, Albania e Algeria Centrale. Sono state acquisite immagini LANDSAT multispettrali che sono state, dove possibile, elaborate congiuntamente ai dati orografici digitali dell'IGM, per creare dei Modelli Digitali delle Altezze. Le immagini sono state fotorestituite su pellicola e carta fotografica e sono state ottenute delle stereocoppie sintetiche che sono state parzialmente fotointerpretate. Sono state prodotte delle carte

fotointerpretative delle strutture morfotettoniche regionali sulla base delle quali sono stati eseguiti i primi controlli di campagna alla scala locale.

Questi studi vengono svolti in collaborazione con: Università di Roma III, US Geological Survey, CRAAG-Algeri, Università di Tirana.

2.4 Telerilevamento dei vulcani dell'Etna e delle Isole Eolie

Il progetto prevede l'impiego di dati telerilevati da aereo nel visibile ed infrarosso vicino e termico e nelle microonde, per stimare dei parametri chimico-fisici importanti ai fini della previsione del rischio vulcanico. Gli obiettivi specifici del progetto sono la mappatura delle emissioni di SO_2 nei gas vulcanici, la cartografia geologico-strutturale, lo studio delle anomalie termiche ed il calcolo del bilancio termico pluriennale dell'Etna. E' stata digitalizzata l'orografia 1:10000 ed è stato prodotto un Modello Digitale delle Altezze con risoluzione di 10 metri. Le immagini telerilevate acquisite nelle campagne di volo del 1994 sono state georeferenziate sulla base di detto DEM. Sono stati calibrati i dati di radianza ed emissività e i dati radar ed è iniziata l'analisi dei dati di riflettanza.

Questi studi sono condotti in collaborazione con l'IIV di Catania, il JPL-NASA di Pasadena, CA, l'OGUM di Modena, il GNV, la Open University, il CNR - Progetto LARA, il Dipartimento di Elettronica della Facoltà di Ingegneria di Roma I.

3. Reologia dei magmi

Sono in corso di realizzazione i seguenti progetti di ricerca:

1) "Reologia dei magmi e delle rocce in ambiente vulcanico", 2) "Deformazione dei rilievi montuosi e vulcanici, con implicazioni sulla pericolosità" e 3) "Modellizzazione del trasporto di massa, momento e specie chimiche negli acquiferi degli apparati vulcanici". Essi sono di seguito descritti.

3.1 Progetto sulla "Reologia dei magmi e delle rocce in ambiente vulcanico"

Il progetto è coordinato dal Laboratorio di Geologia Sperimentale ed è in collaborazione con l'Istituto Internazionale di Vulcanologia (Dott. Mauro Coltelli e Dott. Massimo Pompilio) e la University of California at Santa Barbara (Prof. F. Spera e Dr. D. Stein).

La conoscenza della reologia dei fluidi vulcanici polifasici è di fondamentale importanza per l'analisi della deformazione dei fluidi di interesse geologico, quali i magmi e le sospensioni detritiche. Essa occupa un ruolo di primaria importanza sia nel calcolo della pericolosità di un evento vulcanico che nel calcolo della vulnerabilità dei valori soggetti a tale evento.

A questo fine la ricerca propone lo studio delle curve costitutive dei magmi sia a temperature superiori a quella del liquidus che a temperature corrispondenti all'intervallo di cristallizzazione. In particolare, in quest'ultimo intervallo di temperatura verrà studiata l'influenza sulla reologia delle fasi cristalline e della fase gassosa.

La proposta si articola in tre parti complementari:

1) reologia di laboratorio, che verrà eseguita nel Laboratorio di Reologia dell'Istituto Nazionale di Geofisica;

2) reologia di campagna, che sarà attuata sulle colate attive dell'Etna;

3) analisi chimica e petrografica di campioni provenienti dagli esperimenti di laboratorio e di campagna, che farà uso della strumentazione esistente all'Istituto Internazionale di Vulcanologia.

Ugualmente verranno analizzate le equazioni costitutive relative alle sospensioni detritiche che accompagnano i fenomeni vulcanici.

3.2 Progetto sulla "Deformazione dei rilievi montuosi e vulcanici, con implicazioni sulla pericolosità"

Il progetto é coordinato dal Laboratorio di Geologia Sperimentale ed é in collaborazione con La Terza Univ. degli Studi di Roma (Prof. R. Funiciello e Prof. D. de Rita), Univ. degli Studi di Catania (Prof. G. Tortorici), The Open University (Dr. B. van Wyk de Vries), Géosciences Rennes (Dr. O. Merle), Univ. degli Studi di Milano (Prof. G. Pasquare, Prof. L. Vezzoli e A. Tibaldi) e US Geological Survey (Dr. P. Delaney).

La definizione areale della pericolosità vulcanica, già basata unicamente sui prodotti eruttivi, sarà integrata da un'analisi di campo, sperimentale e teorica della dinamica deformativa ("creep") degli edifici vulcanici secondo le seguenti tematiche:

1) Rilevamento geologico: acquisizione di nuovi rilievi geologici da integrare a quelli già esistenti nei vari settori dei vulcani studiati.

2) Geologia regionale: miglioramento del quadro integrato delle conoscenze nel contorno dei vulcani e modellizzazione del "near and far field", allo scopo di comprendere l'influenza della tettonica regionale sull'attività vulcanica.

3) Geologia stratigrafica: definizione di pannelli di correlazione validi per l'areale degli apparati vulcanici e di unità geologiche a limiti inconformi, che consentano di evidenziare il tipo, l'entità e l'interrelazione tra attività tettonica e vulcanica ed i conseguenti stili eruttivi e deformativi.

4) Geologia strutturale: utilizzazione dei dati strutturali esistenti integrati da ulteriori studi puntuali di dettaglio per definire l'evoluzione dei campi di sforzo e deformazione passati ed attuali, al fine di inquadrare la dinamica deformativa degli edifici vulcanici e particolarmente del versante orientale.

5) Telerilevamento: elaborazione ed analisi di immagini telerilevate per l'individuazione dei fenomeni superficiali collegati all'attività vulcanica ed alla dinamica delle deformazioni degli edifici stessi; realizzazione del DEM della topografia e batimetria dei vulcani dove poter riportare tutti i dati e le informazioni tematiche relative alla pericolosità.

6) Modellistica: elaborazioni analitiche, analogiche e numeriche di modelli proposti "realistici" dei vulcani, preceduti da uno studio delle proprietà reologiche dei materiali che formano gli edifici.

7) Pericolosità: analisi e modellizzazione dell'evoluzione vulcanica per la quantificazione dei parametri di pericolosità.

Lo svolgimento del progetto prevede il completamento di cinque fasi principali:

- (a) unificazione delle metodologie di rilevamento;
- (b) raccolta dei dati esistenti e nuovi rilevamenti di campagna;
- (c) analisi ed interpretazione dei dati;
- (d) modellistica;
- (e) contributo alla valutazione della pericolosità.

Queste fasi saranno sviluppate sia sequenzialmente sia interdipendentemente allo scopo di pervenire ad una più accurata modellizzazione delle deformazioni in termini di attività e pericolosità vulcanica.

3.3 Progetto "Modellizzazione del trasporto di massa, momento e specie chimiche negli acquiferi degli apparati vulcanici"

Il progetto sviluppato in collaborazione con Univ. degli Studi di Palermo (Dott. F. Parello, coordinatore), Univ. degli Studi di Pisa (Dott.ssa M. Todesco), e Stanford University (Dott. M. Battaglia).

Il progetto prevede di elaborare un modello ad elementi finiti tridimensionale dell'acquifero dell'Etna. Per la definizione della geometria e della permeabilità dell'acquifero tale modello sarà basato su dati geologici, litologici e strutturali, già a disposizione dai rilevamenti passati. Le condizioni al contorno saranno le variazioni stagionali ed areali del drenaggio superficiale, della piovosità e dello scioglimento della neve a primavera.

I risultati del modello saranno la variazione spazio temporale dei livelli piezometrici delle varie falde libere ed in pressione, ed il campo delle velocità di flusso nell'acquifero ed i conseguenti tempi di permanenza dell'acqua lungo le varie linee di flusso.

L'utilità dei risultati riguarda la valutazione della provenienza e dei tempi di permanenza nell'edificio vulcanico dei traccianti geochimici e la stima della variazione micro-gravimetrica dovuta alla variazione del livello piezometrico della falda freatica. Infine, verrà valutata la pericolosità di inquinamento dell'acquifero a causa della attività vulcanica e si tenterà di porre le basi per la previsione delle eruzioni.

4. Laboratorio per le ricerche tecnologiche avanzate

4.1 Wood Anderson digitale

E' stato messo un sistema di digitalizzazione che permette l'acquisizione dei dati di un sismografo Wood-Anderson su un calcolatore. Il sistema basato su un laser a stato solido e su un sensore CCD lineare, utilizza un DSP per l'elaborazione dei dati del sensore, ed un PC per l'immagazzinaggio dei dati.

4.2 Sensori per il puntamento solare (progetto BOOMERANG)

Sono stati progettati e realizzati presso il laboratorio elettronico i sensori per il puntamento solare che serviranno per l'orientamento della navicella del progetto BOOMERANG. I due sensori, uno grossolano ed uno fine, permetteranno alla navicella di utilizzare il sole, sempre presente in navigazione stratosferica sul cielo dell'Antartide, per conoscere la posizione angolare. I due sistemi sono separati e progettati con tecniche diverse. Il sensore fine utilizza una telecamera CCD ed esamina l'immagine del Sole per determinarne il centro; è basato sull'uso di un processore. Il sistema grossolano è volutamente costruito in logica cablata, prediligendo l'affidabilità alla precisione.

4.3 Pendoli della Grotta Gigante per lo studio della maree terrestri.

E' in costruzione un sistema che permetterà la digitalizzazione delle oscillazioni dei pendoli della Grotta Gigante. Questo sistema permetterà di sostituire la registrazione su carta con una più moderna registrazione digitale. Il sistema, ormai quasi completamente assemblato, comprende un sistema elettro-ottico (analogo a quello sviluppato per il Wood-Anderson) per la digitalizzazione dei segnali, un GPS per la certificazione temporale, due calcolatori per l'acquisizione.

4.4 Stazione sismica in Antartide.

Il laboratorio ha fornito personale per la cura della stazione sismica a larga banda in Antartide.

Il lavoro compiuto nel '95 è consistito in ordinaria manutenzione ed in prove comparative di differenti modalità di installazione per rendere minimo il rumore strumentale.

4.5 Stazione geochimica

La parte elettronica di una stazione geochimica multiparametrica è attualmente in fase di realizzazione. Il sistema comprende interfacce verso i sensori ed un sistema di acquisizione basato su un personal computer in grado di gestire un collegamento telefonico con un interrogatore remoto.

4.6 Sottosistema per l'accentramento dei segnali

Molti dei progetti appena illustrati prevedono il trattamento di più segnali e la loro trasmissione ad un calcolatore. Per effettuare questo e' stato realizzato un sottosistema in grado di ricevere più segnali su linee seriali diverse e concentrarle su un'unica linea. Questo risolve in generale il problema di connettere con semplicità più dispositivi di acquisizione con uscita seriale ad un'unica porta.

Lavori non ancora pubblicati:

- Battaglia M. and Borgia A. The Flow of a Clay Slurry. Sottomesso a *Journal of Fluid Mechanics*.
- Bogliolo M.P., Buongiorno M.F., Salvi S. "Spectral data-base for antarctic rock types in the Visible and the Reflected Infrared (0.4-2.5 micron)" VII International Symposium on Antarctic Earth Sciences (Siena, 10-15 September 1995). In stampa.
- Bogliolo M.P., Buongiorno M.F., Salvi S., Teggi S., Pugnaghi S., Abrams M.J., Pieri D.C., Realmuto V.J., Caltabiano T., Pareschi M.T. "Ground measurements of physical parameters at Vulcano island and Mount Etna in support of the MIVIS remote sensing campaign "Sicilia-94". Sottomesso per la pubblicazione su *Monografie dell'Istituto Nazionale di Geofisica*.
- Borgia A., 1995. *Glaciers*. Michael Hambrey and Jürg Alean, Cambridge University Press, New York. Pure and Applied Geophysics, in stampa.
- Borgia A., 1995. *The Encyclopedia of Solid Earth Sciences*. Philip Kearey Ed., Blackwell Scientific Publications, London. Pure and Applied Geophysics, in stampa.
- Borgia A., 1995. *The Stability of Slopes*. E.N. Bromhead, Blackie Academic & Professional, London. Pure and Applied Geophysics, in stampa.
- Borgia A., 1995. *Volcanoes: a Planetary Perspective*. Peter Francis, Clarendon Press, New York. Pure and Applied Geophysics, in stampa.
- Borgia A., e Pasquarè G., con la collaborazione di De Rita D., Dobran F., Dolfi D., Ferrucci F., Lattanzi P., Martini M., Santacroce R., e Trigila R., 1995. *I Vulcani*, Enciclopedia "Le scienze e le tecnologie", Fabbri Rizzoli Grandi Opere, Milano, in stampa.
- Calcara M., Pizzino L., Porfidia B., Quattrocchi F., Settembrini I. (1995). Monitoraggio geochimico dei fluidi in occasione del terremoto di Roma del 12/6/1995. In preparazione per gli Atti del XIV Convegno Nazionale GNGTS, CNR-Roma, 23-26 Ottobre 1995.
- Calcara M., Quattrocchi F., Boschi E. (1995). Geochemical monitoring system in the Central Apennines (Italy): results, evolution and possible developments. Sottomesso a *Geoph. Res. Lett.*
- Merle O. e Borgia A. Scaled Experiments of Volcanic Spreading. *Journal of Geophysical Research*, in stampa.

Teggi S., Pugnaghi S., Buongiorno M.F., Bogliolo M.P., Realmuto V.J. "Modeling local atmospheric effect by MODTRAN-3 code and vertical profiles acquired on Mt. Etna volcano, Sicily". Proceedings of the 18th Annual Review Conference on Atmospheric Transmission models (Science Center, Phillips Laboratory, 6-8 Giugno 1995). In stampa.

Van Wyk De Vries B. e Borgia A. The Role of Basement in Volcano Deformation. The Geological Society of London, in stampa.

PROGETTI FINANZIATI DALLA COMUNITÀ EUROPEA

GEOPHYSICAL AND OCEANOGRAPHIC STATION FOR
ABYSSAL RESEARCH
(GEOSTAR)

Il progetto GEOSTAR (*GEophysical and Oceanographic STation for Abyssal Research*), coordinato dall'Istituto Nazionale di Geofisica, prevede la realizzazione del primo prototipo europeo di osservatorio sottomarino per ricerche geofisiche e oceanografiche, in grado di operare a profondità abissale e per missioni di lunga durata. L'osservatorio è concepito per funzionare autonomamente o collegato via cavo a una stazione ricevente a terra. Sarà inoltre parte integrante di reti di monitoraggio ambientale già esistenti.

Il progetto è stato presentato all'inizio del 1995 alla Commissione Europea DG-XII nell'ambito del terzo programma MAST (*Marine Science & Technology*) e alla fine del primo semestre è stato approvato per il finanziamento (MAS3-CT95-0007). Il progetto ha avuto formalmente inizio il 1 novembre 1995 con un budget totale di 2.520.000 ECU (circa 5 miliardi).

Per l'elaborazione del progetto, nel corso del 1994, sono stati presi numerosi contatti con industrie e istituti di ricerca italiani, francesi, tedeschi e inglesi in grado di coprire ed espletare tutti gli aspetti scientifici e tecnologici.

Il progetto GEOSTAR, che ha durata triennale, ha come obiettivo la realizzazione del prototipo con l'assemblaggio e l'adattamento della sensoristica, la verifica del suo funzionamento in acque basse e in acque profonde. Il prototipo di osservatorio bentico sarà equipaggiato con i seguenti sensori geofisici e oceanografici:

- un sismometro tre componenti a larga banda per l'analisi del rumore e per il rilevamento di eventi sismici locali e telesismici, lo studio della struttura interna della Terra e della sorgente sismica;

- un gravimetro per studi sulle oscillazioni libere della Terra, sulle maree terrestri e sulla struttura interna della Terra;

- un magnetometro scalare e uno vettoriale per misurare l'intensità e la direzione del campo magnetico, per lo studio di modelli del campo geomagnetico globale e regionale e per studi di conduttività interna della Terra;

- un prototipo di sensori geochimici per lo studio delle interazioni fluido-roccia in ambienti abissali e delle variazioni chimico-fisiche nel tempo;

- un *Acoustic Doppler Current Profiler* per lo studio della circolazione delle acque profonde e delle variazioni di parametri idrologici nel tempo.

I dati acquisiti saranno trasmessi anche via satellite.

Il prototipo sarà modulare, espandibile e adattabile anche ad esperimenti scientifici svolti nell'ambito di altre discipline.

La complessità e l'importanza scientifica del progetto hanno reso necessario l'apporto di competenze provenienti da molti dei settori dell'I.N.G.. Pertanto, per la sua stessa natura, GEOSTAR essendo trasversale rispetto all'attuale struttura organizzativa dell'I.N.G., non è inquadrabile in nessuna delle Unità Organiche in particolare.

Il progetto GEOSTAR (*GEophysical and Oceanographic STation for Abyssal Research*) è stato approvato nel corso del 1995 dalla Commissione Europea DG-XII nell'ambito del terzo programma MAST (*Marine Science & Technology*). Il progetto, di durata triennale (1996-1998), è coordinato dall'Istituto Nazionale di Geofisica e prevede la realizzazione del primo prototipo europeo di osservatorio bentico in grado di operare per missioni di lunga durata autonomamente o collegato ad una stazione ricevente a terra via cavo. L'osservatorio è concepito per essere parte integrante di reti di monitoraggio ambientale già esistenti. Il sistema sarà in grado di acquisire dati sismografici, geomagnetici, gravimetrici, geochimici e oceanografici. I dati saranno anche trasmessi via satellite.

Il progetto GEOSTAR ha ricevuto finanziamenti per la realizzazione e la costruzione del prototipo e per i test in acque protette.

Alla fine del 1996, verrà presentato all'Unione Europea un'ulteriore proposta che prevederà, nella piana abissale tirrenica a NE di Ustica, a circa 3.500 m di profondità, la realizzazione di un "*Open Laboratory*" per esperimenti e ricerche di cui GEOSTAR farà parte. La proposta coprirà i costi delle campagne di misura di dettaglio per l'individuazione del luogo di deposizione del laboratorio abissale, della sua deposizione, delle comunicazioni satellitari e via cavo e del cavo stesso.

Dati i notevoli oneri previsti, non sembra ci sia spazio per finanziare la logistica a terra.

La sua esistenza costituirebbe un notevole argomento di forza della proposta e favorirebbe il riconoscimento da parte della Comunità Europea del sito proposto come "Laboratorio Europeo". D'altra parte tutta la comunità scientifica già riconosce l'importanza scientifica della piana abissale tirrenica dal punto di vista geodinamico e oceanografico.

Si prevede pertanto, nel prossimo triennio, di dotare l'isola di Ustica del necessario impianto logistico a terra.

GEODYNAMIC MODELLING OF AN ACTIVE REGION OF THE MEDITERRANEAN:
THE APENNINES
(GEOMODAP)

Introduzione

GeoModAp è un progetto di ricerca finanziato dalla Comunità Europea nel 1994 (contratto EV5V-CT94-0464). L'inizio ufficiale del contratto era fissato il 1° giugno 1994 e la durata 24 mesi, ma a causa di ritardi nell'erogazione dei fondi, la sua durata è stata estesa a 29 mesi (termine 31 ottobre 1996). Il budget totale è di 400.000 ECU (circa 800 milioni di lire), di cui circa la metà va all'I.N.G.. L'Istituto Nazionale di Geofisica è il coordinatore dell'intero progetto, che ha la seguente struttura:

Istituto Nazionale di Geofisica (ING)	coordinatore
Université de Nice	sub-contraente ING
Università di Roma 3 (UR3)	contraente assoc. a ING
Université de Rennes	sub-contraente UR3
Università di Bologna	contraente assoc. a ING
Université P. et M. Curie (Francia) (UPMC)	contraente principale
Ecole Normale Supérieure	contr. assoc. a UPMC
University of Oxford (UK)	contraente principale
ENEL	partner industriale

I campi di attività previsti dal contratto sono numerosi (geologia, sismologia, geodesia, paleomagnetismo), nella maggior parte dei quali l'ING si impegna direttamente, con ricercatori e tecnici di vari reparti, principalmente dell'U.O. RMS, ma anche delle U.O. SFIT, Geomagnetismo, e Geodinamica. I principali campi di ricerca sviluppati dal nostro Istituto, in collaborazione con altri partners, sono descritti nel seguito, insieme ad una sintesi dei risultati conseguiti nel 1995.

Obiettivi

Lo scopo di questo progetto è la definizione di un modello geodinamico dell'Appennino (tra lat. 40.5° N e 43.5°N), dal Miocene al Presente. Questo servirà come base per future ricerche multidisciplinari e di raccolta di dati geologici e geofisici, e fornirà importanti vincoli per le modellazioni dell'evoluzione geodinamica della nostra regione. Il progetto si basa su campagne specifiche di raccolta e analisi di nuovi dati (strutturali, sismologici, paleomagnetici e geodetici), che serviranno per fornire vincoli al modello complessivo.

1. Indagine bibliografica e raccolta delle pubblicazioni più importanti.

E' stata effettuata la raccolta degli articoli ritenuti più significativi ai fini delle attività del progetto, privilegiando generalmente quelli più originali e più recenti. E'

stata così prodotta una raccolta costituita da tre volumi che contengono 51 articoli divisi in 9 capitoli, e una lista estesa di oltre 200 riferimenti bibliografici.

2. Geodesia.

Due erano gli scopi principali delle misure geodetiche nell'ambito del progetto. Il primo era quello di fornire una rete GPS migliorata per studi futuri e questo è stato realizzato attraverso l'installazione di 6 nuovi capisaldi nell'Appennino meridionale. Il secondo obiettivo era quello di ricavare informazioni valide sulle deformazioni attive e per questo è stato avviato lo studio originale delle misure di triangolazione antiche (a partire dal 1859). Questo consente, da un lato, di stimare le deformazioni attuali, sia pure con delle forti incertezze dovute alla non totale ricopertura della rete tra misure successive, e dall'altro, di impostare una rete di riferimento da rimisurare con tecniche geodetiche moderne nel futuro. I maggiori errori legati a queste misure rispetto a quelle GPS vengono compensati dal lungo lasso di tempo intercorso tra misure successive, generalmente superiori ai 50-60 anni. E' stata per il momento ricalcolata la rete geodetica originale (fine '800) e (a settori) quella della metà del '900, determinando delle stime preliminari della deformazione di taglio nell'Appennino.

Inoltre, sono state effettuate due campagne di misura GPS; nel novembre 1994 (10 punti, di cui 3 nuovi) e nel giugno 1995 (14 punti, di cui 3 nuovi). Una terza campagna verrà effettuata nell'estate 1996. I dati delle due campagne sono stati elaborati e hanno mostrato una buona qualità delle misure. Non sono stati osservati spostamenti apprezzabili tra le due misure, come aspettato visto il breve periodo intercorso (sette mesi).

3. Terremoti storici.

Sono stati stimati i momenti sismici dei più forti terremoti storici avvenuti in Italia a partire dal 1600, utilizzando la relazione tra momento e area megasismica, precedentemente ottenuta. Sono stati analizzati 23 terremoti dell'Appennino. I risultati mostrano che il rilascio di momento sismico nell'Appennino meridionale ($1.3 \cdot 10^{27}$ dyne-cm) è un ordine di grandezza superiore a quello dell'Appennino settentrionale ($1.3 \cdot 10^{26}$ dyne-cm).

4. Struttura della litosfera-astenosfera.

Per ottenere maggiori informazioni sulle struttura profonda dell'Italia peninsulare, oltre ad affinare gli studi tomografici utilizzando i dati della rete sismica nazionale dell'I.N.G., sono stati realizzati due transetti telesismici attraverso la penisola, mentre un terzo transetto verrà realizzato nel 1996. Il primo transetto, il primo di questi esperimenti ad essere realizzato in Italia, è stato effettuato nell'estate 1994 con dieci stazioni sismologiche ad alta risoluzione in registrazione continua localizzate dalla Corsica all'Adriatico. Una prima elaborazione dei dati, effettuata nel corso del 1995, ha già permesso di ottenere delle immagini tomografiche migliorate delle strutture del mantello superiore unendo i dati registrati durante i tre mesi dell'esperimento con quelli delle stazioni permanenti dell'I.N.G.. La struttura subcrostale dell'Appennino settentrionale è dominata da un'anomalia positiva di

velocità localizzata nella parte interna dell'arco, nei primi 200 km, che si approfondisce verso sud-ovest. Questa anomalia viene interpretata come uno *slab* litosferico, verosimilmente relativo alla traccia della subduzione adriatica al disotto dell'Appennino o ad una litosfera oceanica residua. Con i dati di questo transetto è stato inoltre possibile ricavare l'andamento della Moho al disotto di questo settore dell'Appennino attraverso il calcolo delle funzioni di risposta telesismiche (*receiver functions*). Questo studio ha mostrato una geometria complessa della Moho, con valori di profondità compresi tra 20 e 25 km tra la Corsica e la Toscana e valori maggiori della Moho adriatica, che sembra approfondirsi al di sotto della catena. L'anisotropia sismica nel sistema litosfera-astenosfera studiata attraverso l'analisi dello sfasamento delle onde SKS e S telesismiche ha rivelato che la costruzione della catena appenninica ha interessato l'intera litosfera, che si è deformata coerentemente con la direzione del massimo sforzo compressivo (direzioni "veloci" parallele alla catena) e successivamente riorientata durante l'estensione dell'area di retro-arco (direzioni "veloci" est-ovest).

5. Stato di stress attivo.

Per studiare il campo di stress attivo abbiamo proseguito l'analisi dei breakout nelle perforazioni profonde proseguendo la collaborazione esistente tra il nostro Istituto, l'Agip SpA e l'ENEL SpA, partner industriale del progetto. E' stata ultimata l'analisi di oltre 60 pozzi profondi dell'Appennino meridionale, i cui risultati sono stati pubblicati nel 1995. Ancora nel 1995, si è iniziato ad analizzare le perforazioni del settore costiero dell'Abruzzo e delle Marche e quello della Toscana settentrionale. E' stata inoltre completata una revisione della sismicità strumentale registrata dall'I.N.G. negli ultimi 8 anni da cui sono stati calcolati oltre 200 nuovi meccanismi focali per la sola Italia peninsulare. I risultati finora emersi mostrano che l'Appennino meridionale — caratterizzato da uno stress minimo orizzontale perpendicolare alla catena che interessa anche parte dell'avampaese mentre in quello settentrionale si identifica una fascia in compressione attiva al fronte più esterno. Il passaggio tra area esterna in compressione e area interna in estensione sembra essere piuttosto netto e si localizza in prossimità di discontinuità litosferiche importanti in Appennino centrale. Maggiori dettagli su questa attività e una lista dei lavori pubblicati, in pubblicazione e presentati in congressi nazionali e internazionali sono descritti nel paragrafo "Definizione del campo di stress attivo in Italia" (U.O. SFTT).

6. Paleomagnetismo.

Le analisi paleomagnetiche sono uno strumento indispensabile per riconoscere rotazioni di unità strutturali affioranti nei differenti domini tettonici. Un problema particolarmente rilevante era quello di ricostruire l'evoluzione recente del fronte compressivo dell'arco appenninico settentrionale. Sono stati pertanto campionati 32 siti (circa 320 carote orientate) in argille messiniane lungo tutto il fronte esterno dell'arco, dall'Abruzzo alla Romagna. E' stato così possibile ricostruire la complessa evoluzione di questo settore che ha acquisito la curvatura a partire dal Pliocene medio-superiore, a partire da una catena rettilinea orientata N320°. Il settore centrale dell'arco ha subito rotazioni orarie di circa 10° mentre quello settentrionale ha subito rotazioni antiorarie fino a 50°.

Lavori ancora non pubblicati:

Margheriti L., Nostro C., Cocco M. and Amato A., *Seismic anisotropy beneath the northern Apennines (Italy) and its tectonic implications*. Sottomesso al Geophys. Res. Letters.

TIME DEPENDENT SEISMIC HAZARD BASED ON A MULTI-PARAMETER
GEOPHYSICAL OBSERVATORY SYSTEM
(SCENARIO)

1. Scopi del progetto

Lo scopo del progetto, finanziato dalla Commissione delle Comunità Europee nel quadro del Programma di Ricerche sull'Ambiente, è orientato alla riduzione del rischio sismico in aree soggette a terremoti. L'evenienza di un forte terremoto nei paesi densamente popolati e ad alto sviluppo economico dell'Europa, particolarmente in quei paesi caratterizzati da centri storici, porta con sé un'alta potenzialità di distruzione di edifici, ferimenti di persone e interruzione di servizi pubblici (energia elettrica, acqua, trasporti). C'è anche un ulteriore pericolo costituito dal danneggiamento di impianti ad alto rischio, come le centrali nucleari, le industrie chimiche, i depositi di materiale tossico, ecc.

Questo scenario richiede un rapido intervento delle Autorità di Protezione Civile per ripristinare i servizi e fornire soccorso e assistenza alle vittime. La tempestività della risposta ha un'influenza significativa sulla quantità di perdite e di danni causati dall'evento.

L'obiettivo del progetto è quello di ridurre il rischio sismico mediante lo sviluppo di un sistema *software* che assista le Autorità di Protezione Civile nel pianificare la risposta a un terremoto. Questo obiettivo viene conseguito nei seguenti modi:

- Raccolta di una banca dati di misure e variazioni delle anomalie correlate ai terremoti, provenienti da una rete di osservazioni multidisciplinari, e sviluppo di metodi di riconoscimento di tali variazioni.
- Allestimento di un sistema di riconoscimento di fenomeni precursori in tempo reale a partire dai dati provenienti dalla rete di osservazioni multidisciplinari. Il sistema dovrà avere capacità semiautomatica di apprendimento per l'espansione della banca dati di cui si è detto.
- Realizzazione di modelli di danno atteso in termini di mappe di intensità macrosismica, facenti anche uso delle informazioni geofisiche pervenute presso il centro di osservazione.

La realizzazione che si attende da questo progetto è un sistema realmente funzionante che farà uso dei dati della rete multidisciplinare "Poseidon" progettata per la raccolta sia di dati sismici che di dati di deformazione lenta nella Sicilia orientale. Il sistema è pensato per evolversi e aggiornarsi mano a mano che nuovi dati e modelli più perfezionati saranno disponibili. L'approccio tecnologico impiegato nel sistema è tale da consentirne facilmente l'impiego in altre aree soggette a rischio sismico.

2. Scenari e riduzione dell'incertezza

Il primo concetto chiave del sistema è il concetto di scenario. Uno scenario è un modello *software* di una particolare area geografica che può essere usato come simulatore di possibili eventi sismici, della loro propagazione e dei loro effetti. Uno scenario può essere attivato con diverse condizioni iniziali (cioè diversi tipi di sorgenti sismiche) che comportano diversi risultati della simulazione. Il sistema *software* è stato progettato per ospitare molti scenari, collegati a diverse aree geografiche.

Uno scenario è composto dai seguenti oggetti sovrapponibili, che consentono di simulare i danni a livello macrosismico:

- sorgenti sismiche
- modelli di propagazione
- modelli di effetti del sito
- modelli di danneggiamento.

Ogni oggetto può avere modelli di varia complessità che possono essere inseriti in successione nel sistema. Per esempio, le sorgenti sismiche possono essere schematizzate come puntiformi o come sorgenti estese; i modelli di propagazione possono essere isotropi, anisotropi e possono anche tener conto di discontinuità laterali; gli effetti di sito possono includere solo le condizioni geologiche, così come gli effetti indotti dalla morfologia; possono essere presi in considerazione vari modelli di danneggiamento, come quelli riguardanti i nuclei urbani, le strade o i grandi impianti industriali.

I modelli sono collegati ai vari strati di dati memorizzati in un sistema informativo geografico che fornisce informazioni legate all'ambiente quali:

- centri abitati
- impianti importanti (p.es. ospedali, centrali elettriche, dighe, ecc.)
- strade
- aree di particolare instabilità (p.es. aree soggette a frane o a liquefazione del suolo).

Un punto importante del concetto di scenario è quello della realizzazione di un *software* capace di integrare diversi tipi di conoscenza provenienti da diversi tipi di discipline e di fornire questa conoscenza al fruitore finale (p. es. un'Autorità di Protezione Civile). Attraverso il sistema, un insieme di modelli selezionati e di dati possono essere collegati fra loro per produrre la migliore simulazione possibile di un potenziale evento sismico e degli effetti ad esso associati.

Il secondo concetto chiave del progetto è quello della riduzione di incertezza. Dato uno scenario, è possibile un vasto insieme di simulazioni. Per esempio, la sorgente sismica può avere varie localizzazioni spaziali, con varie caratteristiche, e può verificarsi in diversi istanti di tempo. Ma qual'è la simulazione più probabile? Lo scopo del sistema è di immagazzinare informazioni e conoscenze per ridurre l'incertezza, muovendosi verso un più certo insieme di simulazioni (nello spazio, nel