

Le attività nel Programma Nazionale di Ricerche in Antartide

1. Sintesi dell'attività scientifica svolta nell'anno 1996

Per le sue caratteristiche geografiche, geologiche e climatiche, l'Antartide e la sua unica copertura glaciale costituiscono forse l'ultima frontiera terrestre, un'ambiente nel quale la geofisica è vitale sia per lo studio globale del Terra da un punto di vista privilegiato, sia per lo studio locale delle caratteristiche proprie del continente. I dati prelevati in Antartide permettono inoltre di vedere il sistema Terra in un ambiente ove più intensi ed evidenti sono i legami fra cause ed effetti e dove più è chiara la percezione dei fenomeni planetari. L'aspetto primario delle osservazioni dei parametri geofisici è stato affrontato in un programma integrato e complesso nel quale l'I.N.G. ha svolto sia un ruolo di coordinamento, all'interno del sistema nazionale operante nel PNRA (Programma Nazionale di Ricerche in Antartide), sia un ruolo autonomo nell'espletamento di proprie ricerche e gestione degli Osservatori geofisici. Per quest'ultimo aspetto l'emisfero Sud è notoriamente in una situazione insoddisfacente per la scarsa copertura di osservatori geofisici. L'inserimento delle nostre attività nella base italiana di Baia Terra Nova (74.42 S, 164.06 E) vuole soddisfare innanzitutto questa esigenza.

1.1. Osservatorio sismologico a larga banda

La stazione sismografica a larga banda di Baia Terra Nova, installata nel 1989, segue le raccomandazioni e gli standard della Federation of Digital Seismographic Stations e fa parte della rete delle 120 stazioni definite di primaria importanza dalla FDSN. Nello scorso anno, la stazione sismografica ha subito solo interventi tecnologici volti ad assicurarne il buon funzionamento in un ambiente estremo quale quello Antartico (basse temperature e senza supporto umano durante 9 mesi all'anno). I dati registrati a Terra Nova sono stati analizzati per effettuare studi sulla struttura terrestre profonda in una zona precedentemente mai studiata per mancata disponibilità di informazioni adeguate.

1.2. Osservatorio geomagnetico

L'U.O. Geomagnetismo partecipa al PNRA dal 1986 e ha curato nella base italiana l'installazione di un osservatorio geomagnetico. Le strumentazioni in uso nell'osservatorio includono magnetometri a protoni per la misura dell'intensità totale del campo geomagnetico F e sistemi di magnetometri *fluxgate* per la misura delle componenti orizzontale H e verticale Z e della declinazione D , e teodoliti *fluxgate* per le misure assolute degli elementi angolari D e dell'inclinazione I . Gli studi intrapresi nel 1996 con i dati di questo osservatorio includono lo studio della variazione diurna, di peculiare morfologia in Antartide in quanto strettamente in relazione all'elettrogetto ionosferico polare e gli studi sulle pulsazioni geomagnetiche. In questo ambito, le frequenze osservate sono risultate essere molto vicine a quelle previste per i modi globali magnetosferici.

1.3. Osservatorio ionosferico

L'U.O. Aeronomia ha curato già dal 1990 l'installazione di un Osservatorio Ionosferico nella base Italiana. Questa attività, oltre ad avere lo scopo scientifico di contribuire all'osservazione e allo studio dell'alta atmosfera alle alte latitudini, fornisce dati di radiosondaggio verticale alla banca dati ionosferici per l'Antartide (IPS, *Ionospheric Prediction Service*, Sydney, Australia). Da uno studio condotto recentemente sulla comparazione tra i profili verticali di densità elettronica, ottenuti dall'inversione di alcuni ionogrammi selezionati relativi al gennaio 1994, e simultanee misure di TEC ottenute presso la base di McMurdo (USA), è stata mostrata una buona correlazione tra il modello POLAN applicato e le misure

sperimentali, nonché la possibilità di adattare modelli regionali per latitudini medie a quelle polari sulla base delle mediane mensili dei parametri caratteristici misurati.

1.4. Osservatorio riometrico

Per lo studio delle variazioni rapide spazio/temporali del sistema accoppiato ionosfera-magnetosfera, è stato attivato un progetto di ricerca con l'installazione di due riometri (*Relative Ionospheric Opacity Meter*) per la misura del rumore cosmico di fondo a 30 e 38.2 MHz, attraverso il quale è possibile ricavare l'assorbimento non deviativo della bassa regione ionosferica D. La strumentazione è stata installata a Baia Terra Nova nell'estate australe 1993/'94 e 1994/'95. Sono stati condotti alcuni diversi studi riguardanti l'analisi dei dati di rumore cosmico per l'individuazione della migliore curva quieta di riferimento (QDC), necessaria per il calcolo dell'assorbimento ionosferico, e per l'applicazione di analisi non-lineare per l'individuazione di un indice multidimensionale che possa rappresentare lo stato del sistema ionosfera-magnetosfera alle alte latitudini.

1.5. Esplorazione geofisica

Nel campo delle indagini geofisiche di esplorazione è stata curata in collaborazione con l'Università degli Studi di Genova una estesa attività di *mapping magnetico*, nel quadro del Programma internazionale LIRA (*Litospheric Investigation in the Ross Sea*). Questa indagine ha permesso di coprire una notevole parte della Terra Vittoria settentrionale ove negli ultimi anni si sono svolte campagne di aeromagnetismo che hanno portato alla pubblicazione anche delle relative carte aeromagnetiche. Questi rilievi sono stati effettuati in collaborazione nel quadro dei programmi antartici italiano e tedesco, con l'impiego di strumentazione aerotrasportata del tipo magnetometri a pompaggio ottico al Cesio. Oltre alla tradizionale elaborazione dei dati, in questo ultimo triennio, si sono in particolare affinate le tecniche di "*digital enhancement*" e le analisi spettrali 2D per studiare le caratteristiche regionali e le strutture dell'area in esame. Il rilievo del 1996 ha investigato la Terra Vittoria settentrionale per studiare le connessioni tra il Rennick Graben e il Victoria Land Basin ed esplorare il margine di accrezione dei *terrane* al bordo paleo-pacifico del Gondwana.

Il gruppo di paleomagnetismo dell'I.N.G. partecipa al progetto con una ricerca nel campo della *magnetostratigrafia* e del *magnetismo ambientale*, in collaborazione con colleghi del laboratorio di paleomagnetismo dell'Università della California di Davis (USA). Lo studio del paleomagnetismo di sedimenti antartici è già cominciato con un'analisi integrata della sequenza sedimentaria attraversata nelle precedenti perforazioni CIROS (provenienti da aree adiacenti nel Mare di Ross).

PROGETTI CEE

Studio della Sorgente Sismica e della Propagazione delle Onde Sismiche in Messico (Contratto EC n. CI1*-CT92-0025)

Il terremoto di Michoacan del 19 settembre 1985 provocò il collasso di numerosi grattacieli a Città del Messico, nonostante l'epicentro fosse lontano più di 380 km. I danni economici e le perdite di vite umane furono unanimemente ritenute del tutto eccezionali se confrontate con la grande distanza dalla sorgente. Era evidente che la sollecitazione sismica era stata fortemente amplificata, in una parte della città, da una o più cause. L'Unione Europea si fece promotrice di una serie di progetti che dovevano contribuire ad aiutare la Comunità Scientifica internazionale a meglio comprendere le cause dell'eccezionalità del fenomeno.

Questo è uno dei progetti finanziati dalla CEE in questo ambito. Lo scopo del progetto era di indagare sugli aspetti più rilevanti del problema dal punto di vista sismologico, ovvero le caratteristiche energetiche della radiazione sismica prodotta dai terremoti della zona di subduzione nelle placche di Guerrero e di Michoacan, sulla costa messicana dell'Oceano Pacifico, e la propagazione delle onde sismiche nella litosfera tra la zona sismogenetica e Città del Messico. Il progetto ha visto impegnato l'I.N.G. quale Principal Investigator e il Laboratorio di Geofisica e Tettonofisica dell'Università di Grenoble (Francia) e l'Istituto di Geofisica dell'Universidad Nacional Autonoma de Mexico quali partner. Con i fondi messi a disposizione dalla CEE sono state installate due stazioni a banda larga, che hanno poi fatto parte della Rete Nazionale Messicana.

Sono stati anche acquistati strumenti digitali portatili per effettuare numerose campagne di registrazione nelle aree sismicamente più attive del Messico. L'analisi della gran quantità di dati raccolti nei quattro anni di attività ha consentito di migliorare le conoscenze sulle caratteristiche delle sorgenti sismiche nella zona di subduzione e della propagazione delle onde sismiche in Messico. In particolare, l'analisi delle onde di superficie che si propagano tra la costa e Città del Messico mette in evidenza la presenza di uno strato superficiale di bassa velocità nella parte meridionale della catena vulcanica del Messico. E' stato dimostrato che ciò produce una forte amplificazione della durata dell'eccitazione di bassa frequenza (dell'ordine di alcuni secondi) nella Valle del Messico: questa energia rimane poi intrappolata nei terreni saturi d'acqua del bacino costituito dal paleolago su cui si sviluppò nei secoli Città del Messico, che entra in risonanza (il ben noto effetto budino). I picchi spettrali tra 2 e 5 secondi furono responsabili dei crolli dei grattacieli, i cui modi di vibrazione cadono in questa banda di frequenza. Si è calcolato che, durante il terremoto del 19 settembre 1989, l'amplificazione del moto, a queste frequenze, sia stato pari a un fattore 500 rispetto a quanto aspettato per una distanza epicentrale di 380 km.

Southern Europe Network for Analysis of Seismic Data (Contratto EC n. EV5V-CT93-0304)

Nell'ambito del programma "Environment and Climate" è stato finanziato dalla Comunità Europea il Progetto "Southern Europe Network for Analysis of Seismic Data" che è iniziato il 1 marzo del 1994 ed è terminato il 30 novembre 1996.

I partners scientifici sono i tre istituti nazionali di Spagna, Grecia ed Italia, e l'Italia ha partecipato in qualità di coordinatore del progetto.

I partners industriali sono stati l'EFIMDATA, la FINSIEL e la DIGITAL. La TELESPIAZIO ha fornito i collegamenti necessari usando tecnologie satellitari.

Questo progetto ha dato l'opportunità di attivare complessivamente 11 borse di studio, di cui rispettivamente 3 per la Spagna e per la Grecia, e 5 per l'Italia.

Il progetto ha seguito tre temi di ricerca:

1. Modello tridimensionale di propagazione delle onde nell'area del Mediterraneo

L'obiettivo del tema è la determinazione della velocità di propagazione delle onde longitudinali nella crosta terrestre utilizzando il metodo della tomografia sismica tridimensionale. La tecnica usata è quella di determinare la velocità di propagazione delle onde sismiche in zone definite nella crosta. Mediante i dati forniti da decine di migliaia di arrivi di onde sismiche alle stazioni di registrazione, si è ricostruito il miglior modello cinematico che giustifichi i ritardi o gli anticipi delle onde sismiche.

I risultati ottenuti riguardano i primi 50 Km di profondità della crosta terrestre; sono state rappresentate varie sezioni stratigrafiche dalla Spagna alla Grecia.

Sono necessarie molte ore di elaborazione su potenti computer di ultima generazione, per avere una idea della complessità del metodo di calcolo.

La sintesi degli studi svolti all'interno di questo tema è stata presentata in un Convegno internazionale svoltosi a Roma il 5 e 6 febbraio 1996, a cui hanno partecipato numerosi ricercatori europei specialisti nel settore.

I lavori presentati al convegno sono in corso di stampa in un volume speciale edito dagli "Annali di Geofisica".

2. Determinazione dei parametri sismici in tempo reale

Con l'utilizzo del sistema ARGO come mezzo trasmissivo, è stata realizzata una banca dati distribuita nei centri di calcolo dei tre paesi partecipanti mediante dei collegamenti diretti tra Roma, Atene e Madrid, dove sono acquisiti i dati delle rispettive reti sismiche nazionali.

Sono stati affrontati problemi relativi alla normalizzazione delle informazioni che, come si può intuire, erano difformi. Si è simulato il calcolo ipocentrale di un forte terremoto nell'area mediterranea, utilizzando oltre alle tre reti nazionali, anche stazioni sperimentali installate nei tre Paesi.

3. Studio dei principali terremoti dell'ultimo secolo

La sismologia è una scienza che nasce in termini strumentali circa 100 anni fa. Per accrescere la conoscenza sismologica è necessario recuperare le informazioni registrate da strumenti di antica concezione e trasformarle in serie digitali come se fossero state registrate oggi.

Pertanto lo studio dei principali terremoti dell'ultimo secolo assume un rilevante significato scientifico.

Sono stati selezionati alcuni eventi sismici avvenuti nell'area mediterranea registrati da strumenti di diversi Osservatori Europei, le tracce registrate su carta dei sismogrammi recuperati sono state convertite in formato digitale, si è così proceduto all'analisi del sismogramma con metodologie moderne.

Time-dependent seismic hazard estimation based on a multi-parameter geophysical observatory system (SCENARIO)

(Contratto EC n. EV5V-CT94-0494)

Il progetto, che ha avuto inizio il 1 ottobre 1994 e si è concluso il 30 settembre 1996, è stato coordinato dalla ISMES S.p.A. ed ha avuto come partners principali l'Istituto Nazionale di Geofisica e il National Observatory of Athens. L'obiettivo fondamentale del progetto è stato quello di fornire agli organi di Protezione Civile uno strumento per la pianificazione degli interventi di emergenza in aree ad alta sismicità e in generale per la mitigazione del rischio sismico. Questo strumento consiste in un sistema informatico basato su un GIS (sistema informativo geografico) che espleta due funzioni fondamentali. La prima consiste nell'analisi sistematica di possibili anomalie di parametri geofisici messe in evidenza da un sistema di monitoraggio come ad esempio quello operante nella Sicilia orientale (denominato "Poseidon") e interpretabili come precursori sismici. La seconda consiste nell'elaborazione di mappe di danno ottenute incrociando, tramite opportune leggi empiriche, dati di intensità risentita a seguito di un forte terremoto con i dati ISTAT relativi alla distribuzione di popolazione, edifici e infrastrutture nel territorio esaminato. I valori di intensità possono essere o realmente osservati durante un terremoto storico, o predetti come effetto di un terremoto avente epicentro e magnitudo arbitrari, o predetti come effetto della riattivazione di una faglia sismogenetica nota.

Il sistema informativo è stato sviluppato utilizzando come esempio l'area della Sicilia orientale. Ciò allo scopo sia di utilizzare i dati provenienti dal sistema Poseidon, sia di calibrare il sistema su una delle zone a più alta sismicità della penisola.

Il sistema è ormai completato con successo ed è stato presentato in diverse sedi istituzionali e scientifiche. In particolare, copia del sistema è stata installata presso l'Ufficio di Protezione Civile del Comune di Catania, mentre è in via di installazione un'altra copia presso il Dipartimento della Protezione Civile a Roma.

**Geodynamic Modelling of an active region of the
Mediterranean: the Appennines (GEOMODAP)**
(Contratto EC n. EV5V-CT94-0464)

Il progetto GeoModAp è stato finanziato dalla Comunità Europea nel 1994, con un finanziamento totale di 400.000 ECU (circa 800 milioni di lire). Circa la metà di questa somma è stata destinata all'I.N.G. (195.000 ECU), che svolge il ruolo di Coordinatore del Progetto, ed è rappresentato da A. Amato (responsabile scientifico) e E. Boschi (responsabile amministrativo). La struttura del progetto è la seguente:

Istituto Nazionale di Geofisica	Coordinatore principale
University of Oxford (Gran Bretagna)	Contraente principale
Université de Paris VI "P. et M. Curie" (Francia)	Contraente principale
ENEL (Ente Nazionale per l'Energia Elettrica)	Contraente principale industriale
Università di Roma III	Contraente associato all'I.N.G.
Università di Bologna	Contraente associato all'I.N.G.
Ecole Normale Supérieure (Francia)	Contraente associato
Université de Cergy-Pontoise (Francia)	Subcontraente
Université de Rennes (Francia)	Subcontraente
CNRS (Francia)	Subcontraente

I finanziamenti sono stati impiegati nei seguenti capitoli principali:

- 1) Borse di studio e contratti
- 2) Recupero (ammortamento) acquisto strumentazione
- 3) Missioni per lavori di campagna e partecipazione a congressi
- 4) Spese generali

Nell'ambito del progetto, sono state effettuate tesi di laurea in discipline geofisiche, e sono state finanziate diverse borse di studio per approfondimenti nelle discipline sismologiche, geodetiche e paleomagnetiche (cinque i borsisti I.N.G.).

Oltre 15 ricercatori e 20 tecnici dell'I.N.G., appartenenti a 4 Unità Organiche (RMS, SFTT, Geomagnetismo, Geodinamica) sono stati impegnati nella realizzazione delle attività del progetto GeoModAp.

Lo scopo del progetto era quello di ricostruire l'evoluzione geodinamica di un'area ad elevato rischio sismico (la Penisola italiana), per ottenere un quadro sismotettonico di riferimento che potesse essere utilizzato per valutazioni di rischio sismico. Il progetto GeoModAp si è basato sull'integrazione di studi multidisciplinari, effettuati congiuntamente dai diversi partners e coordinati dall'I.N.G.. Di seguito vengono brevemente descritti i principali campi di studio dei quali il progetto si è occupato, con particolare enfasi sugli aspetti innovativi sviluppati in ciascun settore di ricerca. Molti dei risultati conseguiti finora sono stati pubblicati o sono in corso di pubblicazione sulle più quotate riviste internazionali.

1) Studi sismologici

Oltre agli studi tradizionali sulla distribuzione della sismicità, sulle ricostruzioni tomografiche delle strutture profonde, e sui meccanismi focali dei terremoti, sono stati realizzati - per la prima volta in Italia e tra le primissime in Europa - tre "transetti telesismici" attraverso la penisola, per studiare, con un dettaglio senza precedenti, la geometria e lo stato di deformazione delle strutture profonde.

2) Studi geodetici

Sono state effettuate tre campagne di geodesia spaziale (GPS) nell'Appennino centro-meridionale tra il 1994 e il 1996. Per la prima volta, sono state inoltre stimate le velocità di deformazione totale nell'Appennino, utilizzando i dati di vecchie triangolazioni effettuate nel corso degli ultimi 120 anni dall'Istituto Geografico Militare.

3) Studi di paleomagnetismo

Sono state effettuate numerose campagne di misura nell'Appennino, in Calabria e in Sardegna, con lo scopo di ricostruire l'evoluzione temporale delle deformazioni neogeniche della regione italiana.

4) Studio del campo di stress

E' stata realizzata una mappa dello stress attivo in Italia, a partire dai dati di *breakout* nelle perforazioni profonde (in collaborazione con ENEL e AGIP), e di meccanismi focali di terremoti di piccola magnitudo, localizzati dalle reti sismiche dell'I.N.G. negli ultimi 10 anni. La banca dati dispone attualmente di circa 500 orientazioni puntuali del campo di stress.

5) Studi geologici e petrologici

Studi di campagna e analisi di laboratorio in molte regioni del margine tirrenico dell'Appennino (incluse la Corsica, le isole toscane, la Toscana e la Campania) hanno permesso di delineare l'andamento dei processi deformativi della zona di retro-arco appenninico, dal Miocene a oggi.

6) Modellistica

Sono stati costruiti numerosi modelli di laboratorio bi- e tri-dimensionali del sistema Tirreno-Appennino, che hanno permesso di capire meglio il contributo dei vari processi attivi nella regione del Mediterraneo centrale (convergenza Africa-Eurasia, subduzione e collisione continentale, collassi gravitativi di litosfera ispessita). Con lo stesso scopo, sono stati realizzati numerosi modelli numerici bi-dimensionali con tecniche agli elementi finiti.

**Electronic library of historical documents
related to European seismicity prior to 1940 (SEISMODOC)**
(Contratto EC n. EV5V-CT94-0460)

Il progetto si propone di trasferire su supporto informatico, e successivamente su una pagina Internet, l'immenso patrimonio di cataloghi parametrici della sismicità europea di epoca pre-strumentale compilati nel corso degli anni. Al progetto, che è coordinato dal consorzio CIVITA, partecipano l'Istituto Nazionale di Geofisica, l'ENEA, la C.I.T.E.C. S.p.A., l'ISMES S.p.A., la Universidad Politecnica de Madrid, il C.E.A. francese, e l'Imperial College di Londra. Il progetto ha subito una serie di ritardi nell'avvio dovuti a cause esterne. A seguito di tali ritardi è stata concordata una nuova scadenza posta al 31 dicembre 1997.

Più in dettaglio, il progetto si propone di creare una European Electronic Library dedicata ai documenti storici relativi ai terremoti che consenta a tutti gli studiosi nel campo del rischio sismico un facile accesso a dati al momento dispersi in diverse biblioteche europee. La memorizzazione dei documenti stessi su supporto informatico consentirà inoltre di preservare e trasferire ai posteri copia di documenti attualmente disponibili solo in copia cartacea e spesso di non facile reperibilità.

Il progetto sta attraversando una fase di raccolta sistematica dei cataloghi disponibili nei diversi paesi. Parallelamente è in corso di sviluppo il software che gestirà la pagina Internet destinata ad ospitare i risultati del progetto.

**Pilot Project for regional earthquake monitoring
and seismic hazard assessment**
(Contratto EC n. CI1*-CT94-0103)

Questo progetto persegue i seguenti obiettivi:

- Migliorare le capacità di monitoraggio e la valutazione del rischio sismico considerate come punto di partenza per incrementare le strategie di mitigazione del rischio nelle aree maggiormente esposte ai disastri sismici.
- Ottimizzare l'accesso e l'uso di tecnologie avanzate già esistenti e in fase di sviluppo in quei paesi del Sudamerica (denominati JUNAC) e in quelli europei (qui denominati EUME) che partecipano al progetto.
- Mettere a punto strategie efficienti per la localizzazione e la quantificazione di eventi sismici regionali avvalendosi di dati sia analogici che digitali per sviluppare sistemi di allarme tempestivi nei paesi partecipanti.
- Creare un sistema di scambio dati sismici fra i paesi sudamericani partecipanti e con i paesi europei coinvolti.
- Incrementare una banca dati regionale.
- Completare un catalogo strumentale dei terremoti storici dell'area sudamericana interessata.
- Fare uno studio comparativo della valutazione del rischio sismico fra i paesi JUNAC e EUME adottando un approccio comune che si basa sulla collaborazione, sulla multidisciplinarietà, sull'analisi di strutture sismogenetiche senza frontiere, e sul trasferimento di scienza e tecnologia.

All'interno del progetto comunitario denominato "*Pilot Project for regional earthquake monitoring and seismic hazard assessment*" finanziato dalla Comunità Europea l'I.N.G. svolge il ruolo di coordinatore. Ad esso partecipano i 5 paesi sudamericani del Patto Andino e denominati JUNAC:

- | | |
|-------------|--|
| • Bolivia | Observatorio S. Calixto |
| • Colombia | Instituto de Investigaciones
en Geociencias |
| • Ecuador | Escuela Politecnica Nacional |
| • Perù | Instituto Geofisica del Perù |
| • Venezuela | Fundacion Venezolana de
Investigaciones |

e 4 paesi europei qui denominati EUME:

- | | |
|------------|---|
| • Italia | Istituto Nazionale di Geofisica |
| • Germania | GeoForschungsZentrum |
| • Spagna | Instituto Geografico Nacional |
| • Olanda | Koninklijk Nederlands Meteorologisch Institut |

Il progetto è partito il primo luglio del 1995 ed è al suo secondo anno di attività che procederanno secondo lo schema riportato nella pagina seguente.

Test area for seismic hazard assessment in the Caucasus (Contratto INTAS n. 94 -1644)

Riattivare il programma di valutazione del rischio sismico nella regione del Caucaso stabilendo un'area investigativa per una valutazione multi-nazionale, multi-disciplinare, multi-metodologica del rischio sismico, collaborando con le organizzazioni dei paesi limitrofi (Iran, Turchia) e con le agenzie e i programmi scientifici internazionali quali lo IASPEI (*International Association of Seismology and Physics of the Earth Interior*), l'ESC (*European Seismological Commission*), GSHAP (*Global Seismic Hazard Assessment Program*). Oltre ai risultati scientifici attesi, il prodotto finale saranno le stime probabilistiche dello scuotimento del suolo su cui si baserà la progettazione e la costruzione di edifici più sicuri nella regione del Caucaso.

È questo l'obiettivo che si propone il progetto in questione. Partito il primo settembre 1995, il progetto è stato finanziato dall'INTAS (l'organismo europeo per il finanziamento della ricerca cooperativa nei paesi dell'ex Unione Sovietica).

Vi partecipano le seguenti istituzioni:

- Istituto Nazionale di Geofisica
- Institute of Geophysics of the Georgian Academy of Sciences (Georgia)
- National Survey of Seismic Protection under the Government of the Republic of Armenia (Armenia)
- Experimental Methodical Geophysical Expedition (Azerbaijan)
- Geophysics Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine
- Institute of Seismology of Turkmenistan
- Joint Institute of Physics of the Earth (Russia)
- International Institute of Earthquake Prediction Theory and Mathematical Geophysics (Russia)
- Geoforschung Zentrum, Potsdam, Germany
- ETH Honggerberg, Institute of Geophysics, Zurich, Switzerland

Le linee principali di ricerca sono tre:

- Produzione del catalogo sismico storico e strumentale
- Zonazione sismotettonica
- Valutazione della pericolosità sismica

Le prime fasi sono già state completate, la terza è in fase di completamento. Il progetto ha beneficiato di un contributo NATO con il Contratto NATO-ARW 951521 "*Historical and Pre-historical earthquakes in the Caucasus*", che si è svolto a Yerevan in Armenia l'11 e il 15 luglio dell'anno scorso.

GEophysical and Oceanographic STation for Abyssal Research (GEOSTAR)

(Contratto EC n. MAS3-CT95-0007)

L'Istituto Nazionale di Geofisica ha presentato alla Commissione Europea (DGXII-D4 Programma MAST III - Marine Science and Technology) nel 1995 una proposta di ricerca, denominata GEOSTAR (GEophysical and Oceanographic STation for Abyssal Research), per la realizzazione del prototipo di un osservatorio automatico sottomarino per ricerche geofisiche, geochimiche e oceanografiche. L'Osservatorio, ad impatto ambientale nullo sia in fase di installazione che in fase operativa, sarà sperimentato per un lungo periodo di tempo (più di un anno) nella Piana Batiale Tirrenica (area di Ustica) alla profondità di oltre 3.000 metri.

L'area di Ustica è stata scelta perché, oltre a trovarsi in prossimità di una delle zone più profonde del Mediterraneo (circa 3500 metri), è di rilevante interesse per molteplici discipline scientifiche. Per l'Oceanografia Fisica è una zona chiave per la circolazione delle correnti marine profonde nel Mediterraneo; per le Scienze della Terra la sua importanza deriva dall'essere in zona di confine tra le zolle continentali Eurasiatica e Africana; per le Scienze Ambientali e Biologiche in quanto vanta la presenza della prima Riserva Naturale Marina italiana. La proposta GEOSTAR, che vede l'I.N.G. coordinatore di un gruppo di industrie ed enti di ricerca di Italia, Germania, Francia e Inghilterra, è stata selezionata e finanziata, per il periodo 1995-1998, per un importo di poco superiore ai 2.500.000 ECU relativo alla realizzazione e costruzione del prototipo e ai test in acque protette (100-200 m). Un'ulteriore proposta di ricerca per il triennio '97-'99 relativa alla sperimentazione a 3500 metri è stata presentata alla Commissione Europea sempre nell'ambito del programma MAST.

GEOSTAR è il primo progetto europeo per la realizzazione di un prototipo di osservatorio abissale e costituisce la risposta europea a due analoghi programmi, uno giapponese e l'altro statunitense, denominati rispettivamente "Venus" e "Hugo". Il progetto prevede la realizzazione del prototipo di un osservatorio bentico in grado di operare per missioni di lunga durata autonomamente o collegato ad una stazione ricevente a terra.

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 verranno acquisiti in locale e trasmessi in superficie per via acustica, per essere poi diffusi tramite comunicazione satellitare. Il prototipo in corso di realizzazione comprende numerose apparecchiature scientifiche quali un sismografo larga banda tre componenti, un gravimetro, due magnetometri (di cui uno progettato e sviluppato all'interno dell'I.N.G.), un correntometro Doppler, alcuni sensori geochimici per il rilevamento di gas ed inquinanti, un sensore CTD (*Conductivity, Temperature, Depth*) e un trasmissometro per la misura della torbidità dell'acqua. Tutte le apparecchiature scientifiche sono state adattate per operare ad oltre 300 atmosfere di pressione dai partners del progetto.

Il progetto GEOSTAR prevede inoltre la realizzazione di un sistema originale di deposizione dell'Osservatorio in alti fondali, basato sul concetto "Active Docker", cioè un sistema in grado di posizionare l'osservatorio scientifico con una precisione lineare intorno ai 10 metri e angolare minore di un grado. Il sistema di comunicazione, anch'esso originale, prevede l'uso sia della comunicazione acustica subacquea fondo-superficie sia di "Messengers" ovvero di trasmettitori (mutuati dall'uso militare) in grado di risalire in superficie e trasmettere i dati raccolti ai satelliti, sia ad intervalli fissi che in caso di anomalie dell'Osservatorio.

Il progetto GEOSTAR è il frutto della collaborazione tra strutture di ricerca scientifica e industrie; infatti oltre all'Istituto Nazionale di Geofisica, che ne è il coordinatore e responsabile della parte di Geofisica, al progetto partecipano l'IFREMER e l'industria di Brest ORCA Instrumentation per le comunicazioni e i test in pressione, il Centre d'Océanologie de Marseille del CNRS per la parte di Oceanografia fisica, il Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau di Berlino che curerà, insieme all'industria di Hannover Thetis Technologie GmbH, la realizzazione del sistema di deposizione, l'Istituto per la Geologia Marina del CNR, il Wolfson Sensor Group dell'Università of Newcastle upon Tyne per la parte di sensoristica geochimica e l'industria di Venezia Tecnomare S.p.A. che curerà la realizzazione fisica del prototipo e tutta l'elettronica connessa.

Sempre nell'ambito e con i fondi del progetto GEOSTAR, l'I.N.G., nel periodo luglio-novembre 1996, ha coordinato una serie di crociere oceanografiche per la caratterizzazione del

sito di Ustica con la nave russa "Ghelentzic" e con la nave oceanografica italiana "Urania". Nel corso dell'ultima di queste crociere, effettuata dal 9 ottobre al 14 novembre 1996, in collaborazione con l'Istituto per la Geologia Marina, l'Università di Palermo e l'Ocean Research Institute dell'Università di Tokyo, è stato effettuato, per la prima volta nel Basso Tirreno, uno stendimento di dieci OBS (*Ocean Bottom Seismometer*) a profondità variabile dai 1000 ai 3500 metri per lo studio della sismicità dell'area. L'analisi delle registrazioni è in corso e i primi risultati sembrano indicare una notevole microsismicità, le cui caratteristiche saranno oggetto di studio.

**Genesis and impact of tsunamis on the European coasts:
Tsunami warning and observation (GITEC II)**
(Contratto EC n. ENV4-CT96-0297)

Le ricerche condotte negli ultimi anni hanno evidenziato come i maremoti rappresentino un rischio considerevole non solo per le coste del Pacifico ma anche per quelle europee, specialmente per le coste atlantiche della penisola iberica, per l'Italia e per la Grecia. Infatti maremoti distruttivi si sono verificati in queste aree sia in passato che durante questo secolo e alcuni degli tsunami europei, quali ad es. l'evento di Lisbona del 1755, quello di Messina del 1908 e quello dell'Egeo del 1956, sono classificati tra i più forti e disastrosi del mondo. Studi recenti, condotti nell'ambito di un precedente Progetto europeo denominato GITEC (*Genesis and Impact of Tsunamis on the European Coasts*) dal 1992 al 1995, hanno portato alla realizzazione del primo catalogo analitico unificato per i maremoti dell'area europea ed hanno altresì consentito un notevole avanzamento nella conoscenza dei meccanismi di genesi dei maremoti e nella realizzazione di modelli analitici e numerici per la propagazione delle onde di tsunami. A seguito di tali sviluppi è stato messo in luce che il rischio tsunami per l'Europa è elevato ed è, inoltre, crescente nel tempo, a causa del rapido aumento delle attività economiche e turistiche e della continua evoluzione socio-ambientale delle aree costiere.

Al partire dal giugno 1996 e per la durata di due anni, per affrontare il problema della previsione, del monitoraggio e della gestione del rischio associato a tsunami prodotti direttamente e/o indirettamente da terremoti nelle regioni europee, ha preso l'avvio un nuovo Progetto dell'Unione Europea denominato GITEC - TWO (*Genesis and Impact of Tsunamis on the European Coasts - Tsunami Warning and Observations*).

Il progetto, coordinato dall'Università di Bologna e al quale l'Istituto Nazionale di Geofisica partecipa in qualità di partner associato, coinvolge 7 nazioni (Italia, Francia, Spagna, Portogallo, Grecia, Norvegia e Regno Unito) ed è essenzialmente centrato sulla progettazione e lo sviluppo di sistemi locali di "Tsunami Warning" in alcune regioni europee che sono le più interessate al fenomeno. Altri obiettivi del progetto, tutti strettamente interrelati allo scopo principale, sono lo sviluppo di nuove tecniche di modellazione per la genesi e la propagazione delle onde, lo studio di eventi storici e l'approfondimento di studi di rischio: è infatti noto che la affidabilità e l'efficienza di qualsiasi sistema di *warning* per la protezione delle coste è fortemente dipendente da più fattori quali la disponibilità di sofisticate tecniche di modellazione, la capacità di registrare tsunami, la conoscenza degli eventi del passato e la disponibilità di strumenti attendibili per la valutazione del rischio.

Benché le coste europee abbiano subito, nei secoli, forti maremoti, attualmente non esistono lungo le coste sistemi operativi di routine che siano in grado di monitorare e proteggere le coste stesse e che possano allertare in tempo utile le popolazioni in caso di maremoto. Questo problema riguarda, naturalmente, anche le coste italiane: infatti non esiste alcun sistema, né pilota né sperimentale, capace di emettere un *warning* in caso di maremoto. Fino ad oggi, lo sviluppo di un sistema di *warning* nell'area europea è stato assolutamente trascurato, sia per lo scarso interesse della comunità scientifica al problema maremoti sia per le reali difficoltà dovute alle particolari caratteristiche dei maremoti europei ed italiani in particolare. Infatti, nei mari europei i tempi di tragitto delle onde di maremoto sono relativamente brevi, raramente superiori a 40-50 min., e una caratteristica saliente dei maremoti dell'area del Mediterraneo (e ancora di più degli eventi italiani) è che la maggior parte di essi è generata molto localmente, cioè da terremoti molto vicini alla costa o addirittura in terra in prossimità della costa stessa, così che solitamente le onde colpiscono la costa entro 10-15 min dalla scossa. Pertanto, tutti i sistemi di *tsunami warning* attualmente operanti nel mondo non sembrano essere appropriati per le nostre coste in quanto sono efficienti se il maremoto è generato da una sorgente tsunamigenica distante. Infatti, il loro funzionamento è basato su una rete sismica che opera in tempo reale e che registra e localizza il sisma. Nel caso in cui esso abbia epicentro in mare e abbia una magnitudo rilevante, allora vengono allertate le reti mareografiche per il possibile verificarsi di uno tsunami. Questo tipo di sistema non è idoneo per maremoti locali dal momento che il tempo che intercorre tra la generazione del maremoto e l'arrivo delle onde è piuttosto breve. Questo è uno dei principali motivi che ha fino ad oggi scoraggiato dall'affrontare il problema del *warning*, al quale si vuole dare una soluzione proprio nell'ambito del Progetto GITEC - TWO.

Per quanto concerne la partecipazione dell'I.N.G. al progetto, l'attività principale riguarda la progettazione e realizzazione del sistema italiano di *warning* per un'area costiera di particolare interesse. A tale proposito, l'analisi del recente catalogo europeo ha mostrato che, per l'Italia, la Calabria e la Sicilia sono le regioni interessate dai più rilevanti terremoti tsunamigenici e che sono state affette nel corso dei secoli da un consistente numero di forti terremoti che hanno causato tsunami sia forti che di minore entità. Pertanto la scelta dell'area in cui installare il sistema pilota di *warning* è ricaduta sulle coste della Sicilia orientale, area ad elevato rischio, essendo potenzialmente in grado di essere colpita da maremoti locali. In particolare il sito scelto è il porto di Augusta (SR), anche in considerazione della vicinanza della stazione sismica di Augusta (AU9) a tre componenti, che fa parte della rete sismica nazionale I.N.G..

Il concetto basilare del sistema pilota di *warning* è che esso è concepito per quelle aree costiere potenzialmente attaccate da maremoti generati da terremoti costieri. Il sistema è un insieme integrato di dati sismici e mareografici ed è disegnato per la simultanea acquisizione del segnale sismico e delle variazioni del livello marino, per il processamento di entrambi i segnali, per l'individuazione di condizioni di pericolo e la conseguente emissione di un messaggio di allarme a specifiche unità locali di Protezione Civile. Nella fase sperimentale il dato sismico sarà quello proveniente dalla terna di sensori S-13 operanti alla stazione sismica di AU9.

Per quanto riguarda il dato mareografico, nel porto di Augusta, in un sito controllato dalla Capitaneria di Porto, verrà installata una stazione di misura del livello marino. La stazione sarà composta da un sensore di livello idrometrico pneumatico collocato in mare, per la misura delle variazioni del livello stesso, corredata di un'unità barometrica. Un "*centro di controllo*" per l'intero sistema di allarme sarà allestito ed equipaggiato con un PC in grado di ricevere il dato dalla stazione sismica e quello proveniente dalla stazione mareografica relativo sia al livello marino che al dato di pressione atmosferica.

Il centro di controllo sarà dotato di un software appositamente predisposto, in grado di effettuare un'analisi del segnale per individuare con certezza l'inizio di un segnale significativo. Una volta determinato l'inizio di un terremoto dovrà verificare contemporaneamente, con un processo analogo, le eventuali anomalie del dato mareografico e nel caso in cui i due segnali indichino situazioni di pericolo, il Centro invierà un messaggio di allarme, via radio, alle unità locali di Protezione Civile.

Pertanto, le attività principali da svolgere allo stadio sperimentale del progetto sono la definizione delle caratteristiche dell'hardware, la messa a punto e il funzionamento dell'hardware stesso e del software di base per l'acquisizione dati e il loro processamento (si tratta del software che include l'algoritmo di base per la detezione automatica sia del segnale sismico che di quello mareografico), la definizione del codice di trasmissione del messaggio di allarme.

Tutte queste attività saranno portate avanti dall'I.N.G. congiuntamente all'Università di Bologna.

Geochemical Seismic Zonation Seismic Hazard Zonation: a multidisciplinary approach using fluid-geochemistry methods.
(Contratto EC n. ENV4-CT96-0291)

L'I.N.G. riveste il ruolo di Associated Partner (Main Investigator: dott.ssa F. Quattrocchi) nel programma EC "Geochemical Seismic Zonation", in collaborazione con il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università "La Sapienza" di Roma (coordinatore: prof. Salvatore Lombardi), la Terza Università di Roma, l'Università di Torino, il Laboratorio di Geochimica Ambientale ENEA (AMB-TEIN-CHIM), la University of Exeter (UK), la University of Thessaloniki (Grecia), il Laboratorio di Geochimica Isotopica del CNRS di Nancy (Francia). Il progetto è stato approvato e finanziato dall'aprile 1996 (Contratto EC n. ENV4-CT96-0291, 86 KECU per l'I.N.G.) per la durata di 2 anni nell'ambito del Programma "Environment and Climate - Seismic Risk" (2.3.2).

Lo scopo principale di questo progetto è di valutare le potenzialità della geochimica dei fluidi nel contribuire al *Seismic Hazard Assessment (SHA)*, definendo *Geochemical Seismic Zonation* il riconoscimento di zone di faglia attive e sismogenetiche, dallo studio dei trend temporali e spaziali nella geochimica dei fluidi, sia nel presente che nel passato.

Più in dettaglio le finalità di questo programma di ricerca prevedono:

- di rifinire lo *SHA*, utilizzando la modellizzazione della geochimica dei fluidi e il monitoraggio areale e temporale in alcuni *test-sites* in vari paesi europei coinvolti nel programma, selezionando alcune aree di faglia dove le caratteristiche sismotettoniche e geostrutturali sono già ben conosciute. In particolare la ricerca intende utilizzare un ampio spettro di parametri geochimici come strumento per tracciare faglie attive, in un confronto multidisciplinare con la sismologia e geologia strutturale;

- di comprendere meglio, considerando il contributo della geochimica dei fluidi, i processi pre-sismici, le sorgenti sismiche ed i fenomeni di *stress-strain* asismici, legati alla risalita di fluidi e a processi di *self-sealing*, soprattutto durante lo stadio critico della faglia sismogenetica; nonché di approfondire la conoscenza di base per la previsione sismica con metodi geochimici.

Le principali attività del progetto sono:

- fornire un nuovo data set di parametri idrogeologici, chimico-fisici, di elementi maggiori, minori ed in tracce nelle fasi fluide (es. He, Rn, H₂, H₂S, CO₂, CH₄, NH₃, SiO₂, B, Li, Rb, Cs, Sr, Fe, Mn, F, Se, Tl, Hg, As, Sb, ecc...) e di rapporti isotopici (³T, d ¹⁸O, d D, d ¹³C, d ³⁴S, ²²⁰Rn/²²²Rn, ⁴He/⁴⁰Ar, ³He/⁴He, ⁴⁰Ar/³⁶Ar, ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr, ³⁵Cl/³⁷Cl) sia nelle fasi fluide che in alcuni campioni rocciosi lungo piani di faglia.

Questi dati saranno elaborati con statistica multivariabile, programmi di calcolo per lo studio degli equilibri chimici e modellizzazione di flusso e trasporto nei mezzi porosi e fratturati;

- elaborare e integrare tramite GIS (*data base* multiparametrico ARC/INFO) i differenti *data set* (geologia strutturale, sismicità, catalogo sismico, gravimetria, idrogeologia), con i nuovi dati geochimici acquisiti nelle aree selezionate - anche asismiche (Sardegna, Torre del Greco, Gargano, penisola Calcidica, Isola di Lesbo, Devonshire). Il Gargano, l'Isola di Lesbo e il Devonshire sono stati finora studiati con nuove campagne geochimiche, geo-strutturali e *review* dei dati preesistenti;

- sviluppare un nuovo prototipo di *Geochemical Monitoring System* (GMS II), per la sorveglianza sismica, vulcanica e ambientale e per lo studio dei premonitori di terremoti e di eruzioni vulcaniche, con lo scopo soprattutto di chiarire le relazioni tra *trend* temporali nei fluidi e sismicità. Le stazioni remote potranno misurare in continuo alcuni parametri di interesse sismotettonico e ambientale quali conduttanza elettrica, temperatura, condizioni atmosferiche (P,T), pH, Eh, PCO₂, He Rn, H₂S, H₂, flusso e livello statico. Al momento attuale (dicembre 1996) è stato completato il software e l'hardware del sistema di acquisizione del GMS II, nonché è stata completata la selezione dei sensori/strumenti da assemblare, compreso il nuovo prototipo I.N.G. per la misura del Rn in continuo nelle acque e manifestazioni gassose. È imminente l'installazione della prima stazione GMS II presso Tivoli (RM).

**A rapid warning system for earthquakes
in the European Mediterranean region**
(Contratto EC n. ENV4-CT96-0282)

Dal 1 maggio 1996 è attivo il Progetto Europeo *"A rapid warning system for earthquakes in the European Mediterranean region"* (Contratto n. ENV4-CT96-0282) coordinato dall'Euro-Mediterranean Seismological Centre (EMSC) e del quale l'I.N.G. è partner.

Il progetto, di durata biennale, è stato approvato e finanziato (per un ammontare di 340.000 ECU) dall'Unione Europea DG XI I, Programma *"Environment and Climate"* e riguarda la creazione e lo sviluppo di un sistema di scambio rapido delle determinazioni ipocentrali degli eventi sismici più significativi dell'area Euro-Mediterranea.

Il Progetto, come già accennato, è coordinato dall'EMSC che è un'organizzazione internazionale di tutti gli Istituti Scientifici Sismologici Europei e del bacino del Mediterraneo, con sede a Parigi, del quale l'I.N.G. è "Key Nodal Member" con il compito della determinazione rapida degli epicentri dei maggiori terremoti, compito che l'EMSC svolge per conto e su fondi del Consiglio d'Europa.

Il Progetto *"A rapid warning system for earthquakes in the European Mediterranean region"* prevede il miglioramento della Determinazione Rapida degli Epicentri mediante la messa a punto di un "Auto Data Request Manager" e l'interscambio in tempo reale (entro un'ora dall'evento) dei parametri dei maggiori eventi sismici tra l'EMSC e gli altri partners del Progetto che sono, oltre l'I.N.G., l'LDG di Bruyères-Le-Chatel, l'Istituto Geografico National di Madrid, il GeoForschungsZentrum di Potsdam, il British Geological Survey e gli Istituti Sismologici di Salonicco e olandese.

Compiti specifici dell'I.N.G. all'interno del Progetto sono la determinazione delle dromocrone dell'area Mediterranea e l'invio all'EMSC delle proprie Determinazioni Ipocentrali Automatiche, integrate con i dati provenienti dalle Organizzazioni Sismologiche di Romania e Bulgaria.

Con questi due paesi dell'Est europeo l'I.N.G. ha stabilito relazioni scientifiche stabili presentando progetti di collaborazione (approvati o in corso di approvazione) nell'ambito dei protocolli di collaborazione scientifica e culturale tra i rispettivi Ministeri degli Affari Esteri.

Il completamento del progetto *"A rapid warning system for earthquakes in the European Mediterranean region"* fornirà al Consiglio d'Europa un rapido ed efficiente sistema di allarme per qualsiasi evento sismico rilevante si dovesse verificare nell'area di proprio interesse, consentendo l'approntamento delle opportune misure di protezione civile che il Consiglio d'Europa, di concerto con le Organizzazioni nazionali dei paesi interessati ad un eventuale terremoto, ritenesse opportuno adottare, nonché uno scientificamente valido "data base" Euro-Mediterraneo di parametri e forme d'onda dei maggiori eventi sismici.