

Pagamenti in c/competenza	L. 22.790.540.328	
Pagamenti in c/residui	<u>L. 5.752.698.303</u>	<u>L. 28.543.238.631(-)</u>
Disponibilità di cassa al 31/12/1997		L. 11.706.862.551(+)
Residui attivi:		
della competenza	L. 409.966.982	
degli anni precenti	<u>L. 1.235.105.819</u>	L. 1.645.072.801(+)
Residui passivi:		
-della competenza	L. 8.991.470.800	
degli anni precenti	<u>L. 1.412.875.143</u>	<u>L. 10.404.345.943(-)</u>
Avanzo d'amministrazione al 31/12/1997		L. 2.947.589.409(+)
		=====

L'avanzo d'amministrazione al 31/12/1997 di L. 2.947.589.409 include minori impegni per un totale di L. 2.267.740.676, come da dimostrazione contenuta nell'allegato 1 al consuntivo, realizzati sui capitoli di spesa a destinazione vincolata nn. 65 (L. 1.582.393.531), 66 (L. 595.147.145) e 67 (L. 90.200.000) per cui l'avanzo effettivo si riduce a L. 679.848.733.

d) Situazione patrimoniale e conto economico

La situazione patrimoniale al 31/12/1997 espone un patrimonio netto di L. 46.040.491.596 essendo il totale delle attività di L. 78.668.083.539 e quello delle passività di L. 32.627.591.943.

Nei confronti del precedente esercizio il patrimonio netto ha subito un incremento di L. 666.828.781. Le passività sono passate nei due anni precedenti da L. 28.201.649.177 a L. 32.627.591.943.

Al 31/12/1997 il fondo accantonamento dell'indennità di anzianità è di L. 8.636.587.000 ed è maggiore di L. 1.698.971.000 rispetto a quello dell'esercizio precedente.

Il conto economico presenta entrate ammontanti a L. 29.225.752.925 e spese, inclusi accantonamenti e deprezzamenti, per L. 28.558.924.144. Pertanto, la gestione si chiude con un avanzo economico di L. 666.828.781 che fa aumentare di un pari importo il patrimonio netto, come in precedenza segnalato. Nell'esercizio 1996 la gestione si era chiusa con un disavanzo economico di L. 5.880.109.816.

Conclusioni

Fermo restando le osservazioni contenute nel presente verbale, il Collegio dei Revisori esprime parere favorevole sull'aspetto tecnico-contabile del conto consuntivo dell'ING per l'anno finanziario 1997 da approvare dal Consiglio di Amministrazione.

Letto, confermato e sottoscritto.

Roma li, 13 maggio 1998

IL COLLEGIO DEI REVISORI

Dott. Biagio Gattulli - Presidente



Rag. Emanuele Rossetto De Marchis - Componente



Dott. Giorgio Bruno Civello - Componente



RAPPORTO
SULL'ATTIVITÀ SCIENTIFICA SVOLTA

INDICE

Ricerca e Monitoraggio Sismico (R.M.S.).....	
Sismologia e Fisica dell'Interno della Terra (SFIT)	
Geodinamica.....	
Geomagnetismo	
Aeronomia	
Laboratori e Centro di Elaborazione Dati.....	
Progetto Argo	
Progetto Mednet	
Controllo delle esplosioni nucleari.....	
Le attività nel Programma Nazionale di Ricerche in Antartide.....	
Rete Sismica Nazionale Digitale.....	
PROGETTI CEE	
Southern Europe Network for Analysis of Seismic Data.....	
SEISMODOC.....	
GEOSTAR	
GITEC II	
Geochemical Seismic Zonation.....	
FAUST - Faults as a seismologist's tool	
A rapid warning system for earthquakes.....	
in the European Mediterranean region.....	
MVRRS.....	
AGMV.....	
Pubblicazioni 1997.....	

Unità Organica Ricerca e Monitoraggio Sismico (R.M.S.)

Sintesi dell'attività scientifica svolta nell'anno 1997

1. Servizio e Ricerca associati al monitoraggio sismico.

Nel corso del 1997 l'Ente ha continuato ad onorare uno dei suoi più importanti compiti istituzionali; vale a dire quello dell'osservazione sistematica e dell'analisi dei fenomeni sismici che avvengono sul territorio nazionale. Tale compito è stato svolto attraverso strutture quali la Rete Sismica Nazionale Centralizzata (RSNC), le reti locali permanenti e la rete di pronto intervento. L'ente, inoltre, ha continuato a svolgere per conto della Protezione Civile il Servizio di Sorveglianza Sismica, effettuato, attraverso la turnazione di ricercatori e tecnici nell'arco delle 24 ore, durante tutti i giorni dell'anno.

La RSNC è una rete di sensori, distribuiti su tutto il territorio nazionale, collegati in tempo reale e in maniera continuativa mediante linee dedicate Telecom-Italia al Centro di Acquisizione Dati della Sede. Nel corso del 1997 sono state collegate e inserite nella configurazione di rete le stazioni di Macugnaga, Patocco e Caneva i siti delle quali erano stati allestiti nel corso dell'anno precedente. Inoltre, a seguito della sequenza iniziata il 26 settembre sull'Appennino umbro-marchigiano, sono stati allestiti i siti e installate le stazioni permanenti di Esanatoglia e Norcia. L'allestimento di queste ultime due stazioni, per evidenti motivi di urgenza, è stato portato a termine in maniera non ottimale e con caratteristiche di provvisorietà. Nel corso del 1998, con la già accordata collaborazione delle rispettive Amministrazioni comunali, si provvederà alla loro definitiva sistemazioni in casotti e pozzetti, rispettivamente per la strumentazione e per i sensori, costruiti ad hoc. Nel corso dell'anno è stato individuato, con la collaborazione dell'Università della Calabria, più specificatamente, con il Dipartimento Scienze della Terra, gestore della rete sismometrica regionale calabra, un sito idoneo all'installazione di una stazione lungo il versante ionico del massiccio silano. Inoltre sono state allestite due nuove stazioni in sostituzione di altrettante dismesse per motivi logistici: la stazione di Favara è stata spostata di circa 800 metri dal sito originario; la stazione di Castelvetro sarà sostituita dalla stazione di Caltabellotta. Nel 1997 è stata effettuata, come tutti gli anni, l'oneroso compito di manutenzione della rete nazionale. Ciò ha comportato numerose missioni di servizio effettuate dai tecnici elettronici afferenti all'Unità Organica, compatibilmente con gli impegni legati al servizio di sorveglianza sismica.

La Rete Sismometrica del Friuli. Nel corso del 1997 sono terminati i lavori inerenti all'allestimento dei 5 siti che ospiteranno la strumentazione della rete in dial-up. Ogni sito è stato provvisto di casotto e di pozzetto. Sono state inoltre accese le utenze ENEL e Telecom-Italia ed effettuati i relativi collegamenti. Nel corso del prossimo anno verrà installata la strumentazione e allestito e reso operativo il centro di acquisizione sia presso la sede a Roma sia presso il centro operativo della protezione civile friulana di Palmanova.

La Rete Sismometrica del Belice. Nel corso del 1997 sono state portate a buon fine tutte le pratiche relative all'autorizzazione all'occupazione di suolo pubblico e all'autorizzazione all'uso di ponti radio. Sono stati altresì acquistati e posizionati nei relativi siti i prefabbricati che ospiteranno la strumentazione. Nel corso del 1998 verranno completati i lavori di

allestimento e di installazione delle stazioni, compatibilmente con gli altri lavori (soprattutto la gestione delle stazioni della RSNC) che gravano sul ridottissimo personale (due persone) dell'Osservatorio dell'I.N.G. di Gibilmanna.

Nel corso del 1997 è continuata la gestione della Rete Sismometrica del Sannio-Matese. Attualmente sono collegate alla Sede 8 stazioni. Nel corso del 1998 si prevede di collegare le restanti. La Rete sismometrica dei Colli Albani ha avuto seri problemi di manutenzione; in particolare uno dei due ripetitori in GHz, installato in cima a monte Calvarione presso Nemi e responsabile del collegamento di 4 stazioni, è stato seriamente danneggiato a causa dell'intrusione di ratti nel casotto ospitante la strumentazione. Nel corso del 1998 si provvederà alla sua riparazione (necessariamente presso la ditta costruttrice in Germania) e al ripristino della funzionalità della rete.

Il Servizio di Sorveglianza sismica è stato svolto, secondo i consueti canoni, anche per il 1997. In particolare è da menzionare il fatto che la lunga sequenza dell'Appennino umbro-marchigiano, caratterizzata da numerosissime scosse, molte delle quali fortissime, ha costretto ad un carico eccezionale di lavoro tutti i partecipanti ai turni di sorveglianza fin dall'inizio della sequenza, costringendo a rinforzare il loro numero per rispondere alle esigenze di informazioni provenienti dalla Protezione Civile e soprattutto dai cittadini e dai mass-media.

Uno sforzo ancora maggiore è stato richiesto al Servizio Informazione Sismica nel redigere il bollettino. Si è trattato, per gli analisti interpretatori dell'ente, di analizzare più di 20.000 forme d'onda, registrate dalle stazioni della RSNC in poco più di due mesi. Si prevede che questo carico di lavoro eccezionale impegnerà anche i prossimi tre mesi del 1998.

La Rete di Pronto Intervento dell'I.N.G. è intervenuta 2 volte nel corso dell'anno 1997. La prima volta in occasione della sequenza di Massa Martana (PG), cominciata il giorno 12 Maggio con una scossa di magnitudo locale 4.5. In questa occasione l'ente, in collaborazione con il Servizio Sismico e RE.SI.L. Regione Umbria, ha installato una rete di monitoraggio temporaneo di 15 stazioni digitali a tre componenti, registrando circa 100 eventi di magnitudo superiore a 2. La seconda volta in occasione della sequenza in Umbria e Marche. Quest'ultima è iniziata il 26 settembre con due scosse di magnitudo locale rispettivamente di 5.6 e 5.8 ed è continuata, durante i successivi tre mesi, con una altissima frequenza di scosse, molte delle quali di magnitudo superiore a 5. In questa occasione la mobilitazione dell'ente è stata massima. Già nella mattinata del 26 settembre due squadre era in viaggio per installare una rete locale temporanea nell'area epicentrale. Sono state installate complessivamente 13 stazioni digitali a tre componenti; cinque collegate in ponte radio ad un centro mobile di acquisizione ed elaborazione dati installato su di un camion appositamente attrezzato, adattato ad ospitare anche due postazioni di lavoro per gli operatori addetti alla elaborazione dei dati, parcheggiato sopra un colle nelle vicinanze di Colfiorito. Le ulteriori 8 stazioni invece configurate in modalità di registrazione locale dei dati con post-processamento degli stessi. Complessivamente, considerando anche le stazioni installate dalle altre istituzioni scientifiche intervenute, la sequenza è stata monitorata da più di 30 stazioni. L'Unità Organica ha garantito per tutto il tempo del monitoraggio temporaneo, ovvero fino al 4 novembre, la presenza in loco, in regime di turnazione, di ricercatori e di personale specializzato per il presidio del centro mobile di acquisizione, per l'elaborazione locale dei dati, in stretto contatto con i colleghi presenti nella sala di sorveglianza sismica dell'Istituto a Roma, per la manutenzione delle 13 stazioni e per la sostituzione degli hard disk delle stazioni con registrazione locale. L'impegno eccezionale dell'Unità Organica è stato premiato con l'acquisizione di migliaia di eventi sismici le cui forme d'onda vanno ad aggiungersi a quelle registrate dalla RSNC. Già soltanto la fase di acquisizione e interpretazione dei sismogrammi raccolti e i problemi legati alla loro archiviazione hanno impegnato la maggior parte dei ricercatori e degli assistenti appartenenti all'RMS per tutto l'ultimo trimestre del 1997.

Nel corso dell'anno sono continuate le ricerche riguardanti il campo di applicazione e i limiti offerti da alcune tecniche di localizzazione ipocentrale (di tipo standard, master event, JHD). Sono state evidenziate aree del territorio italiano dove è stata riscontrata una minore accuratezza nella precisione delle localizzazioni e sono state applicate tecniche non standard di master event per la localizzazione e di cross-correlazione per il picking delle fasi nel caso di eventi registrati da reti locali quale quella del Brasimone, gestita dall'ENEA.

Nel settore dello studio delle caratteristiche spazio-temporali della sismicità a fini previsionali, nel corso dell'anno, in collaborazione con il Centro Geofisico dell'Accademia delle Scienze di Mosca è stato applicato, alla sismicità recente dell'Appennino Umbro-marchigiano e a quella dell'area di Reggio Emilia, sede di una importante sequenza sismica nell'ottobre 1996, un algoritmo finalizzato all'identificazione di stadi di quiescenza e di attivazione della sismicità, per lo studio del comportamento delle aree sismogenetiche del territorio nazionale durante la fase di preparazione di forti eventi.

2. Linea di ricerca: Fisica della Sorgente Sismica.

Nel corso del 1997 sono stati completati gli studi teorici riguardanti il comportamento meccanico di faglie sismogenetiche e sono stati sviluppati alcuni codici numerici per calcolare le variazioni di sforzo causate da processi di frattura durante gli eventi sismici. In particolare è stato implementato e verificato il codice di calcolo per valutare le variazioni di sforzo statico causate da forti terremoti. Questo algoritmo è stato applicato ai forti eventi storici e recenti che hanno colpito l'Appennino meridionale per studiare l'interazione tra segmenti di faglia e la conseguente variazione della probabilità di occorrenza di ulteriori eventi sismici. Inoltre l'algoritmo elaborato è stato utilizzato per studiare possibili interazioni tra forti eventi sismici nell'Appennino meridionale e le maggiori eruzioni del Vesuvio negli ultimi 400 anni. Questi studi sono stati eseguiti in collaborazione con l'U.S. Geological Survey di Menlo Park e con l'I.P.G. di Parigi.

Un ulteriore sviluppo di queste ricerche ha consentito di elaborare un algoritmo per calcolare le serie temporali dello sforzo dinamico nell'area circostante una faglia sismogenetica. In questo modo è possibile calcolare sia le variazioni di sforzo dinamico (transiente) che le variazioni di sforzo statico (permanente) causate da dislocazioni cosismiche. La procedura è stata applicata allo studio dell'attivazione dei subeventi del terremoto dell'Irpinia del 1980. Questo studio è stato realizzato in collaborazione con l'Università di Grenoble.

Un ulteriore settore di indagine è stata l'analisi della radiazione sismica finalizzata allo studio delle faglie sismogenetiche ed alla stima dei principali parametri di sorgente. Sono state analizzate le registrazioni digitali di recenti eventi sismici (Irpinia 1996, Reggio Emilia 1996) per fornire stime quantitative dell'energia rilasciata e dello scuotimento osservato. In particolare l'analisi della polarizzazione delle onde sismiche è stata impiegata per stimare l'anisotropia del mantello e della crosta terrestre. Tale metodologia d'indagine è stata applicata alle registrazioni del terremoto di Kobe (Giappone) del 1995 per vincolare il meccanismo di sorgente e l'evoluzione temporale del processo di rottura.

Sono stati conseguiti interessanti e promettenti risultati sia nello studio delle relazioni costitutive che governano il processo di frattura sia nella simulazione del moto del terreno osservato durante forti terremoti. Nel primo caso questi risultati costituiscono un importante passo verso la formulazione di metodi numerici per la simulazione del processo di frattura, necessari alla comprensione delle eterogeneità osservate nei processi di sorgente e nel ciclo sismico di faglie attive. Nel secondo caso i risultati conseguiti permettono di elaborare codici numerici per la realizzazione di scenari di pericolosità necessari per la definizione del rischio

sismico in aree sismogenetiche dove forti terremoti sono avvenuti nel passato ma nessuna registrazione strumentale è disponibile.

3. Linea di ricerca: Sismicità e struttura della Crosta.

Nel settore di ricerca riguardante la definizione delle strutture sismogenetiche, sono stati analizzati, nel 1997, i dati relativi alle registrazioni sismometriche delle repliche dei terremoti di Potenza 1990 e 1991 per determinare la struttura crostale di quell'area. In particolare, l'osservazione delle forme d'onda dei terremoti, oltre alle fasi dirette P e S, ha mostrato la presenza di una fase convertita. Ciò ha permesso di vincolare la profondità e la geometria di una importante discontinuità crostale con una tecnica di inversione dei tempi di arrivo delle fasi convertite. I risultati delle ricerche sono state ottenuti con la collaborazione dell'Università di Liegi.

Il notevole carico di lavoro che ha assorbito tutti i componenti dell'Unità Organica nell'acquisizione dei dati della sequenza di Colfiorito-Selano, non ha impedito una prima analisi dei dati registrati. Sono stati finora letti i tempi di arrivo di oltre 1200 terremoti, registrati nel periodo 26 Settembre – 3 Novembre 1997. Essi sono stati localizzati con differenti modelli di velocità. I risultati fin qui ottenuti, relativi alla distribuzione spazio-temporale della sismicità prima e dopo le scosse più forti e ai meccanismi focali di alcune repliche significative, costituiscono l'oggetto di un articolo che è stato sottomesso al *Geophysical Research Letters*. Con queste prime analisi, si è potuto determinare che l'area dell'Appennino umbro-marchigiano colpita dalla sequenza di settembre 1997, è interessata da un vasto processo di estensione crostale, che questa estensione si realizza sismicamente nei primi 8 km della crosta, e che durante la sequenza sono stati attivati differenti segmenti di faglia, tra loro adiacenti, giustificando così l'anomala estensione spaziale dell'area interessata dalle repliche (da Nocera Umbra fin quasi a Norcia, per oltre 40 km).

E' stata effettuato nell'anno anche uno studio della sequenza di Massa Martana. Anche in questo caso la distribuzione delle repliche, comprese tra 2 e 8 km, e i meccanismi focali degli eventi più energetici, calcolati a partire dalle polarità dei primi arrivi P e vincolati in base alla polarizzazione delle onde S, confermano per l'Appennino centrale l'attivazione di un processo deformativo crostale di tipo estensionale con direzione preferenziale anti-appenninica.

Nel corso dell'anno è stata svolta una analisi della sequenza registrata in occasione del terremoto di Reggio Emilia avvenuto nell'Ottobre del 1996 (magnitudo locale 5.2). Dallo studio è emerso che lo strato sismogenetico di quest'area si estende tra i 10 ed i 17 km di profondità in direzione NE-SW. Le soluzioni focali delle repliche sono in prevalenza di tipo inverso confermando l'esistenza di una compressione NW-SE osservata con il CMT dell'evento principale.

Una ulteriore sequenza analizzata è stata quella del Sannio-Matese. Nel 1997 è stata avviata una collaborazione con alcuni ricercatori dell'Osservatorio Vesuviano al fine di localizzare gli eventi sismici registrati dalle reti sismiche dell'I.N.G. e dell'Osservatorio Vesuviano. L'integrazione dei dati e l'applicazione di tecniche di localizzazione idonee hanno consentito di ottenere accurate distribuzioni ipocentrali che si inseriscono nel quadro delle conoscenze tettoniche dell'area.

La stessa sequenza è stata analizzata al fine di valutare le interazioni tra i segmenti di faglia principali che caratterizzano tale parte dell'Appennino meridionale. E' stato osservato in particolare che l'occorrenza di forti terremoti storici ha provocato una variazione dello stato di stress nella zona di bordo delle strutture adiacenti e una variazione della direzione degli assi principali del tensore di stress. Le suddette variazioni sono state confermate da modelli teorici

di dislocazione e dall'analisi dei *breakouts* di pozzi profondi. I risultati di queste analisi giustificano le peculiarità osservate di questa sequenza (meccanismo focale della scossa principale e distribuzione delle repliche).

La sequenza sismica irpina attivatasi nell'aprile 1996, a seguito di un evento di magnitudo 4.9, ha permesso di verificare alcune delle ipotesi riguardanti l'interazione tra i segmenti di faglia che produssero il forte terremoto dell'Irpinia del 1980. Nel corso del 1997, i dati sismometrici dell'I.N.G. e quelli accelerometrici dell'Enel prodotti dall'evento del 1996 sono stati analizzati allo scopo di determinare:

- la localizzazione ipocentrale dell'evento principale e delle repliche;
- il meccanismo focale dell'evento principale, mediante analisi congiunta di polarità dei primi arrivi dell'onda P e della polarizzazione dell'onda S;
- parametri di sorgente (momento sismico, corner frequency e rilascio di stress) dell'evento principale.

Queste informazioni hanno messo in luce che l'evento del 1996 è avvenuto al bordo settentrionale del segmento di faglia della scossa a 20 s del terremoto del 1980. Il meccanismo focale di questo evento e la distribuzione spaziale delle sue repliche ha confermato l'orientazione del segmento di faglia in questione, dimostrando inoltre una sua inclinazione quasi verticale. Nel complesso, la sequenza del 1996 ha riempito il gap che si riteneva rappresentasse una barriera nel processo di rottura del terremoto del 1980. Al contrario, il verificarsi di una sequenza sismica con modeste magnitudo suggerirebbe la presenza di una zona debole che ha rallentato la rottura durante il terremoto del 1980 e ha ritardato la nucleazione del subevento a 20 s.

Nel corso del 1997 sono stati portati a termine gli studi particolareggiati su alcune strutture di faglie dell'area mediterranea. I risultati ottenuti, basati sull'uso di tecniche tomografiche, sono stati in grado di chiarire sia la geometria delle faglie in profondità sia la sismotettonica della regione. Le zone di faglia indagate sono state quelle di Kozani (Grecia), Benevento, El Asnam (Algeria), Northridge (California).

Sono stati effettuati, nel corso del 1997, alcuni studi relativi all'anisotropia sismica crostale utilizzando i dati relativi alla sequenza di Reggio Emilia dell'Ottobre 1996. In particolare sono stati analizzati quelli registrati da più di sette stazioni. E' stata focalizzata l'attenzione sulla polarizzazione delle onde S. La polarizzazione teorica calcolata a partire dai meccanismi focali degli eventi in esame è stata confrontata con quella osservata alle stazioni. Una delle stazioni presenta in tutti i casi una polarizzazione differente da quella attesa forse a causa dell'influenza della geologia locale. E' stata individuata inoltre una significativa presenza di anisotropia sismica in alcuni dei siti in esame che induce una polarizzazione costante del primo arrivo S (direzione fast di polarizzazione), a prescindere dalla localizzazione e dal meccanismo focale del terremoto in esame. Questi risultati saranno verificati su un numero maggiore di eventi e confrontati con i dati di stress attivo ricavato dagli studi di break-out condotti nella stessa area.

Nel settore di ricerca dello studio della deformazione sismica, nel corso del 1977 sono state calibrate delle regressioni lineari tra il momento sismico e la magnitudo momento ricavati dall'analisi di registrazioni sismometriche a larga banda, acquisite durante le campagne sismiche effettuate nell'ambito del progetto GeoModAp. Tali regressioni sono valide nell'intervallo di magnitudo 1.5-4.0. L'applicazione dei coefficienti delle regressioni alla sismicità registrata dalla RSNC dal 1983 ad oggi ha permesso di quantificare il rilascio sismico in Italia. E' stata inoltre sviluppata una procedura per rappresentare la distribuzione spaziale di momento sismico sul territorio nazionale. Il calcolo del momento sismico è stato esteso anche ai terremoti storici. In questo campo, utilizzando relazioni di regressioni che prendono in considerazione l'estensione del campo macrosismico, derivato dal Catalogo dei Forti Terremoti pubblicato nel 1997, sono stati valutati i valori di momento sismico di circa 30 significativi eventi storici. Sono stati

inoltre calcolati i tassi di rilascio sismico in diversi intervalli temporali che coprono circa 600 anni di storia sismica del nostro paese. A scala locale, è stato studiato il campo delle deformazioni sismiche nell'area dei Colli Albani a partire dai dati sismometrici acquisiti durante la sequenza 1989-90. Questo studio ha permesso di comprendere i meccanismi deformativi attivi ai Colli Albani e le loro relazioni con il campo di stress regionale e la risalita di fluidi in profondità.

4. Linea di ricerca: Struttura Profonda e Processi Geodinamici.

Nel 1997 si sono concluse le attività legate al Progetto GEOMODAP, finanziato dalla CE, che era iniziato nel 1994. Il progetto si era formalmente concluso alla fine del 1996, ma le attività di sintesi ed interpretazione dei risultati sono proseguite per alcuni mesi. Il rapporto finale è stato inviato alla CE nell'Ottobre 1997. I risultati delle attività svolte sono stati pubblicati o sono in corso di pubblicazione su riviste italiane ed internazionali. I risultati delle ricerche in campo sismologico, geodetico e sul campo di stress attivo in Italia hanno fornito nuovi dati sull'assetto tettonico dell'Italia peninsulare e hanno permesso di formulare nuove ipotesi sui rapporti tra tettonica e sismicità in Italia. Le ricerche sulla struttura profonda dell'Appennino, investigata attraverso tecniche tomografiche, sono state uno dei temi principali di GEOMODAP. Gli studi hanno utilizzato dati telesismici che indagano l'intero mantello superiore e sono stati condotti parallelamente a quelli basati su dati relativi ai terremoti crostali della regione italiana. I risultati principali di questi ultimi riguardano modelli di velocità 1-D a scala nazionale, l'evoluzione del sistema fossa-arco-bacino di retroarco nella regione italiana, la struttura litosferica.

Tra i dati telesismici acquisiti dal transetto meridionale del progetto nel 1996, sono stati selezionati quelli idonei allo studio dell'anisotropia sismica nel mantello superiore. Questa analisi va a completare quella già svolta per l'Appennino Settentrionale e Centrale. È stata rilevata la presenza di una significativa anisotropia al di sotto dell'Appennino meridionale, questa sembra essere fortemente condizionata dalla presenza di una complessa geometria dello slab in subduzione al di sotto del sistema Appennino-arco calabro. I risultati dell'anisotropia sismica sono stati confrontati con le immagini tomografiche della regione italiana. Il completamento dell'analisi dei dati del transetto 1996 ed un tentativo di interpretazione complessiva relativa ai 3 transetti è uno dei prossimi obiettivi di questo studio. Studi di anisotropia sismica a più larga scala sono stati condotti sulla base delle registrazioni di circa 30 telesismi registrati da 8 stazioni MedNet tra il 1990 ed il 1993. Tre di queste stazioni si trovano in nord Africa dove non erano mai state effettuate misure di anisotropia sismica. Alcune delle stazioni esaminate hanno registrato un buon numero di eventi (più di 15) permettendo un'analisi dettagliata delle variazioni dei parametri di direzione fast e di ritardo tra onda polarizzata veloce e lenta al variare del back-azimuth di provenienza. Questo studio ha messo in luce una estrema variabilità dei due parametri nell'area Mediterranea che risultano essere quindi influenzati da strutture locali del mantello superiore e non semplicemente riconducibili al processo di collisione Africa-Eurasia.

Nel campo dello studio della struttura crosta-mantello superiore mediante la tecnica delle *receiver functions*, è stata messa a punto una tecnica di calcolo che fornisce una stima dell'incertezza dei risultati ottenuti, permettendo così di analizzare sismogrammi prodotti da eventi telesismici di magnitudo intermedia (compresa tra 5 e 6). Ciò ha il vantaggio di aumentare i dati analizzabili (e la copertura azimutale) quando il set di dati disponibile è limitato in quanto prodotto da campagne di acquisizione relativamente brevi (pochi mesi di durata).

Nel corso del 1997 è stato preparato un consistente *database* di dati sismometrici utili per lo studio dell'attenuazione crostale in Italia centrale. Questi dati provengono da passate campagne di acquisizione realizzate nell'Appennino settentrionale e centrale, oppure in occasione di monitoraggio di sequenze sismiche (sciame sismico dei Colli Albani 1989-90 e terremoto di Reggio Emilia del 1996). L'interpretazione dei dati è ancora nella fase preliminare. È tuttora in corso un ampliamento del set di dati analizzabili, che prevede l'inclusione delle registrazioni di eventi sismici delle recenti sequenze avvenute nella regione Umbria-Marche (terremoti di Massa Martana e Colfiorito-Sellano del 1997).

5. Linea di ricerca: Sismologia Vulcanica.

E' stato eseguito, nel corso del 1997, un esperimento di sismica passiva con l'acquisizione di dati *broad band* al Vesuvio. Sette stazioni digitali a larga banda in registrazione continua sono state installate sul complesso vulcanico e nell'area limitrofa. La campagna è durata da Giugno a Settembre per registrare sia eventi telesismici per lo studio della struttura profonda sia terremoti locali del vulcano. La notevole mole di dati registrati è in corso di analisi.

Nel 1997 è stata completata la realizzazione di una tecnica originale di inversione congiunta dei parametri di sorgente, di attenuazione e di risposta locale, per eventi clusterizzati spazialmente. I dati sismometrici registrati nell'area vulcanica dei Colli Albani durante lo sciame sismico 1989-90 sono in fase di analisi mediante la tecnica in questione.

Nel corso dell'anno sono stati acquisiti i dati relativi a livellazioni di alta precisione nell'area dei Colli Albani eseguiti dalla società GONIOS. Sono stati rimisurati la metà dei capisaldi precedentemente misurati nel 1995 ed è stata istituita una nuova linea di livellazione che circonda il lago di Albano, permettendo così di ottenere circuiti chiusi. I dati sono in corso di analisi. Gli studi sulla deformazione del vulcano eseguiti analizzando sia i dati sismici che quelli geodetici acquisiti nel 1995 hanno permesso di ricostruire l'evoluzione del vulcano e i caratteri di unrest.

6. Progetto Downhole (Stazione a larga banda in pozzo).

Nel corso del 1997 si è proceduto ad una ottimizzazione della stazione in pozzo (135 m) sia in termini di sistema di acquisizione (hardware e software) sia nella determinazione delle caratteristiche geometriche. Per determinare l'orientazione del sensore in pozzo è stata applicata la tecnica della cross correlazione a 200s di registrazione telesismica. Il massimo valore di cross correlazione è stato trovato per una rotazione di 116 gradi in senso orario dal nord. Per verificare la correttezza dell'orientazione trovata è stata in seguito esaminata la *particle-motion* dell'arrivo P di un evento locale registrato in pozzo ed in superficie. Anche in questo caso i polarigrammi hanno la massima somiglianza per una rotazione di 116 gradi; è stato inoltre controllato il back-azimuth della scossa di Reggio Emilia del 15-10-96. Il sensore in pozzo permette di ridurre il rumore di fondo di più di una decade per frequenze maggiori di 0.4 Hz, garantendo registrazioni digitali di elevata qualità sia per eventi locali o regionali sia per eventi telesismici. I dati *broad band* acquisiti nel corso del 1997 dalla stazione sono stati confrontati con i dati registrati da una analoga stazione a larga banda installata in superficie. La risposta sismica degli strati alluvionali compresi tra i due sensori è stata studiata utilizzando registrazioni di rumore sismico e di terremoti locali attraverso la tecnica dei rapporti spettrali e di Nakamura. Gli eventi utilizzati appartengono alla sequenza sismica del terremoto di Reggio Emilia avvenuto a circa 80 km dalle stazioni. Il rumore sismico è registrato in finestre di 40

secondi nell'arco di un'intera giornata. I rapporti spettrali mostrano una rapida salita intorno a 0.7 Hz e tre picchi principali a circa 0.8, 2 e 3 Hz. La risposta empirica è stata quindi confrontata con quella teorica ottenuta applicando il metodo di Haskell Thomson. Le risonanze trovate dalle diverse tecniche sono estremamente simili e tutte evidenziano un picco di amplificazione a 0.8 Hz corrispondente alla frequenza fondamentale dello strato di sedimenti.

Unità Organica Sismologia e Fisica dell'Interno della Terra (SFIT)

Le tematiche sviluppate in questa U.O., che qui di seguito si analizzeranno sinteticamente, si riferiscono a ricerche che spaziano dai modelli tettonici globali allo studio di dettaglio delle faglie e della propagazione delle onde sismiche.

Più in particolare, tali attività si articolano secondo le seguenti linee di ricerca:

- Tettonica attiva e paleosismicità
- Determinazione del campo di stress nella crosta
- La struttura della litosfera in Italia e nel Mediterraneo
- Indagini geofisiche in mare per lo studio dell'evoluzione spazio-temporale di strutture sismogenetiche
- Variazioni spazio-temporali dell'attività sismica
- Macrozonazione sismica del territorio nazionale
- Effetti della geologia di superficie sul moto del suolo
- Tettonica globale, paleogeografia e modellistica dei margini attivi
- Sismologia globale
- Dinamica globale del mantello e rotazione terrestre

1. Sintesi dell'attività scientifica svolta nell'anno 1997

1.1. Tettonica attiva e paleosismicità

Le attività di questo gruppo hanno proseguito nel 1997 lungo le linee già intraprese negli scorsi anni, contribuendo a consolidare il ruolo-guida che l'Istituto ha assunto anche a livello internazionale per quanto riguarda l'approccio geologico allo studio e alla catalogazione delle faglie sismogenetiche e il loro utilizzo per la valutazione della pericolosità sismica. Le attività svolte possono essere suddivise in due linee principali che vengono brevemente discusse qui di seguito.

Ricerche originali sul territorio nazionale

Come negli anni precedenti, queste ricerche hanno avuto come fine principale l'aumento delle conoscenze integrabili nel *Catalogo delle Faglie Sismogenetiche Italiane*, che durante il 1997 è stato anche arricchito di una notevole mole di dati provenienti dalla letteratura specialistica. Le ricerche per l'arricchimento del *Catalogo delle Faglie Sismogenetiche* hanno seguito le tradizionali linee indirizzate rispettivamente verso faglie *evidenti* o *nascoste*, che vengono studiate mediante la geomorfologia della zona di faglia e delle aree limitrofe, la microtopografia e l'apertura di trincee esplorative, e verso le faglie *cieche*, la cui esistenza viene messa in evidenza attraverso l'analisi e la modellazione dei loro effetti di deformazione areale. Lo sviluppo di tali linee di ricerca ha richiesto il progressivo affinamento delle tecniche di analisi attraverso un sistema informativo geografico già avviate in via sperimentale negli anni precedenti.

Specifiche attività di ricerca che sono proseguite o sono state portate a conclusione riguardano le faglie del Fucino, alcune importanti strutture sismogenetiche dell'Abruzzo centrale, la faglia di Castrovillari, al confine calabro-lucano.

È stato inoltre effettuato un primo approfondimento sull'esistenza di strutture sismogenetiche sepolte al di sotto della Pianura Padana e sulla possibilità di localizzarle e stimarne le caratteristiche essenziali attraverso un metodo che include osservazioni di variazioni di quota storiche, osservazioni geomorfologiche e modellazione dell'assetto topografico. Le ricerche, che hanno dato risultati incoraggianti, proseguiranno nel 1998 con una estensione ai dati di sottosuolo.

È proseguita l'attività di raccolta di variazioni di quota storiche presso l'archivio generale dell'Istituto Geografico Militare. I dati finora raccolti indicano tendenze abbastanza ben

delineate e in buon accordo con l'evidenza geologica disponibile per gli stessi settori. La ricerca ha consentito anche di stringere importanti legami di collaborazione con l'I.G.M. stesso in vista di future attività congiunte, con particolare riferimento allo studio degli effetti di deformazioni indotti dai terremoti umbro-marchigiani del settembre 1997.

Si è concluso inoltre il censimento sistematico delle evidenze di deformazione tettonica cumulata rappresentate dalla attuale quota di linee di riva antiche in Italia peninsulare. I risultati ottenuti forniscono un elemento di ingresso di enorme interesse per il successivo sviluppo di modelli geodinamici e della sismogenesi.

Ricerche originali all'estero

Durante il 1997 è proseguita l'attività di ricerca su temi non nazionali. In particolare sono state continuate o portate a compimento attività a carattere paleosismologico avviate negli anni precedenti sull'Iran, sulla Grecia centrale (Golfo di Corinto) e sulla California centrale (San Francisco Bay Area). Sono state inoltre poste le basi per nuove ricerche sulla tettonica attiva e sulla paleosismicità della Grecia centrale (Locride) e del Venezuela (faglia di Bocono).

In collaborazione con ricercatori dell'U.S.G.S., alcuni ricercatori del gruppo sono coinvolti nella organizzazione di un *database* mondiale di dati sulla *dislocazione per evento* caratteristica di grandi faglie e importanti terremoti storici.

Attività di coordinamento delle ricerche e di elaborazione dei risultati

Nel 1997 l'attività di coordinamento si è incentrata su due progetti di ampio respiro, riguardanti rispettivamente il *Catalogo dei Forti Terremoti in Italia*, del quale è uscita la seconda versione e di cui si sta effettuando l'immissione in Internet, e il *Catalogo delle Faglie Sismogenetiche Italiane*.

Nell'ambito degli studi che hanno portato al secondo Catalogo dei Forti Terremoti in Italia sono stati approfonditi diversi aspetti che legano la sismologia storica alla geologia dei terremoti, ad esempio attraverso il censimento degli effetti sull'ambiente dei principali terremoti. È stato inoltre affrontato il problema della rappresentazione mediante cartografia tematica degli effetti dei grandi terremoti del passato. Una prima esperienza-pilota ha consentito di elaborare mappe relative ai principali terremoti della Calabria e della Sicilia e di mettere a punto una strategia rapidamente estendibile all'intero territorio nazionale.

Per quanto riguarda il *Catalogo delle Faglie Sismogenetiche Italiane*, va segnalato il fatto che lo schema complessivo di indagine e catalogazione è stato riproposto con successo alla scala europea nella forma di un progetto triennale che verrà finanziato dalla EC a partire dal 1998.

Entrambi i temi vedono il coinvolgimento e il coordinamento sia di personale del gruppo, che soprattutto di personale esterno in misura crescente rispetto al passato.

1.2. Determinazione del campo di stress nella crosta

Una migliore definizione, qualitativa e quantitativa, del campo di stress attuale aiuta alla comprensione dell'evoluzione geodinamica recente dell'area italiana nel contesto del Mediterraneo. Molti sono infatti i problemi irrisolti e le situazioni poco chiare a causa della scarsità di dati affidabili per la comprensione dei processi geodinamici attivi nella nostra regione. La conoscenza approfondita degli sforzi che agiscono attualmente nella crosta è utile nella valutazione di pericolosità sismica di un'area e più in generale può contribuire agli studi di sismotettonica dell'Italia tramite il raffronto e l'analisi critica di dati provenienti da ricerche di tipo diverso (dati storici, paleosismologici, geodetici, geologici).

La disponibilità delle principali compagnie di esplorazione italiane a fornire i dati necessari per lo studio del campo di stress ha permesso già da qualche anno, presso l'I.N.G., di ottenere un quadro dettagliato del campo di stress attivo in gran parte della Penisola italiana. La metodologia a cui si fa riferimento - studio dei *breakout* - è relativa all'analisi delle deformazioni nelle perforazioni profonde.

L'analisi di dati di *breakout* nel 1997 è stata effettuata in due zone particolari. Una prima area è quella relativa alla dorsale ferrarese in Pianura Padana. Sono stati analizzati circa 15 pozzi nella zona che era stata colpita nell'ottobre del 1996 da un terremoto di $M_s=5.1$ (terremoto di Reggio Emilia) proprio per verificare attraverso l'analisi di dati differenti la confidenza dei risultati. L'altra area che è stata scelta per l'analisi dei *breakout* è invece ubicata lungo il margine

adriatico della regione marchigiana. Sono stati analizzati circa 60 pozzi che sono andati ad integrare il set di dati a disposizione dagli anni precedenti, relativo sia all'Appennino meridionale che a quello centro-settentrionale.

In seguito al terremoto che ha colpito le regioni umbro-marchigiane nel settembre 1997, l'attività di ricerca negli ultimi mesi del 1997 è stata spostata verso il rilevamento geologico-strutturale e geomorfologico mirato all'analisi delle deformazioni cosismiche prodotte dalla serie di eventi sismici. Numerosi giorni di rilevamento in campagna hanno permesso di misurare diversi elementi strutturali connessi al terremoto e di fornire un quadro, anche se ancora non definitivo, piuttosto chiaro della distribuzione delle principali deformazioni nell'ambito dell'assetto sismotettonico dell'area.

Infine, l'attività di ricerca è stata concentrata verso gli studi relativi al Progetto CEE Geochemical Seismic Zonation, con attività di terreno, partecipazione a seminari e stesura di rapporti scientifici.

1.3. La Struttura della litosfera in Italia e nel Mediterraneo

Nel 1997 si è concluso lo studio sulla propagazione delle fasi regionali di alta frequenza, Pn e Sn, in Italia e nelle regioni circostanti. Scopo di questo studio è stato ottenere informazioni sulla struttura litosfera-astenosfera. L'onda di taglio Sn, viene fortemente attenuata attraverso l'astenosfera, o in generale quando si propaga in zone del mantello superiore caratterizzate dalla presenza di materiale parzialmente fuso, quindi con bassa resistenza al taglio. Al contrario, essa si propaga efficientemente per lunghe distanze entro il mantello litosferico o lid, caratterizzato da elevata resistenza al taglio. Per queste sue caratteristiche l'efficienza di propagazione della fase Sn è un importante strumento di indagine per lo studio di variazioni laterali delle proprietà reologiche nel mantello superiore.

Si è effettuata l'inversione dei tempi di arrivo delle onde Pn, con una tecnica tomografica bidimensionale che ha fornito un'immagine delle velocità delle onde sismiche al disotto della Moho. Tale studio è stato svolto in collaborazione con il Prof. Muawia Barazangi e con il Dr. Dogan Seber dell'*Institute for the Study of the Continents* della Cornell University (Ithaca - N.Y. State, USA), e con il Dr. Thomas Hearn della *New Mexico State University* di Las Cruces (USA). L'inversione ha messo in evidenza un elevato livello di anisotropia della velocità delle onde sismiche nel mantello superiore in Italia, significativamente correlato alle maggiori strutture tettoniche dell'area. Ha inoltre fornito la prima mappa dell'anisotropia sismica del mantello superiore nell'area italiana.

I risultati finora ottenuti con le diverse tecniche sono consistenti e hanno evidenziato l'esistenza, nel mantello litosferico, di una netta discontinuità al margine adriatico della penisola italiana, con velocità delle onde sismiche da normale a elevata, e bassa attenuazione, al disotto del bacino adriatico, caratteristiche tipiche di un mantello litosferico "normale". Al contrario, il mantello superiore al disotto della catena appenninica e del bacino tirrenico sono caratterizzati da basse velocità e da elevata attenuazione, indicativi della presenza di una zona termicamente anomala, interpretata come una risalita dell'astenosfera al disotto della Moho.

L'efficienza della propagazione delle onde di taglio è stata estesa al particolare caso della zona di subduzione del Tirreno meridionale. In quest'area si verificano terremoti profondi fino a circa 600 Km, che individuano un piano di Benjoff immergente verso NW. Il pattern di attenuazione delle onde di taglio S dà informazioni sulla geometria dello slab, in quanto esso agisce come guida d'onda per le fasi S. In presenza di discontinuità laterali del piano di subduzione o in caso di *slab detachment*, già ipotizzato da diversi autori, la fase S verrebbe fortemente attenuata. I nostri risultati sono consistenti con la presenza di una discontinuità litosferica tra l'arco calabro e la catena appenninica, e con uno slab continuo in profondità.

1.4. Indagini geofisiche in mare per lo studio dell'evoluzione spazio-temporale di strutture sismogenetiche

In collaborazione con l'Istituto per la Geologia Marina di Bologna (C.N.R.) e con il Centro Sismologico di Tirana (Albania) l'Istituto Nazionale di Geofisica è impegnato dal 1991 in attività di prospezione geofisica in mare. Tale attività ha come scopo l'acquisizione di dati che

consentano l'individuazione e la caratterizzazione geodinamica a scala regionale di strutture tettoniche in aree marine sismicamente attive. L'area in esame è il bacino Adriatico centro-meridionale.

Il settore crostale del bacino adriatico, indicato in letteratura come avampase stabile delle catene montuose periadriatiche di età cenozoica (Appennini, Alpi Meridionali, Dinaridi, Ellenidi) è stato interessato negli ultimi anni da alcune sequenze sismiche, con magnitudo fino a 5.3, localizzate al largo del promontorio del Gargano. La sismicità è distribuita lungo due ampie fasce di deformazione già identificate come Faglia Sud-garganica e Faglia delle Tremiti. In particolare, la Faglia Sud-garganica rappresenta il prolungamento in mare della Faglia di Matinata, importante lineamento E-W a carattere trascorrente identificato nel settore meridionale del Promontorio del Gargano e probabilmente responsabile dell'attività sismica che ha interessato quest'area in tempi storici e anche di recente (attività sismica dell'agosto-settembre 1995 e del 1996).

Durante il 1997 sono in corso di elaborazione, anche avvalendosi di laureandi, i dati di sismica multicanale a riflessione raccolti durante la campagna effettuata nel 1996 in acque territoriali nel mar Adriatico meridionale e nel mar Ionio. I profili sismici coprono diverse migliaia di chilometri per cui la completa elaborazione richiede molto tempo. L'acquisizione di profili sismici in acque territoriali albanesi e in acque internazionali ha consentito di raccordare le strutture tettoniche presenti al largo del Gargano (oggetto di una campagna effettuata nel 1991) con quelle individuate al margine orientale del bacino (oggetto di due campagne effettuate nel 1992 e nel 1994), permettendo quindi di studiare i rapporti cinematici tra i diversi sistemi deformativi esistenti nell'area adriatica, nonché l'interpretazione dell'assetto strutturale del bacino, in gran parte ereditato da ampi piegamenti di età mesozoica.

1.5. Variazioni spazio-temporali dell'attività sismica

Il filone di ricerche legato ai *pattern* di sismicità e alla loro applicazione ai fini di protezione civile è rivolto alla definizione dell'*hazard* variabile nel tempo in due modi distinti: la determinazione della probabilità condizionata di eventi susseguenti a potenziali *foreshocks* (previsione a breve termine), e l'individuazione di quiescenze sismiche naturali, considerate elementi significativi per la previsione a medio termine.

Per quanto concerne il primo punto, è stata completato lo studio della probabilità di occorrenza di terremoti futuri a partire dall'andamento temporale degli eventi sismici nell'immediato passato. La ricerca ha riguardato finora le aree sismogenetiche italiane, greche, californiane e giapponesi, e si è sviluppata anche sulla base di collaborazioni con importanti enti di ricerca di tali paesi.

Per quanto riguarda il secondo tema, la ricerca svolta in collaborazione con l'Università dell'Alaska, iniziata nel 1993, si è basata su un pacchetto di programmi per l'analisi spazio-temporale dei cataloghi sismici (ZMAP), la cui applicazione alla sismicità italiana ha condotto alla individuazione di un chiaro fenomeno di quiescenza precedente i terremoti dell'Umbria del settembre-ottobre 1997. Sempre sulla base del pacchetto ZMAP, è stato avviato anche lo studio delle variazioni spaziali del parametro *b* legate alla presenza di camere magmatiche in zone geotermiche e vulcaniche.

Le variazioni spazio-temporali dell'attività sismica e i processi fisici che stanno alla base della preparazione del terremoto nei volumi sismogenetici sono l'oggetto di un numero speciale degli Annali di Geofisica. La raccolta dei lavori da pubblicare in questo numero speciale, che ha visto il contributo di oltre 20 ricercatori di tutto il mondo e la cui uscita è prevista entro il 1998 o all'inizio del 1999, ha avuto inizio a seguito dell'opportunità di raccogliere sotto un unico titolo numerosi lavori presentati all'Assemblea Generale della IASPEI (Salonicco, agosto 1997) nell'ambito di diverse sessioni.

1.6. Macrozonazione sismica del territorio italiano

L'I.N.G. possiede fondamentali strumenti sismologici di base per la valutazione delle caratteristiche sismiche del territorio italiano. Un gruppo di ricercatori si sta occupando da tempo della elaborazione e compilazione di mappe tematiche degli effetti dei terremoti sul territorio italiano, utilizzabili come strumento di base per lo studio della pericolosità sismica e per la classificazione del territorio nazionale.