

RELAZIONE SULLE ATTIVITÀ SCIENTIFICHE
UNITÀ ORGANICA
RICERCA E MONITORAGGIO SISMICO
(RMS)

1. Rete Sismica Nazionale Centralizzata (R.S.N.C.)

La R.S.N.C., istituita nel 1982, svolge sia compiti di Protezione Civile attraverso la sorveglianza continua dell'attività sismica del territorio nazionale che compiti di ricerca attraverso il continuo aggiornamento delle mappe di sismicità. Nel corso degli anni è stata continuamente potenziata al fine di migliorare la possibilità di detezone degli eventi sismici e di estendere omogeneamente su tutto il territorio nazionale la capacità di localizzare i terremoti anche di bassa magnitudo. Attualmente la rete è costituita da 80 stazioni, tutte collegate alla Sede di Roma dell'Istituto attraverso linee telefoniche dedicate. Qui è sempre attivo nelle 24 ore un servizio di sorveglianza garantito per tutti i giorni dell'anno, effettuato da una squadra di sismologi e tecnici al fine di garantire quanto più tempestivamente possibile agli organi di Protezione Civile le informazioni riguardanti eventuali terremoti.

Il piano di potenziamento della R.S.N.C. è proseguito nel corso del 1995 con il collegamento in Sede delle seguenti nuove stazioni: Pietracquaria, Laterza, Sala Consilina. Oltre quelle citate, sono state installate in base ad una convenzione con la provincia di Modena le seguenti stazioni: Ferrara, Novi di Modena e Ravarino. Di queste ultime esclusivamente la stazione di Ferrara è attualmente collegata con la Sede. Sono stati acquisiti durante il 1995 i siti di tre nuove stazioni per colmare una lacuna della copertura della rete nazionale nella regione toscana e precisamente: Castellina in Chianti, Radicofani, Gorfalco. L'allestimento dei siti di Castellina e di Gorfalco è stato completato nel 1995. Si prevede nel corso del 1996 il completamento dell'installazione ed il collegamento presso la sede dell'Istituto a Roma delle tre stazioni. Sono stati inoltre individuati i siti di ulteriori quattro stazioni: Macugnaga, Patocco, Caneva, La Salle.

È appena il caso di ricordare che il collegamento di una nuova stazione è il risultato di una lunga procedura che prevede la ricerca del sito, la stipula di una convenzione con il comune entro cui il sito ricade, la ricerca di una ditta cui affidare il lavoro riguardante l'allestimento del sito (in genere un casotto per la strumentazione di controllo e un pozzetto per il sensore), l'accensione di una utenza Telecom Italia e ENEL e l'installazione del sensore e dell'equipaggiamento elettronico di condizionamento e di trasmissione del segnale.

2. Servizio di Sorveglianza Sismica e di Interpretazione dei Dati.

Nel corso del 1995 è proseguito il servizio di sorveglianza sismica effettuato per conto della Protezione Civile. Il servizio viene svolto attraverso l'istituzione di turni che vedono contemporaneamente presenti presso la sala controllo dell'attività sismica, almeno tre operatori: un sismologo, e due assistenti. I turni vengono svolti in modo da garantire la copertura nell'arco delle 24 ore per tutti i giorni dell'anno. Nel 1995 sono state comunicate alla sala operativa della Protezione Civile informazioni riguardanti circa 2000 eventi avvenuti sul territorio nazionale. Nel corso dell'anno sono stati stampati e diffusi i bollettini definitivi 1991 e 1992. Tali bollettini sono stati realizzati secondo una nuova veste editoriale che prevede la stampa dei soli dati parametrici relativi alla localizzazione e il corredo di due floppy disk contenenti i dati sismici, completi dei tempi di arrivo alle stazioni, secondo il formato I.N.G. e secondo il formato standard di scambio HYPO71.

3. Attività di Ricerca Connessa con la Rete Sismica Nazionale Centralizzata.

3.1 Calcolo delle funzioni di trasferimento della Rete Sismica Nazionale.

L'importanza della calibrazione delle stazioni sismiche al fine di controllare il corretto funzionamento delle stazioni ed un appropriato significato fisico dei dati rilevati è stata evidenziata dal lavoro svolto a partire dal 1994, con il quale si è proceduto alla sistematica calibrazione delle stazioni che compongono la Rete Sismica Nazionale Centralizzata. Per calcolare automaticamente la funzione di trasferimento del sistema costituito da sensore sismico, sistema di telemetria e registrazione è stato realizzato un software dedicato che consente di ottimizzare i tempi di calcolo e, usando il metodo "steady-state", di raggiungere un alto grado di accuratezza.

3.2 Creazione della Banca Dati dell'I.N.G.

L'attività di ricerca descritta negli altri punti ha permesso di valorizzare e potenziare le possibili applicazioni derivanti dall'uso dei dati della RSNC. Per agevolare l'accesso della comunità scientifica nazionale ed internazionale alle forme d'onda digitali prodotte dalla RSNC si è realizzata una banca dati on-line, accessibile mediante le più comuni reti di comunicazione, compresa Internet. Tale attività ha ricevuto un forte consenso dalla comunità scientifica internazionale documentato dall'elenco dei centri internazionali che hanno fatto accesso alla banca dati.

3.3 Metodi di localizzazione.

La tecnica di localizzazione congiunta "Joint Hypocenter Determination (JHD)" è stata rielaborata al fine di introdurre vincoli idonei a limitare problemi di instabilità nei casi vicini alla singolarità. Il metodo JHD è stato negli anni passati applicato per localizzare sismicità concentrata in piccoli volumi focali, fornendo stime di localizzazioni più accurate di quelle ottenibili mediante localizzazioni singole standard. La tecnica del Joint è stata rielaborata nel 1995 introducendo una variante a dei constraints introdotti da Hurokawa e Imoto (1992), idonei in particolari situazioni di distribuzioni di ipocentri e stazioni. Il nuovo codice di calcolo MCJHD è stato testato su dati sintetici. L'applicazione di MCJHD ha permesso di evincere una significativa riduzione degli spostamenti sistematici prodotti dal JHD dovuti al trade-off tra residui di stazione e coordinate spaziali.

3.4 Potere risolutivo della Rete Sismica Nazionale.

Le localizzazioni prodotte dalla Rete Sismica Nazionale Centralizzata sono state recentemente utilizzate per scopi geostrutturali e per identificare strutture di slab o comunque processi attivi nel territorio nazionale. Per valutare l'attendibilità delle localizzazioni nelle diverse aree sismogenetiche abbiamo condotto una simulazione mediante il "Metodo di Monte Carlo". I risultati di tale analisi hanno permesso di evidenziare zone sismogenetiche nelle quali, a causa della distribuzione delle stazioni sismiche, gli eventi possono essere dislocati in misura tale da non consentire analisi geostrutturali sulla base delle distribuzioni ipocentrali.

3.4 Potere detettivo della Rete Sismica Nazionale.

La rete sismometrica nazionale del nostro istituto è riconosciuta, in ambiente scientifico, come una rete analogica in grado di fornire una enorme quantità di dati a fronte della sismicità italiana degli ultimi anni.

E' ovvio che, proprio per la loro enorme diffusione e per l'uso che se ne vuole fare, i dati della rete debbono essere sottoposti ad attente analisi. L' andamento

temporale delle ampiezze del rumore di fondo di ogni singola stazione (sia nel dominio dei tempi che in quello delle frequenze) è in grado di dirci non solo se la stazione è stata ubicata in un posto idoneo, ma anche i valori di soglia da utilizzare negli algoritmi di "detection" e l'ampiezza minima registrabile di un segnale sismico. Dalla valutazione dei periodi di non operatività di ogni singola stazione, possiamo dedurre, in relazione alla motivazione del guasto, se è il caso di cambiarne o meno il sito. A tale deduzione si giunge anche valutando le distanze massime di percezione degli eventi regionali e locali dipendentemente dai valori di magnitudo.

Particolare rilievo è stato dato al problema del calcolo delle magnitudo. Ad ogni evento viene attribuito un valore di magnitudo locale e di durata, che è il valore medio delle magnitudo calcolate per ogni singola stazione. Lo scarto quadratico medio della magnitudo, calcolato evento per evento fornisce una valutazione degli algoritmi attualmente in uso per calcolarla.

3.5 Sismometria marina.

Nel quadro delle attività inerenti il monitoraggio sismico, l'Istituto ha aderito alla richiesta di collaborazione proposta dalla "SAIC" (Science Applications International Corporation-DEEPSEA Development Services- San Diego, California), con la quale sta cooperando per il progetto "Prototype Ocean Bottom Seismometer Network using shore-based wireless data communications". Allo stato attuale sono stati installati tre sensori OBS nei seguenti siti:

Baia	40° 50' north	14° 06' east
Porto Empedocle	37° 16' north	13° 33' east
Lampedusa	35° 35' north	12° 20' east

I dettagli di tale progetto sono descritti nel protocollo di intesa tra l'I.N.G. e la SAIC.

4. Progetto e Realizzazione di una Rete Sismica Nazionale a Trasmissione Numerica.

Nel corso del 1995 è proseguito il lavoro di progettazione, realizzazione e verifica degli strumenti hardware e software necessari alla costituzione di una Rete Sismica Nazionale a Trasmissione Numerica. Il progetto è stato intrapreso con due finalità principali:

- a) adeguare i sensori, l'elettronica di controllo, le linee di trasmissione e gli strumenti d'elaborazione dei segnali della Rete Sismica Nazionale ai più recenti sviluppi della tecnologia e della sismometria moderna per scopi di Ricerca;
- b) fornire al personale dell'I.N.G. impiegato nell'opera di Protezione Civile uno strumento di controllo dell'attività sismica sempre più efficiente e moderno.

Per raggiungere questi obiettivi abbiamo previsto le seguenti innovazioni principali:

- 1) le linee di trasmissione di tipo analogico saranno gradualmente abbandonate a favore di linee di trasmissione numeriche;
- 2) la conversione dei segnali in forma numerica e la loro temporizzazione verranno effettuate direttamente alla stazione;

3) il sistema di acquisizione ed elaborazione dei segnali operante nella sede centrale deve essere aggiornato sia nell'hardware che nel software al fine di conformarsi alle nuove caratteristiche della rete sismica;

4) la realizzazione dei tre punti precedenti permetterà di estendere la scelta dei sensori agli strumenti a larga banda e alta dinamica.

La ristrutturazione della Rete Sismica è stata intrapresa con lo scopo principale di fornire i ricercatori dell'Istituto Nazionale di Geofisica di una fonte di dati sismologici d'altissima qualità scientifica. Allo stesso tempo non poteva essere perso di vista il ruolo tradizionale ed insostituibile che la rete a corto periodo ricopre in Italia nell'attività di controllo in tempo reale della sismicità. Tale servizio dovrà essere assicurato anche in una fase transitoria in cui parte delle stazioni sismiche saranno ancora connesse alla sede di Roma con linee di tipo analogico e altre saranno già connesse con linee di tipo numerico. Questa fase sarà particolarmente delicata e richiede un progetto ad hoc che assicuri comunque la continuità del servizio. È stato affrontato pertanto questo ulteriore punto:

5) definizione delle modalità operative per la fase transitoria.

4.1 Linee di trasmissione.

La Telecom Italia ha fornito all'I.N.G. un progetto di massima per la realizzazione della rete di linee di trasmissione che conatterà le stazioni sismiche al centro di Roma. Le stazioni dotate di una componente e quelle a tre componenti verranno connesse con linee rispettivamente a 4800 baud e 9600 baud. Sono state definite le modalità di trasmissione dei dati. In pratica è stata scelta questa soluzione: ogni sito (a una o tre componenti) sarà dotato di una porta seriale RS-232 connessa ad un'analogica porta seriale posta nel centro di elaborazione dati di Roma tramite la linea fornita dalla Telecom Italia. Sono state escluse altre possibili soluzioni quali trasmissione di segnali relativi a diversi siti su una stessa linea a più elevato Baud-rate e/o utilizzo di concentratori decentrati di proprietà dell'I.N.G.: tali soluzioni, a fronte di un costo di gestione ordinaria leggermente inferiore, avrebbero di contro richiesto l'impiego di numeroso personale dell'I.N.G., a tutt'oggi non disponibile, da assegnare unicamente al mantenimento delle funzionalità delle linee di trasmissione. Per questa ragione tali soluzioni apparivano impraticabili e sono state escluse. La Telecom Italia fornirà quindi delle connessioni punto-punto, una per ogni sito. Il progetto e la realizzazione della rete di linee di trasmissione, nonché il loro mantenimento in opera e la manutenzione spettano completamente alla Telecom Italia.

4.2 Conversione A/D e timing.

È stato realizzato un prototipo di Stazione Digitale con convertitore a 24 bit. La stazione è dotata di clock interno e sincronizzazione esterna basata sull'uso di un GPS. Essa acquisisce segnali da uno o tre canali con frequenza di campionamento fino a 100 hz. I segnali vengono inviati su porta seriale RS-232 verso la linea numerica fornita dalla Telecom Italia in blocchi di un secondo di durata, dotati di header per l'identificazione e la definizione delle caratteristiche di stazione. Il primo prototipo realizzato acquisisce segnali da un unico sensore. Si sta ora procedendo alla fase di test delle funzionalità del digitalizzatore. In particolare si procederà ad un'analisi delle caratteristiche di stabilità e linearità del convertitore che verranno confrontate con le caratteristiche di stabilità e linearità di convertitori analoghi esistenti in commercio. Quando tale confronto verrà effettuato, sarà possibile decidere se utilizzare questo convertitore nelle stazioni sismiche a trasmissione numerica, o se non si debba

procedere all'acquisto di acquisitori prodotti da privati (che richiedono costi molto piu' onerosi).

4.3 Elaborazione dei segnali in tempo reale.

La realizzazione del sistema d'elaborazione dati prevede innovazioni di carattere software e hardware. Parte del software di acquisizione ed elaborazione di segnali sismici verrà realizzato in collaborazione col Dr. R. Buland dell'USGS di Golden. Nell'aprile 1995 è stata effettuata una visita presso l'USGS di Golden, nel Colorado, per valutare la possibilità d'adattare alle nostre esigenze parte del software sviluppato dal Dr. R. Buland per la rete sismica americana. L'intero sistema deve assicurare l'acquisizione dei segnali, la selezione dei segnali significativi, l'individuazione degli eventi sismici e dei parametri di sorgente (localizzazione e magnitudo), l'archiviazione dei dati e la comunicazione automatica dell'avvenuta localizzazione con un sistema d'allarme. Esso sarà costituito da moduli separati, ciascuno dei quali è stato progettato per assolvere ad un singolo passo dell'analisi. Ciò rende il sistema flessibile, generale e facilmente adattabile a nuove esigenze che possano eventualmente delinearci in futuro. Si è proceduto ad un'analisi preliminare delle procedure d'acquisizione. È stato definito lo schema di funzionamento dei diversi passi dell'elaborazione. È iniziata una prima fase di sperimentazione delle procedure d'acquisizione di dati sia d'origine analogica che d'origine digitale. È stata messa a punto una procedura standard di comunicazione tra processi operanti su elaboratori VAX.

Per quanto riguarda l'hardware, l'intera configurazione della catena d'acquisizione ed elaborazione dei dati è stata ridisegnata allo scopo d'assicurare un piu' efficiente funzionamento ed una minore vulnerabilità rispetto al sistema attuale. In particolare è stata curata l'indipendenza dei sistemi di elaborazione dei dati della RSNC, dagli altri elaboratori operanti presso l'Istituto. Un eventuale guasto degli elaboratori del centro di calcolo non potrà avere alcun effetto sui sistemi di acquisizione ed elaborazione dedicati unicamente alla rete sismica. La nuova configurazione non impedirà comunque lo scambio di informazioni tra tutti gli elaboratori dell'I.N.G..

Dopo un'indagine di mercato, è stata individuata un'unità di interfaccia espandibile a multiporte seriali che, nella sua configurazione iniziale, avrà le caratteristiche necessarie all'acquisizione di dati numerici prodotti da una rete di dimensioni doppie rispetto alle attuali dimensioni della RSNC. L'unità verrà sottoposta a test appena resa disponibile dal fornitore. È stato acquistato un elaboratore PC dotato di 64 Mb di memoria e sistema operativo WindowsNT. Tale sistema appare tra i piu' idonei per la realizzazione di una interfaccia tra porte seriali e un elaboratore della serie VAX su cui verranno realizzati il riconoscimento degli eventi sismici e i passi finali dell'elaborazione. L'elaboratore PC e il suo sistema operativo vengono attualmente sottoposti a test allo scopo di verificare la loro affidabilità operativa. È stato previsto il potenziamento degli attuali sistemi VAX dedicati all'acquisizione verso configurazioni piu' veloci e dotate di memoria piu' estesa.

4.4 Sensori.

I sismometri attualmente usati dalla RSNC (Teledyne S-13) si sono rivelati nel corso degli anni strumenti molto affidabili. Tuttavia sia la loro risposta in frequenza che il loro range dinamico sono limitati. L'utilizzo esclusivo di tali strumenti era giustificato in passato dalle caratteristiche delle linee e dell'elettronica di trasmissione che non potevano superare i 60 db di range dinamico, sicchè l'uso di sismografi a

dinamica piu' elevata sarebbe risultato inutile. Il nuovo progetto di rete elimina completamente tale limite. Cio' permetterà di adottare sensori a larga banda e ad ampia dinamica. L'individuazione dei sensori da utilizzare puo' essere collocata in una fase successiva del progetto. La generalità e flessibilità del sistema di acquisizione ed elaborazione dei dati lascia da questo punto di vista la piu' completa libertà. Cio' permetterà di scegliere diversi tipi di sensori che rispondano a diverse esigenze sia di Ricerca che di Protezione Civile. In pratica potranno essere acquisiti ed analizzati con un unico strumento i segnali provenienti dall'attuale rete a corto periodo, i segnali provenienti da altri sensori a tecnologia piu' avanzata già gestiti dall'I.N.G. ed infine i segnali provenienti da nuovi sensori (sismometri o accelerometri) che verranno installati in futuro.

4.5 Modalità operative della fase transitoria.

Il nuovo progetto di rete è nato con l'intenzione di fornire ai ricercatori dell'I.N.G. uno strumento avanzato di raccolta di dati, senza dimenticare l'esigenza di assicurare la continuità del servizio di sorveglianza sismica. Ci siamo trovati di fronte a due scelte possibili: la prima consisteva nel progettare una rete di tipo numerico che operasse in modo separato dalla rete a corto periodo oggi già operante, e si sovrapponesse ad essa. La seconda consisteva nel prevedere una fase transitoria in cui fosse possibile considerare le due reti, quella analogica e quella numerica, come sezioni parziali di un sistema unico. La prima soluzione, piu' semplice dal punto di vista della realizzazione, è stata abbandonata a favore della seconda. È stata progettata ed è in corso di realizzazione una interfaccia che permetta di utilizzare, nel nuovo sistema d'elaborazione, anche i segnali provenienti dalla rete attuale a trasmissione analogica. Nella fase transitoria il personale in servizio di Protezione Civile potrà accedere, con un unico strumento, sia ai dati provenienti da nuove stazioni connesse con linee numeriche sia a quelli provenienti da stazioni connesse con linee analogiche. L'elaborazione automatica dei segnali sarà unificata e fornirà quindi risultati che tengano conto di entrambe le fonti d'informazione.

5. Rete Sismica di Pronto Intervento.

5.1 Intervento a seguito del terremoto del 13 maggio 1995 in Grecia.

L'intervento della Rete Mobile è stato effettuato a seguito del terremoto di Kozani-Grevena accaduto il 13 Maggio del 1995 nella Grecia Nord-occidentale di magnitudo 6.6. Tale terremoto è il più forte evento degli ultimi 15 anni del bacino del mediterraneo. Insieme a colleghi dell'Observatoire de Grenoble, dell'Institut de Physique du Globe di Parigi e dell'Università di Salonicco è stata installata una rete di monitoraggio di 40 stazioni sismiche digitali, accelerometri e GPS. Durante circa tre settimane di campagna sono state registrate diverse migliaia di repliche. Il lavoro svolto ha permesso di avere un modello di sorgente del terremoto e di inquadrarlo nel contesto sismotettonico della regione. I risultati scientifici sono stati presentati a convegni nazionali e internazionali e sono stati sottomessi al Bulletin of the Seismological Society of America.

5.2 Intervento a seguito del terremoto del 10 ottobre 1995 della Lunigiana.

La regione della Lunigiana è stata colpita da un terremoto di magnitudo 4.8 il 10 Ottobre 1995 a seguito del quale, una squadra di ricercatori e tecnici dell'Istituto è intervenuta, in collaborazione con l'Università di Genova, installando una rete di

sensori sismometrici. I dati raccolti hanno permesso di studiare le principali caratteristiche della sequenza sismica in atto e di avere informazioni originali sui processi sismotettonici dell'area della Lunigiana. I risultati sono stati presentati a convegni nazionali e internazionali ed è in preparazione un lavoro insieme a ricercatori dell'Università di Genova da sottoporre agli Annali di Geofisica.

6. Reti Locali Permanenti.

Durante il 1995 sono stati effettuati, nell'ambito dello sviluppo delle reti di monitoraggio locale, i seguenti interventi:

Rete del Belice. Sono stati selezionati tutti i siti relativi alle otto stazioni che formeranno la rete del Belice. È stata avviata la procedura di autorizzazione all'uso delle frequenze per i ponti radio che collegheranno le stazioni all'Osservatorio di Gibilmanna dell'I.N.G.. È nella fase conclusiva la pratica istruita con la autorità demaniali siciliane relativa all'occupazione di suolo pubblico. È stato installato presso l'Osservatorio di Gibilmanna il sistema di acquisizione ed elaborazione dei dati provenienti da questa rete.

Rete dei Colli Albani. Durante il 1995 sono state installate e collegate alla Sede tramite ponte radio le seguenti ulteriori stazioni: Pavona, Fioranello, Lanuvio e Marino. La configurazione attuale della rete è, quindi, di sette stazioni delle otto previste. Per la stazione di Pavona è stato costruito un casotto all'interno del quale è stata alloggiata la strumentazione. Il sensore, a tre componenti, poggia su un pilastro di cemento interrato per circa un metro. La stazione di Marino è installata all'interno di una grotta, in un terreno di proprietà del Comune. Le stazioni di Lanuvio e Fioranello sono state installate in manufatti preesistenti e non hanno avuto necessità particolari.

In occasione del terremoto di Roma del 12 Giugno 1995 i dati forniti dalla rete sismica locale dei Colli Albani hanno permesso di studiare da un punto di vista sismotettonico tale terremoto. Infatti durante la sequenza sono state registrate circa 40 repliche di magnitudo compresa tra 1.8 e 3.6. È stata valutata l'intera sequenza spazio temporale e fornito un modello interpretativo del terremoto. I risultati sono stati presentati al convegno annuale del Gruppo Nazionale Geofisica della Terra solida, e il lavoro sarà sottoposto agli Annali di Geofisica. Un ulteriore contributo dei dati della rete sismica locale viene dalla registrazione di eventi cosiddetti a bassa frequenza. Tali terremoti sono caratteristici di aree vulcaniche attive e sono degli indicatori del movimento del magma all'interno delle camere magmatiche. Tale osservazione, tra l'altro la prima effettuata ai Colli Albani sarà oggetto di un articolo a una rivista scientifica internazionale.

Rete del Sannio-Matese. La rete locale del Sannio-Matese, installata e gestita dall'ISMES al fine di registrare la microsismicità dell'area, ha dimostrato, nei due anni di attività, di poter essere utilizzata sia ai fini di Protezione Civile, sia per scopi scientifici. Il riadattamento della rete, gestita ora dall'Istituto Nazionale di Geofisica, ha riguardato principalmente la manutenzione straordinaria di tutti i siti, la sostituzione del sistema di alimentazione a batteria con pannelli solari e il riarmodernamento della strumentazione elettronica, che sarà resa compatibile con quella della rete nazionale. La telemetria della rete, che in precedenza era solo in

ponte radio e collegava le stazioni ai due sottocentri di Benevento e Isernia, è ora stata estesa predisponendo l'invio dei segnali al centro di Roma utilizzando due linee telefoniche dedicate. Attualmente i segnali provenienti da due stazioni della rete locale, Pozzilli e Pesco Sannita (tre componenti), vengono acquisiti dal sistema di acquisizione della Rete Nazionale. Il sistema IASPEI, preposto in futuro all'acquisizione dei segnali della rete del Sannio è attualmente in corso di allestimento.

7. Progetto Aniene-Bassa Sabina.

Il progetto Aniene-bassa Sabina intende sviluppare un approccio multidisciplinare con il quale integrare e correlare elementi interpretativi originali derivanti da più discipline, che possano concorrere ad una valutazione del rischio sismico di un'area. Il progetto prevede l'integrazione delle informazioni deducibili dalle seguenti linee di ricerca:

a) rivalutazione della sismicità storica mediante l'integrazione delle informazioni macrosismiche ed un riesame delle fonti storiche (in collaborazione con l'Unità Organica Geodinamica);

b) evidenze archeologiche derivanti dalla campagna di scavi condotta dalla Soprintendenza Archeologica per il Lazio nella villa di Nerone a Subiaco;

c) evidenze geomorfologiche riscontrate in collaborazione con la III Università di Roma;

d) evidenze sismologiche derivanti dall'analisi della sismicità strumentale monitorata con l'installazione di stazioni sismiche remote.

Le fasi sinora sviluppate hanno permesso di evidenziare che alcuni terremoti medioevali riportati nei cataloghi sismici sono alquanto dubbi e che alcuni parametri ad essi associati non trovano riscontro nelle fonti originali. D'altro canto la ricerca delle fonti storiche ha permesso di individuare quattro eventi sismici verificatisi nel 1348, 1765, 1830 e 1963, non menzionati nei cataloghi sismici.

Le evidenze geomorfologiche riscontrate dall'analisi delle aereofotografie e delle analisi di campagna, hanno evidenziato che nell'area oggetto di indagine è possibile riscontrare la presenza di frane e che il monastero di S. Scolastica (Subiaco), dalla distruzione del quale sono scaturite le informazioni sui terremoti di maggiore intensità menzionati per tale area nei cataloghi sismici, è costruito su un corpo di frana. Le campagne di scavo condotte dalla Soprintendenza Archeologica nella villa hanno permesso di rilevare una serie di lesioni che fanno pensare ad un cedimento orizzontale di una massa rocciosa che ha coinvolto parte della villa romana. I risultati finora ottenuti sembrano modificare il quadro della sismicità storica della Valle dell'Aniene sinora conosciuta e conseguentemente la stima del rischio sismico di tale area.

Il progetto verrà completato nel 1996.

8. Studio della Sorgente Sismica.

8.1 Studio della meccanica delle faglie.

Negli ultimi anni sono state attivate diverse collaborazioni con ricercatori stranieri, in particolare del U.S. Geological Survey di Menlo Park per studiare la dinamica del processo di fagliazione e lo stato di sforzo di una struttura sismogenetica. In particolare, con il Dott. J. Boatwright del U.S.G.S. di Menlo Park è stata messa a punto una procedura numerica per la simulazione del processo di rottura lungo faglie sismogenetiche soggette a leggi costitutive dedotte da esperimenti in laboratorio di meccanica delle rocce. I risultati preliminari sono stati presentati al Fall Meeting dell'American Geophysical Union nel Dicembre del 1995. Questo studio è ancora in corso e si prevede la pubblicazione dei risultati definitivi in una rivista scientifica internazionale nel corso del 1996.

Congiuntamente è stata elaborata una procedura numerica per il calcolo dello sforzo statico e delle sue variazioni spaziali generate da terremoti che avvengono lungo faglie di geometria nota. Questi studi sono necessari per caratterizzare lo stato di sforzo di una faglia poichè determinano l'avvicinamento o l'allontanamento dalle condizioni di rottura causate dalle variazioni di sforzo statico generate da terremoti avvenuti lungo faglie sismogenetiche situate nelle vicinanze della faglia studiata. In questo ambito è stata avviata una collaborazione con il Dott. Ross Stein del U.S.G.S. di Menlo Park per l'applicazione di tali procedure a diverse aree sismogenetiche italiane. Questi studi sono importanti perchè forniscono indicazioni utili alla definizione del rischio sismico.

8.2 Studio dei processi di emissione della radiazione sismica.

Questo campo di ricerca riguarda l'analisi della radiazione sismica emessa durante terremoti moderati e forti mediante tecniche dirette ed inverse di simulazione della radiazione sismica. Sono stati studiati alcuni forti terremoti avvenuti in California ed in Messico. È stato portato a termine un studio sulle variazioni della direzione di dislocazione durante il terremoto di Loma Prieta (California) del 1989. Questi studi sono stati oggetto di una pubblicazione scientifica in corso di stampa su una rivista internazionale.

In collaborazione con il Dott. S.K. Singh e con il Dott. J. Pacheco dell'Universidad Autonoma de Mexico è stato eseguito uno studio del terremoto di Zihuatanejo del dicembre 1994 (Messico). I risultati ottenuti sono stati presentati al Fall Meeting dell'American Geophysical Union nel Dicembre del 1995, e saranno pubblicati nel corso del 1996. Infine è stato eseguito in collaborazione con altri ricercatori dell'I.N.G. uno studio sul terremoto di Roma del giugno 1995 e della sequenza sismica associata. I risultati sono stati oggetto di un lavoro sottomesso per la pubblicazione.

9. Il Progetto Downhole.

Il Progetto Downhole prevede l'installazione di un sensore a larga banda in un pozzo ad una profondità di 135 metri in un sito nel territorio comunale di Ferrara. Il progetto è tutt'ora in fase di realizzazione. Nel corso del 1995 sono state effettuate le perforazioni dei due pozzi (uno di servizio per le misure di velocità delle onde), una campagna di sismica attiva e l'analisi geognostica della stratigrafia del sito. Il progetto verrà completato nella primavera del 1996 e rappresenta il primo esperimento in Italia di installazione di sensori digitali ad elevata dinamica in profondità.

10. Studi della struttura profonda al passaggio tra East e West Antarctica con tecniche di sismologia passiva

Il programma di questo gruppo di lavoro si inquadra nel Progetto Nazionale di Ricerche in Antartide (PNRA). Le ricerche del gruppo sono state avviate nel 1993, dopo l'approvazione da parte del PNRA di un programma di ricerca quinquennale di sismologia passiva, denominato "Tomografia sismica in Antartide", inquadrato nel Progetto "Struttura ed evoluzione della litosfera nell'area del Mare di Ross". Il progetto è stato proposto e gestito da personale della U.O. RMS, con l'ausilio di ricercatori e tecnici di altre U.O. (SFTI, Geomagnetismo e Aeronomia).

10.1 Obiettivi

Lo studio della struttura della crosta e del mantello superiore nell'area del Mare di Ross è fondamentale per conoscere le caratteristiche delle due placche litosferiche dell'East e West Antarctica e per lo studio dei meccanismi di formazione della catena transantartica. La catena Transantartica rappresenta il limite tra due placche litosferiche aventi caratteristiche molto differenti. La parte Ovest del continente antartico (Ross Embayment) è caratterizzata da un esteso processo di rifting con conseguente assottigliamento della crosta, elevato flusso di calore, e la presenza di vulcanismo alcalino. Al di là della catena, il settore orientale della placca antartica risulta viceversa caratterizzato da una crosta ispessita e dalla presenza di bacini subsidenti (Wilkes Basin). Per comprendere l'evoluzione del margine, risulta necessaria una conoscenza più dettagliata della struttura della crosta e del mantello superiore della regione. Gli studi di sismologia passiva rappresentano un potente strumento di indagine per determinare la struttura del sistema litosfera-astenosfera in aree inaccessibili ad altre tecniche, come quella al passaggio tra East e West Antarctica, e con costi di realizzazione molto contenuti. Tali studi sono basati sulla registrazione di eventi telesismici ($D > 20^\circ$), e comprendono (a) tecniche tomografiche basate sull'inversione di modelli di velocità a partire dai tempi di arrivo delle onde sismiche; (b) tecnica della funzione ricevitore, basata sullo studio delle fasi Ps convertite alla Moho; (c) analisi dello sfasamento delle onde di taglio telesismiche SKS e S per studiare l'anisotropia della crosta e del mantello.

Inoltre, la registrazione continua, adottata negli esperimenti di sismica passiva, consente l'identificazione e lo studio di eventuali sorgenti sismiche locali, che in Antartide sono praticamente sconosciute.

10.2 Aspetti Originali

Le tecniche applicate sono all'avanguardia per la ricerca sismologica italiana e mondiale; i risultati sono unici per lo studio di un margine di placca caratteristico come quello transantartico.

Si tratta dei primi esperimenti di sismologia passiva in Antartide. I dati sulla struttura della crosta a terra in questa zona sono attualmente molto carenti, mentre l'anisotropia nel mantello in prossimità del margine East-West Antarctica non è mai stata studiata. Quest'ultima permette di studiare i flussi attuali o "congelati" nel mantello, fornendo indicazioni sui moti delle placche e la presenza di eventuali "plumes" mantellici.

10.3 Attività in base

a) Campagna 1994-95. Nel mese di gennaio del 1995 si è conclusa la seconda campagna di acquisizione dati nel settore della Baia Terra Nova, iniziata nell'ottobre 1994. Le quattro stazioni sismiche installate, dotate di terne di sensori con periodo proprio di 5 secondi e acquisitori digitali ad alta dinamica, sono state disinstallate alla fine di gennaio. Nel corso della campagna 1994-95 sono stati registrati oltre cento telesismi, successivamente elaborati insieme a quelli della campagna 1993-94.

b) Campagna 1995-96. Durante l'estate 1995 si è preparata la campagna 1995-96, con la prova delle stazioni presso i laboratori I.N.G.. Per questo anno si disponeva di 10 stazioni sismiche, in quanto la campagna prevedeva una installazione di otto strumenti. Sono state quindi preparate quattro stazioni con Hard Disk e 6 con DAT, e spedite nel mese di luglio in Antartide. In ottobre la strumentazione è stata inviata alla base, dove è stata provata e installata. Sono state installate 8 stazioni sismiche in un'area di circa 100 km x 70 km, dalla costa del Mare di Ross fino a dietro la catena Transantartica. La campagna si è conclusa nel febbraio 1996.

10.4 Attività in sede

La maggior parte del lavoro svolto durante la prima metà del 1995 è stata finalizzato alla preparazione di un articolo che riassume le attività della prima campagna. Il lavoro è stato sottomesso e accettato per la pubblicazione sulla rivista internazionale *Terra Antarctica*. I primi risultati ottenuti dall'elaborazione dei dati delle due campagne 1993-94 e 1994-95 sono stati presentati al VI Meeting "Scienze della Terra in Antartide", tenutosi a Siena dal 22 al 24 marzo 1995. Successivamente, ci siamo concentrati sulla preparazione dei lavori da presentare prima al Congresso Internazionale dello IUGG, a Boulder, Colorado, e poi al VII Convegno Internazionale ISAES (International Symposium on Antarctic Earth Sciences). In questa sede sono state presentate quattro comunicazioni, che riassumevano l'impegno delle due campagne effettuate, presentando gli aspetti innovativi delle ricerche effettuate, gli studi sulla struttura della crosta nell'area della Baia Terra Nova e in quella della catena Transantartica, e l'analisi della sismicità locale individuata. Altri lavori sulla Geotraversa ACRUP1 sono stati presentati al Convegno di Siena, e sottomessi per la pubblicazione.

Dopo il congresso, sono stati preparati due lavori per la pubblicazione su *Terra Antarctica*, che descrivono i risultati delle analisi effettuate nelle due aree descritte.

I risultati ottenuti finora hanno permesso di ricostruire l'andamento della Moho sia intorno alla Baia Terra Nova che lungo un transetto che raggiunge la catena Transantartica. Nel primo settore è stata identificata una Moho piuttosto superficiale, a profondità comprese tra 16 e 28 km, in conseguenza degli estesi processi di rifting che hanno interessato il Mare di Ross. Lungo la Geotraversa ACRUP1, a cavallo della catena Transantartica, si sono riscontrate profondità della Moho fortemente variabili, tra i 25 km verso il Mare di Ross ai 35-37 km della catena.

11. Studio della Polarizzazione delle Onde.

Si tratta di un potente mezzo di indagine per vincolare sia i meccanismi alla sorgente sia per lo studio del mezzo in cui si propagano le onde sismiche. Sono state messe a punto alcune procedure numeriche per l'analisi della polarizzazione delle onde S per vincolare il meccanismo focale di eventi (tale tecnica è stata applicata allo studio del terremoto di Roma) e per lo studio dell'anisotropia della crosta e del mantello terrestre. L'applicazione di quest'ultima metodologia ai dati registrati in

occasione dell'esperimento del Transetto Appenninico ha permesso di ottenere informazioni utili sulla presenza di anisotropia sismica nel mantello terrestre e sui processi di deformazione associati all'orogenesi appenninica.

12. *Valutazione della Scuotibilità Sismica.*

In questo ambito è stata messa a punto una procedura numerica per la simulazione dell'accelerazione del terreno. Tale procedura rappresenta uno strumento utile per la definizione della scuotibilità sismica e quindi per valutare il rischio sismico di siti di interesse all'ingegneria sismica. Grazie a questi studi l'I.N.G. ha ottenuto un contratto di consulenza da parte dell'ISMES completato nel corso del 1995. I risultati di queste ricerche saranno oggetto di alcune pubblicazioni nel prossimo futuro.

13. *Geodinamica della Zona di Subduzione del Tirreno Meridionale.*

Nel corso del 1995 è stato affrontato uno studio multidisciplinare volto alla determinazione e alla quantificazione dei processi geodinamici che caratterizzano l'area di subduzione del basso Tirreno. In particolare, è stata determinata la geometria del piano di subduzione, attraverso tecniche tomografiche, e quantificata la deformazione sismica, attraverso l'analisi dei meccanismi focali dei terremoti profondi e il loro momento sismico.

13.1 *Tomografia locale.*

In questa parte dello studio è stata effettuata una tomografia sismica locale utilizzando i dati di 185 terremoti profondi e intermedi registrati negli ultimi sette anni dalla rete sismica nazionale. Tale studio ha permesso di individuare la geometria e l'estensione laterale della zona di subduzione. Inoltre sono stati rilocalizzati, con il modello di velocità tridimensionale ottenuto, i terremoti profondi fornendo delle informazioni originali sulla geometria del piano di subduzione. I risultati di tale ricerca sono stati presentati durante il 1995 in diversi convegni nazionali e internazionali e pubblicati su *Geophysical Journal International*.

13.2 *Tomografia telesismica.*

La tomografia telesismica è stata effettuata su un largo dataset di fasi P e PKP (circa 6000) accuratamente determinate sui sismogrammi digitali registrati dalla rete sismica nazionale. Scopo di questo lavoro è stato la determinazione di un modello di velocità tridimensionale per la litosfera e per il mantello superiore al di sotto del tirreno meridionale con particolare riguardo alla geometria e alla valutazione quantitativa delle anomalie di velocità dello slab.

13.3 *Stato dello stress all'interno dello slab.*

È stata determinata e quantificata la deformazione all'interno dello slab attraverso l'analisi dei meccanismi focali e il rilascio sismico dei terremoti profondi del basso Tirreno. In particolare, sono stati determinati 44 meccanismi focali di terremoti profondi e intermedi accaduti nella zona del basso Tirreno nel periodo 1988-1995. I tempi di arrivo e le polarità di questi terremoti sono state accuratamente selezionate attraverso l'analisi diretta di tutte le forme d'onda registrate dalla Rete

Nazionale. Inoltre, lo studio si è concentrato sulla quantificazione del rilascio sismico all'interno dello slab attraverso la determinazione dei momenti sismici dei terremoti. I risultati ottenuti, oltre a essere stati presentati a convegni nazionali, sono stati pubblicati su *Geophysical Journal International*.

14. Studio della Struttura Profonda Attraverso la Tomografia Telesismica

Nel corso del 1995, l'applicazione di tecniche di tomografia telesismica per la ricostruzione del campo delle velocità delle onde sismiche all'interno del mantello superiore è proseguita con l'analisi di dati telesismici provenienti sia dalla nostra rete nazionale, sia dalla rete nazionale OVSICORI-UNA del Costa Rica.

Lo studio dei dati telesismici registrati da stazioni sismiche operanti nella regione della Costa Rica, è stato effettuato nell'ambito di una collaborazione scientifica tra il nostro Istituto e l'Istituto di Ricerca per il Rischio Sismico (IRRS) di Milano. Questa ricerca ha portato all'individuazione al di sotto del Costa Rica settentrionale di un corpo ad alta velocità delle onde P che immerge verso NE, interpretato come la subduzione della placca di Cocos sotto la placca Caraibica. Per la parte centrale e meridionale della regione, le immagini tomografiche ottenute, così come la distribuzione della sismicità locale, evidenziano la complessità della struttura subcrostale in corrispondenza della subduzione/collisione con la placca Caraibica della dorsale asismica di Cocos, che rappresenta il termine della Middle America Trench e il limite con la placca di Nazca. I risultati di questo lavoro sono stati presentati al convegno XXI General Assembly IUGG (Boulder, Colorado luglio 1995) e sono stati sottomessi per la pubblicazione su *Geophysical Journal International*.

Per quanto riguarda lo studio della struttura profonda della regione italiana, l'analisi è stata sviluppata includendo nelle inversioni tomografiche i residui sui tempi di tragitto delle fasi successive delle onde P e PKP (pP, sP, PcP, PP, PKPbc, PKPab). I tempi di arrivo di queste fasi sono stati determinati analizzando con procedure di stacking le forme d'onda digitali registrate dalle stazioni della RSNC negli ultimi otto anni. L'aggiunta di fasi sismiche caratterizzate da raggi sismici che sono obliqui rispetto a quelli delle onde P dirette, ha permesso di ottenere una più completa e omogenea campionatura del mezzo, con conseguente migliore risoluzione ed attendibilità delle ricostruzioni tridimensionali ottenute.

Tali ricostruzioni evidenziano una struttura sismica del mantello superiore che è dominata dalla presenza di anomalie positive di velocità soprattutto al di sotto delle Alpi centrali, dell'Appennino settentrionale e del basso Tirreno. Rispetto alle immagini derivate dall'inversione dei dati delle sole fasi registrate come primi arrivi (P e PKP_{df}), queste eterogeneità laterali appaiono, nelle nuove ricostruzioni, concentrate fino ad una profondità di circa 250-300 km. In particolare, tra le profondità di circa 85-150 km, un'anomalia positiva di velocità è ricostruita con continuità dal settore occidentale della catena alpina fino alla zona di transizione tra l'Appennino settentrionale e quello centrale. I risultati finora ottenuti, grazie anche ad una tesi di laurea assegnata sull'argomento, sono stati presentati al LXXXI Congresso Nazionale della Società Italiana di Fisica (Perugia, ottobre 1995), e al 14° Convegno Nazionale del GNGTS (Roma, ottobre 1995).

15. Algoritmi per l'Analisi di Registrazioni Sismiche

15.1 Determinazione rapida della magnitudo.

Si è investigato sulle formule più appropriate per la determinazione della magnitudo a partire dall'ampiezza delle onde registrate a varie distanze nell'area mediterranea. Una formula derivata da questo studio è stata recentemente posta in uso nel sistema automatico di analisi della Rete Sismica Nazionale. In relazione a questo tema è stata attivata una collaborazione con l'Università di Bergen (Norvegia) presso la quale si svolgono da anni ricerche sull'attenuazione e sulla determinazione rapida della magnitudo. Il Dr. Deniz Mendi, che ha recentemente completato il suo PhD presso la suddetta università, ha svolto un periodo di studio presso l'I.N.G. dal 10 aprile al 10 maggio 1995 per lo sviluppo delle ricerche relative a questi temi.

15.2 Digitalizzazione e analisi dei sismogrammi storici.

La digitalizzazione e l'analisi di sismogrammi storici, vale a dire sismogrammi che sono stati registrati con tecniche analogiche prima dell'avvento delle tecniche digitali, costituisce una parte dei temi di cui si occupa il Contratto n° EV5V-CT93-0304 finanziato dall'Unione Europea, denominato Southern Europe Network for Analysis of Seismic Data. Il programma di lavoro include lo sviluppo di tecniche digitali per la vettorializzazione semi-automatica di sismogrammi di qualsiasi tipo, ivi compresi quelli su carta affumicata in uso nella prima metà del secolo, la correzione dei valori ottenuti e l'applicazione di algoritmi moderni per l'analisi dei sismogrammi stessi. Sono stati selezionati alcuni notevoli eventi sismici avvenuti nei paesi partecipanti al progetto (Italia, Grecia e Spagna) e le registrazioni relative sono state reperite presso i più importanti Osservatori europei.

15.3 Meccanismi focali non a doppia coppia.

Sono proseguite le ricerche sui meccanismi focali non di doppia coppia osservabili in zone geotermiche. Nuovi algoritmi sull'analisi del tensore del momento sismico rappresentante vari tipi di sorgente sismica con e senza variazione di volume (semplice dislocazione di taglio, crack tensile, CLVD e loro combinazioni) sono stati applicati ai dati registrati dalla rete dell'ENEL per il monitoraggio dell'area geotermica di Larderello. I risultati di questo lavoro sono stati presentati all'Assemblea Generale dell'IUGG (giugno 1995) e sono stati descritti in un lavoro presentato per la pubblicazione su un numero speciale di Tectonophysics contenente i Proceedings della stessa Assemblea.

16. Definizione delle strutture sismogenetiche.

L'individuazione delle principali strutture sismogeniche della regione mediterranea e la definizione della geometria delle faglie attive riveste un particolare interesse per la comprensione dei processi sismogenici con evidenti ricadute in termini di pericolosità sismica. A tal fine un filone di ricerca di alcuni ricercatori dell'U.O. RMS è stato imperniato su questo aspetto.

Obiettivo: Definizione tridimensionale delle caratteristiche geometriche delle faglie attive nella regione mediterranea, comprensione della struttura geologica crostale delle zone sismogeniche, rapporti fra geologia strutturale, faglie e sismicità.

Metodo: La principale tecnica utilizzata per determinare la struttura crostale delle zone sismogeniche è quella della tomografia sismica. L'inversione dei tempi di arrivo