

È stato applicato un metodo che fornisce a ognuno degli eventi sismici privi di mappa di isosisme un modello medio di propagazione dell'intensità, ricavato dall'analisi azimutale delle mappe macrosismiche conosciute. Sono stati utilizzati i dati provenienti dal *Catalogo Sismico Nazionale* (CSN) dell'Istituto Nazionale di Geofisica e le mappe delle isosisme esistenti in letteratura. Si sono raccolti altresì i dati sismici e macrosismici delle aree limitrofe ai confini italiani i cui risentimenti siano di interesse per questa ricerca.

L'analisi ha riguardato circa 4000 terremoti a partire dall'anno 1 d.C., data iniziale considerata perché anche per i primi secoli si hanno numerosi eventi documentati. Le mappe macrosismiche italiane utilizzate sono 528, relative a terremoti tra il 1500 e il 1987. Il limite temporale inferiore del 1500 è stato scelto perché da tale data i campi macrosismici si possono ritenere meglio definiti.

Tre mappe 1:1.500.000 rappresentanti la massima intensità risentita MCS, numero di effetti di VIII grado e il numero di effetti di VII grado sono state tracciate su basi cartografiche ufficiali dell'IGMI, ed hanno ottenuto l'imprimatur del Dipartimento della Protezione Civile e sono già disponibili a stampa. Si prevede di realizzare un cofanetto contenente le tre mappe e un fascicolo illustrato di spiegazioni e commenti.

Saranno altresì costruite alcune carte tematiche di correlazione con tematismi di interesse per usi di protezione civile alle quali dare più ampia diffusione. Un esempio di tali carte è stato dato per la sola regione Sicilia in occasione del congresso di Erice dello scorso agosto. L'esempio a scala regionale è costituito nella costruzione di una "carta tematica di valutazione integrata del territorio", in questo caso denominata "mappa dell'impatto socio-ambientale", utile all'identificazione delle aree più esposte a dissesto da eventi naturali su cui programmare interventi pubblici. Per la realizzazione di questa mappa sono state correlate le informazioni derivanti dalla Carta della Vulnerabilità alle Frane (Servizio Geologico), da quella delle Zone Suscettibili a Liquefazioni (Galli e Ferrel), dai dati di densità di popolazione e di impianti di interesse economico con la Mappa della Massima Intensità Macrosismica (ING).

Si è anche eseguito per l'Italia (Scalera, 1997) il confronto di tutte le rocce vulcaniche, i fronti in avanzamento e gli assi delle pieghe, digitalizzati dalla "Structural Kinematic Map" (Bigi et al., CNR, 1991), con tutti i corpi magnetizzati intrasedimentari riportati sulla mappa dell'Agip (Cassano, Fichera, e Arisi Rota, 1986). Le due mappe appaiono complementari con i corpi magnetici profondi che riempiono le lacune di vulcaniti in molte regioni (ad esempio in Toscana).

L'ulteriore confronto delle due mappe precedenti con l'andamento dell'indice macrosismico cumulativo Log C rivela che i picchi di energia sismica si trovano preferenzialmente nelle zone in cui le vulcaniti sono assenti o in cui la loro continuità spaziale è interrotta, anche a scala locale. Risulta anche che la attività sismica è inibita nelle zone in cui esiste un minimo delle anomalie di Bouguer, in relazione allo spessore crostale o a differenti caratteristiche reologiche (Scalera 1997).

1.7. Effetti della geologia di superficie sul moto del suolo

Lo scopo di questa linea di ricerca è di interpretare e di riprodurre numericamente i dettagli del moto del suolo durante i terremoti in funzione della struttura geologica del sottosuolo. Presso l'ING sono stati realizzati codici di calcolo per la modellazione numerica in due dimensioni (2-D) della risposta sismica di strutture superficiali eterogenee, ponendo una particolare attenzione sia sulla scelta delle condizioni al contorno più idonee a trattare le variazioni topografiche, sia sul formalismo necessario a trattare la dissipazione, inclusa direttamente nella dinamica.

I modelli reologici, recentemente proposti in letteratura, per mezzi omogenei senza irregolarità topografiche, sono stati estesi a mezzi eterogenei con topografie realistiche, consentendo di simulare campi di spostamento scalari (SH). La modellazione risulta particolarmente adatta allo sviluppo di animazioni grafiche, che consentono di visualizzare il ruolo giocato dalle interfacce nei processi di conversione di onde di volume in onde superficiali, e, più in generale, nei fenomeni di diffrazione, in funzione dell'angolo di incidenza e dei contrasti dell'impedenza sismica.

L'esigenza di risolvere la dinamica della propagazione delle onde sismiche con modelli sempre più complessi comporta l'utilizzo di super calcolatori dedicati, potenti e veloci. Il livello

computazionale raggiunto è tale da superare abbondantemente i limiti delle migliori *workstation* attualmente disponibili. L'esperienza maturata nello sviluppo del modello scalare semplificato *SH* e la necessità, sia di trattare modellazioni sempre più realistiche con campi di spostamento *P-SV*, sia di utilizzare i calcolatori attualmente disponibili, ci hanno portato all'adozione di tecniche di calcolo parallelo. La necessità di tali architetture è dettata quindi dall'esigenza di ridurre i tempi di calcolo a fronte della crescente complessità dei modelli al di fuori della portata dei più avanzati sistemi per il calcolo seriale.

L'utilizzo di questo nuovo tipo di calcolo richiede una diversa formulazione del problema, che consiste nel decomporre il sistema di equazioni ad elevata complessità in più sistemi a minore complessità: questa strategia in letteratura viene definita *domain decomposition*. Tale strategia ci appare necessaria anche per affrontare la modellazione della propagazione *P-SV*, passo necessario per modellare la propagazione tridimensionale vettoriale. Nel 1997 è stato avviato con il CASPUR (Consorzio per le Applicazioni di Supercalcolo per Università e Ricerca) un progetto finalizzato al raggiungimento di tali obiettivi.

A partire dall'ottobre 1997 la serie di forti terremoti al confine tra Umbria e Marche hanno richiesto il monitoraggio di aree particolarmente danneggiate, dove le variazioni della geologia locale sembravano responsabili del livello anormale del danno. In particolare, sono stati installati array lineari e circolari nell'area di Nocera Umbra e nella piana di Colfiorito. Sono emerse significative variazioni del movimento del suolo per uno stesso terremoto entro distanze dell'ordine delle centinaia di metri. Inoltre sono stati studiati in dettaglio gli effetti della diffrazione sulle transizioni roccia-sedimenti recenti, che sembrano raggiungere livelli distruttivi in prossimità di situazioni abitative di maggiore vulnerabilità.

1.8. Tettonica globale, paleogeografia e modellistica dei margini attivi

Si sono individuate somiglianze tra intere forme di continenti e vaste zone oceaniche più rare di quelle di tipo atlantico. La loro disposizione non casuale accresce il numero e la complessità dei tipi di somiglianze di cui si deve tenere conto quando si confrontano diverse teorie tettoniche globali. Questa ricerca ha dato spunto alla focalizzazione di numerose altre tematiche volte al confronto critico tra schemi teorici differenti: la paleogeografia, il paleomagnetismo, la modellistica per i margini attivi.

Sono stati presi in considerazione due modelli di cinematica delle placche, quello ben noto della Tettonica a zolle (*plate tectonics*) e quello alternativo dell'espansione della Terra (*expanding Earth*). Per una verifica, un passo importante è la realizzazione di serie di ricostruzioni paleogeografiche su globi di raggio crescente, che siano compatibili con i dati geologici, paleomagnetici, paleontologici e internamente coerenti tra loro. Per verificare la compatibilità di relazioni tra terreni di uguale età oggi molto lontani tra loro si sono usati i dati provenienti dalla completa digitalizzazione per frammenti coevi della mappa di Larson *et al.* [1985] "*Bedrock Geology of the World*", e dalla mappa di Roeser & Rilat [1982] "*Identified magnetic sea-floor spreading anomalies*", integrata con gli aggiornamenti di Nakanishi *et al.* [1992] per il Pacifico nord-occidentale. I paleopoli dei continenti sono stati estratti con un software appositamente creato presso l'I.N.G. usando i dati del "*Global Paleomagnetic Data base*" (volume monografico della *Geological Society of London*). Il software di estrazione è stato messo a disposizione su un nodo Internet e le istruzioni per il suo uso pubblicate sulla rivista *EOS* dell'*American Geophysical Union*. Sono state così ricostruite le mappe della antica posizione dei continenti e degli oceani per valori del raggio terrestre *R* pari a 3.800, 4.800 e 5.300 km.

È stato altresì costruito un modello non subduttivo per le zone di fossa-arco-retroarco (FAR), basato sullo stato di stress tensionale della fossa e sulla presenza di una fascia vulcanica sull'arco e retroarco che esercita una spinta sull'orogene dell'arco. Hanno parte nel modello lo *spreading* vulcanico, lo scivolamento gravitativo dell'arco verso la fossa e la perturbazione ad alta frequenza delle maree terrestri che lo favorisce. Lo *spreading* vulcano-gravitativo è accompagnato da piegamenti e scorrimenti della crosta oceanica a formare il complesso accrezionale. La copertura dell'orogene giunto sotto il livello del mare con lave a cuscino e una sequenza ciclica di innalzamenti con esumazione di crosta profonda sembra spiegare alcune delle caratteristiche delle zone FAR come la obduzione dei terreni ofiolitici, la presenza della zona di Benioff, l'alto flusso di calore del retroarco, e alcune proprietà del metamorfismo. Cicli

ripetuti di apertura del retroarco, riempimento della fossa, subsidenza e innalzamento dell'arco e del complesso di accrezione, sembrano portare alla fase matura della zona FAR con le caratteristiche geologiche attuali. Le profonde zone di Benioff potrebbero essere spiegate da una risalita di materiali più caldi e leggeri dal mantello e da loro improvvisi cambiamenti di fase in ambiente duttile.

1.9. Principali argomenti di ricerca di sismologia globale

CMT Regionali:

il calcolo dei meccanismi focali di terremoti di dimensioni intermedie e grandi ($M > 5.5$) viene effettuata in modo robusto e affidabile sulla base dell'inversione di sismogrammi a lungo periodo registrati a distanza telesismica, utilizzando tecniche come il Centroid Moment Tensor (CMT). Il Mediterraneo è però caratterizzato da sismicità di moderata energia e risulta di grande interesse sviluppare tecniche in grado di utilizzare registrazioni a distanza regionale ($d < 2000$ km) di onde superficiali di periodo intermedio (da 30-35 secondi a 130) che sono caratterizzate da un più alto rapporto segnale / rumore. Su questi argomenti è in atto una collaborazione con l'Università Harvard per calcolare meccanismi focali di terremoti del Mediterraneo, avente come principali obiettivi l'abbassamento della soglia di magnitudo degli eventi analizzabili e il prolungamento (mediante la digitalizzazione di sismogrammi analogici WWSSN) del periodo temporale dell'analisi. Nel corso del 1997 sono stati raggiunti alcuni risultati degni di nota: (i) sono stati calcolati i meccanismi focali dei 10 maggiori eventi della sequenza del Friuli del 1976-77, mostrando la loro associazione con strutture tettoniche di tipo alpino, ad esclusione delle due principali repliche della scossa principale del Maggio 1976. Il lavoro è stato proposto per la pubblicazione su *Geophysical Research Letters*. (ii) Il contributo di questo progetto allo studio della sequenza sismica umbro-marchigiana del 1997 è consistito nel calcolo dei tensori momento per i 14 eventi principali, fornendo i meccanismi focali che sono serviti come riferimento per la maggior parte degli altri studi in merito (anche questo lavoro è stato inviato per la pubblicazione su *GRL*). (iii) Per quanto riguarda l'analisi dei terremoti dell'era della sismologia analogica, abbiamo acquisito le copie dei sismogrammi che intendiamo analizzare e abbiamo messo a punto la tecnica di digitalizzazione. È stato calcolato il meccanismo per un primo terremoto (1964, al largo del Portogallo, $M=6.3$) mentre stiamo finendo la preparazione dei sismogrammi per gli eventi del Belice (gennaio-1968) e per eventi potenzialmente tsunamigenici del Mediterraneo. (iv) Abbiamo inoltre approntato un sistema (attualmente in fase di test) collegato al programma di interrogazione automatica delle stazioni MEDNET per il calcolo entro poche ore dei meccanismi focali di terremoti di magnitudo moderata del Mediterraneo.

Localizzazione epicentrale e tomografia del Mediterraneo:

su scala regionale si riscontrano significative variazioni geografiche dei tempi di percorso delle onde sismiche, che sono da mettere in relazione a eterogeneità nella struttura del mantello superiore. Il loro studio permette da un lato (i) di migliorare la precisione della localizzazione ipocentrale mediante una più accurata conoscenza delle caratteristiche della propagazione delle onde, dall'altro (ii) di ricavare informazioni sulla struttura delle rocce del mantello quali vincoli sulla struttura interna. Abbiamo affrontato l'obiettivo (i) con un approccio innovativo, consistente in una tecnica per la sintesi dei tempi di percorso teorici che utilizza con alto dettaglio le informazioni disponibili sui Bollettini dell'ISC, senza passare attraverso le fasi più delicate della modellazione di anomalie volumetriche e includendo così tutti gli effetti geograficamente coerenti, siano essi dovuti per esempio a anomalie isotropiche o anisotropiche e prescindendo dai vincoli imposti dalla parametrizzazione scelta. La tecnica consente un miglioramento della precisione della determinazione epicentrale valutata del 20%. Un articolo è stato inviato per la pubblicazione a *Geophysical Journal International*. Per quanto riguarda l'obiettivo (ii), lo studio si è già concretizzato nella pubblicazione (*Annali di Geofisica*) di un modello tomografico tridimensionale del mantello superiore ottenuto seguendo tecniche tomografiche classiche congiunte a una parametrizzazione più accurata (griglia di nodi spaziali 50 km) che presenta significativi progressi rispetto allo stato degli studi. Il modello ha infatti permesso di identificare strutture che non erano ancora state rivelate, come la traccia profonda

della sutura tra placca africana ed euroasiatica costituita dal materiale subdotto negli ultimi 100 Ma durante la chiusura dell'oceano della Tetide.

Struttura delle discontinuità del mantello (D'' E 670):

L'analisi di onde sismiche di volume permette di rivelare ed eventualmente localizzare discontinuità strutturali nel mantello terrestre, associate a transizioni di fase mineralogica o a variazioni chimiche. Alla base del mantello è stata spesso identificata una discontinuità che definisce uno strato basale (denominato D'') probabilmente prodotto dall'accumulo gravitativo differenziato di materiale subdotto. Abbiamo sfruttato la disponibilità dei dati della stazione antartica italiana (e di altre) per studiare due zone non ancora studiate per mancanza di dati, rivelando al di sotto del Pacifico sud-orientale la presenza del riflettore anomalo D'' (che non è una caratteristica globale) responsabile della fase sismica SdS. Lo studio è stato pubblicato nel 1997 su *Geophysical Research Letters*. Una nuova ricerca riguarda l'indagine delle conversioni di fase sismica alle discontinuità della zona di transizione del mantello (principalmente a 410 km e 670 km di profondità) per determinarne eventuali ondulazioni nella regione mediterranea, dove la presenza di anomalie termiche legate alla subduzione al margine tra Africa e Eurasia dovrebbe modificare la profondità delle transizioni di fase responsabili delle discontinuità, con effetto opposto a 410 e 670 km a causa dell'opposto segno delle curve di Clapeyron che caratterizzano le due trasformazioni di fase.

Analisi di dispersione di onde superficiali:

abbiamo iniziato nel 1997, con parziale supporto del Programma nazionale di ricerche in Antartide, lo studio delle caratteristiche di dispersione di onde superficiali nell'intervallo 20s - 200s nella placca antartica, con l'obiettivo di derivare un modello tomografico della litosfera. L'indagine è per ora limitata al calcolo delle curve di dispersione della velocità di gruppo del modo fondamentale delle onde di Rayleigh, ma verrà in seguito esteso alle onde di Love. Abbiamo messo a punto le procedure di analisi e filtraggio per identificare il modo fondamentale e abbiamo costruito una prima libreria di curve di dispersione. Si delineano, come atteso, evidenti differenze tra aree a crosta oceanica, crosta continentale cratonica dell'Antartide orientale e crosta continentale "tettonica" della porzione occidentale del continente.

Calibrazione scale per la quantificazione dei terremoti (Ml, Md, Mo, Mw):

In occasione di eventi sismici di rilievo emergono discrepanze tra le diverse stime scalari utilizzate per quantificarne le dimensioni. È noto che la stima scientificamente più corretta (Mo, o Mw) non è di immediato calcolo e quindi di scarsa utilità per la protezione civile, mentre la stima più facile e immediata (Md) soffre di notevoli incertezze e, soprattutto, di una saturazione raggiunta su valori attorno a 5. La magnitudo locale di Richter (Ml) offre il vantaggio di maggiore robustezza e si mostra sostanzialmente coerente con le stime di momento sismico, almeno fino a magnitudo corrispondenti ai massimi valori riscontrabili in Italia. Per migliorare la determinazione di Ml occorre calibrare la relazione che definisce l'attenuazione delle onde e identificare eventuali deviazioni sistematiche di stazione. L'analisi attualmente in corso utilizza dati a larga banda per ricostruire le leggi empiriche di attenuazione per l'Appennino e si basa sul lavoro effettuato in occasione della sequenza umbro-marchigiana (indispensabile per le magnitudo più elevate) e sui dati MEDNET esistenti a partire dal 1990.

1.10. Dinamica globale del mantello e rotazione terrestre.

Nel corso del 1997, sono state compiute ricerche concernenti le deformazioni post-sismiche globali, con particolare attenzione alla evoluzione spazio-temporale del campo di sforzi e del campo di gravità in seguito a grandi terremoti. Inoltre, si sono studiati gli effetti delle deformazioni sismiche ed asismiche sulle variazioni a breve-medio periodo dei parametri rotazionali della Terra. In parallelo a questi studi, è stata avviata la realizzazione di un modello utile alla descrizione della dinamica convettiva del mantello. Queste linee di ricerca si prefiggono di migliorare le nostre conoscenze sulla reologia del mantello all'interno di una ampia finestra temporale, nonché di delineare l'interazione fra i processi tettonici globali e i fenomeni connessi alla rotazione terrestre. Le ricerche sopra delineate richiedono l'uso e lo sviluppo di tecniche che spaziano da approcci quasi-analitici a metodi completamente numerici. Le applicazioni a

specifici problemi geofisici hanno riguardato lo studio del campo di deformazioni co- e post-sismico associato al terremoto della Bolivia (1994), le variazioni di gravità dovute al grande terremoto dell'Alaska (1964), ed alla interpretazione dei dati rotazionali in concomitanza al terremoto di Sumba (1977). Lo sviluppo dell'apparato modellistico ha portato ad un esaustivo lavoro di confronto fra le previsioni di deformazione co- e postsismica fornita da classici modelli piani e dai nuovi modelli in geometria sferica realizzati dal nostro gruppo di ricerca. La attività di ricerca si è anche avvalsa di studi concernenti il fenomeno del rimbalzo post-glaciale, di cui sono stati analizzati gli effetti più rilevanti sia nell'ambito delle deformazioni isostatiche che in quello delle variazioni rotazionali.

2. Collaborazioni con Istituzioni nazionali e internazionali

2.1. Tettonica attiva e paleosismicità

Nel corso degli ultimi anni l'Istituto Nazionale di Geofisica è andato accrescendo il suo ruolo nel campo della tettonica attiva e paleosismicità, non solo in ambito italiano ma anche in ambito internazionale. L'estensione a nuove aree delle attività di ricerca e il progressivo ampliamento delle collaborazioni nazionali ed internazionali rappresentano un'impegno costante e responsabile dell'Istituto per una efficace politica di prevenzione, e allo stesso tempo un aspetto essenziale della ricerca di base.

Per quanto riguarda soprattutto le attività internazionali questo impegno è ulteriormente rafforzato dal coinvolgimento di un ricercatore del gruppo nel ruolo guida del *task-group* II-3 dell'International Lithosphere Program "*Paleoseismicity of Late Holocene*". Questo progetto è stato approvato nel 1996 per una durata di cinque anni ed ha come scopo principale il miglioramento delle conoscenze sulle modalità di ricorrenza dei grandi terremoti mondiali. Questa problematica, che ricade pienamente nelle attività istituzionali del gruppo Tettonica attiva e paleosismicità, ha evidentemente un duplice interesse scientifico e applicativo in quanto riveste un ruolo critico nello sviluppo di nuove metodologie per le stime di pericolosità sismica. Il progetto "*Paleoseismicity of Late Holocene*" cura inoltre l'aspetto educativo e di diffusione delle conoscenze attuali, in particolare verso i paesi in via di sviluppo ad alto rischio sismico. Nel 1997 sono state svolte attività per (1) l'aggregazione di nuovi partecipanti, (2) per la messa a punto di mezzi di comunicazione efficaci (pagina Internet e bollettino elettronico), (3) per l'organizzazione di due workshops su tema paleosismologico (tenuti rispettivamente in Venezuela e India), e (4) per la strutturazione di un database mondiale di dati di ricorrenza da dati geomorfologici e paleosismologici.

Durante il 1997 sono stati ampliati i rapporti di collaborazione già in atto con diverse istituzioni italiane tra cui l'Università di Bologna, l'Istituto per la Ricerca sul Rischio Sismico, l'Osservatorio Geofisico Sperimentale, il Gruppo Nazionale Difesa dai Terremoti del C.N.R. e l'Istituto Geografico Militare, e con alcuni partner industriali e privati tra cui l'ISMES S.p.A. e la S.G.A. (Storia Geofisica Ambiente).

In ambito internazionale collaborazioni sono in atto con l'Università di California, l'U.S. Geological Survey di Menlo Park, l'Université de Paris-Sud (Orsay-Francia), l'International Institute of Earthquake Engineering and Seismology di Tehran (Iran), l'Università di Leeds (Inghilterra), lo University College of London, l'Università di Salonicco (Grecia) e l'Università di Barcellona (Spagna). Molti di questi contatti verranno ulteriormente sviluppati nel prossimo triennio anche in virtù di nuovi finanziamenti comunitari recentemente ottenuti per il triennio 1998-2000.

Queste collaborazioni si concretizzano in attività congiunte di ricerca sul terreno e in soggiorni presso le istituzioni estere, sia per l'elaborazione dei dati raccolti che per l'eventuale stesura di contributi scientifici.

2.2. Determinazione del campo di stress nella crosta

Già da diversi anni vengono mantenuti rapporti con diverse Istituzioni esterne all'ING. In particolare con AGIP esiste un rapporto di collaborazione da oltre 5 anni mirato allo studio del campo di stress attivo in Italia. I risultati delle ricerche condotte in questi anni, unendo i dati delle perforazioni profonde con quelli sismologici, hanno portato ad un significativo miglioramento delle conoscenze sulla tettonica attiva in Italia e sono stati oggetto di numerose pubblicazioni su riviste italiane e internazionali.

Attualmente con AGIP si sta avviando un rapporto di collaborazione più ampio che coinvolgerà differenti gruppi di ricerca all'interno dell'ING con lo scopo di una migliore comprensione del campo di stress attivo e l'individuazione di strutture sismogenetiche in Italia.

Un rapporto di collaborazione molto simile al precedente ma che prevede uno scambio di dati di gran lunga minore è quello che dal 1993 questo gruppo di ricerca mantiene con la divisione Geotermica dell'ENEL per l'analisi delle perforazioni profonde.

Nell'ambito di questa linea di ricerca, internazionalmente questo gruppo è inserito, collaborando attivamente, nel progetto del World Stress Map, curato inizialmente da M.L. Zoback (USA) e successivamente da B. Mueller del Geophysical Institute di Karlsruhe (Germania).

2.3. Variazioni spazio temporali dell'attività sismica

Gli Enti stranieri con cui si è svolta collaborazione sul tema dei *pattern* di sismicità, con scambio di visite e *stages* di ricercatori sono:

- U.S. Geological Survey, ufficio di Pasadena, California
- Istituto Geofisico, Università dell'Alaska, Fairbanks
- Osservatorio Nazionale di Atene
- Istituto Nazionale per le Scienze della Terra e la Prevenzione dei Disastri (NIED), Tsukuba, Giappone.
- Agenzia Meteorologica Giapponese

2.4 Effetti della geologia di superficie sul moto del suolo

È continuata nel 1997 la consolidata collaborazione con l'Università "Charles II" di Praga e l'Accademia Slovaca delle Scienze di Bratislava sulle tematiche della modellazione delle propagazione delle onde sismiche in mezzi eterogenei.

Inoltre, a seguito dei forti terremoti che hanno colpito l'Umbria e le Marche, si è effettuato un esperimento in collaborazione con l'Università di Grenoble e il CNRS di Nizza nella valle di Verchiano, in Umbria, dove nell'Ottobre 1997 sono state installate dodici stazioni sismologiche a 6 canali che hanno registrato contemporaneamente le forme d'onda del moto su differenti litologie durante numerosi terremoti della sequenza.

Le collaborazioni sono tuttora attive per l'analisi congiunta dei dati acquisiti e per l'interpretazione dei risultati.

Con il Dr Y. Nakamura, del System and Data Research Co. di Tokyo, si è effettuato un esperimento sulla collina di Assisi misurando il rumore sismico sia all'esterno che all'interno della Basilica. Questi dati consentiranno sia di definire la risposta sismica lungo il profilo della collina sia di individuare le parti più vulnerabili della struttura della Basilica.

2.5 Dinamica globale del mantello e rotazione terrestre.

Una cospicua parte della ricerca concernente le deformazioni postsismiche globali ed una parte di quelle concernenti le deformazioni post-glaciali è stata svolta in collaborazione col Settore di Geofisica del Dip. to di Fisica della Università di Bologna. Lo studio dei fenomeni associati al rimbalzo post-glaciale è stato anche condotto in collaborazione con l'Institut für Planetologie della Wilhelms Universität di Munster (Germania), il Geodetic Institute della Stuttgart University (Germania), nonché con la Research School of Earth Sciences della

Australian National University di Camberra (Australia). Lo sviluppo di modelli di convezione è svolto in collaborazione con il Dip.to di Scienze della Terra della Università di Harvard (USA). Il fine ultimo di questo progetto è quello di effettuare una inversione congiunta di dati sismici e geodinamici.

3. Attività di formazione post-universitaria

3.1. Tettonica attiva e paleosismicità

Anche nel 1997 il gruppo ha dedicato una frazione delle sue risorse all'organizzazione di scuole e conferenze per la promozione delle proprie attività in importanti sedi congressuali e per lo sviluppo di attività di cooperazione e tirocinio. Dato il valore scientifico e le importanti ricadute di immagine che possono determinare, queste attività verranno proseguite ed intensificate nel prossimo triennio.

Suole e conferenze

Nell'ambito delle attività del Task Group II-3 dell'International Lithosphere Project, attualmente coordinato da uno dei membri del Progetto, è stato organizzato un corso di Paleosismologia tenutosi in Venezuela e volto alla diffusione delle tecniche paleosismologiche in centro e sud America. Sempre nell'ambito delle stesse attività di coordinamento è stato fornito supporto esterno per una analoga iniziativa svoltasi in India nell'estate del 1997.

Rappresentanza I.N.G. in sedi nazionali ed internazionali

I ricercatori afferenti al gruppo rappresentano l'Ente anche con la periodica presentazione dei propri risultati a convegni nazionali ed internazionali. A partire dal 1997 e per gli anni a seguire ricercatori del gruppo hanno ricevuto incarichi di rappresentanza dell'Ente e delle discipline di pertinenza del Progetto nell'ambito di commissioni e organi di controllo sia nazionali che internazionali, in particolare nell'ambito delle attività della Commissione Grandi Rischi istituita dal Dipartimento della Protezione Civile e delle attività dell'International Lithosphere Project. Per il 1997 va segnalata in particolare la partecipazione alle neoformate *Commissione per la Riclassificazione Sismica del Territorio Nazionale*, che dovrà completare le sue attività nell'estate 1998 in vista di un intervento normativo previsto per l'autunno dello stesso anno, e alla *Commissione per la Predisposizione dell'Emergenza Sismica nella Sicilia Orientale e Stretto di Messina*.

Cooperazione e Tirocinio

Durante il 1997 l'apertura del gruppo verso l'esterno e in particolare verso la comunità scientifica internazionale si è concretizzata in una serie di *stages* di studio e formazione di giovani ricercatori provenienti da Francia, Iran e Spagna presso il gruppo e nella partecipazione, nelle vesti di istruttori, di ricercatori del gruppo a corsi e attività di terreno a fini didattici. Queste attività proseguiranno nel futuro seguendo tre filoni di attività principali:

- (1) soggiorni presso l'I.N.G. di ricercatori italiani e stranieri, organizzati in modo da permetterne il coinvolgimento a tempo pieno nell'attività di ricerca svolta nell'Ente e al tempo stesso di svolgere attività di ricerca sul terreno. Tali visite sono generalmente propedeutiche all'avvio di ricerche congiunte in tettonica attiva e paleosismologia nei paesi di provenienza dei ricercatori;
- (2) avvio di campagne di studio nei paesi di provenienza dei ricercatori di cui al punto precedente, allo scopo di indirizzarli verso lo sviluppo autonomo delle metodologie di ricerca ormai affermate presso l'I.N.G.;
- (3) partecipazione all'organizzazione di workshops a carattere internazionale da tenersi nel 1998 nell'ambito delle già menzionate attività del progetto "*Paleoseismicity of Late Holocene*"; e in particolare (1) Field Paleoseismology Workshop in Nicaragua (marzo) (2) Workshop on "*Paleoseismicity of low-slip faults*" in Corea (maggio), (3) Summer School on "*Active Faulting and Paleoseismology (New approaches for seismic hazards in Europe)*" a Lussemburgo (luglio).

4. Altre attività

4.1. Storia, Didattica e Divulgazione

È stato progettato un audiovisivo divulgativo degli aspetti salienti della geofisica che nel contempo desse risalto al ruolo che l'I.N.G. svolge nei principali settori. Si è definito il testo e la struttura del documentario ed è stata affidata la realizzazione ad una società cinematografica esperta in multimediali scientifici. Dopo la realizzazione delle riprese interne all'I.N.G., il filmato è attualmente in fase di montaggio.

Si è commissionata, alla medesima società, la realizzazione di un CD-rom contenente ampie informazioni sulla struttura ed attività di servizio e ricerca dell'I.N.G.. I ricercatori hanno fornito materiale iconografico e testuale relativo ai loro campi di ricerca ed un CD-rom di prova è già stato fornito dalla società incaricata. Entro febbraio 98 si concluderà la fase di verifica del materiale riversato sul CD e la società provvederà a realizzare l'ambiente grafico di consultazione.

Si è proseguita nel 1997 una ricerca storico-biografica su un personaggio del mondo delle geoscienze: Roberto Mantovani, nato a Parma 25-3-1854, morto a Parigi circa nel 1930. Mantovani è stato un precursore della teoria della deriva dei continenti, il primo a proporre quella più generale della espansione della Terra e fu citato da Alfred Wegener nel suo famoso libro come portatore di idee sullo spostamento dei continenti sorprendentemente simili alle sue. Il testo biografico è stato pubblicato sugli atti del congresso annuale di storia della Fisica e della Astronomia del 1997 e viene attualmente fornito come materiale didattico alle scuole in visita al nostro Istituto.

È stata realizzata una dispensa storico didattica sull'argomento dei moti della Terra (Scalera 1998). La dispensa che include citazioni tratte dai testi dei protagonisti della storia della scienza e della filosofia è stata progettata per gli studenti e docenti degli ultimi due anni dei licei classici e scientifici. Distribuita attualmente in fotocopia, la dispensa sarà al più presto stampata come pubblicazione dell'ING.

Sono in via di realizzazione altre iniziative di divulgazione ad iniziativa di diversi ricercatori.

Unità Organica Geodinamica

1. Sintesi dell'attività scientifica svolta nel 1997

1.1. Servizi e raccolta dati

I servizi gestiti dalla U.O. Geodinamica sono costituiti dalle reti geodetiche GPS e dalla rete di raccolta dati sugli "effetti dei terremoti" (macrosismica).

Le reti GPS

Nell'ambito del controllo geodetico delle aree sismiche italiane, sono state realizzate reti GPS per lo studio delle deformazioni crostali sia a scala regionale che locale.

A partire dal 1990, sono state effettuate le prime campagne di misura realizzando il progetto TYRGEONET che, oltre ad una rete regionale, collega alcune reti locali poste in aree sismiche o vulcaniche di limitata estensione, al fine di discriminare le deformazioni locali da quelle regionali.

Questa è costituita da oltre 50 vertici distribuiti sia in Italia che nei Paesi del Mediterraneo centrale (Algeria, Tunisia, Grecia, Francia, Albania, Austria, Croazia e Slovenia), e ha per fine la determinazione delle deformazioni a grande scala dovute al processo di collisione tra le placche continentali africana ed eurasiatica. A partire dal 1995 la rete è stata estesa ad occidente, realizzando due stazioni di osservazione in Algeria in collaborazione con il Centre National des Techniques Spatiales di Arzew e l'Institut National de Cartographie di Algeri. È stata inoltre introdotta la stazione della rete IGS di Madrid (Spagna).

Dopo 8 anni di campagne di misura sono stati misurati nell'ambito di questo progetto un totale di circa 200 vertici che vengono ripetuti regolarmente nel tempo. Tra questi fanno parte le stazioni della rete dell'International Geodynamic Service (IGS) di Graz (Austria), Wettzell (Germania), Madrid (Spagna), Matera, Cagliari, Noto, Medicina.

Per quanto riguarda studi di deformazione post sismica, particolare attenzione è stata rivolta allo studio dei recenti terremoti della sequenza umbra-marchigiana. In collaborazione con l'Istituto Geografico Militare sono state occupate 20 stazioni della rete IGM95 e TYRGEONET presenti nell'area. I dati hanno fornito, per la prima volta in Italia, importanti dati di deformazione cosismica. Alla stazione di Collecroce è stata misurata una deformazione planimetrica di 14 cm ed una verticale di 25. Tali dati sono stati utilizzati per la realizzazione di un modello diretto di faglia responsabile dei due eventi sismici del 26 settembre 1997. I dati GPS sono stati anche utilizzati in combinazione con i dati SAR, permettendo una validazione di questo tipo di osservazioni e permettendo in questo caso la realizzazione di un modello inverso di faglia.

Servizio di rilevamento macrosismico

L'I.N.G. gestisce una rete di corrispondenti per il rilevamento degli effetti dei terremoti sulle persone, le cose e l'ambiente. I corrispondenti, mediante appositi questionari basati sulla scala Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS), forniscono una serie di informazioni relative alla propria zona di indagine. La rete dei corrispondenti è costituita dalle stazioni dell'Arma dei Carabinieri, con 3864 punti rilevamento, dai Comuni e relative frazioni, per un totale di 8205 punti e dalle stazioni del Corpo Forestale dello Stato, con 1141 punti. Queste strutture sono state scelte come campione, in quanto costituiscono una garanzia di corretta ed esauriente informazione tecnica, poiché coinvolte direttamente e territorialmente nell'emergenza sismica. In totale abbiamo 13210 punti di rilevamento con una densità media territoriale di circa 23 kmq e una densità effettiva di circa 37 kmq. In caso di eventi particolarmente significativi, sono previsti sopralluoghi di personale qualificato dell'Ente stesso. In occasione di terremoti di magnitudo maggiore di 2.5, i questionari vengono spediti ai corrispondenti che si presuppone abbiano sentito il terremoto. Una volta restituiti, si effettuano le elaborazioni relative che si compendiano nel bollettino.

1.2. Linee di ricerca

Le attività di ricerca dell'U.O. Geodinamica si sono svolte nell'ambito dell'area culturale che studia gli effetti permanenti e transitori dei terremoti. In quest'ultimo triennio ci si è particolarmente impegnati nell'analisi dei dati del catalogo sismico per l'identificazione di strutture sismicamente attive e per lo studio delle relazioni di queste con i processi geodinamici.

In particolare, le ricerche si sono articolate prevalentemente sui seguenti argomenti: analisi statistica e studio delle caratteristiche frattali della sismicità; sviluppo di metodi di filtraggio e di analisi dei dati; raccolta ed analisi degli effetti su ambiente, persone e cose; effetti dei terremoti sulle acque; reti geodetiche GPS per la misura delle deformazioni crostali in aree sismiche italiane; Progetto Tyrgeonet; progetto "Antiche strutture costiere romane e pre-romane come indicatori di tettonica attiva recente". Su tali attività si è sovrapposta la crisi sismica del Settembre-Ottobre nell'Appennino Centrale, focalizzando gran parte delle tematiche sopra elencate proprio su tale evento.

1.3. Analisi statistica e studio delle caratteristiche frattali della sismicità

Lo studio dei sistemi non lineari ha fatto notare che i terremoti potrebbero essere un esempio di sistema caotico; se questo è il caso, più che l'analisi di singoli eventi, avrebbe importanza lo studio della sismicità o delle proprietà statistiche di un insieme di terremoti. È stato altresì notato che un tipo di analisi particolarmente adatto al fenomeno sismico è la statistica frattale. In collaborazione con ricercatori dell'Università di Genova e dell'Osservatorio Vesuviano sono state studiate le caratteristiche di scala spazio-temporale del catalogo sismico della California. Tale studio ha evidenziato la marcata struttura multifrattale dei dati e la differenza in tal senso fra terremoti principali e aftershocks: mentre questi ultimi sono caratterizzati da una distribuzione spaziale omogenea, i primi si localizzano su strutture definite (Godano et al., 1998a). Altro risultato ottenuto è stato il sottolineare l'affinità tra la sismicità ad i sistemi critici auto-organizzati, mostrando il legame che sembra esistere tra diversi terremoti vicini nel tempo ma distanti nello spazio (Godano et al., 1998b).

In collaborazione con un dottorando dell'Università di Catania sono state studiate le caratteristiche frattali della sismicità dell'Etna ed aree circostanti, mostrando il legame esistente tra la variazione del clustering temporale e spaziale degli eventi ed i processi geodinamici che caratterizzano le eruzioni. In particolare è stato notato che, per quanto riguarda l'edificio vulcanico, i terremoti del fianco Sud Ovest non sono correlati con le eruzioni. Per le strutture regionali confinanti è stato riscontrato che la sismicità dell'area a Nord, comprendente la Linea Tindari-Giardini, sembra legata ai processi magmatici su lunghi lassi temporali, mentre la sismicità dell'area iblea risulta indipendente dal vulcanismo (De Rubeis et al., 1997).

I risultati di questi lavori sono stati presentati a diversi convegni: Int. Work. Volcanism (Abstract De Rubeis et al.), GNGTS (Abstract De Rubeis et al.), GNV (Abstract Azzaro et al.), IASPEI.

1.4. Sviluppo di metodi di filtraggio e di analisi dei dati

La raccolta dei dati macrosismici attraverso i questionari presenta, ai fini di un'elaborazione significativa degli effetti segnalati, il problema del filtraggio del dato, che consiste nella necessità di eliminare le alte frequenze, in quanto spesso dovute a cause diverse dal fenomeno indagato.

In questa linea di ricerca è stato sviluppato un sistema di filtraggio che utilizza l'analisi della dimensione frattale. Il presupposto teorico sul quale si basa è la constatazione che al segnale è sovrapposto un rumore casuale, ed è noto che il rumore aumenta notevolmente la dimensione frattale dell'insieme considerato. Un evidente cambiamento di pendenza dell'andamento della dimensione frattale contrassegna il limite tra segnale e rumore, consentendo così l'eliminazione di quest'ultimo. Il sistema è stato successivamente raffinato con l'utilizzo di metodi statistici appropriati (massima verosimiglianza e *median polish algorithm*).

Questa tecnica di filtraggio, unita all'interpolazione, è stata applicata ai dati relativi all'intensità macrosismica di alcuni terremoti italiani, tra cui quelli appartenenti alla sequenza

sismica dell'Appennino centrale. La separazione del rumore e delle componenti locali ha permesso di definire il campo macrosismico per ogni evento.

1.5. Effetti macrosismici

L'attività è stata sostanzialmente indirizzata alla gestione e alla elaborazione dei dati macrosismici, che coinvolge differenti aspetti come lo studio dei metodi di indagine, l'elaborazione di tipo statistico dei dati, lo studio dell'evoluzione delle scale macrosismiche, i rapporti con Istituti stranieri per la comune produzione di dati macrosismici omogenei e sempre più affidabili. I recenti terremoti dell'Umbria e delle Marche (Massa Martana, Giugno 1997 e Colfiorito, Sett.-Ott. 1997) hanno calamitato in gran parte l'attività del gruppo di lavoro di macrosismica, soprattutto per quanto riguarda la raccolta e l'analisi preliminare dei dati relativi tuttora in elaborazione. Risultati preliminari sono stati comunque presentati nei convegni annuali del GNDT in Settembre (Camassi et al., 1997) e del GNGTS (Anzidei et al., 1997; Gasparini et al., 1997) in Novembre, oltre che ampiamente diffusi via-Internet e dai quali emerge una forte dipendenza, sia del campo macrosismico che della distribuzione degli effetti ambientali (frane, fratture etc.), dal pattern strutturale presente nell'area. Un'importante attività in corso d'opera riguarda la valutazione dei risentimenti macrosismici dovuti a forti terremoti appenninici nella città di Roma necessaria per verificare quanto ipotizzato sulla scorta dei soli terremoti storici. I primi riscontri sono emersi analizzando una grossa mole di dati relativi alla scossa del 14/10/97 (Sellano), fortemente risentita a Roma, e mostrano quanto sia complessa e variegata la distribuzione del risentimento in un'area metropolitana così grande (Cifelli et al., 1997). Tale ricerca, intrapresa insieme al Dip. di Geologia della Terza Università, è tuttora in corso, con la raccolta dei dati di successivi terremoti appenninici; l'analisi dei primi risultati sarà presentata alla XXIII General Assembly dell'EGS nell'aprile 1998.

Sempre nel corso del 1997, e nell'ambito dei lavori del Working Group Macroseismic Scales, è stato effettuato un test sul campo della European Macroseismic Scale, rilevando gli effetti del terremoto durante la sequenza sismica del settembre-ottobre. I primi risultati verranno anch'essi presentati alla XXIII General Assembly dell'EGS nell'aprile 1998. Nel corso del 1997 è terminato lo studio degli effetti per il terremoto della Lunigiana (ott. '95) intrapreso l'anno precedente e finalmente in stampa (Tertulliani and Maramai, 1998).

1.6. Riesame dei dati storici

Questa linea di ricerca ha interessato più specificatamente l'indagine storica di eventi significativi, spingendosi allo studio degli effetti locali nei centri urbani, e della sismicità storica in tutti i suoi aspetti attuali (rischio sismico, vulnerabilità, aggiornamento cataloghi, utilizzo delle tecniche attuali per studi storici). Particolare enfasi è stata data agli aspetti interdisciplinari (relazioni con archeologia, morfologia, storiografia ecc.), fondamentali per ottenere una comprensione più ampia dei fenomeni studiati. Questa fase di studio, come chiusura del Progetto ING Aniene-Bassa-Sabina, ha evidenziato buoni risultati nel chiarire la natura di eventi minori o misconosciuti quali quelli di Subiaco (1216, 1227, 1299), Palestrina (1844), San Gregorio da Sassola (1759), Affile (1765) (DiGiovambattista et al., 1997; Tertulliani et al. sottomesso ad Annali di Geofisica).

1.7. Catalogo dei maremoti

In un quadro di collaborazione internazionale si sta redigendo un *Catalogo analitico dei maremoti dell'area mediterranea*, con particolare riguardo alle coste italiane. Per la realizzazione di detto catalogo, sono stati verificati i dati disponibili in letteratura; sono state fatte ricerche storiche particolari per giungere all'interpretazione e lettura critica delle fonti originali. Lo scopo finale è appunto quello di realizzare un catalogo analitico unificato per l'intero Mediterraneo, sotto forma di *data base* il più completo possibile, che consenta un'agevole consultazione da parte di tutte le Nazioni e le strutture interessate all'utilizzo di tali dati. Attualmente il catalogo europeo è stato completato nel suo schema generale ed è in corso di elaborazione finale per le ultime correzioni da parte delle nazioni che partecipano al progetto.

1.8. Maremoti e terremoti minori (riesame storico)

Nel corso dell'anno l'attività di ricerca si è indirizzata in due settori che sono da ritenersi interdisciplinari; infatti, l'attività principale è stata rivolta allo studio di maremoti (soprattutto dell'area italiana), particolarmente per quel che riguarda gli eventi cosiddetti minori, a cui è stato affiancato anche un profondo riesame dei terremoti ad essi associati. In particolare, si è preso in esame il Gargano che risulta essere una zona affetta da maremoti anche considerevoli e per la quale sono oggi disponibili studi interdisciplinari che possono facilitare la comprensione dei fenomeni.

1.9. Stima dei campi di deformazione crostali

Il sistema NAVSTAR GPS (Navigation Satellite Time and Ranging Global Positioning System) è stato sviluppato dal Dipartimento della Difesa degli Stati Uniti d'America per fornire il posizionamento assoluto di punti sulla superficie terrestre mediante la ricezione di dati inviati da una costellazione di satelliti. Negli ultimi anni questo sistema è stato impiegato con successo in geodesia di precisione consentendo il calcolo delle coordinate dei siti di ricezione nel sistema di riferimento WGS84 con precisione centimetrica anche su stazioni distanti tra loro centinaia di chilometri. L'analisi dei dati viene effettuata mediante opportune metodologie statistiche che consentono di calcolare il vettore spostamento dei siti dopo rilievi ripetuti. Gli spostamenti osservati sono sottoposti poi al test di Fisher per stabilire se essi siano significativi rispetto agli errori associati.

Nel 1997 sono stati definiti i campi di deformazione, in termini di differenze di coordinate ottenute da rilievi ripetuti, delle reti GPS della TYRGEONET (settore ionico), dei Colli Albani, dello Stretto di Messina e della CEE. (Anzidei et al., 1997; Anzidei et al., 1997; Achilli et al., 1997).

I risultati delle ricerche sono stati portati anche a covegni con comunicazioni o poster (GNGTS, AGU, EGS).

Per quanto riguarda la ricerca geodetica ai Colli Albani, il dr. Marco Anzidei ha assegnato un incarico di consulenza al dr. Alessandro Galvani per la realizzazione e misura di nuove stazioni GPS lungo le linee di livellazioni storiche e moderne.

1.10. Progetto ASI Applicazione del campo di deformazione con l'impiego di tecniche spaziali e indagini geofisiche: valutazione dei rischi naturali nell'area Mediterranea.

Lo scopo del progetto è quello di studiare la lenta e continua deformazione della crosta terrestre e la ricostruzione del campo degli sforzi agenti nel tempo che costituiscono uno strumento basilare per studiare l'evoluzione del ciclo deformativo e per valutare il rischio sismico. L'area in studio è l'Appennino centro meridionale che rappresenta una delle regioni della penisola italiana soggette ad una elevata sismicità e ai maggiori tassi di deformazione crostale.

L'obiettivo del progetto può essere ottenuto integrando le forti potenzialità offerte dalle osservazioni geodetiche GPS e dalla teleosservazione con informazioni geofisiche di vario tipo ed elaborando modelli geodinamici realistici.

Sulla base di questi modelli sarà possibile tentare l'identificazione delle zone sismiche più vicine alle condizioni critiche lungo la catena appenninica centro meridionale e fornire quindi utili informazioni per una più efficace organizzazione della Protezione Civile.

Le differenti metodologie si integrano per fornire una visione globale dei fenomeni in atto rispetto a quelli mostrati dalle strutture geologiche presenti. In caso di eventi sismici rilevanti le misure GPS permetteranno di quantificare i movimenti post-sismici e forniranno dati numerici significativi per studi sismologici.

Programmi di ricerca di questo tipo hanno già prodotto significativi risultati in altre zone del mondo (California, Giappone).

Il progetto, coordinato dal Prof. E. Boschi, è stato finanziato con L. 120.000.000. Nell'ambito del progetto, il dr. Marco Anzidei, responsabile della parte geodetica, ha assegnato con delibera del C.d.A. tre borse di studio annuali ai dr. Alessandro Galvani, Arianna Pesci e Ingrid Hustad.

Il progetto è stato impostato secondo le seguenti linee di ricerca:

- (1) Realizzazione di una rete permanente composta da 10 stazioni GPS con controllo remoto; ripetizione periodica di misure geodetiche GPS su vertici già esistenti. L'analisi dei dati SAR in aree sottoposte a deformazione rapida (movimenti cosismici) validate dai dati GPS, forniranno un'immagine continua della deformazione. Immagini dai satelliti Landsat ed ERS-1 permetteranno l'identificazione delle aree interessate da strutture tettoniche importanti o di recente attivazione.
- (2) Raccolta e analisi di tutte le informazioni geologico-geofisiche per l'individuazione del maggior numero possibile di vincoli da imporre al modello deformativo finale.
- (3) Studio delle variazioni temporali del campo di deformazione nelle zone sismiche dell'Appennino centro-meridionale indotte da terremoti intensi con epicentro nelle regioni circostanti, tramite l'utilizzo del monitoraggio geodetico continuo.

1.11. Rete GPS di Virgo

Per quanto riguarda i rilievi GPS di dettaglio, si è stipulato con l'INFN sez. di Pisa un contratto a nostro favore per il rilievo di una rete di punti per la costruzione della nuova antenna interferometrica Virgo (progetto internazionale con INFN e CNRS di Orsay). Al termine di tale lavoro è stata consegnata la relazione conclusiva, stilata da F. Riguzzi, contenente l'elenco dei punti misurati, le metodologie utilizzate nel calcolo e i risultati finali (coordinate, ellissi di errore e di affidabilità, distanze tra i punti della rete). Tale rete è costituita da 13 siti a centramento forzato. Le precisioni ottenute sono circa 0.5 cm in planimetria e minori di 1 cm in altimetria (al 95%). Per effettuare parte di questo lavoro F. Riguzzi ha assegnato un piccolo contratto di consulenza al dr. A. Zanutta. (Riguzzi et al., 1997)

1.12 Progetto Analisi della sensibilità del GPS

Nell'ambito delle ricerche metodologiche relative all'applicazione del GPS alle reti di controllo è stata avviata la progettazione del primo esperimento sistematico finalizzato alla definizione della sensibilità del GPS per applicazioni a reti di interesse geodinamico. Tale progetto viene effettuato in collaborazione con l'Osservatorio Geofisico di Modena, il Politecnico di Torino e l'Università di Roma La Sapienza; con tale esperimento si cerca di ricostruire, tramite rilievi successivi di una rete GPS, l'andamento degli spostamenti imposti con alta precisione per mezzo di un apparato micrometrico appositamente realizzato ad un punto della rete stessa. Tale ricerca ha prodotto un lavoro in sottomissione al Journal of Geodesy.

1.13 Studi sulla ionosfera mediante l'utilizzo del GPS

Il GPS può essere utilizzato anche per lo studio della ionosfera in quanto il segnale emesso dai satelliti viene da essa rifratto. Poiché il segnale GPS viene inviato su due frequenze e dato che la ionosfera è un mezzo dispersivo, è possibile risalire alle variazioni di contenuto di elettroni medio della ionosfera (TEC). La stima del TEC è stata confrontata con le predizioni dei principali modelli. (Mirena et al., 1997; Anzidei et al., 1997)

1.14 Progetto "Antiche strutture romane e preromane come indicatori di tettonica attiva recente"

Le coste italiane sono sede di numerosi resti archeologici relativi a porti, approdi, ville e peschiere di epoca romana o pre-romana. Buona parte di questi resti sono attualmente in buono stato e quindi facilmente riconoscibili, rilevabili e databili e giacciono all'incirca al livello del mare attuale oppure a profondità compresa tra alcuni dm e alcuni metri al di sotto della superficie marina; in altri casi sono posti in terraferma in prossimità della costa. Da una stima della entità della variazione di quota del livello marino dall'epoca della costruzione del manufatto fino ad oggi e dalla interpretazione dei fattori morfologici locali come ad esempio la erosione costiera, si possono desumere importanti indicazioni sui movimenti verticali di origine tettonica occorsi nell'area dove risiede il manufatto.

Con questa premessa è stata svolta una attività di ricerca su alcuni siti archeologici costieri posti in Italia centro meridionale prossimi a stazioni di reti geodetiche. La finalità è di valutare la eventualità e la entità di movimenti verticali avvenuti nel corso degli ultimi 4000 anni in aree di interesse geofisico (Sicilia sud orientale, Isole Eolie, Isole Ponziane, costa adriatica della Puglia) dove sono già noti dati significativi da indagini geodetiche.

Nell'ambito di questo progetto il dr. Marco Anzidei, con delibera del Consiglio di Amministrazione, ha assegnato due incarichi di consulenza al dr. Alessandra Benini (archeologa subacquea) e al dr. Alessandra Esposito (geologa subacquea), di ampia esperienza in questo settore specifico.

I dati provenienti da questa ricerca e la loro compenetrazione con dati geodetici, geologici, geofisici e osservazioni subacquee, hanno fornito interessanti risultati preliminari così riassumibili:

a) evidenza di subsidenza di ~2mm/anno a Basiluzzo (Isole Eolie) dallo studio di una antica banchina di ormeggio di epoca romana. Il sito è prossimo all'isola di Panarea dove è posto un vertice GPS che viene periodicamente misurato durante le campagne TYRGEONET

b) esclusione di manufatti nel mare antistante l'isolotto di Bottaro (Panarea, Isole Eolie) alla profondità di 12m. Alcuni autori avevano rilevato in passato alcune strutture morfologiche che erano state erroneamente attribuite a manufatti di epoca romana. Rilievi archeologici, geologici, geomorfologici subacquei hanno escluso tale possibilità.

c) evidenza di tettonica recente a Ponza da una faglia che disloca di circa 15 cm la peschiera romana all'aperto posta presso Punta della Madonna. Sempre a Ponza misure di profondità della peschiera romana di Pilato ha evidenziato una subsidenza di circa 1m.

d) assenza di movimenti verticali rilevanti nella penisola salentina negli ultimi 4000 anni mediante lo studio di cave di epoca messapica a Porto Miggiano e S.M. di Leuca, di strutture portuali romane a S. Foca.

e) la ricerca bibliografica sul sito di Megara Iblea, lascia ragionevolmente supporre che si sia verificata in epoca storica una subsidenza che ha portato all'interramento delle strutture portuali di questa città.

2. Collaborazioni con Istituzioni nazionali e internazionali

2.1. Catalogo dei maremoti

Uno degli obiettivi è quello di preparare un catalogo analitico dei maremoti europei, compito che è stato affidato all'I.N.G. in collaborazione con l'Università di Bologna. A tale proposito è stato scelto un *data base* adattato alle nostre esigenze, per la realizzazione di una banca dati ed è stata fatta una profonda revisione degli eventi presenti nel *Catalogo Caputo*, approfondendo lo studio delle fonti bibliografiche coeve. In questo ambito si è spesso presentata la necessità di ristudiare eventi di particolare interesse, focalizzando l'attenzione su aree specifiche. La parte italiana di detto catalogo è già stata completata e pubblicata mentre per le restanti nazioni europee siamo alla fase della revisione finale e il catalogo dovrebbe andare in stampa entro la metà del 1997.

2.2. Geodesia

2.2.1 Collaborazione con il DIAR del Politecnico di Milano

Grande importanza scientifica e pratica riveste attualmente lo studio sul geoide. A tale proposito va sottolineato che vengono attualmente utilizzati due differenti sistemi di altezze nella determinazione della posizione di un punto sulla superficie terrestre. Un sistema di altezze è definito dalla quota ortometrica, la quota che ci fornisce la topografia classica, l'altro è la quota ellissoidica, definita dal sistema GPS. La conoscenza locale delle ondulazioni geoidiche

consente di ottenere la relazione lineare che lega i due diversi sistemi di quote. Tale fatto riveste un'importanza fondamentale in diversi campi sia per scopi di ricerca scientifica che per usi civili, ad es. catastali, o anche militari ecc.; la conoscenza del geoide in area italiana consente il confronto tra la cartografia classica e quella ottenuta con il GPS. L'International Geoid Service (IGeS) è un ente internazionale creato nell'ambito dell'International Association of Geodesy (IAG) si propone di studiare il geoide nell'area italiana e mediterranea utilizzando misure gravimetriche di superficie. La collaborazione e il supporto che l'ING fornirà all'IGeS avrà delle ricadute importanti; saranno infatti a disposizione del nostro Istituto i valori del geoide gravimetrico per l'area italiana.

F. Riguzzi fa parte del Comitato Scientifico dell'IGeS e ivi rappresenta l'ING.

2.2.2 Collaborazione con l'INFN, il CNRS di Orsay e il CERN di Ginevra

Nel 1997 si è aperta una collaborazione con l'INFN di Pisa e il CNRS di Orsay per effettuare rilievi GPS per l'antenna gravitazionale di Virgo (Pisa) e con l'INFN dei Laboratori Nazionali del Gran Sasso e il CERN di Ginevra per fornire la posizione dei laboratori con il metodo GPS.

2.3. Border Earthquake Assessment

Il progetto BEA, stipulato con il Geophysical Survey of Slovenia, ha l'obiettivo di preparare le condizioni per uno studio degli effetti di un eventuale forte terremoto nell'area di confine italo-slovena.

Lo scopo è quello, utilizzando procedure comuni, sia di raccolta che di analisi dei dati macrosismici, di costruire mappe e scenari "senza frontiere". I dati fin qui raccolti sono confluiti nei rispettivi bollettini macrosismici.

L'area oggetto della ricerca è stata sede di disastrosi terremoti per l'ultimo del quale (Friuli 1976) non esiste campo macrosismico ufficiale relativo a tutta l'area di risentimento. Il presente progetto, nato nel 1996, è tutt'ora in corso.

2.4. GITEC

A partire dalla fine del 1992 e fino al febbraio '96, l'U.O. Geodinamica ha partecipato al progetto CEE denominato GITEC (Genesis and Impact of Tsunamis on European Coasts) coordinato dall'Università di Bologna, al quale hanno preso parte numerose nazioni europee quali Italia, Francia, Portogallo, Grecia, Norvegia, Gran Bretagna e Bulgaria. Lo scopo del progetto è stato quello di studiare i meccanismi di genesi dei maremoti e valutare l'hazard lungo le coste europee per la riduzione del rischio. Il progetto ha avuto un suo seguito dal giugno '96 nel nuovo progetto UE GITEC-TWO (Genesis and Impact of Tsunamis on European Coasts - Tsunami Warning and Observations) nel quale l'ING ha il compito di realizzare il primo sistema italiano di "tsunami warning" nelle coste della Sicilia orientale. L'area prescelta è la zona di Augusta (SR) caratterizzata nei secoli passati da forti terremoti tsumanogenici.

2.5. Paleotsunami

In Gargano, essenzialmente nell'area del Lago di Lesina e delle paludi di Frattarolo (Manfredonia), si sono effettuate due campagne di indagine geologica per lo studio di paleotsunami, in collaborazione con i ricercatori dell'Università di Coventry (UK). Campagne che si sono rivelate interessanti almeno alla luce dei primi risultati, in quanto hanno mostrato, almeno per la zona del lago, la possibilità di escludere la presenza di paleomaremoti rilevanti.

2.6. Geodesia e geofisica

Il progetto TYRGEONET è sorto in collaborazione con diversi Istituti di ricerca sia italiani che esteri quali il CNES (Centre Spatial de Toulouse) Francia e l'IPG (Institut de Physique du Globe) di Parigi (Francia); l'Institut National de la Météorologie di Tunisi (Tunisia); l'Università di Salonicco (Grecia). Lo scopo di tale rete è quello di misurare il campo di deformazione dell'area italiana partendo dalle ipotesi formulate da vari autori sulla apertura del

Mar Tirreno. L'area mediterranea presenta una tettonica complessa caratterizzata dalla interazione delle placche africana ed euroasiatica. Dati geofisici e geologici hanno permesso il riconoscimento di strutture deformative nell'area tirrenica che evidenziano la presenza di stress tettonici dovuti a movimenti distensivi ed una rotazione antioraria della penisola italiana. A causa della complessità dei processi tettonici dell'area italiana e delle regioni circostanti, è indispensabile sviluppare l'indagine geodetica lungo due direzioni: da un lato è necessario definire un quadro generale del campo di deformazione attraverso l'istituzione di una rete geodetica a scala regionale; contemporaneamente le indagini localizzate in aree di particolare interesse sismico vanno inquadrare nel panorama più generale della tettonica del Mediterraneo centrale.