

Unità Organica Sismologia e Fisica dell'Interno della Terra SFFT

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

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

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

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

1.1 La Rete sismografica Mediterranea

Aspetti operativi

La Rete Mediterranea è composta da sismografi di altissimo livello tecnologico (very-broadband, 24 bit ADC) installati nell'area mediterranea, originariamente inserita nell'ambito del programma Plato-1 dell'organizzazione ICSC-World Laboratory. Il progetto attualmente si occupa di 18 stazioni sismografiche ed è coordinato e gestito operativamente dall'I.N.G. in collaborazione con le maggiori istituzioni sismologiche della regione. Il progetto, coinvolgendo strumentazione distribuita su 12 Paesi, rappresenta senz'altro la più importante iniziativa sismologica attiva su scala Mediterranea. Questa attività pone dunque l'I.N.G. in posizione di grande rilievo in campo internazionale — con una visibilità accresciuta dalla partecipazione a pieno titolo ai maggiori organismi internazionali di raccolta e distribuzione di dati sismografici (in Europa, ORFEUS; globalmente, FDSN).

Negli ultimi anni la rete di stazioni sismografiche MEDNET ha subito notevoli sviluppi in particolare nel 1996 quattro nuove stazioni sono state installate (in Grecia, Malta, Bulgaria e Turchia) mentre altre due (in Marocco e Tunisia) hanno subito drastici interventi di manutenzione straordinaria (paragonabili per impegno a installazioni ex novo) volti soprattutto a migliorare i sistemi di alimentazione fotovoltaici. Inoltre, sono stati effettuati numerosi altri interventi di manutenzione, resi necessari per ripristinare le funzionalità della strumentazione. Il tasso di efficienza della rete è sensibilmente aumentato, nonostante il contemporaneo incremento numerico delle stazioni da mantenere in efficienza. È continuata ininterrotta l'attività di raccolta, trattamento e distribuzione dei dati. Tutti i dati sono stati trasmessi all'Archivio designato dalla Federation of Digital Seismographic Networks (FDSN) e sono pubblicamente accessibili alla comunità sismologica internazionale. Inoltre, in base ad accordi in tal senso, i dati MEDNET vengono distribuiti anche su CD-ROM, sia sui volumi curati da ORFEUS sia su quelli curati dal World Data Center A, NEIC. È stato messo a punto il programma MERCURIO, che, giornalmente e in modo completamente automatico, controlla tramite collegamento telefonico lo stato di funzionamento della strumentazione. Il sistema viene anche attivato automaticamente in caso di evento sismico e trasferisce i dati dalle stazioni remote raggiungibili per via telefonica.

Attività di ricerca

Gli studi sulla struttura tridimensionale del mantello superiore della regione Euro-Mediterranea, ancora in via di sviluppo, hanno fornito risultati preliminari di grande interesse. Basandosi su di un approccio empirico, che corregge i tempi di percorso per l'eterogeneità della propagazione senza richiedere esplicitamente un modello di velocità, è stata rilocalizzata tutta la sismicità Mediterranea. Questo costituisce il primo passo per il calcolo di un modello tomografico tridimensionale delle anomalie di velocità del mantello superiore. Il metodo che è stato messo a punto è basato su una tecnica originale e presenta alcune innovazioni metodologiche volte ad assicurare maggior confidenza e risoluzione al modello risultante. Il primo modello derivato con questa tecnica presenta interessanti e suggestivi elementi di correlazione con la geologia di superficie e la tettonica attiva.

L'impiego delle onde di superficie rappresenta una scelta comune per studi sulla struttura del mantello superiore. La distribuzione di MEDNET è stata studiata per ottenere la copertura ottimale di tragitti di onde superficiali per l'area mediterranea, tenendo presente anche la disposizione delle stazioni già esistenti. È stata raccolta e analizzata una quantità di dati sul Mediterraneo sinora mai utilizzata, registrata sia dalle stazioni della rete MEDNET, sia da altri progetti. L'inversione non-lineare ha permesso di ricostruire un modello che presenta solo variazioni "morbide" della struttura. Nella regione Mediterranea, tuttavia, sono presenti anche importanti variazioni su corta scala spaziale, che generano fenomeni di *scattering*, i cui effetti sono stati inclusi nella formulazione del problema, effettuando una successiva inversione per puntualizzare i caratteri di dettaglio. Lo schema ha mostrato la capacità di aumentare il livello di risoluzione delle immagini tomografiche risultanti.

Le variazioni verticali delle caratteristiche strutturali del mantello superiore determinano importanti effetti sulla propagazione delle onde P e S a distanze regionali (fino a 2000-2500 km) determinando distorsioni nelle forme d'onda e la comparsa di diversi arrivi successivi molto vicini tra loro. La modellazione della forma d'onda, ottenuta facendo ricorso a tecniche di calcolo di sismogrammi sintetici, è stata applicata al Mediterraneo occidentale. L'analisi ha permesso la definizione di un modello con caratteri particolari della transizione di fase che avviene a circa 400 km di profondità, caratteri che sono stati messi in relazione alla presenza di materiale legato alla subduzione fossile tra Africa e Eurasia.

La disponibilità di dati di terne sismometriche a banda larga consente anche di studiare la struttura crostale al di sotto delle stazioni sismiche utilizzando la tecnica della funzione di trasferimento crostale. La tecnica è basata sulla deconvoluzione dalle registrazioni delle componenti orizzontali dell'impulso ottenuto sulla componente verticale, rappresentativo degli effetti di sorgente e propagazione profonda. La tecnica è stata applicata alla stazione AQU de L'Aquila, mettendo in evidenza una Moho inclinata. La funzione di risposta crostale della stazione VSL (Sardegna) ha evidenziato invece elementi compatibili con una discontinuità di tipo transizionale, come suggerito anche da altri autori sulla base di dati completamente diversi. Il fatto viene messo in relazione alla possibile risalita di materiale proveniente dal mantello connessa alla vicinanza del margine di *rift* del bacino del Tirreno.

La magnitudo minima di un evento sismico che si voglia studiare utilizzando affidabili tecniche di inversione è relativamente alta (diciamo $M > 5$) e non si possono dunque prendere in esame numerosi eventi di medie dimensioni tipici del Mediterraneo. È stata studiata la sequenza sismica del Friuli del 1976-1979 utilizzando un evento di riferimento (che abbia avuto luogo nella stessa regione ipocentrale e per il quale il meccanismo sia noto) per calibrare empiricamente il contributo della propagazione nella struttura incognita.

Un aspetto di primaria importanza nella comprensione della dinamica del Mediterraneo è il controllo della deformazione sismica. La valutazione dei meccanismi focali permette di stimare l'ampiezza ed i caratteri geometrici della deformazione e quindi di comprendere la tettonica attiva. Dallo studio dei tensori momento sismico possiamo calcolare la deformazione di origine sismica e stimare quanto la sismicità renda conto della deformazione complessiva. Abbiamo trovato che l'attività sismica degli ultimi 87 anni (dal 1908 al 1994 incluso) contribuisce per una percentuale della deformazione globale che, secondo le zone, varia tra il 10% e il 90%.

Un'altra ricerca che abbiamo attivato riguarda lo studio della struttura del mantello profondo e del nucleo terrestre. Lo studio della base del mantello è un soggetto di grande importanza per la geodinamica planetaria: proprio alla base del mantello si originano i moti convettivi responsabili della tettonica superficiale. Sono stati postulati diversi caratteri

particolari, tra cui uno strato limite termico con possibili differenziazioni mineralogiche (strato limite chimico). Abbiamo sfruttato la disponibilità dei dati della stazione antartica per studiare zone non ancora analizzate, rilevando al di sotto del Pacifico sud-orientale la presenza del riflettore anomalo *D''* responsabile della fase SdS, già osservata in altre zone geografiche da altri autori.

1.2. Tettonica attiva e paleosismicità

Questo filone di ricerca ha proseguito nel 1996 lungo le linee già intraprese negli scorsi anni, contribuendo a consolidare il ruolo-guida che l'Istituto ha assunto anche a livello internazionale per quanto riguarda l'approccio geologico allo studio delle faglie sismogenetiche. Le attività svolte possono essere suddivise in due linee principali che vengono brevemente discusse qui di seguito.

Ricerche originali sul territorio nazionale

Queste ricerche hanno avuto come fine principale quello di fornire nuovi dati e interpretazioni in vista della compilazione e pubblicazione del *Catalogo delle Faglie Sismogenetiche Italiane* da affiancare al *Catalogo dei Forti Terremoti Italiani* come strumento di base offerto dall'Istituto alla comunità sismologica nazionale. Le ricerche per l'arricchimento del *Catalogo delle Faglie Sismogenetiche* hanno seguito due linee principali: quella indirizzata verso faglie *evidenti* o *nascoste*, che ha tra i suoi metodi la geomorfologia della zona di faglia e delle aree limitrofe, la microtopografia, l'apertura di trincee esplorative; e quella che punta a studiare le faglie *cieche* attraverso l'analisi e la modellazione dei loro effetti di deformazione areale accumulati nella geologia recente e della parallela evoluzione del paesaggio. Lo sviluppo di tali linee di ricerca ha reso necessario l'utilizzo di cartografia di base del territorio nazionale, di foto aeree, di immagini riprese da satellite, di *hardware* e *software* specifici per l'elaborazione grafica dei dati raccolti anche direttamente sul terreno. In particolare sono stati portati a conclusione progetti di ricerca riguardanti le faglie di Ovindoli-Pezza e del Fucino, in Abruzzo centrale, e la faglia di Gioia Tauro, in Calabria meridionale.

Attività di coordinamento delle ricerche e di elaborazione dei risultati

Queste attività sono state rivolte a due progetti di ampio respiro, riguardanti rispettivamente la seconda versione del *Catalogo dei Forti Terremoti in Italia* e ricerche collegate e il *Catalogo delle Faglie Sismogenetiche Italiane*. Entrambi i progetti vedono il coinvolgimento e il coordinamento sia di personale del gruppo che di personale esterno.

1.3. Determinazione del campo di stress nella crosta

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

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

I dati analizzati nel 1996 lungo il margine costiero tosco-laziale-campano e l'Appennino centro-settentrionale (circa 40 pozzi) hanno permesso di vincolare l'orientazione e il regime del campo di stress attivo, utilizzando anche i risultati ottenuti dall'analisi di dati sismologici.

1.4. La Struttura della litosfera in Italia e nel Mediterraneo

Gli studi tomografici nell'area del Mediterraneo centrale sono stati il tema di un Progetto finanziato dalla CEE (Contratto n. EV5V-CT93-0304) "Southern Europe Network for Analysis of Seismic Data". Nell'ambito di questo progetto, l'applicazione di tecniche tomografiche ha prodotto immagini tridimensionali della crosta nel Mediterraneo centrale, ovvero di quella parte della struttura terrestre di quell'area nella quale si concentra maggiormente la sismicità. Tali studi hanno portato quindi al duplice risultato di migliorare le conoscenze della geodinamica della zona in studio e di rendere ancora più affidabile la localizzazione degli eventi sismici.

Nell'ambito di un altro progetto di ricerca in collaborazione con l'*Institute for the Study of the Continents, Department of Earth Sciences*, della Cornell University, Ithaca (N.Y., USA), si è studiata la propagazione in Italia e nelle aree circostanti delle fasi regionali di alta frequenza, allo scopo di ottenere informazioni sulla distribuzione delle proprietà elastiche nel mantello superiore. La fase di taglio Sn risulta fortemente attenuata al passaggio nell'astenosfera per la presenza di materiale parzialmente fuso e quindi con bassa resistenza al taglio, mentre si propaga per lunghe distanze entro il mantello litosferico (LID), caratterizzato da elevata resistenza al taglio. Per queste caratteristiche la propagazione della fase Sn rappresenta un importante strumento di indagine per lo studio di variazioni laterali delle proprietà reologiche nel mantello superiore.

La distribuzione delle velocità sismiche nel mantello superiore in Italia è un essenziale contributo alla conoscenza della sua struttura reologica. A questo scopo si è effettuata un'inversione dei tempi di arrivo delle onde Pn con una tecnica tomografica bidimensionale, la quale ha fornito una immagine 2-D delle velocità delle onde sismiche al disotto della Moho. Tale studio è svolto in collaborazione con il Dr. Thomas Hearn della *New Mexico State University* di Las Cruces (N.M., USA). L'inversione ha messo in evidenza un elevato livello di anisotropia della velocità delle onde sismiche nel mantello superiore in Italia, significativamente correlato alle maggiori strutture tettoniche dell'area. Ha inoltre fornito la prima mappa dell'anisotropia sismica del mantello superiore nell'area italiana.

I risultati finora ottenuti con le diverse tecniche sono consistenti e hanno evidenziato l'esistenza, nel mantello litosferico, di una netta discontinuità al margine adriatico della penisola italiana, con velocità delle onde sismiche da normale ad elevata, e bassa attenuazione, al disotto del bacino adriatico, caratteristiche tipiche di un mantello litosferico "normale". mentre nel mantello superiore al disotto della catena appenninica e del bacino tirrenico risultano bassi valori di velocità ed elevata attenuazione, indicativi della presenza di una zona termicamente anomala.

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

In collaborazione con l'Istituto per la Geologia Marina di Bologna (C.N.R.) e con il Centro Sismologico di Tirana (Albania) l'Istituto Nazionale di Geofisica è impegnato dal 1991 in attività di prospezione geofisica in mare. Tale attività ha come scopo l'acquisizione di dati che consentano l'individuazione e la caratterizzazione geodinamica a scala regionale di strutture tettoniche in aree marine sismicamente attive. L'area in esame è il bacino Adriatico centro-meridionale.

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

Nel 1996 è stata effettuata una campagna di sismica multicanale a riflessione in acque territoriali nel mar Adriatico meridionale e nel mar Ionio. Diverse migliaia di chilometri di profili sismici sono stati acquisiti allo scopo di identificare le strutture sismogenetiche. L'acquisizione

di profili sismici in acque territoriali albanesi e in acque internazionali ha consentito di raccordare le strutture tettoniche presenti al largo del Gargano con quelle individuate al margine orientale del bacino, permettendo quindi di studiare i rapporti cinematici tra i diversi sistemi deformativi esistenti nell'area adriatica, nonché l'interpretazione dell'assetto strutturale del bacino, in gran parte ereditato da ampi piegamenti di età mesozoica.

I dati acquisiti sono del tutto originali e permettono di delineare un quadro cinematico coerente di un'area importante per la comprensione dell'evoluzione geodinamica della regione centro-mediterranea.

1.6. Variazioni spazio-temporali dell'attività sismica

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

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

Per quanto riguarda il secondo tema, la ricerca svolta in collaborazione con l'Università dell'Alaska ha consentito la messa a punto di un pacchetto di programmi per la distinzione fra variazioni naturali e fittizie del tasso di sismicità, la cui applicazione alla sismicità italiana ha condotto alla individuazione di un chiaro fenomeno di quiescenza precedente il terremoto dell'Irpinia del novembre 1980.

1.7. Macrozonazione sismica del territorio italiano

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

E' 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 [ENEL, 1977; Postpischl, 1985b; I.N.G., 1989] e le mappe delle isosisme esistenti in letteratura [I.N.G., 1983a; 1983b; 1988; Postpischl, 1985a]. 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 (già disponibile a stampa con breve nota descrittiva), 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.

1.8. 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'I.N.G. 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.

La disponibilità di dati del sottosuolo, in numero elevato e di buona qualità, consente lo sviluppo di modelli complessi sempre più aderenti alla realtà. Nel 1996 le simulazioni sono state estese oltre ai campi *SH*, anche ai campi vettoriali *P-SV*, ed è stato incluso nella modellazione l'effetto della sorgente sismica e della propagazione crostale. In tal modo si è in grado di sostituire l'input al *bedrock*, nell'approssimazione di onda piana polarizzata, con una radiazione sismica più realistica. A tale scopo si è avviata una collaborazione con il Prof. Jiri Zahradnik dell'Università di Praga e con il Prof. Peter Moczo dell'Università di Bratislava, al fine di sviluppare modellazioni numeriche che tengano conto di dinamiche così complesse.

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, 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.

1.9. 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. Ancora molto lavoro deve essere svolto per chiarire numerosi aspetti di questa ricerca.

2. Collaborazioni con Istituzioni nazionali e internazionali

2.1. Tettonica attiva e paleosismicità

L'Istituto Nazionale di Geofisica occupa nel campo della tettonica attiva e paleosismicità un ruolo importante non solo in ambito italiano ma anche in ambito internazionale. Lo sviluppo di collaborazioni nazionali ed internazionali rappresenta un impegno costante e responsabile dell'Istituto per una efficace politica di prevenzione e allo stesso tempo un aspetto molto importante della ricerca di base da considerare in stretta integrazione con le attività previste nell'ambito di questa linea di ricerca. 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*". Tale *task-group* rappresenta il riferimento principale delle attività paleosismologiche a livello mondiale.

Programmi di collaborazione sono già stati avviati con diverse istituzioni italiane, fra cui l'Università di Bologna, il Servizio Sismico Nazionale, l'Istituto per la Ricerca sul Rischio Sismico, l'Osservatorio Geofisico Sperimentale e il Gruppo Nazionale Difesa dai Terremoti del C.N.R. 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 di Cergy-Pontoise (Francia), l'International Institute of Earthquake Engineering and Seismology di Tehran (Iran), l'Università di Leeds (Inghilterra), l'Università di Salonicco (Grecia) e l'Università di Barcellona (Spagna). Tutti i contatti avviati verranno ulteriormente sviluppati nel prossimo triennio anche nell'ambito di nuovi progetti di ricerca comunitari.

Queste collaborazioni si concretizzano in soggiorni presso le istituzioni e in attività congiunte di ricerca sul terreno, di elaborazione dei dati raccolti e di stesura di contributi scientifici.

2.2. 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

Questi temi sono stati anche trattati nell'ambito della partecipazione dell'I.N.G. al progetto EU "Time dependent seismic hazard estimate based on multi-parameter geophysical observatory system" (Contratto n. EV5V-CT94-0494).

3. Attività di formazione post-universitaria

3.1. Tettonica attiva e paleosismicità

Nel 1996 una non trascurabile porzione delle risorse del gruppo è stata utilizzata per l'organizzazione di scuole e conferenze, per la promozione delle attività del gruppo in importanti sedi congressuali e per lo sviluppo di attività di cooperazione e tirocinio. Dato il loro significato scientifico e le importanti ricadute di immagine per l'Ente che possono determinare le attività di tale settore verranno proseguite ed intensificate nel prossimo triennio.

Scuole e conferenze

I ricercatori afferenti a questa linea di ricerca hanno rivestito ruoli organizzativi in diversi convegni internazionali sul tema generale del Rischio Sismico. Va ricordata in particolare l'organizzazione della European Research Conference "*Large Earthquakes in the Geological Record*" tenutasi ad Isthmia (Grecia) nel maggio del 1996 e della *International School of Solid Earth Geophysics, 13th course: "The Assessment of Seismic Risk in Italy: Ten Years Later"*, tenutasi a Erice alla fine di agosto del 1996.

Nell'ambito delle attività del Task Group II-3 dell'International Lithosphere Project, attualmente coordinato da uno dei membri del Progetto, verrà organizzato un corso di Paleosismologia in Venezuela volto alla diffusione delle tecniche paleosismologiche in centro e sud America.

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

Ricercatori del gruppo rappresentano l'I.N.G. anche con la periodica presentazione dei propri risultati a convegni nazionali ed internazionali e con il coordinamento di esposizioni e *stands* che sintetizzano l'attività di tutto l'Ente. Come già si è verificato nel passato recente, i ricercatori del gruppo prendono parte come *convenors* in diverse sedi congressuali europee quali la European Union of Geosciences (EUG), la European Geophysical Society (EGS), la European Seismological Commission (ESC).

Durante il 1996 e per gli anni a seguire alcuni 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.

Cooperazione e Tirocinio

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, Turchia, Algeria e Spagna presso la nostra unità di ricerca 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 due 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.. In particolare, la presenza in loco dei ricercatori

afferenti a questa linea di ricerca nelle fasi di avvio di tali studi presenta un duplice motivo di interesse: da un lato crea un riferimento robusto per i ricercatori locali basato su un'esperienza concreta sul terreno che va dalle fasi progettuali a quelle conclusive, dall'altro rappresenta un importante momento di sviluppo e crescita professionale dei ricercatori dell'I.N.G. grazie alla esposizione a contesti geodinamici, geologici, climatici e sismologici spesso molto diversi da quello italiano.

3.2. Variazioni spazio-temporali dell'attività sismica

Il tema dell'interazione a breve termine fra eventi sismici fa parte degli argomenti trattati attraverso una borsa di studio per il progetto EU "Time dependent seismic hazard estimate based on multi-parameter geophysical observatory system" (Contratto n. EV5V-CT94-0494).

Unità Organica Geodinamica

1. Sintesi dell'attività scientifica svolta nel 1996

1.1. Servizi e raccolta dati

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

La rete GPS

La prima campagna di misure GPS è stata effettuata nel 1990 battendo 31 vertici e utilizzando 25 ricevitori osservanti i satelliti del sistema NAVSTAR-GPS. La rete permetteva di studiare le deformazioni della superficie terrestre. Nel nostro caso, particolare attenzione è stata data alle deformazioni *pre* e *post* sismiche. In questo ambito sono stati inseriti nello schema di misure alcuni punti appartenenti a reti locali in area nazionale ma anche a vertici in paesi limitrofi come: Tunisia, Grecia, Francia, Albania, Austria, Jugoslavia e Slovenia. Questo per l'impossibilità di reperire siti localmente stabili da un punto di vista tettonico, che assicurino un riferimento affidabile per alcune decine di anni. Nella scelta dei vertici, è stata realizzata una intensificazione nell'area appenninica, nella fascia compresa tra 41° e 42° Nord, in modo da realizzare una traversa in una delle aree più sismiche della penisola. Della rete, ora costituita da 208 vertici ripetuti non meno di due volte l'anno, fanno parte anche le stazioni della rete MEDLAS (Graz e Wettzell).

I risultati hanno mostrato che tutte le stazioni sono caratterizzate da una buona qualità del segnale. Su ambedue le frequenze di modulazione, i dati delle osservazioni sono stati depurati degli effetti della ionosfera, della troposfera e dell'atmosfera. Sono stati utilizzati come punti fiduciali della rete le stazioni telemetriche laser di Matera, Cagliari, Lampedusa, Graz, Wettzell, che hanno permesso un aggiustamento simultaneo, risolvendo contemporaneamente le coordinate dei rimanenti vertici della rete e gli elementi orbitali di satelliti osservati.

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 della sismicità e identificazione di strutture sismogenetiche; 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; misure delle deformazioni crostali; attività geodinamiche; Progetto Tyrgeonet.

1.3. Analisi statistica della sismicità ed identificazione di strutture sismogenetiche

In quest'ambito sono state proseguite le attività che riguardavano la ricerca statistica degli allineamenti di epicentri utilizzando i dati del catalogo sismico per le strutture sismogenetiche in Italia centrale. Attraverso test statistici è stata verificata la presenza di addensamenti lineari di epicentri sul territorio italiano, distinti da un intorno relativamente asismico. Il metodo è stato applicato anche ai dati del catalogo degli epicentri greci fornito dal Laboratorio di Geofisica dell'Università di Salonicco. I risultati ottenuti hanno permesso l'identificazione di venti strutture sismogenetiche, alcune delle quali coincidenti con strutture geologiche attive. L'analisi temporale della sismicità ha permesso la distinzione tra allineamenti omogenei che risentono di periodi di attività distribuita su tutta la loro lunghezza, alternati a periodi di relativa quiescenza, e allineamenti con eventi più isolati, costituiti da un insieme di sottofaglie con scarsa interazione reciproca. I primi si trovano in una zona dominata da faglie trascorrenti, mentre i secondi si trovano in zone soggette a campi di stress compressivo.

1.4. 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 l'Università di Salonicco, è stato condotto uno studio sulle caratteristiche frattali della distribuzione degli epicentri italiani. Tale collaborazione si è svolta con scambio di ricercatori tra il 1992 e il 1993 finanziati sia da questo Istituto che dal Ministero degli Esteri, nell'ambito dei programmi di cooperazione culturale e scientifica tra l'Italia e la Grecia.

1.5. 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 si è cercato di capire le differenze tra un filtraggio basato sull'analisi di trend, e un'analisi che utilizza la tecnica della *dimensione frattale*.

Nel caso della tecnica della *dimensione frattale* più frequentemente si ha che al segnale è sovrapposto un rumore casuale, ed è noto che il rumore aumenta sempre 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'applicazione nell'analisi di trend su finestre della dimensione corrispondente per filtrare la parte non interessante.

Questa tecnica di filtraggio è stata applicata ai dati relativi all'intensità macrosismica di alcuni terremoti italiani. La separazione del rumore e delle componenti locali ha permesso di definire il campo macrosismico per ogni evento.

1.6. 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 omogenei e sempre più affidabili in campo macrosismico.

1.7. 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.

1.8. 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.

Per quanto riguarda la parte italiana il nuovo catalogo dei maremoto italiani è stato realizzato e poi pubblicato su *Annali di Geofisica* (volume XXXIX, dicembre 1996).

1.9. 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.

1.10. Misure di deformazioni crostali

L'osservazione del campo di deformazione in aree sismiche mediante tecniche geodetiche può condurre a una migliore conoscenza delle fasi preparatorie ed evolutive dei processi sismogenetici. La ripetizione di misure distanziometriche e altimetriche nonché la misura in continua della variazione di inclinazione del suolo mediante clinometri, possono fornirci informazioni sulle variazioni di stress crostale. In particolare il sistema NAVSTAR GPS (Navigation Satellite Time and Ranging Global Positioning System) è stato sviluppato dal Dipartimento delle 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 la misura delle interdistanze, con errori dell'ordine di 0.1-1.0 ppm, tra punti di osservazione anche non intervisibili, consentendo l'interpretazione delle deformazioni a più grande scala nel contesto dell'attività tettonica generale dell'area oggetto di studio.

1.11. Ricerca geodetica

Il reparto geodinamica ha preso parte a progetti di ricerca geodetica con tecniche spaziali GPS già dal 1987, effettuando misure nell'Arco Calabro, nell'ambito del progetto Wegener Medlas. In seguito alla acquisizione di 4 ricevitori GPS Wild Magnavox WM 102 a doppia frequenza, l'I.N.G. ha intrapreso la progettazione e la realizzazione di reti locali e regionali per la modellazione del campo di deformazione in aree sismiche e vulcaniche. A partire dal 1990 sono state istituite a cura dell'I.N.G. la rete dei Colli Albani (Roma), a carattere locale, e la rete TYRGEONET (TYRrhenian GEOdetic NETwork), a carattere regionale, con lo scopo di

modellare il campo di deformazione dell'intera area italiana. Sono state effettuate misure anche su reti preesistenti, già misurate con tecniche classiche (Lucera, Stretto di Messina, Friuli).

1.12. Reti Locali GPS

Rete dell'Arco Calabro

Fin dal 1989 l'I.N.G. ha installato una rete in collaborazione con altri enti italiani e stranieri per lo sviluppo e la misura GPS e terrestre dell'Arco Calabro. La rete del Progetto Arco Calabro, composta da 15 vertici, si estende dalla Sicilia nord orientale alla Calabria meridionale e alle isole Eolie, per ottenere una migliore conoscenza dell'attività tettonica dell'area. Dalla elaborazione dei dati risulta che le interdistanze tra i vertici della rete sono ottenuti con una precisione di 10^{-6} , sufficiente per l'analisi delle future deformazioni e che consente inoltre un valido confronto con le interdistanze ottenute mediante tecniche spaziali. Il confronto delle misure effettuate con tecniche GPS e con tecniche terrestri mostra delle differenze dell'ordine di una parte per milione.

Rete dello Stretto di Messina

L'area dello Stretto di Messina si pone tra le zone più sismiche del territorio italiano e dell'intero bacino mediterraneo. La tettonica è dominata da un processo di piegamento e sollevamento dell'Arco Calabro che porta alla formazione nell'area dello Stretto di un *graben* angolare. La rete è costituita da 7 vertici collegati sia alla rete dell'IGM che alla rete dell'Arco Calabro.

Rete della Sicilia Sud Orientale

In seguito al terremoto del 13 dicembre 1990, avvenuto nella Sicilia sud orientale, è stata istituita una rete GPS per il controllo della dinamica crostale in questa area sismica della Sicilia. In seguito a misure di livellazione effettuate nel 1984 e nel 1989 attraverso il *graben* di Scordia - Lentini, è stata evidenziata la presenza di una deformazione crostale attiva. Queste osservazioni hanno suggerito l'opportunità di effettuare un controllo anche delle deformazioni orizzontali utilizzando metodi geodetici GPS. La rete è costituita da otto vertici posizionati nell'area epicentrale e monumentati con *marker* di riferimento fissi. Si prevede la ripetizione annua della campagna di misure.

Progetto Colli Albani

A partire dal novembre '89 nell'area vulcanica dei Colli Albani sono state effettuate sia misure GPS, istituendo una rete costituita da 10 vertici (6 posti sulla struttura vulcanica e 4 al di fuori di essa), sia misure di variazione di inclinazione realizzando, per il momento, due stazioni inclinometriche a bolla nei siti di Marino e Genzano. La rete GPS dei Colli Albani è stata realizzata tenendo in considerazione sia l'aspetto geofisico sia l'aspetto geodetico. Infatti la scelta dei vertici è stata fatta tenendo conto dei maggiori lineamenti strutturali dell'area.

La *monumentazione* è stata eseguita con *markers* di riferimento permanenti, del tipo a *centramento forzato*, direttamente su roccia o su edifici stabili, quando la litologia superficiale non risultava idonea alla loro installazione.

Rete Alpi

A partire dal 1993 è stata installata una rete di rilevamento GPS nell'Arco Alpino occidentale, con lo scopo di studiare le attuali deformazioni di quest'area europea, sia dovute ai processi geologici sia a quelli sismici. Da tale data è intercorso un ampio scambio di dati con le Istituzioni internazionali interessate allo studio dell'Arco Alpino.

Rete Vulcano

Dal 1993 è stata istituita una rete GPS per il controllo delle deformazioni dell'apparato vulcanico dell'isola di Vulcano. Tale rete è costituita da 22 stazioni.

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. Ricerca geodetica

Nel 1995 è stato condotto un esperimento in collaborazione con L'Osservatorio Geofisico di Modena e il Dipartimento di Idraulica Trasporti e Strade, Topografia, per studiare la risoluzione del sistema GPS nella determinazione di deformazioni. A tale proposito sono state effettuate misure GPS su una rete di 4 punti, (I.N.G., DITS, OSGE1 e OSGE2) per 6 giorni. Periodicamente uno dei 4 vertici (OSGE2) veniva spostato mediante un apparato di elevata precisione di quantità note (2 cm alla volta) su ciascuna singola componente.

Nello stesso anno, sono state fatte misure GPS lungo un profilo del versante sud-occidentale dell'Etna, in collaborazione con l'Istituto Internazionale di Vulcanologia di Catania.

Nel 1996 in collaborazione con l'Osservatorio Vesuviano, sono state posizionate 6 stazioni fisse GPS (Rete Vesuvio), per un esperimento di osservazioni in continua.

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".

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.

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'I.N.G. 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 terremoto 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. TYRGEONET

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.

2.7. GEOMODAP

Dal 1994 è stata realizzata una rete GPS di 14 vertici attraverso l'Appennino centro meridionale con lo scopo di misurare l'attuale tasso di deformazione dell'area. Sono state effettuate 3 campagne di misura in collaborazione con l'Università di Oxford. La ricerca è stata finanziata dalla UE.

Unità Organica Geomagnetismo

Sintesi dell'attività svolta nell' anno 1996

Come d'uso negli ultimi anni le attività dell'U.O. Geomagnetismo si sono svolte in tre rami principali:

I) L'acquisizione dati e l'espletamento dei servizi di competenza degli Osservatori geomagnetici, II) Le misure sulle Reti Magnetiche in particolare la rete italiana nel quadro della ripetizione quinquennale per la pubblicazione delle carte magnetiche d'Italia aggiornate e III) Le attività di ricerca scientifica.

Le attività di ricerca scientifica sono a loro volta articolate in settori specifici. Questi settori sono: a) le ricerche in geomagnetismo della Terra solida, b) le relazioni Sole-Terra, c) le ricerche in paleomagnetismo e magnetismo delle rocce, d) la nuova tecnologia, e in fine e) le attività nel programma nazionale di ricerche svolte in Antartide e nei programmi CEE.

I) Gli osservatori geomagnetici

Per assicurare l'obiettivo della registrazione continuativa delle variazioni temporali delle componenti del campo magnetico terrestre a lungo termine, negli Osservatori magnetici, oltre all'acquisizione automatica sono necessarie misure assolute indipendenti di calibrazione. L'U.O. cura in tutti i suoi aspetti il funzionamento dei tre Osservatori Geomagnetici: L'Aquila, Castello Tesino (TN) e Gibilmanna (PA).

L'Aquila è l'Osservatorio principale ove sono in funzione un variografo fotografico e due variometri automatici digitali con acquisizione diretta e collegamento in linea telefonica con Roma. L'Osservatorio di L'Aquila è inoltre centro di riferimento per le tarature di strumenti per gli utenti Italiani e centro di realizzazione, sperimentazione e controllo di nuova strumentazione magnetica. Castello Tesino (TN) è un Osservatorio non presidiato. Per le registrazioni digitali viene utilizzato un secondo esemplare dello strumento automatico a bobine in funzione a L'Aquila. In questo Osservatorio vengono effettuate regolari visite da parte di personale specializzato che esegue misure assolute di norma una volta al mese. A partire dall'anno in oggetto i dati vengono teletrasmessi a Roma con un collegamento sul sistema ARGO. Gibilmanna (PA) è l'Osservatorio dell'I.N.G. per la Sicilia. Per il Geomagnetismo questo Osservatorio è considerato secondario a causa di disturbi causati dalla vicina linea ferroviaria. Si è comunque proseguita, anche se non con regolarità, la registrazione fotografica tradizionale per gli elementi H e D.

Con i dati degli Osservatori vengono pubblicati l'Annuario, contenente le medie orarie, mensili ed annuali dei valori assoluti degli elementi D, H, Z, i Bollettini mensili degli indici K, caratterizzanti l'attività magnetica e la classificazione delle variazioni rapide, nonché i bollettini quadrimestrali delle ore 02 UT che forniscono i valori istantanei delle 3 componenti e il valore del campo totale, in giorni selezionati. Le pubblicazioni in oggetto sono regolarmente aggiornate. E' in preparazione sia per l'Osservatorio di L'Aquila che per quello di Castello Tesino, l'annuario magnetico 1996 sul quale si stanno effettuando i tradizionali controlli di qualità.

II) Le reti magnetiche

Una Rete Magnetica è un insieme di località sulle quali periodicamente personale specializzato effettua misure assolute delle tre componenti del campo che vengono utilizzate per studi di variazione secolare, modellizzazione matematica del campo e cartografia. In Italia la Rete fondamentale è di 106 stazioni; la periodicità fondamentale di ripetizione è quinquennale.

Nel passato 1996 l'U.O. Geomagnetismo ha curato la ripetizione delle stazioni italiane con ricognizione e ricostruzione dei pilastri mancanti. Per tutto il periodo delle misure di campagna è ovviamente garantito il buon funzionamento dell'Osservatorio più vicino, oltre