

danneggiamento tra aree dello stesso centro urbano distanti anche solo poche decine di metri, il cui studio si è imposto nell'ultimo decennio come uno degli aspetti più importanti per una efficace mitigazione del rischio sismico nelle città moderne. L'analisi storica può supplire alla difficoltà di stimare oggettivamente la risposta delle diverse aree di un centro urbano illustrando la distribuzione del danneggiamento durante forti terremoti storici e mettendo in risalto eventuali sistematicità nell'amplificazione del movimento del suolo in particolari siti. Le analisi "a campione" già effettuate sui centri urbani di Roma e Firenze hanno contribuito notevolmente al successo di ricerche già in corso da anni presso l'I.N.G., ponendo vincoli e spiegando in via sperimentale i risultati ottenuti attraverso complessi modelli della propagazione e della risposta locale. Ulteriori approfondimenti sono previsti per il 1996 per le città di Roma, Bologna e Messina, mentre per gli anni successivi è prevedibile un'estensione a centri ancora da individuare, in prossimità dei quali, analisi tuttora in corso mostreranno essere più verosimile il verificarsi di forti terremoti. I relativi risultati porteranno un contributo assolutamente innovativo alla valutazione del rischio sismico in tali centri urbani, favorendo anche nuove e più chiare strategie per interventi di prevenzione.

9.3 Archeologia sismica

Le attuali valutazioni di pericolosità sismica e la cosiddetta "previsione a lungo termine" dei terremoti si basano oggi sempre più frequentemente su combinazioni dell'informazione storica e di quella geologica. Esiste tuttavia un problema di fondo nell'integrazione delle scale cronologiche a cui questi due insiemi di informazioni fanno riferimento. La Paleosismologia, una giovane disciplina che ha come obiettivo lo studio e la datazione delle tracce geologiche dei terremoti del passato, ha in parte risposto a questa necessità di integrazione in quanto si è dimostrata in grado di legare i processi geologici fondamentali, che operano a scale dell'ordine del milione di anni, ai processi sismogenetici, che operano attraverso cicli dell'ordine del millennio. Tuttavia, in molte aree, proprio i risultati paleosismologici hanno mostrato in modo ormai incontrovertibile che il tempo di ricorrenza medio di forti terremoti generati da importanti strutture sismogenetiche italiane è compreso tra 1000 e 3000 anni. Da ciò risulta che in numerose zone della penisola la durata della *registrazione storica* dei terremoti, che nella maggior parte dei casi non supera il millennio, può essere insufficiente a documentare il ricorrere di forti eventi generati dalla stessa struttura sismogenetica, o addirittura a documentare anche un solo evento e quindi la semplice propensione alla sismogenesi di una particolare zona, pur in presenza di indizi geodinamici che la suggerirebbero (si veda l'accento alle *aree silenziose*, poco sopra nel testo). Il modo più intuitivo per colmare questo *gap* è quello di estendere la durata della registrazione storica includendo anche evidenze di tipo archeologico, che in un'area come l'Italia coprono certamente oltre due millenni di storia. La cosiddetta *Archeologia sismica* si sta infatti diffondendo già da alcuni anni in area mediterranea con lo specifico obiettivo di migliorare le conoscenze sull'attività di strutture sismogenetiche ad attività distruttiva ma rara. L'Italia naturalmente rappresenta un caso del tutto particolare sia dal punto di vista storico che sismologico, e occorrerà quindi impostare una metodica di ricerca largamente multidisciplinare. Nel corso dei prossimi tre anni si prevede di porre le prime basi di questa metodica attraverso l'identificazione delle competenze necessarie e la selezione di opportune *aree-test*, ad esempio in Sicilia orientale, Calabria e Appennino meridionale.

9.4 Dati di base sulla sismicità storica dell'area mediterranea

L'ente ha partecipato a diversi progetti internazionali che hanno avuto come obiettivo l'aggiornamento e la produzione *ex-novo* di valutazioni di base di pericolosità sismica in paesi del bacino del Mediterraneo, contribuendo sia con le sue reti sismometriche, sia con ricerche di terreno, sia con le sue competenze nel campo della sismicità storica. Tra gli sforzi compiuti in quest'ultimo settore rientra anche il completamento degli studi riguardanti i terremoti di area mediterranea dall'XI al XV secolo e la preparazione di una monografia in inglese, che costituirà il secondo volume della serie. La possibilità di affrontare in un unico catalogo la sismicità medievale di aree oggi organizzate in stati indipendenti è data dalla particolare tipologia delle fonti storiche disponibili, che fino alla caduta di Bisanzio (1453) si individuano in *corpora* specifici e in serie culturalmente omogenee nell'ambito della cultura storica mediterranea.

10. Esplosioni Nucleari Sotterranee (GSE)

Il tema del controllo degli esperimenti nucleari sotterranei comporta ormai un'attività permanente che l'ING svolge per conto del Ministero per gli Affari Esteri dal 1976. In tale anno, infatti, è stato costituito il Gruppo Ad Hoc di Esperti Scientifici presso la Conferenza del Disarmo (GSE), con il compito di studiare misure di cooperazione internazionale volte alla definizione, localizzazione e identificazione di esplosioni nucleari sotterranee. Di norma il GSE effettua riunioni della durata di due settimane in due o tre periodi dell'anno, e a tali riunioni partecipa un esperto italiano inviato dall'ING su richiesta del Ministero degli Esteri. In alcune occasioni, l'ING ha provveduto a inviare, a proprio carico, un secondo esperto. Infatti, il progredire dei negoziati sul trattato di proibizione totale degli esperimenti nucleari ha comportato, nel 1995, una sempre più intensa partecipazione, non solo nelle attività del GSE ma anche in quelle dei gruppi di lavoro degli esperti designati dal Comitato Speciale NTB a fornire consulenza su argomenti direttamente collegati alla stesura del protocollo di trattato. Lo sviluppo delle attività suddette, nell'ipotesi della creazione di un sistema permanente di verifica sotto l'Organizzazione delle Nazioni Unite, lascia prevedere la necessità di una struttura stabile che rappresenti l'Italia nel sistema stesso.

Il primo gennaio 1995 il GSE ha dato avvio a un esperimento globale di scambio dati cui partecipano oltre 25 paesi in simulazione di un sistema di controllo internazionale delle esplosioni nucleari sotterranee, denominato GSETT-3. Il programma della partecipazione italiana al GSETT-3, interamente gestita dall'ING, prevede:

a) la costituzione di un Centro Dati Nazionale che provvede a raccogliere, memorizzare ed elaborare i dati del sistema sperimentale di monitoraggio;

b) la messa a disposizione dei dati delle due stazioni sismiche a larga banda dell'Aquila e di Villa Salto, facenti parte della rete MedNet gestita dall'ING;

c) la realizzazione della stazione di Thala, in Tunisia, in collaborazione con Norvegia e Svezia, che si fanno carico degli oneri relativi alla trasmissione continua via satellite dei dati al Centro Internazionale di Washington;

d) il contributo alla valutazione sismologica dell'esperimento attraverso:

- il periodico invio dei dati della Rete Sismica Nazionale relativi agli epicentri localizzati nell'area mediterranea centrale,
- la compilazione e l'invio di appositi questionari,
- la partecipazione all'iniziativa chiamata *EUROBULL* per la compilazione di un bollettino sismico europeo ad alta affidabilità e completezza da usarsi per la verifica della qualità dei risultati ottenuti mediante la rete di controllo internazionale.

11. *La Rete MEDNET: sismologia a larga banda nel Mediterraneo*

Il programma MEDNET consiste in una rete sismografica a banda larghissima installata in stazioni dell'area mediterranea. La rete attualmente conta, in totale, 23 stazioni. Di queste, 15 sono interamente gestite dall'I.N.G. (13 operative, 2 in installazione); 3 sono in collaborazione con altri programmi sismografici sia per quanto riguarda la strumentazione installata, sia per quanto concerne la gestione dei dati; mentre per altre 5 la collaborazione con altri programmi prevede per l'I.N.G. soltanto il trattamento dei dati e la consulenza generale.

La cooperazione tra i Paesi del bacino del Mediterraneo risulta fondamentale per sviluppare il potenziale scientifico del Progetto, sia nella scelta dei siti, che devono soddisfare a rigidi criteri qualitativi, sia nella gestione delle stazioni e nella successiva analisi e utilizzo dei dati. Le istituzioni locali partecipanti hanno accesso ai dati registrati dalla stazione del luogo e ricevono i dati raccolti dall'intera rete. Progetti di cooperazione su problemi regionali, nazionali o globali sono incoraggiati tra tutti gli Istituti che contribuiscono al Progetto.

Gli obiettivi scientifici del programma sono legati al miglioramento delle conoscenze dei fenomeni geodinamici e sismologici del Mediterraneo. Una migliore comprensione della struttura fisica della regione è fondamentale per studiare i processi della sorgente sismica. Una motivazione di estrema importanza che giustifica lo studio della meccanica della sorgente è la comprensione del meccanismo di genesi dei terremoti. Questo è di particolare rilevanza nell'area mediterranea, dove il verificarsi di grandi terremoti in paesi densamente popolati è responsabile di danni e innumerevoli vittime.

Questi fatti sono di per sé sufficienti a motivare ogni sforzo che venga compiuto per decifrare la struttura fisica e la dinamica della litosfera dell'area mediterranea. L'Istituto Nazionale di Geofisica ha inteso contribuire ai progetti mondiali di miglioramento qualitativo e quantitativo della strumentazione sismica con una rete composta da stazioni broad-band ed estesa a tutto il bacino Mediterraneo. Questa scelta è stata dettata dalla posizione centrale che l'Italia occupa nell'area mediterranea, un'area molto interessante dal punto di vista sismotettonico. Il Progetto è inserito nelle attività di ricerca del World Laboratory, che supporta in modo particolare programmi di cooperazione che coinvolgano Paesi di diversi livelli di sviluppo economico e industriale.

La sismologia si è dimostrata uno strumento di indagine indispensabile nello studio della Terra. Nell'ultimo decennio la tomografia sismica è cresciuta di importanza ed è ora applicata a problemi diversi e a vari livelli, che vanno dalla scala globale a quella locale. La risoluzione dei metodi tomografici dipende dalla quantità e

dalla distribuzione dei dati disponibili. Per studi regionali e globali la fonte di energia è rappresentata dall'attività sismica. Poiché la sismicità è concentrata in aree ristrette, diventa necessario aumentare la densità delle stazioni. La possibilità di ottenere nuovi dati di alta qualità per la definizione della struttura fisica del Mediterraneo è tra le maggiori aspettative di MEDNET.

11.1 Attività operativa

Nell'ultimo anno la rete di stazioni sismografiche MEDNET ha subito notevoli sviluppi. Tre nuove stazioni sono state installate, mentre altre due (MDT, Marocco; GFA, Tunisia) hanno subito drastici interventi di manutenzione straordinaria, soprattutto per migliorare i sistemi di alimentazione fotovoltaici, paragonabili, per impegno, a installazioni ex novo. Inoltre, sono stati effettuati numerosi altri interventi di manutenzione, resisi necessari per il buon funzionamento della strumentazione. Il tasso di efficienza della rete è sensibilmente aumentato, nonostante il contemporaneo incremento numerico delle stazioni da mantenere in efficienza. Gli unici problemi rimasti aperti sono connessi alle difficili situazioni socio-politiche che si sono venute a creare in alcuni Paesi.

Le attività di raccolta, trattamento e distribuzione dei dati sono proseguite. Tutti i dati sono stati trasmessi all'Archivio designato dalla Federation of Digital Seismographic Networks e sono colà accessibili alla comunità sismologica internazionale. L'archivio del Centro Dati MEDNET si serve ora di un piccolo sistema cambiadischi magneto-ottici. È stato messo a punto il programma MERCURIO, che, giornalmente e in modo completamente automatico, controlla, tramite collegamento telefonico modem, lo stato di salute della strumentazione. Inoltre, il sistema viene attivato alla ricezione di messaggi di posta elettronica con notifica dell'occorrenza di eventi sismici e, automaticamente, trasferisce i dati dalle stazioni remote raggiungibili mediante collegamento telefonico (a valle della verifica di criteri di selezione sui terremoti dipendenti dalla regione geografica).

11.2 Attività di ricerca

Si possono usare diverse porzioni del segnale sismico. Il tempo di percorso delle onde di volume è un dato molto sensibile, in grado di fornire informazioni di grande precisione, se si dispone di una distribuzione geografica dei dati sufficientemente densa. In una regione tettonicamente complessa come il Mediterraneo esistono forti variazioni laterali della struttura del mantello superiore. Sono stati analizzati i tempi di percorso delle onde P, sia a distanza regionale sia telesismica. È stato definito uno schema per calcolare immagini del campo di eterogeneità nella propagazione delle onde sismiche, filtrate in modo da mantenere il segnale con contenuto spettrale di periodicità spaziale oltre 100 km.

Lo studio di dettaglio di queste immagini ha mostrato chiaramente la presenza di strutture nel mantello superiore che producono *patterns* coerenti: la zona Adriatica veloce, le zone Tirrenica e Egea lente, e altre. Queste deviazioni dall'omogeneità laterale determinano significative deviazioni dei tempi di propagazione delle onde sismiche rispetto a un modello unidimensionale di riferimento, con conseguenti errori sistematici nella determinazione dei parametri focali. È stato ideato un procedimento iterativo, concettualmente simile alla tecnica nota come *Joint Hypocentral Determination*, ma applicato alla scala regionale e globale, basato sul calcolo di correzioni empiriche ai tempi di percorso.

Queste correzioni sono state successivamente utilizzate per rilocalizzare i fuochi dei terremoti avvenuti nell'area mediterranea, mostrando un buon accordo con alcuni studi particolareggiati condotti su specifiche aree campione.

-Stazioni MEDNET (gestione hardware di stazione): 14 operative, 1 pianificata

Tirana	Albania	TIR	41.35	19.87	MEDNET	APR95
Anogia	Crete, Greece	IDI*	35.28	24.89	MEDNET	JUL94
L'Aquila	Italy	AQU*	42.35	13.40	MEDNET	AUG88
Bardonecchia	Italy	BNI	45.05	6.68	MEDNET	MAY95
Calitri	Italy	?	40.9	15.4	MEDNET	Planned
Carovilli	Italy	CII	41.72	14.30	MEDNET	SEP94
Villasalto Suergiu	Italy	VSL	39.50	9.38	MEDNET	JUL89
Beograd	Serbia	EGY*	44.80	20.52	MEDNET	MAR91
Medea	Algeria	MES*	36.30	2.73	MEDNET	MAY92
Kottamya	Egypt	KEG*	29.93	31.83	MEDNET	DEC90
Midelt	Morocco	MDT*	32.82	-4.61	MEDNET	NOV89
Gafsa	Tunisia	GFA*	34.34	9.73	MEDNET	JUN89
Terra Nova Bay	Antarctica	TNV*	-74.70	164.12	PNRA-MEDNET	JAN89
Wied Dalam	Malta	WDD	35.8	14.5	MEDNET	AUG95
Vitosha	Bulgaria	VTS	42.8	23.0	MEDNET	Planned

-Stazioni in collaborazione con altri programmi (gestione congiunta strumentazione): 1 operative, 2 pianificate

S.Sauveur	France	SSB	45.28	4.54	GEOSCOPE-MEDNET	JUN91
Bhannes	Lebanon	BHL	33.90	35.65	IRIS/USGS-MEDNET	Planned
Isparta	Turkey	?	37.80	30.50	GEOFON-MEDNET	Planned

-Stazioni in collaborazione con altri programmi (gestione dati I.N.G.): 5 operative

Enna	Sicily, Italy	?	37.50	14.30	Sicily-MEDNET	APR95
Castrocucco	Southern Italy	?	38.2	16.0	ENEL/MEDNET	MAY95
Celeste	Southern Italy	?	39.7	16.2	ENEL/MEDNET	MAY95
Timpagrande	Southern Italy	?	39.2	16.8	ENEL/MEDNET	MAY95
Trieste	Italy	TTE	45.66	13.79	UT/MEDNET	OCT93

* Le stazioni segnate con un asterisco appartengono al Federation Network, definito dalla Federation of Digital Seismographic Stations (FDSN) come un sottoinsieme di tutte le stazioni gestite dai programmi membri della FDSN scelto sulla base di caratteristiche della strumentazione, caratteristiche di rumore, posizione geografica e stato operativo.

Il tempo di arrivo è però soltanto un parametro del sismogramma, che contiene molte altre informazioni. L'analisi delle forme d'onda è già stata infatti utilizzata per ricostruire le caratteristiche strutturali del mezzo. Finora questo tipo di analisi è rimasto generalmente limitato ai dati di lungo periodo, con risoluzione spesso insufficiente. Per ottenere un'immagine più nitida è necessario considerare dati broad-band. 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.

L'impiego delle onde di superficie rappresenta una scelta comune per studi strutturali del mantello superiore. Sono ora disponibili efficienti tecniche *non-lineari* di inversione e si comincia a utilizzare anche la coda delle onde di superficie per modellizzare l'effetto dello *scattering*. La distribuzione di MEDNET è stata studiata per ottenere la copertura ottimale dei tragitti delle 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*. Ecco perché sono stati inclusi anche questi effetti nella formulazione del problema, effettuando una successiva inversione per puntualizzare i caratteri di dettaglio. Lo schema adottato ha mostrato la capacità di aumentare il livello di risoluzione delle immagini tomografiche risultanti.

Un ulteriore aspetto di primaria importanza nella comprensione della dinamica del Mediterraneo è il controllo della deformazione sismica. I terremoti sono l'espressione degli *stress* accumulati nella litosfera sollecitata dalle spinte tettoniche. La valutazione dei meccanismi di sorgente permette di stimare l'ampiezza ed i caratteri geometrici della deformazione. Questa conoscenza è a sua volta di fondamentale importanza per comprendere la tettonica attiva nel Mediterraneo ed è quindi ancora intimamente legata all'origine dei terremoti. I numerosi dati disponibili, relativi all'attività sismica nell'area mediterranea, permettono di effettuare studi di carattere geodinamico regionale. In quest'ambito esistono parecchie problematiche aperte che riguardano soprattutto la cinematica delle diverse zone in deformazione, coinvolte nella convergenza tra placca africana e placca euroasiatica. Dallo studio dei momenti tensori degli eventi maggiori e delle sommatorie effettuabili su di essi, si possono ottenere velocità e direzione della deformazione di origine sismica lungo le zone più attive. I dati utilizzati sono in prevalenza tratti dal Catalogo CMT (Centroid Moment Tensor), prodotto dall'Università Harvard, che spazia dal 1977 al presente. Per quanto riguarda gli eventi avvenuti prima del 1977, vengono utilizzati dati di bibliografia. Una valutazione quantitativa della deformazione prodottasi sismicamente è utile per effettuare confronti, per ciascuna area, con la deformazione totale prevista dai modelli a scala globale o regionale. Questi confronti permettono di valutare la percentuale relativa di deformazione sismica e asismica. Dai risultati fin'ora ottenuti, si evince che l'attività sismica degli ultimi 87 anni (dal 1908 al 1994 incluso) contribuisce per una percentuale variabile tra il 10% e il 90% della deformazione globale prevista. Dopo l'analisi globale dell'area mediterranea, si stanno ora studiando, in dettaglio, alcune delle aree sismogenetiche (es. la catena Appenninica o la zona del Nord Africa-Sicilia) per confrontare la deformazione regionale e quella locale e per poter quindi correlare le percentuali trovate con la deformazione reale.

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 della forma dell'impulso ottenuto dalla componente verticale, rappresentativo degli effetti della sorgente e della propagazione profonda. Il risultato, evidenziando transizioni di fase e riflessioni multiple, permette di ricavare informazioni sull'esistenza di discontinuità strutturali e salti di velocità. 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 a sua volta connessa alla vicinanza del margine di rift del bacino del Tirreno.

Un altro filone di ricerca riguarda la sismologia su scala globale. L'interesse è stato suggerito dalla disponibilità della stazione sismografica a Baia Terra Nova (TNV, Antartide). Infatti, le attuali conoscenze della struttura della base del mantello sono fortemente legate alla distribuzione delle stazioni sismografiche, che sono in prevalenza concentrate nell'emisfero nord. I dati registrati a TNV sono stati analizzati, assieme a quelli di altre stazioni antartiche, per studiare la struttura fine della zona di transizione tra mantello e nucleo terrestre. Confrontando gli eventi registrati a distanze epicentrali oscillanti tra 65 e 80 gradi con i sismogrammi sintetici, calcolati con la tecnica dei fasci gaussiani, risulta evidente la presenza di precursori anomali di PcP e ScS. Questi possono essere identificati nelle fasi PdP e SdS, coerenti con la presenza di uno strato D" di circa 300 km di spessore avente una discontinuità nella velocità che si aggira intorno all' 1-2%.

12. Tettonica globale, paleogeografia e modellistica dei margini attivi

12.1 Tettonica globale

Oltre alle classiche somiglianze di profilo tra margini continentali, limitate a porzioni del loro perimetro (di cui numerosi esempi sono osservabili nella zona atlantica), si sono individuate somiglianze tra intere forme di continenti e vaste zone oceaniche. L'esistenza di più d'una di questo secondo tipo di somiglianze, più rare di quelle di tipo atlantico, e la loro reciproca disposizione, sembra suggerire la loro non casualità e accresce il numero e la complessità dei tipi di somiglianze di cui si deve tenere conto quando si mettono a confronto diverse teorie tettoniche globali. Questa ricerca ha dato spunto alla focalizzazione di numerose altre tematiche volte al confronto critico tra schemi teorici differenti. Fra le tematiche che sono innestate a questa più generale vanno citate: la paleogeografia, il paleomagnetismo e la modellistica per i margini attivi.

12.2 Paleogeografia

In questo ambito di ricerca 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 Database*". Per ciascuna età, ogni frammento di crosta oceanica è stato considerato connesso al continente appropriato a costituire una singola placca. Sono state così ricostruite le mappe dell'antica posizione dei continenti e degli oceani per valori del raggio terrestre R pari a 3.800, 4.800 e 5.300 km.

Nel ricostruire con larga approssimazione l'antica forma dei margini asiatici è stato usato, come un principio di conservazione, lo sviluppo e la permanenza, fino all'epoca attuale, delle conformità tra bacini oceanici e continenti di cui si è detto sopra. A seguito dell'uso delle conformità come "regolo" per posizionare i frammenti, si potrebbe ipotizzare che lo scudo siberiano e le sue imponenti emissioni basaltiche nel Mesozoico possano essere risultate in connessione geologica sia con le emissioni basaltiche della Kolyma sia con quelle della costa pacifica cinese. Queste modellazioni offrono risultati stimolanti, ma necessitano di più approfondite indagini prima di poter giungere a valutazioni conclusive.

12.3 Paleomagnetismo

In collaborazione con l' U. O. Geomagnetismo dell'I.N.G., si è sviluppato il tema del Paleomagnetismo in stretta dipendenza dalle necessità della ricerca paleogeografica, alla quale una gestione agile e rigorosa dei dati paleomagnetici è indispensabile per un corretto posizionamento dei frammenti continentali.

Il *Global Paleomagnetic Database* (GPMDB) contiene informazioni fino al 1992 su circa settemila paleopoli ed è di importanza fondamentale per definire modelli geodinamici regionali e globali. Esso permette un nuovo approccio metodologico alla gestione e all'uso di quei dati. Si è quindi creato un *software* per selezionare i dati sulla base della loro qualità e della loro posizione nello spazio e nel tempo. È stata raggiunta una più alta obiettività fissando a priori i criteri di selezione adatti a una gestione computerizzata. Le definizioni delle sei classi di qualità sono state basate su quelle della letteratura più recente, scegliendo condizioni più restrittive per le classi di qualità più alta. Le definizioni sono tali per cui solo le prime due classi possono essere usate per la costruzione degli *Apparent Polar Wander Paths* (APWPs).

Un risultato interessante, mai esplicitato nella precedente letteratura è che, indipendentemente dagli altri criteri fissati, la qualità del dato dipende dall'ampiezza della finestra di tempo geologico scelta per l'estrazione dal *database*, ampiezza che non può scendere al di sotto di un limite inferiore a sua volta funzione di altri parametri geocronologici.

Utilizzando gli strumenti sopra descritti, si è condotta una analisi dettagliata nel tempo geologico dei dati dell'Europa, dell'Africa e della fascia orogenica mobile del Mediterraneo, al fine di evidenziare l'effetto del filtraggio in qualità dei dati. Si sono raggiunte le seguenti conclusioni: per quanto si ritrovino risultati simili a quelli esistenti in letteratura, i percorsi dei paleopoli (APWPs) di Africa e d' Europa devono essere meglio definiti attraverso l'acquisizione di nuovi dati che riducano le ellissi di confidenza, a volte troppo estese. Molte finestre temporali risultano mancanti di dati significativi. Quando si considerano i soli dati di alta qualità, alcuni modelli di evoluzione delle fasce mobili sembrano arricchirsi di ulteriori elementi che suggeriscono la necessità di nuove e più approfondite indagini.

Il *software* di estrazione è stato messo a disposizione della comunità scientifica internazionale su un nodo Internet e le istruzioni per il suo uso sono state pubblicate sulla rivista *EOS* dell'*American Geophysical Union*.

Parallelamente allo sviluppo di queste tecniche si è messo a punto un *software* di plottaggio dei paleopoli e delle relative ellissi di confidenza, su globi di raggio variabile. È stato così possibile iniziare un'analisi degli effetti della variazione di curvatura della superficie nel tempo geologico. Tutte queste tematiche saranno ulteriormente sviluppate con una nuova versione del *software* di estrazione adatto al nuovo formato esteso del GPMDB. L'analisi della qualità dei suoi dati sarà estesa a tutti i continenti e alle fasce mobili, con l'uso di quantità maggiori di dati di alta qualità, contenuti nelle versioni aggiornate del GPMDB.

12.4 Modellistica per i margini attivi

Sono stati considerati diversi modelli, tra cui quello di Carey del 1976. Traendo ispirazione da quest'ultimo è stato costruito un modello non subduttivo più dettagliato 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 esercitante 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. Tuttavia, anche in questi approcci diversi dalla *plate tectonics*, sussistono numerosi aspetti che devono essere criticamente discussi e chiariti.

Utile a questo chiarimento può essere il focalizzare l'attenzione su margini attivi a noi vicini, in particolare gli archi della nostra penisola di Adria. Una indagine preliminare è stata condotta allo scopo di guadagnare informazioni di dettaglio dalla abbondante letteratura e dal *mapping* geologico-geofisico a disposizione. Molto interessante e degno di indagini più estese è stato il trovare che l'emissione di energia sismica in Italia è più intensa là dove non sono presenti rocce vulcaniche sia esposte che intrasedimentarie, anche a scala locale, e dove non sono presenti minimi relativi delle anomalie gravimetriche di Bouguer. Un primo rapporto su questi argomenti, contenente considerazioni di carattere geodinamico, è contenuto negli atti del convegno dell'Accademia dei Lincei "Terremoti in Italia" del dicembre 1994.

12.5 Collaborazioni e attività internazionali

Nel 1995 è stato invitato presso l'I.N.G. in visita scientifica il noto geologo russo Yury Chudinov del Centro di Ingegneria e Sismologia di Mosca dell'Accademia Russa delle Scienze. Il Dr. Chudinov ha tenuto due seminari presso il nostro Istituto.

Si è ricevuto invito da parte dell'Istituto di Fisica Terrestre di Mosca, dal Prof. Nicolajev che ne è direttore, per una visita scientifica. La visita è programmata per il 1996.

Insieme al Dr. Chudinov, al Prof. Nicolajev e altri colleghi russi si organizzeranno due congressi, uno in Italia e l'altro in Russia, su tematiche di tettonica globale e geodinamica dei margini attivi.

Si è iniziata una collaborazione con il COFRHIGEO (Comité Français d'Histoire de la Géologie) su ricerche storiche di interesse comune.

Lavori non ancora pubblicati:

- Alessandrini, B., L. Beranzoli, G. Drakatos, C. Falcone, G. Karantonis, F.M. Mele, e G. Stravakakis. "Back-arc basins and P-wave crustal velocity in the Ionian and Aegean regions." Sottomesso a *Geophysical Research Letters*.
- Funiciello, R., E. Boschi, A. Caserta, S. Donati, F. Marra, e A. Rovelli, "Distribution of seismic damage to monuments in Rome: an interpretation in terms of earthquake source and site effects", *Proceedings of the 1st International Congress on Science and Technology for the Safeguard of Cultural Heritage in the Mediterranean Basin*, Catania, Italy, in stampa.
- Giardini, D., B. Palombo, L. Malagnini e E. Boschi, "Joint inversion of moment tensor and dispersion curves of fundamental Rayleigh and Love waves in the Mediterranean", sottomesso al *Geophysical Journal International*.
- Malagnini, L., P. Tricarico, A. Rovelli, R.B. Herrmann, S. Opice, G. Biella, e R. de Franco, "Explosion, earthquake and ambient noise recordings in a Pliocene sediment-filled valley: inferences on seismic response properties by reference and non-reference techniques", *Bulletin of the Seismological Society of America*, in stampa.
- Malagnini, L., "Velocity and attenuation structure of very shallow soils: evidences for a frequency-dependent Q ", Sottomesso al *Bulletin of the Seismological Society of America*.
- Mele, G., A. Rovelli, D. Seber, e M. Barazangi, "Lateral variations of P_n propagation in Italy: Evidence for a high-attenuation zone beneath the Apennines". In stampa su *Geophysical Research Letters*.
- Mele, G., A. Rovelli, D. Seber, e M. Barazangi, "Mapping shear wave attenuation in the lithosphere beneath Italy and surrounding regions: tectonic implications". Sottomesso a *Journal of Geophysical Research*.
- Samiezade-Yazd, M., R.B. Herrmann, L. Malagnini e W. Liu, "A regional comparison of vertical ground motion in North America", sottomesso al *Bulletin of the Seismological Society of America*.
- Tricarico, P., E. Boschi, A. Rovelli, L. Malagnini, e G. D'Anna, "An experiment to estimate seismic amplification in the Selinunte Archaeological Park", *Proceedings of the 1st International Congress on Science and Technology for the Safeguard of Cultural Heritage in the Mediterranean Basin*, Catania, Italy, in stampa.

GEODINAMICA

1. Effetti macrosismici

L'attività è stata sostanzialmente indirizzata su due filoni principali: il primo, quello della gestione ed elaborazione dei dati macrosismici, che coinvolge differenti aspetti come lo studio dei metodi di indagine, le elaborazioni di tipo statistico dei dati, lo studio dell'evoluzione delle scale macrosismiche, i rapporti con istituti stranieri, per la comune ricerca di produrre dati omogenei e sempre più affidabili in campo macrosismico. Il secondo filone riguarda più specificatamente l'indagine storica di eventi significativi, spingendosi allo studio degli effetti locali nei centri urbani (vedi Roma), e della sismicità storica in tutti i suoi aspetti attuali (rischio sismico, vulnerabilità, aggiornamento cataloghi, utilizzo delle tecniche attuali per studi storici).

Nel 1995 è stato pubblicato il "Bollettino Macrosismico" relativo all'anno 1991, e quelli relativi al primo e al secondo semestre 1992.

2. Macrosismica e sismicità storica

Sono stati effettuati studi sulla sismicità locale di Roma riconoscendo ed interpretando dati di sismicità storica ed attuale, analizzando sia fonti bibliografiche che testimonianze sul campo. E' stato dimostrato che Roma è affetta da una sismicità locale che può provocare danni, sono stati rivisti i campi macrosismici dei terremoti del 1895, 1909 e 1919. Sono stati studiati in dettaglio gli effetti di questi eventi sul centro storico di Roma, giungendo alla conclusione che indipendentemente dal tipo di sorgente sismica le zone più a rischio sono quelle situate sulle alluvioni del Tevere ed in particolare quelle poste sulla sua sponda destra. Una conferma di quanto asserito in queste ricerche, si è avuta con l'evento sismico del 12 giugno 1995.

La sismicità di Roma, è stata trattata anche dal punto di vista strumentale. Sono stati analizzati gli eventi locali avvenuti nell'area e proposto un quadro generale della sismicità locale e dei risentimenti ad essa dovuti. Sono stati messi inoltre in relazione gli effetti macrosismici all'interno della città con le modellazioni della risposta sismica. Le conclusioni su questo tema vedono da una parte, la chiara definizione di un'area sede di sismicità locale prossima alla città e confermata dal recente evento del 12 giugno 1995, dall'altra un sempre più dettagliato quadro della vulnerabilità di Roma. Gli studi su queste tematiche hanno prodotto nel 1995 dei lavori a stampa riportati in bibliografia.

3. Metodologie macrosismiche

Sono state ulteriormente sviluppate le tematiche inerenti all'uso del dato macrosismico. In questo ambito si sta lavorando secondo due direzioni principali: la prima riguarda il miglioramento dell'utilizzo dei dati macrosismici, sia come sfruttamento delle banche dati esistenti che come proposta di nuove procedure per la collezione dei dati stessi. La seconda riguarda la loro omogeneizzazione, a livello sia italiano che internazionale. Un aspetto particolare di questi studi affronta l'analisi degli effetti del terremoto sull'ambiente, sfruttando la grande mole di dati in nostro possesso, al fine di approfondire i rapporti di causa ed effetto fra eventi sismici e dissesto del territorio. Tutto questo è possibile grazie all'ottimizzazione ed automazione del servizio macrosismico dell'ING.

4. Progetto Aniene - bassa Sabina

Il progetto Aniene-bassa Sabina intende sviluppare un approccio multidisciplinare con il quale integrare e correlare elementi interpretativi originali derivanti da più discipline, che possano concorrere ad una valutazione del rischio sismico di un'area. Il progetto è realizzato in collaborazione con l'U.O. RMS e i dettagli sono stati già riportati nel paragrafo 7. relativo a tale unità.

5. Studio delle caratteristiche frattali della sismicità e del segnale sismico

In questo campo è stato notato che un tipo di analisi particolarmente adatto al fenomeno sismico deriva dall'applicazione della statistica frattale. Infatti il terremoto è definito essenzialmente da cinque coordinate: le tre coordinate spaziali, il tempo di occorrenza e la magnitudo; in ogni sottoinsieme di queste sono stati riscontrati comportamenti invarianti di scala.

In questa direzione è stato fatto uno studio, in collaborazione con alcuni ricercatori tedeschi, sul comportamento degli intervalli di tempo tra terremoti successivi. Utilizzando una statistica adatta ai processi puntuali è risultato che, per intervalli di tempo superiori ad un giorno, l'occorrenza dei terremoti non è un processo poissoniano, bensì presenta uno spettro di potenza ad andamento $1/f$.

Le leggi di Gutenberg-Richter e di Omori e la disposizione degli epicentri sono altre prove della validità delle leggi di potenza in sismologia. La spiegazione di questo comportamento è tuttora controversa ed i modelli proposti si basano su due concetti differenti:

- 1 - struttura frattale della faglia o del sistema di faglie
- 2 - auto-organizzazione in un sistema omogeneo.

Per dare un contributo alla soluzione del problema è stata sviluppata una collaborazione con il dipartimento di Fisica dell'Università La Sapienza di Roma, definendo un modello teorico atto a simulare lo scorrimento di una faglia a struttura frattale e la generazione di terremoti. Come primo risultato di questa collaborazione è stata fatta una pubblicazione.

La statistica frattale è risultata particolarmente utile anche nell'applicazione alle forme d'onda: infatti da prove effettuate in collaborazione con altri ricercatori dell'Istituto, è risultato che all'arrivo di un segnale sismico la forma d'onda assume una diversa dimensione frattale, aprendo la strada allo sviluppo di un nuovo metodo di picking. Su questi argomenti è stato presentato un poster al convegno IUGG tenutosi a Boulder (Colorado) nel Giugno 1995.

6. Analisi di dati macrosismici e sviluppo di metodi di filtraggio

Il calcolo del campo macrosismico necessita un metodo che esegua l'interpolazione ed il filtraggio dei dati puntuali di intensità. Un particolare elemento di difficoltà, derivante dall'uso di tecniche di filtraggio su dati macrosismici, deriva dallo stabilire quanta parte del segnale è da eliminare (perchè riconosciuta come errore) in rapporto a ciò che si vuole studiare. Per affrontare questo problema è stata applicata un'analisi preliminare dei dati che utilizza la dimensione frattale. La tecnica di filtro risultante si basa sulla ipotesi che le diverse cause che contribuiscono

al segnale in esame agiscano contemporaneamente su diverse scale, mantenendo comunque una dimensione frattale propria e diversa le une dalle altre.

Questa tecnica di filtraggio è stata applicata ai dati relativi all'intensità macrosismica di due terremoti italiani (Friuli, 1 febbraio 1988; Potenza, 5 maggio 1990) e di un terremoto avvenuto nell'ex Repubblica Macedone di Jugoslavia (26 luglio 1963). La separazione del rumore e delle componenti locali ha permesso di definire il campo macrosismico per ogni evento.

7. Studio statistico degli effetti di sito

Tramite l'analisi statistica multivariata sono stati analizzati gli spettri delle onde S e P per discriminare gli effetti di sito da quelli di sorgente.

8. Catalogo dei maremoti

L'Istituto Nazionale di Geofisica sta redigendo un "Catalogo analitico dei maremoti dell'area mediterranea", con particolare riguardo alle coste italiane. Per la realizzazione di detto catalogo, che attualmente è in corso di completamento, sono stati verificati i dati disponibili in letteratura, sono state fatte ricerche storiche particolari per giungere all'interpretazione e lettura delle fonti originali per una visione critica del catalogo stesso. 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 una agevole consultazione da parte di tutte le nazioni e le strutture interessate all'utilizzo di tali dati.

9. Effetti dei terremoti sulle acque

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 (in particolare dell'area italiana) con la revisione di molti eventi presenti nel catalogo Caputo, particolarmente per quanto riguarda gli eventi cosiddetti minori, per i quali si è affiancato anche un profondo riesame dei terremoti ad essi associati.

Più dettagliatamente, nel corso di questo periodo è proseguita la partecipazione al progetto CEE denominato GITEC (Genesis and Impact of Tsunamis on European Coasts) coordinato dall'Università di Bologna, al quale prendono parte numerose nazioni europee quali Italia, Francia, Portogallo, Grecia, Norvegia, Gran Bretagna, Bulgaria. Lo scopo del progetto, è quello di studiare i meccanismi di genesi dei maremoti e valutare l'hazard nelle coste europee per la riduzione del rischio. Uno degli obiettivi è quello di preparare un catalogo analitico dei maremoti europei, compito che è stato affidato all'Istituto, in collaborazione con l'Università di Bologna. A tale proposito è stato scelto un data base adattato alle nostre esigenze, per la realizzazione della banca dati ed è stata fatta una profonda revisione degli eventi presenti nel catalogo Caputo, a partire dalla ricerca di fonti bibliografiche coeve. In questo ambito si sono, di volta in volta presentate le occasioni per lo studio più approfondito di eventi di particolare interesse, focalizzando l'attenzione in aree specifiche.

E' proseguito lo studio del maremoto di Giava del Giugno 1994, a seguito della campagna di misure in loco per la determinazione del massimo runup e delle ingressioni, dei cambiamenti morfologici originati dall'erosione, nonchè per la realizzazione di modelli numerici per la simulazione dell'evento. Al momento è in corso la determinazione delle maree nella zona di interesse, su dati del Permanent Sea Level Observatory.

10. Studio dei paleo-tsunami

In particolare, si è preso in esame il Gargano in quanto 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. Proprio 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 paleo-tsunami, in collaborazione con i ricercatori dell'Università di Coventry (U.K.). Campagne che si sono rivelate interessanti almeno alla luce dei primi risultati (le analisi dei campioni sono attualmente ancora in corso nei laboratori di Coventry), in quanto hanno mostrato, almeno per la zona del lago, la possibilità di poter escludere la presenza di paleomaremoti rilevanti.

11. Rilevamento mareografico

Gli studi storici hanno messo in luce la necessità di realizzare una rete di rilevamento mareografico, per la stima dei maremoti. Per avviare la realizzazione di tale futura struttura, si ritiene utile impiantare, come fase preliminare di sperimentazione, una stazione mareografica prototipo da installare in un sito idoneo sia per caratteristiche sismologiche che logistiche, localizzato nel tratto di costa compreso tra Augusta e Siracusa, anche in base alla verificata disponibilità della locale Capitaneria di Porto.

La strumentazione che si intende utilizzare è una delle più avanzate del settore, in quanto risponde ai requisiti necessari ai nostri fini ed in considerazione del fatto che si tratta di strumenti ampiamente sperimentati. In particolare, la stazione risulta costituita da un sistema composto da sensore, stazione automatica e modem per la trasmissione. Per quanto concerne il sensore, esso è di tipo a galleggiante e misura il livello idrometrico trasformando in codice numerico la posizione del galleggiante stesso. La stazione acquisisce ed elabora i dati forniti dal sensore ad essa collegato e consente la trasmissione, via radio o via cavo telefonico, dei dati stessi su chiamata da parte del centro raccolta. I sensori collegati alla stazione danno: i parametri di precipitazione e livello idrometrico; determinazione della velocità e direzione del vento; di pressione atmosferica. La trasmissione dei dati sarà realizzata tramite modem direttamente al centro di elaborazione dati. Presso tale centro di elaborazione dovrà esserci un acquirente ed un elaboratore. Sarà possibile conoscere, su chiamata da terminale, ciò che il sensore sta acquisendo al momento della interrogazione, nonchè ulteriori dati riguardo alcuni parametri ritenuti significativi, quali direzione ed intensità del vento, pressione, temperatura, ecc..

12. Misure di deformazioni crostali

In quest'ambito sono state fatte le seguenti campagne di misura GPS:

- Etna 1995 (marzo 95-in collaborazione con l'Istituto Internazionale di Vulcanologia)
- Colli Albani 1995(marzo, maggio 95)
- TYRGEONET 1995 (giugno 95-in collaborazione con vari Enti italiani e stranieri)
- GEOMODAP 1995 (maggio 95-progetto CEE in collaborazione con le Università di Oxford e di Bologna)
- Arco Calabro-Arco Eoliano (ottobre 1995-in collaborazione con l'Osservatorio Vesuviano).

Nell'ambito del progetto TYRGEONET sono state gestite e organizzate le riunioni tecnico-scientifiche e sono stati curati i rapporti con gli Enti stranieri partecipanti a questo progetto (Albania, Grecia, Francia, Algeria, Slovenia, Croazia, Tunisia). In particolare nel 1995 è stato istituito un nuovo sito in Algeria in collaborazione con il Centre Nationale des Techniques Spatiales di Arzew e con l'Institut National de Cartographie di Algeri. Tale sito permetterà di estendere più ad occidente l'area di studio per la osservazione delle deformazioni crostali del Mediterraneo dovute al processo di collisione Africa-Eurasia. Durante il mese di maggio 1995 sono state effettuare osservazioni GPS, in Albania sui siti di Scutari e Tirana, nell'ambito del progetto Tyrgeonet. Durante tale soggiorno, alla università di Tirana, sono state tenute alcune conferenze sulle applicazioni del GPS.

Inoltre sono stati elaborati i dati e trasformati in un formato internazionale (RINEX). Il lavoro effettuato in campo geodetico-geofisico con il sistema GPS ha apportato all'Istituto Nazionale di Geofisica delle conoscenze completamente nuove e all'avanguardia.

Per la prima volta in Italia, misure GPS ripetute hanno evidenziato l'esistenza di deformazioni a scala regionale tra siti di misura posti in Italia meridionale e in Grecia nordoccidentale. E' stata anche osservata la assenza di deformazioni nello Stretto di Messina.

Nell'ambito delle misure effettuate su reti locali è stata assegnata una tesi di laurea realizzata nell'area dei Colli Albani (Roma). Sono state eseguite misure GPS con procedure statico e rapido-statico e i risultati confrontati tra loro e con dati raccolti durante la campagna 1990.

Il confronto con le prime misure GPS effettuate su questa rete a partire dal 1990, non hanno evidenziato deformazioni apprezzabili. L'errore delle misure del 1990 è infatti troppo grande (strumentazione della prima generazione, parametri orbitali meno accurati di quelli attuali) per poter trarre conclusioni sulla attuale dinamica dei Colli Albani.

13. Studi statistici e prove di laboratorio per modellizzare e determinare la significatività delle deformazioni osservate o simulate.

Sono stati studiati test statistici per definire la scelta tra diversi modelli (indipendenti) di interpretazione di misure di deformazione.