Sono altresì proseguite le ricerche sul rischio sismico, le indagini di monitoraggio ambientale e le ricerche sulla modellistica numerica.

Presso il Dipartimento Centro di Ricerche Sismologiche con sede a Udine è stato completato l'aggiornamento della rete sismologica dell'Italia Nord-Orientale, sviluppando altresì il sistema per l'analisi quantitativa dei dati sismologici rilevati.

Complessivamente i ricercatori dei tre Dipartimenti hanno prodotto nel corso dei 1994 oltre 150 lavori, comprendendo le pubblicazioni su riviste scientifiche, le presentazioni a congressi ed i rapporti. I titoli sono riportati nell'elenco che completano le relazioni sulla attività dei tre Dipartimenti.

PROGRAMMI DI RICERCA SVOLTI.

Vengono di seguito indicati, in modo sintetico, i programmi svolti nel corso del 1994.

Studio della crosta profonda della penisola Italiana e dei mari adiacenti

[resp. S.Persoglia]

Anche nel corso del 1994 il dipartimento e' stato coinvolto nelle attivita' del programma nazionale CROP, finanziato dal C.N.R., dall' Agip e dall' Enel. Su incarico dei tre enti l' OGS ha realizzato il programma denominato CROP-Mare '94, il quale prevedeva l' acquisizione di 4900 km di profili sismici.

Programma CROP-Mare '94.

Il programma ha avuto avvio alla fine di luglio, dopo il ciclo di manutenzioni della nave programmato al rientro dall' Antartide. Qualche ritardo nell' avvio e nell' esecuzione dei lavori ha rimandato la partenza di circa una decina di giorni. Il programma era stato modificato rispetto a quello originario, essendo state vietate di fatto le operazioni nel basso Adriatico per non interferire con le oparazioni delle navi militari che pattugliano il Canale d' Otranto in osservanza delle delibere dell' ONU conseguenti alla guerra nella ex Jugoslavia.

Pochi giorni dopo la partenza, nonostante i numerosi avvisi emessi dall' Autorita' Marittima e dalla n/r OGS EXPLORA, un peschereccio non ha rispettato le distanze di sicurezza dalla nave, causando danni a circa 800 metri di cavo sismico. Di conseguenza, la nave ha dovuto sostare a Bari piu' a lungo del previsto per la verifica dei danni, gli accertamenti peritali, le procedure giudiziarie ed ovviamente per lo sbarco delle sezioni danneggiate e la ricostruzione dello streamer utilizzando le scorte presenti a bordo.

Successivamente le operazioni sono procedute speditamente e si sono interrotte unicamente per l' esecuzione del progetto IMERSE e dell' esperimento ETNA che in effetti si e' in parte integrato con il progetto CROP stesso. Solo alla fine di ottobre, con l' incalzare della brutta stagione e in vista dell' inizio della Campagna in Antartide 1994-95, le operazioni di questa Campagna sono state definitivamente sospese e rimandate, per il completamento all' anno successivo. Durante la Campagna sono stati quindi acquisiti, lungo 4040 km di linee, dati di sismica a riflessione, gravita' e magnetismo e sono stati effettuati numerosi ascolti a terra delle energizzazioni a mare. Questi ultimi sono stati curati da diversi gruppi operativi di istituti universitari e del C.N.R., tramite registratori sismici ad uno o tre canali in grado di raccogliere dati in continuo.

Durante l' intero ciclo della campagna e' stato svolto sull' OGS-Explora un accurato controllo di qualita' dei dati raccolti, i quali, ad una prima elaborazione, sono risultati di ottima qualita'.

Mare di Ross

Acquisizione dati

Il dipartimento ha partecipato al programma ACRUP (Antarctic Crustal Profile). Si tratta di un programma di ricerca internazionale, coordinato dal DINMA dell' Universtà di Trieste, che ha come obbiettivo la definizione della struttura litosferica profonda alla transizione fra il bacino del Mare di Ross e la Catena Transantartica.

Nel corso di un workshop internazionale che si e' tenuto nel mese di ottobre presso l'OGS, è già stata fatta una prima analisi dei risultati raggiunti.

Il programma operativo era basato sull' acquisizione di dati di sismica a rifrazione e riflessione a grande angolo nell' area del Mare di Ross sia a terra (campo Starr Nunatak) che in mare per mezzo della N/R OGS Explora. Nel corso del programma sono stati eseguiti tre profili: due in mare utilizzando 60 OBS (Ocean Bottom Sismometer) per un totale di circa 600 km ed uno a terra attraverso la catena Transantartica utilizzando 58 stazioni a tre componenti per un totale di circa 200 km. Il settore INTE ha partecipato con un tecnico operante a terra ed un ricercatore a bordo della N/R OGS Explora come responsabile scientifico dei profili a mare.

Elaborazione dati

Sono state rielaborate alcune linee sismiche del settore sud-occidentale del Mare di Ross, dove è prevista l' esecuzione di una serie di pozzi (progetto Cape Roberts) che inizieranno alla fine del 1996. La rielaborazione ha permesso di aumentare notevolmente la risoluzione dei dati e di migliorare la risposta in profondità attraverso una buona attenuazione delle riflessioni multiple. Di particolare importanza l' individuazione del basamento ad una profondità di gran lunga superiore a quella precedentemente ipotizzata.

E' proseguita la preparazione delle mappe delle principali sequenze sismiche nel Mare di Ross. A seguito della loro presentazione fatta al convegno ANTOSTRAT di Siena, ne è stata decisa la pubblicazione in un volume speciale dell' AGU (American Geophysical Union), Serie Antarctic Research.

Risultati Scientifici

L'attività del settore è testimoniata dai numerosi lavori scientifici presentati nel corso del 1994. La pubblicazione delle mappe rappresenta, comunque, un momento importante di sintesi del lavoro pluriennale di ricerca svolto dall' OGS nel Mare di Ross. Attraverso tali mappe, infatti, si è potuto ottenere per la prima volta una descrizione completa di tutte le sequenze sismiche della zona e la loro correlazione con la curva delle variazioni eustatiche del livello del mare. Ciò è di fondamentale importanza per comprendere l' evoluzione della calotta glaciale antartica ed in particolare per i rapporti tra la calotta di tipo continentale dell' Antartide dell' Est e la piattaforma ghiacciata del Mare di Ross.

Margine Pacifico della Penisola Antartica.

Preparazione della Settima Campagna Antartica della N/R OGS-Explora.

E' stata intrapresa la valutazione della strumentazione da acquisire sulla nave partecipando all'Esposizione Internazionale di Brighton (UK) nel mese di Febbraio. Si e' quindi deciso l'acquisto di:

- verricello di carotaggio per mare profondo con culla di sostegno per il carotiere
- array di idrofoni per acquisizione della traccia vicina

- sorgente sismica 'water-gun' per altissima risoluzione
- correntometri , sganciatori e boe

E' stato inoltre messo a punto il sistema di controllo del segnale dei cannoni ad aria 'GI-guns' acquisiti l'anno precedente.

In tempi strettissimi la *N/R OGS-Explora* e' stata messa in grado di effettuare rilievi sismici multicanale ad alta risoluzione, di effettuare operazioni di carotaggio e di mettere a mare e recuperare catene correntometriche nelle difficili acque Antartiche. Tutta la strumentazione e' stata provata in una breve campagna a fine Dicembre 1994 durante il transito da Trieste a Catania sulla via dell'Antartide.

Elaborazione dati.

Tutte le linee sismiche raccolte sul Margine Pacifico della Penisola Antartica sono state elaborate in versione 'stack'. Di alcune linee sono state prodotte elaborazioni particolari (migrazione, sezione profondita', flattening di alcuni orizzonti). In particolare sono state migrate le due linee sul margine attivo delle Shetland Meridionali, di qualita' particolarmente buona e la linea 109 attraverso i Sediment Drifts ed il pozzo DSDP 135.

E' stato impostato il lavoro per la produzione di una carta batimetrica del Margine, come deciso in sede ANTOSTRAT alla fine del 1993. Durante il 1994 tutti i dati di navigazione ANTOSTRAT sono stati trasferiti a Trieste, mentre i dati batimetrici OGS sono stati inviati al British Antarctic Survey per la loro conversione in profiondita' secondo i criteri adoperati per la loro banca dati. Come risultato, e' stata infine prodotta una carta batimetrica preliminare esposta al convegno ANTOSTRAT di Siena.

E' proseguito anche il lavoro di preparazione del Proposal di perforazione sul Margine Pacifico della Penisola Antartica (co-proponenti OGS Angelo Camerlenghi e Michele Rebesco) registrato dal JOIDES Office col numero 425.

Interpretazione dati.

Il lavoro di interpretazione e' proseguito intensamente, soprattutto quale continuazione del programma di Dottorato di Ricerca di Michele Rebesco. E' stata prodotta una interpretazione definitiva delle sequenze sismiche del rialzo continentale, integrata con dati Side Scan Sonar (GLORIA), uniboom, e 3.5 kHz subbottom profiler. Tale interpretazione ha sortito un nuovo modello di trasporto e di sedimentazione ad opera di correnti di torbidita' e correnti di fondo. Il modello, proposto in opposizione a quello di deposizione di argine asimmetrico ad opera della forza di Coriolis, e' stato inviato per la pubblicazione sulla rivista 'Geology'.

Le due linee IT90-43 e -44 sono state interpretate in modo definitivo in congiunzione con altri ricercatori stranieri (Britannici, Coreani, Brasiliani e Polacchi) in ambito ANTOSTRAT e hanno portato all'individuazione di una tettonica di compressione attiva nella fossa ed al piede del pendio continentale, tanto da far interpretare il processo di subduzione come tuttora attivo. Un manoscritto a tale riguardo e' stato inviato per la pubblicazione sul numero speciale 'Antarctic Research Series' dell'American Geophysical Union.

Studio del Bottom Simulating Reflector del Margine delle Shetland Meridionali.

L'attivita' in questo settore e' proseguita con il completamento e la pubblicazione dell'analisi tomografica condotta in cooperazione con il gruppo REDS. I buoni risultati conseguiti hanno portato all' individuazione di una precisa struttura di velocita' attraverso il BSR, che suggerisce la presenza di gas libero sotto il riflettore.

Parallelamente a tale studio si e' completata l'analisi dei dati sedimentologici raccolti attraverso il BSR del Margine Cascadia (Oregon-Washington) durante il Leg ODP 146 (partecipazione di Angelo Camerlenghi), ed e' stata presentata ed accolta la domanda di Emanuele Lodolo per aprtecipare al Leg ODP sui gas idrati alla fine del 1995. E' stata, inoltre, accettata la richiesta di fondi al PNRA per una borsa di studio dedicata a questo programma.

Studio geofisico dell' Etna.

Nell'ambito dello studio e messa a punto delle metodiche di indagine geofisica della litosfera, il dipartimento e' stato richiesto di partecipare con suoi tecnici e sua strumentazione al progetto "Environmental and Volcanic Risks - ETNASEIS (Etna Tomography: Novel Approach by SEISmology)", finanziato parzialmente dalla CEE.

Tale programma, cui gia' l' ente aveva contribuito lo scorso anno, e' svolto dal Dipartimento di Ingegneria Navale, del Mare e per l' Ambiente (DINMA) dell' Universita' di Trieste, dall' Istitute de Physique du Globe (Parigi) e dall' Universita' di Barcellona.

Le attivita' di campagna, cui il dipartimento ha partecipato con proprio personale e con un registratore sismico telemetrico SN 368 a 210 canali, si sono svolte a cavallo dei mesi di settembre ed ottobre sia a terra, sia in mare, sia tramite l' ascolto a terra di profili sismici marini eseguiti nella zona prossima al vulcano.

La nave OGS-Explora ha eseguito 5 profili sismici, per un totale di 335 Km. Contemporaneamente, a terra, sono state ubicate 15 stazioni portatili, che hanno registrato per un totale di 3600 ore. Gli scoppi lungo la linea a mare parallela alla costa (denominata EE) sono stati ascoltati , oltre che dalle stazioni mobili, anche dagli stendimenti multicanale posti intorno all' edificio vulcanico. In terra sono state eseguite 10 energizzazioni con esplosivo (200 - 300 Kg per ogni scoppio), impiegando 4 registratori sismici per un totale di 624 canali disposti sui fianchi dell' Etna.

Durante i rilievi in mare e' stata provata e messa a punto una nuova tecnica di formazione dell' array di cannoni ad aria. Tale metodo, denominato "Single Bubble", mira ad ottenere un aumento percentuale dell' energia emessa alle basse frequenze, senza ridurre l' estensione dello spettro complessivo (come avviene, invece, con i metodi tradizionali quando la sorgente di energia viene ottimizzata per la massima penetrazione negli strati). In tale modo e' possibile ottenere delle sezioni "bilanciate", nelle quali la identificazione di obiettivi crostali non va a discapito della definizione di quelli piu' superficiali.

La sperimentazione effettuata con successo ha permesso di verificare l' alta efficienza, in indagini profonde o con largo offset, della tecnica Single Bubble e di mettere a punto un primo sistema di controllo dei cannoni, che dovra' essere ulteriormente provato, prima di un suo diffuso utilizzo a livello industriale.

Il rilievo marino si e' protratto per circa una settimana, al largo della costa Jonica della Sicilia. Alcune delle linee acquisite sono state integrate nel progetto CROP, mentre altre sono state registrate in un area piu' vicina al vulcano. Naturalmente, assieme alle linee sismiche sono stati acquisiti dati di gravita' e di magnetismo.

Studio geofisico dei margini circum-antartici.

[resp. **G.Brancolini**]

Questa attivita' ha impegnato intensamente il gruppo INTE per tutto l'anno, data la coincidenza di importanti scadenze sia per la presentazione e pubblicazioni di dati pregressi (Convegno internazionale Antostrat di Siena) che per la preparazione della campagna Antartide 1994/95 della *N/R OGS-Explora* (la prima nell' ambito del progetto di Ricerca 1b: Bacini Peri-Antartici e Margini della Placca Antartica).

Attivita' didattica

Si e' concluso il lavoro di dottorato di Laura DeSantis (Universita' di Parma, tutore Prof. L.Torelli, co-tutore Dr. G.Brancolini) dopo il suo rientro dagli Stati Uniti, nel mese di Settembre. La tesi ha riguardato l'interpretazione di facies simiche nel Mare di Ross.

E' proseguito il lavoro del dottorando Michele Rebesco (Universita' di Parma, tutore Prof. L.Torelli, co-tutore Dr. A. Camerlenghi) con l'interpretazione dei dati sismici sul Margine Pacifico della Penisola Antartica.

Sono state assegnate, inoltre, due tesi di Laurea presso l'Universita' di Trieste (Relatore Prof. Bartole, correlatore Dr. G.Brancolini) con argomento Antartico.

L' Arco di Scozia : un laboratorio geologico naturale.

[resp. parte sismologica **M.Russi**]
[resp. parte geologica **E.Lodolo**]

Struttura ed evoluzione tettonica dell'Arco di Scozia Meridionale

Si sono analizzate le linee sismiche acquisite nel corso di precedenti campagne eseguite nella regione dell'Arco di Scozia Meridionale, ed in particolare lungo il margine Sud della Placca di Scozia, lungo il quale e' posto il confine con quella Antartica. Lungo tale margine si sono evidenziate strutture sismiche riconducibili ai margini di tipo compressivo, in contrasto con le precedenti ricostruzioni tettonico-evolutive che identificavano il margine come trascorrente. In questo senso, la migrazione delle porzioni di linee sismiche acquisite attraverso il margine e' stata determinante nell'identificazione dei corpi deformati e nella restituzione delle geometrie delle strutture.

L'attivita' nel corso dell' anno si e', inoltre, massicciamente concentrata sulla preparazione della Campagna Arco di Scozia Meridionale, da svolgere nel marzo '95, che prevede l'acquisizione di nuove linee sismiche e magnetiche per verificare quale sia lo stile tettonico caratterizzante il margine e proporne una plausibile ipotesi evolutiva.

Il lavoro di preparazione e' stato preceduto dalla presentazione dei risultati sin' ora conseguiti, tramite interventi al V meeting di Scienze della Terra in Antartide, a Siena (aprile 1994), ed al 13° convegno GNGTS, a Roma (novembre '94).

Infine, l'attivita' di ricerca ha comportato lo studio strutturale e tettonico della zona di frattura di Shackleton, che delimita ad ovest la placca di Scozia. I risultati della ipotesi genetica per questa struttura sono stati riassunti in un lavoro sottomesso ad una rivista nazionale.

Rete sismometrica dell' Arco di Scozia

La regione di Scozia, come ben noto, e' caratterizzata da un' elevata sismicita' lungo i margini di placca che la delimitano, con eventi di magnitudo superiore a 7.

Per questo motivo i metodi della sismometria sono importanti per l' indagine delle sue caratteristiche strutturali.

La necessita' di dati di elevato standard qualitativo ha indotto l'Osservatorio Geofisico Sperimentale, con il supporto finanziario del Programma Nazionale di Ricerche in Antartide, a compartecipare alla realizzazione di una rete formata da cinque stazioni, con punti di rilevamento in Antartide, Terra del Fuoco e sulle isole distribuite lungo i margini della regione di Scotia.

Nella stazione di Esperanza (Penisola Antartica), operativa dal 1992, e' stata effettuata la completa sostituzione delle apparecchiature esistenti con un sismografo digitale REFTEK 72A-08 a 6 canali e 24 bit collegato ad un sismometro a larga banda Guralp CMG-3T. Una seconda stazione e' in fase di installazione nei dintorni di Ushuaia (Terra del Fuoco), mentre la terza, nella base argentina delle Orcadi Australi, e' pianificata per l'inizio del 1996.

L'analisi dei dati, effettuata in collaborazione con l'Istituto di Geodesia e Geofisica dell'Universita' di Trieste, verte principalmente nella produzione di nuove relazioni di dispersione delle onde di superficie, estratte dai sismogrammi di eventi localizzati nella regione di Scozia

I risultati sinora ottenuti sono stati presentati al V meeting di Scienze della Terra in Antartide a Siena (aprile 1994) ed al 13° convegno GNGTS a Roma (novembre '94).

Tra la fine del 1994 e l'inizio del 1995 la collaborazione tra OGS, Instituto Antartico Argentino (IAA), British Antarcti Survey (BAS) e Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS) portera' alla realizzazione di una buona copertura strumentale dell'area occidentale della regione di Scozia, poichè vi funzioneranno quattro stazioni a larga banda (Esperanza ed Ushuaia dell'OGS, Palmer dell'IRIS ed una stazione sulle isole Falkland realizzata in cooperazione tra BAS e IRIS).

Per quanto attiene alle collaborazioni scientifica in campo nazionale, la ricerca e' intimamente correlata con quelle svolte in Antartide dall'ING e con progetti sviluppati dal Dipartimento di Ingegneria Navale, del Mare e dell'Ambiente e dall' Istituto di Geodesia e Geofisica dell'Universita' di Trieste.

Geologia delle dorsali oceaniche.

[resp. E. Lodolo]

Nell'ambito di questo programma di ricerca, due sono stati i filoni di studio sviluppati nel corso dell'anno: l'analisi dei profili magnetici e sismici acquisiti dalla nave *OGS-Explora* nel corso delle Campagne Antartiche nel Pacifico Sud-occidentale, e lo studio strutturale della porzione piu' meridionale del confine di placca Pacifico-Australiana lungo la fossa Kermadec-Hikurangi.

Pacifico Sud-occidentale

L' attivita' di analisi ed intrerpretazione tettonico-evolutiva di questa complessa ed estesa regione oceanica e' stata sintetizzata in un articolo sottomesso per la revisione ad una rivista internazionale, mentre sono stati presentati oralmente i risultati ottenuti in due congressi nazionali (GNGTS a Roma ed a Siena nell'ambito del PNRA). I dati utilizzati per questo studio sono stati essenzialmente quelli magnetici e quelli sismici. Dei primi, sono stati prodotti tutti i profili sintetici, per individuare le anomalie magnetiche legate ad accrescimento oceanico in prossimita' degli assi di dorsale, dei secondi, sono state elaborate porzioni di linee sismiche in aree particolarmente complesse dal punto di vista geologico.

Approfittando del percorso della nave *OGS-Explora* in uscita dal Mare di Ross al termine della campagna antartica 93?94, sono stati acquisiti oltre 1500 Km di linee magnetiche e profili gravimetrici nell'ambito della linea di ricerca di ricostruzione tettonica ed evoluzione del Pacifico Sud-Occidentale, per studiare i processi di accrescimento litosferico e ricostruire l'evoluzione della crosta oceanica lungo la linea di flusso della zona di frattura Balleny.

Fossa Kermadec-Hikurangi

E' proseguita l'analisi della linea sismica multicanale a riflessione acquisita nel dicembre '90 in collaborazione con un istituto di ricerca neozelandese, integrando i dati con informazioni di sismica crostale e sismicita'. Lo studio si e' concentrato in larga parte nella regione piu' orientale attraversata dal profilo, in corrispondenza del confine tettonico tra le placche Pacifica ed Australiana. E' stata prodotta la versione migrata dell'intera linea, per tentare di ricostruire le geometrie nelle zone strutturalmente piu' complesse.
I risultati di questo studio sono confluiti in due lavori pubblicati l'uno su una rivista scientifica nazionale, l'altro su una internazionale, mentre oralmente ed attraverso un poster sono stati presentati i risultati dell'interpretazione tettonica dell'area (Congresso Internazionale di Budapest di Sismica Crostale, giugno '94).

Geologia della dorsale mediterranea.

[resp. **A. Camerlenghi**]

Geologia della Dorsale Mediterranea

L'attivita' si e' articolata nei seguenti programmi ed ha comportato l'elaborazione e l' interpretazione di dati geofisici, nonche' la divulgazione dei risultati.

Programma EC MAST-II MEDRIFF (secondo anno di attivita').

Dopo l'acquisizione dei dati durante la campagna sulla *N/R Urania,* alla fine del 1993, sono stati presentati i risultati preliminari al Convegno Annuale del Gruppo Nazionale di Geofisica della Terra Solida. Nel mese di Maggio Alina Polnia ha partecipato alla campagna di acquisizione sulla nave francese *LeSuroit* durante la quale sono stati raccolti dati sismici, di side scan sonar (SAR), e di pressione interstiziale in sito. Alina Polnia ha anche trascosro 3 mesi all'Universita' di Birmingham (UK) per elaborare i dati sismici e di sonar a scansione laterale (TOBI) raccolti con la campagna inglese della *N/R Discovery.* Presso l' OGS e' sono state rielaborate le linee sismiche MS-112 e MS-33 ad uso del programma MEDRIFF. Un manoscritto di sintesi sull'interpretazione delle linee simiche MS che attraversano il fronte di deformazione della Dorsale Mediterranea e' stato preparato ed e' attualmente in revisione informale estera.

Drilling Proposal sulla Dorsale Mediterranea.

Il proposal, di cui il proponente principale e' Angelo Camerlenghi e co-proponenti sono Alina Polonia e Michele Rebesco, e' stato approvato dall'Ocean Drilling Program ed inserito nel calendario di perforazione come Leg 160 (Marzo-Aprile 1995).

Durante il 1994, inoltre, si e' svolta la delicata fase di approvazione definitiva del proposal da parte dell'Ocean Drilling Program. Il proposal ha dovuto superare le valutazioni dei due panels tematici (Site Survey Panel e Pollution Prevention and Safety Panel). In particolare si e' resa necessaria una vera e propria 'difesa' della proposta di perforazione sui vulcani di fango della Dorsale Mediterranea di fronte al Pollution Prevention and Safety Panel, svoltasi a Villefranche sur Mer nel mese di Luglio.

Al programma e' stata, inoltre, presentata una richiesta di campioni per lo studio delle proprieta' geotecniche dei sedimenti diapirici in collaborazione con l'Universita' di Milano.

Collaborazioni al lavoro di tesi di dottorato francesi

Sono state attivate due collaborazione, con l'Universita' di Brest (J.P. Rheault) e con l'Ecole Normale Superieure di Parigi (X. LePichon) per l'elaborazione e l'interpretazione comune di alcune

linee sismiche multicanale MS del Mare Ionio. I risultati contribuiranno al lavoro di una tesi di dottorato francese.

Attivita' all' interno dell' Ocean Drilling Program

E' proseguito il lavoro di analisi granulometrica e dei parametri statistici dei campioni raccolti durante il Leg 146 (Cascadia Margin; partecipante Angelo Camerlenghi) in collaborazione con l'Universita' di Cardiff. L'analisi di oltre 400 campioni, effettuata presso i laboratori dell'Institute of Oceanographic Sciences di Wormley, U.K., ha portato all'identificazione delle diverse unita' litostratigrafiche perforate tramite le caratteristiche granulometriche espresse come plot bi-variati di 'mean size, sorting, e skewness'. I dati sono stati presentati al secondo Post-Cruise Meeting tenutosi nel mese di Febbraio, ed in autunno al meeting annuale della Societa' di Sedimentologia Inglese. Un manoscritto da pubblicarsi sui Scientific Results del Leg e' stato inviato in revisione.

Un secondo manostritto di sintesi sulle osservazioni sedimentologiche e geochimiche dei sedimenti contenetj gas idrati e' stato prodotto in collaborazione con altri partecipanti al Leg. Da questo studio si e' dedotto che i livelli descritti a bordo come 'soupy layers', sono prodotti dalla dissociazione in sito di idrati di gas naturali, e possono quindi essere usati come indicatori di idrato.

E' proseguita la partecipazione di Angelo Camerlenghi ai lavori del Site Survey Panel in qualita' di rappresentante ESF.

Studio sismologico della litosfera e del mantello superiore dalla regione periadriatica all' arco sismico pannonico e dei Carpazi.

[resp. **M. Russi**]

Lo sviluppo di questa ricerca e' in parte condizionato dalla disponibilita' di un adeguato data base di forme d'onda registrate da sismografi a larga banda ed alta dinamica adeguatamente distribuiti nell'area geografica di interesse, per cui un contributo fondamentale al raggiungimento dell'obiettivo sara' dato dalle stazioni digitali a larga banda OGS-IGG di Trieste e di Villanova Grotte.

Il lavoro svolto nel 1994 e' stato la prosecuzione di quanto fatto nel 1993, ed in attesa di disporre delle forme d'onda registrate dalle nuove stazioni si e' fatto uso dei dati registrati dalla Rete Sismometrica dell'Italia Nordorientale e dal sismografo Streckeisen dell'IGG.

Il programma, che si inquadra nelle attivita' del Task Groupi II-4 "Three dimensional modelling of the Earth Tectosphere (3DMET) e nelle iniziative di collaborazione scientifica in campo internazionale promosse dalla Central European Initiative (CEI), e' consistito principalmente nell'applicazione ai dati sinora disponibili.dei metodi della frequency time-analysis e di quelli di inversione delle forme d'onda per la ricostruzione del tensore momento sismico.

Nella fattispecie i metodi per la ricostruzione del tensore momento sismico sono stati applicati a forme d'onda registrate in Friuli e,nel corso dell'anno, i risultati ottenuti sono stati presentati a congressi internazionali .

Analisi integrata di dati geofisici e petrofisici per la delimitazione e caratterizzazione sismica di facies sedimentari, con particolare riferimento ai reservoirs

[resp. **C. De Cillia**]

E' un programma concluso nel corso del 1993, che non ha avuto ulteriore seguito nel '94.

Utilizzo di tecniche sismiche ad alta risoluzione per l' identificazione di corpi massivi mineralizzati.

[resp. **S. Persoglia**]

Il programma di ricerca viene svolto dal dipartimento nell' ambito del progetto "High Resolution 3D Seismic Reflection applied to Subsidence Evaluation and Solution Mine design", finanziato parzialemte dalla CEE.

Nel corso dell' anno, seguendo il programma di lavoro inizialmente pianificato, il dipartimento ha provveduto al riesame critico dei profili 2D acquisiti nell' area della miniera ed alla progettazione, in funzione di questi, del successivo rilievo 3D.

Inoltre e' proseguita l' analisi della identificabilita', nelle sezioni sismiche, dei vuoti prodotti nel banco salino dalla attivita' estrattiva. Il rapporto tra le dimensioni delle cavita' nel salgemma e le lunghezze d' onda dei segnali sismici era tale da non far presupporre la presenza di "riflessioni" associate ai vuoti. Si sono allora utilizzati i sofisticati programmi di calcolo sviluppati dal gruppo GEMS, per modellare le riflessioni sulle pareti delle cavita' riempite di salamoia. Dai sismogrammi sintetici prodotti si e' potuto verificare l' intensita' dei segnali simici prodotti ed il loro andamento a ramo di iperbole nelle sezioni Stack. Tali forme sono state identificate anche sulle sezioni sismiche elaborate, proprio nelle posizioni corrispondenti alle cavita' sottosuperficiali.

Durante l'incontro periodico svolto con i partner, analoghi segnali, interpretati erroneamente quali disturbi, sono stati localizzati anche nelle sezioni del rilievo tridimensionale svolto nella miniera di sale ad Hanghelo (Olanda) ed hanno potuto venire identificati come prodotti dalle cavita' .

Nel corso della stessa riunione, si sono fissati i parametri operativi del rilievo 3D a Belvedere Spinello. Le dimensioni di questo sono state ridotte, rispetto al progetto iniziale, per portare la profondita' di carica dagli 8 metri ai 12-15 metri risultati ottimali nel rilievo 2D gia' svolto.

Metodi per la realizzazione a basso costo di profili verticali reciproci e la ricostruzione tomografica in tempo reale del campo di velocita' sismica nell' area circostante un deposito di idrocarburi.

[resp. per CEE **S. Persoglia**]
[resp. **F. Poletto**]

Il gruppo GEOB ha proseguito la sperimentazione su larga scala, in differenti condizioni operative e litostratigrafiche, del sistema innovativo SEISBIT, (nuovo nome del metodo già chiamato GEOBIT) che usa il rumore dello scalpello di perforazione per predire la litologia al di sotto di questo, producendo VSP reciproci ed immagini tomografiche. .

I principali risultati della ricerca sono costituiti dai metodi di acquisizione ed elaborazione dei segnali dello scalpello, che forniscono informazioni utili durante la perforazione dei pozzi. Essi includono: il posizionamento in tempi dello scalpello sulle sezioni sismiche, con misure di *checkshot*; la caratterizzazione della riflettività, ottenuta usando i *transit-times* SEISBIT per la calibrazione delle tracce sintetiche ricavate dall'elaborazione dei log misurati in fasi intermedie di perforazione, la predizione al di sotto dello scalpello per mezzo dei VSP prodotti in campagna.

L' attivita' operativa svolta nel corso del '94 e' consistita nella progettazione ed esecuzione di due esperimenti presso pozzi AGIP in Italia, cui ha fatto poi seguito l'elaborazione dei dati acquisiti.

Il primo esperimento ha riguardato l'acquisizione di un rilievo *cross-hole* eseguito utilizzando un pozzo di ascolto attrezzato con geofoni a 3 componenti posto alla distanza di circa 500 metri dal

pozzo perforato. Il secondo, la perforazione di un pozzo di produzione di media profondità, situato in un zona particolarmente complessa dal punto di vista geostrutturale. Entrambi gli esperimenti hanno fornito risultati molto soddisfacenti: con l'individuazione di un segnale assai significativo nel primo e con il corretto riposizionamento in tempi dello scalpello nel secondo, come confermato da un VSP convenzionale eseguito per raffronto e dall' elaborazione di un *multi-offset* VSP in campagna, utilizzato per la ricostruzione strutturale dell'area.

Con tale applicazione, l 'Agip ha fatto un uso diretto dei dati SEISBIT, modificando in base a questi l' interpretazione della posizione del reservoir.

La messa a punto del sistema prototipo per l'elaborazione in tempo reale dei dati e la trasmissione tempestiva dei dati aggiornati via linea telefonica in sede, è stata verificata in campagna, con il controllo automatizzato dei parametri di perforazione, anche nella prospettiva di migliorare il rapporto prestazione-costi.

Infine, è stato depositato un nuovo brevetto di proprietà congiunta AGIP S.p.A: - O.G.S., che copre l'uso non convenzionale del metodo con impianti dotati di motore in testa alla batteria di aste.

L' insieme dei risultati ottenuti ha suggerito all' Agip di finanziare all' ente, tramite un nuovo contratto di ricerca e sviluppo, lo studio per l' estensione del metodo ai pozzi perforati con scalpelli diamantati. Ulteriori miglioramenti, quali la piena automatizzazione del metodo, la riduzione dei costi di impianto e gestione, l' uso di stendimenti 3D, saranno successivamente affrontati, nel corso del '95, per attivare un servizio SEIBIT in modalita' industriale, grazie al concorso della Discovery Geophysical Services.

Software avanzato per l' inversione tomografica.

[resp. **G. Boehm**]

E' stato predisposto un programma di tracciamento raggi in 3D su griglie irregolari, ed i primi risultati dell' inversione di onde trasmesse e riflesse sono quanto mai incoraggianti. In 2D, si è completato un programma di tracciamento raggi, sempre su griglie irregolari, che consente la simulazione di onde trasmesse, riflesse, rifratte e diffratte con geometrie arbitrarie di acquisizione. Tale programma è stato usato per l' inversione tomografica congiunta dei tempi d' arrivo ottenuti.

Uno dei risultati più interessanti così emersi, confrontando i risultati dell' inversione tramite questi diversi tipi d' onde, è che le onde rifratte contengono l' informazione migliore per rivelare le variazioni laterali di velocità, mentre quella delle onde trasmesse è alquanto scadente. Tale osservazione può aprire interessanti prospettive nuove.

Il nuovo software sviluppato ha consentito di applicare l' inversione tomografica dei tempi d' arrivo a vari casi reali, quali i dati del progetto Geobit, profili sismici elaborati per finalità oceanografiche, minerarie e di analisi sismica di dettaglio.

Inversione di profili sismici passivi di pozzo (progetto GEOBIT).

Il rumore di perforazione di un pozzo può essere sfruttato per produrre un'immagine in tempo reale delle formazioni circostanti il pozzo stesso, e predire variazioni delle proprietà elastiche negli strati appena sotto lo scalpello. In collaborazione col gruppo GEOB, è stata eseguita l' inversione tomografica dei tempi d' arrivo di onde S in una geometria *cross-well.* Anche in tali prove, i risultati ottenuti con griglie irregolari sembrano superiori rispetto all' approccio convenzionale.

Inversione di dati sismici a scopi oceanografici.

Nei profili marini, normalmente, le variazioni di velocità nell'acqua vengono trascurate, in quanto modeste e prive di un uso industriale immediato. Il lavoro svolto recentemente, in collaborazione col gruppo ECHO del Dipartimento di Oceanografia e Geofisica Ambientale dell' OGS, ha dimostrato che invece è possibile rilevare quantomeno la profondità del picnoclino, assai utile per studi oceanografici su larghissima scala. Tali risultati dovranno essere confermati su altri casi reali, utilizzando in seguito le informazioni così ottenute come dato d'ingresso per programmi di modellazione di correnti marine su scala regionale.

Inversione di dati sismici in presenza di un BSR.

Un altro esempio è l'identificazione di depositi di gas idrati, che danno luogo a riflettori lungo linee isoterme che seguono abbastanza fedelmente la superficie terrestre od il fondale marino. In collaborazione con il gruppo INTE, si è eseguita l' inversione tomografica 2D su di un profilo sismico acquisito dall' OGS in Antartide, in una zona dove un evento è stato interpretato come un *Bottom Simulating Reflector* (BSR).

La stima del campo di velocità sembra avvalorare tale ipotesi, anche se la risoluzione fisica dovuta ai parametri di acquisizione ed all' assorbimento degli strati sovrastanti non consente ancora una prova definitiva dell' esistenza del BSR.Visti i risultati già conseguiti, ci si attendono utili contributi dalla applicazione sistematica dei programmi di simulazione svilippati, nei casi in cui l' analisi dettagliata del campo di velocità puo' portare ad un'interpretazione consistente, sia per studi geologici e geodinamici, sia per prospezioni industriali.

Analisi di profili sismici in presenza di cavità (Belvedere Spinello).

In collaborazione con i gruppi PROS ed ADAT, sono state valutate alcune tecniche di elaborazione del segnale sismico per tentare di evidenziare la presenza di cavità nell' area mineraria di Belvedere Spinello, nell' ambito di un progetto finanziato dalla Comunità Europea.

Studio e modellazione della propagazione delle onde sismiche nella crosta terrestre.

[resp. **G. Seriani**]

Premessa

L'attività di ricerca e sviluppo del gruppo GEMS è attualmente rivolta ai seguenti argomenti:

- studio della propagazione delle onde sismiche in mezzi reali ed in strutture geologiche complesse;
- studio della propagazione delle onde elettromagnetiche in mezzi reali a struttura complessa;
- studio e sviluppo di nuove reologie atte a descrivere il campo d'onda in materiali (rocce) con proprietà fisiche complesse;
- studio e sviluppo di algoritmi per la simulazione numerica della propagazione dei campi d'onda;
- sviluppo e implementazione di codici di calcolo accurati ed efficienti basati sui suddetti algoritmi e che sfruttino la potenza di calcolo dei moderni supercomputer (calcolo vettoriale e parallelo);

In questo ambito il gruppo ha continuato la sua attività anche nel 1994 presentando i risultati scientifici ottenuti a congressi e su riviste internazionali di geofisica e matematica applicata.

L' attività svolta si è inquadra nel progetto di ricerca finanziato dalla Comunità Europea, CEE-JOU"-CT92-0096 (Geoscience II: Stratigraphic Modelling and Inversion), ed in un programma sostenuto dall' AGIP.

Nell'ambito di tali contratti sono state sviluppate collaborazioni con ricercatori di varie università e laboratori nazionali ed internazionali. In particolare con l'Università di Trieste, di Udine, il Politecnico di Milano, l'Imperial College ed il Birbeck College of London, e l'Università di Praga.

Materiali porosi

E' stato studiato il fenomeno della propagazione d'onde in mezzi porosi elastici e viscoelastici, omogenei ed eterogenei, sia in modo analitico che numerico. In particolare è stata sviluppata la simulazione per i mezzi eterogenei complessi, si sono misurati gli effetti della viscosità sull'ampiezza e sui tempi di arrivo delle onde. Si sono misurati gli effetti della attenuazione della matrice, del fluido e della massa sulle onde.

E' stato sviluppato un metodo semianalitico per l'integrazione temporale delle equazioni differenziali delle onde in mezzi porosi. E' stata evidenziata la presenza di un modo statico nella zona della sorgente che non era riportato precedentemente nella letteratura scientifica, tale modo è stato trovato anche per mezzi a doppia porosità.

Si stanno studiando le condizioni al contorno per i mezzi porosi e si è trovato che la modellazione numerica eterogenea simula implicitamente le condizioni di irraggiamento all'infinito.

Materiali eterogenei dissipativi

E' stato sviluppato uno studio sulla propagazione delle onde in mezzi monofasici viscoelastici ed anisotropici, omogenei ed eterogenei con metodi analitici e numerici. In particolare è stata sviluppata la simulazione per mezzi eterogenei complessi ed è stata sviluppata la teoria per onde piane omogenee.

La teoria ha considerato inoltre mezzi anisotropi dissipativi, percorsi da onde piane inomogenee, con particolare riguardo a quelle di tipo SH in mezzi a simmetria monoclina. Le applicazioni fisiche hanno interessato la modellazione di fenomeni sia viscoelastici, sia elettromagnetici: infatti, è stata messa in luce un'analogia formale tra le equazioni di Maxwell (generalizzate al caso anisotropo) e quelle dell'elasticità (con reologia espressa dal principio di sovrapposizione di Boltzmann).

Come risultati, per esempio, si sono trovate le cuspidi nella velocità della envolvente SH quando c'è grande attenuazione, fatto non riscontrato invece numericamente. Inoltre si è osservato che le onde SH non possono propagarsi in determinate direzioni, se il loro angolo di inomogeneità supera una certa soglia. L'analisi teorica con onde piane ha fornito risultati (fronti d'onda, proprietà di attenuazione e dispersione, ecc.) in accordo con la simulazione numerica.

Onde elettromagnetiche

E' proseguito lo studio teorico e la simulazione con modelli numerici delle onde elettromagnetiche, di tipo TEM generalizzato, in mezzi conduttivi.

Le equazioni trasversali elettromagnetiche (TEM) sono un sistema di tre equazioni in tre incognite che si ottengono da quelle di Maxwell (12 equazioni in 12 incognite) nell'ipotesi di un

mezzo elettricamente monoclino e magneticamente isotropo. Il modello numerico adopera un algoritmo basato sull'analisi di Fourier (per calcolare le derivate spaziali) e su uno sviluppo ottimale in polinomi di Chebyshev (per integrare nel tempo la soluzione).

Le applicazioni possibili sono nel campo della geoelettrica e dell'effetto sismoelettrico. Sono state sviluppate applicazioni al georadar.

Onde di pozzo

Di notevole importanza risulta la conoscenza della propagazione delle onde sismiche lungo i pozzi di perforazione dei giacimenti petroliferi. A tale proposito si è iniziato uno studio dei modi di propagazione torsionali e longitudinali in un sistema complesso costituito da matrice rocciosa, fango, tubo e fango. Eseguendo uno studio per onde piane si sono ottenute quindi le equazioni di dispersione per la velocità di fase e gruppo dei modi propagativi. Si stà, inoltre, sviluppando lo studio per ottenere la risposta impulsiva del sistema ed è stata sviluppata la simulazione numerica della propagazione del campo d'onda sismico.

Metodo degli elementi finiti

Per quanto riguarda i metodi agli elementi finiti si è continuato lo sviluppo del metodo agli elementi spettrali estendendone l'applicabilità dal caso acustico ed elastico isotropo al caso anisotropo. Sono stati considerati, anche in questo caso, gli elementi spettrali isoparametrici che permettono la descrizione di geometrie comunque complesse. Data la complessità di questo tipo di simulazione numerica sono stati introdotti ulteriori miglioramenti negli algoritmi numerici con particolare riferimento alla integrazione temporale, alle condizioni di irraggiamento di bordo, al risolutore lineare, alla definizione spaziale di sorgenti multiple, alla costruzione di nuovi strumenti per il magliaggio e per la definizione, sviluppo e gestione dei modelli.

Il metodo è stato utilizzato per l o sviluppo di modelli geologici notevolmente complessi e la simulazione della propagazione dei campi d'onda in essi con particolare riguardo a problemi di tomografia (Etna), di geotecnica, di pericolosità sismica, di risposta sismica locale, di validazione con altri metodi e di trattamento del segnale.

Sistemi e tools informatici

Il gruppo GEMS, per il suo lavoro, fà un largo uso di strumenti informatici sia hardware che software che esso mantiene e sviluppa per la sua attività. In particolare vengono mantenuti i sistemi Unix delle workstation, il sistema di rete e sono stati installati packages esterni per usi particolari.

Sono stati sviluppati codici di elaborazione grafica per la simulazione numerica, per la visualizzazione scientifica dei campi d'onda e la loro animazione per una migliore analisi degli stessi. Risultati in questo campo specifico sono stati e vengono presentati anche a congressi internazionali.

Vengono, inoltre, sperimentale nuove metodologie informatiche ed architetture computazionali allo scopo di rendere più efficienti le simulazioni numeriche.

Modellazione ed inversione sismica per la Caratterizzazione dei giacimenti di idrocarburi.

[resp. per la modellistica **J. Carcione**]
[resp. per l'inversione **A. Vesnaver**]

Sottoprogetto "Modellistica".

L'attivita' di ricerca svolta nel 1994 puo' essere riassunta come segue.

Sviluppo di modelli numerici per la simulazione di onde sismiche in mezzi anisotropi viscoelastici 2-D e 3-D.

Strutture geologiche anisotrope (in particolare: trasversalmente isotrope ed ortorombiche) sono state studiate dal punto di vista della propagazione delle onde sismiche.

I meccanismi di dissipazione sono descritti dalla legge di Hooke generalizzata (cioe' nel campo complesso) ovvero, nel dominio del tempo, dal principio di sovrapposizione di Boltzmann.

Nel caso di una reologia di tipo solido lineare standard generalizzato, gli integrali di convoluzione che compaiono nella legge costitutiva vengono sostituiti con variabili ausiliarie che danno origine ad ulteriori equazioni differenziali: cio' permette di applicare in modo diretto algoritmi numerici di tipo pseudospettrale.

Sono stati prodotti ulteriori miglioramenti nei codici di calcolo ed eseguite le relative simulazioni.

Sviluppo di leggi costitutive per mezzi anisotropi viscoelastici.

Si e' sviluppata la teoria per il calcolo della attenuazione e del fattore di qualita' in mezzi anisotropi e viscoelastici.

Si sono ottenute le espressioni per il vettore di attenuazione e per il fattore di qualita' per i tre modi possibili di propagazione in questi mezzi.

La teoria e' basata sull'uso di una matrice generalizzata di rigidezza.

Attraverso un'analisi per onde piane omogenee, l'attenuazione ed il fattore di qualita' sono ottenuti come semplici forme in funzione della direzione di propagazione, la rigidezza complessa e la densita'.

Le applicazioni sono soprattutto in campo reologico, per l'individuazione e la modellazione delle simmetrie strutturali delle rocce.

Sviluppo di modelli per lo studio della propagazione in mezzi porosi.

Si e' sviluppata una soluzione analitica per la propagazione di onde compressionali in un mezzo omogeneo dissipativo e poroso saturo di fluido.

La soluzione e' basata sulla generalizzazione dell'equazione poroelastica di Biot ed e' valida per la bassa ed alta frequenza con inclusione dei fenomeni viscoelastici piu' generali.

La dinamica del fluido nei pori e' descritta da un operatore viscodinamico mentre la dissipazione è introdotta attraverso un modello di tipo "standard linear solid" della matrice solida.

La soluzione e' stata usata per studiare l'influenza sulle caratteristiche cinematiche delle due onde compressionali supportate dal mezzo in funzione delle sue proprieta' quali il modulo elastico, porosita', viscosita', permeabilita' ed attenuazione intrinseca.

Sottoprogetto "Inversione".

L'esplorazione geofisica dell'Antartide e del Mediterraneo si è imbattuta spesso in problemi di interpretazione di strutture geologiche ben evidenti nelle sezioni sismiche, ma con ambiguità sulla loro natura fisica e, di conseguenza, sulla loro origine geologica. In tali casi l'uso combinato di metodi geofisici indipendenti (quali la gravimetria e la magnetometria) consente di restringere l'ambito delle spiegazioni accettabili, ma in alcuni casi il contributo della tomografia sismica si è rivelato particolarmente utile. Ad esempio, anomalie d'ampiezza lungo le interfacce riflettenti (quali i cosiddetti "bright spots") sono in genere causate da una variazione verticale brusca della velocità delle onde. Quando, tuttavia, ciò è prodotto da lenti sottili o molto allungate, l'inversione tomografica è l'unico modo per capire se vi sia localmente un aumento di velocità (associabile ad esempio ad depositi di ghiaie o ad intrusioni vulcaniche) od un suo calo (dovuto in genere alla presenza di gas, o acqua, o petrolio).

Scopo dell'inversione sismica è la ricostruzione delle proprietà fisiche di vaste zone del sottosuolo osservandovi la propagazione di onde elastiche. Si ottengono in tal modo fondamentali informazioni sulle rocce attraversate, in modo paragonabile a quanto si fa in campo medico con una radiografia o, meglio, con una TAC (Tomografia Assiale Computerizzata).

L'attività dell'OGS nel campo della tomografia ha prodotto importanti risultati nel corso degli ultimi anni, ed alcuni programmi di calcolo sono stati sviluppati per l'esplorazione sismica volta ad individuare nuovi giacimenti petroliferi. In particolare, sono stati introdotti nuovi metodi matematici basati su griglie irregolari, che stanno inducendo vari ricercatori a riconsiderare criticamente l'approccio classico in tale campo. Le immagini tridimensionali del sottosuolo così ottenute risultato infatti molto più nitide e corrette.

Particolare attenzione è stata rivolta all' uso di griglie irregolari, in quanto si è dimostrato (e sperimentalmente verificato) che ciò consente di migliorare notevolmente la qualità ed attendibilità delle immagini del sottosuolo ricostruite con la tomografia. Analizzando tramite una scomposizione ai valori singolari quali parametri sono mal definiti dalle misure sperimentali, è possibile modificare interattivamente il disegno geometrico dei pixels, eliminando quelli vuoti o poco attraversati, oppure affinando la discretizzazione laddove la copertura di raggi linearmente indipendenti lo consenta. Si ottiene in questo modo una serie di griglie irregolari a risoluzione locale variabili, che raggiungono un compromesso tra la risoluzione desiderata e l' attendibilità necessaria.

Particolare attenzione è stata dedicata al problema della stabilità e non unicità delle soluzioni. In 2D si è visto che l'adozione di griglie irregolari consente di aumentare la risoluzione solo in attorno degli obiettivi della prospezione (come un giacimento di idrocarburi, od un corpo mineralizzato), ed in particolare dove la copertura dei raggi sismici in profondità sia adeguata. Tale approccio si è rivelato efficace anche in 3D.