d. **Attività di ricerca**

OSSERVATORIO GEOFISICO SPERIMENTALE

Consuntivo sintetico dell'attività di ricerca scientifica svolta nell'anno 1996.

A. DIPARTIMENTO DI GEOFISICA DELLA LITOSFERA.

INTRODUZIONE

Le principali attività del Dipartimento di Geofisica della Litosfera si possono suddividere in: prospezioni geofisiche, geologia e geofisica marina, e sismologia. Il Dipartimento consiste di quattro gruppi di ricerca e tre gruppi operativi, con 25 ricercatori e 40 tecnici.

L'esplorazione petrolifera e le ricerche in Antartide sono state le colonne portanti dell'attività del Dipartimento nel 1996. Per questo il Dipartimento è dotato di strumentazione per l'acquisizione di dati in terra e in mare e di attrezzature informatiche per l'elaborazione dei segnali. Fra le tecnologie sviluppate, quella denominata Seisbit®, brevetto depositato in collaborazione con l'AGIP S.p.A., è un esempio di progetto finalizzato di ricerca e sviluppo fino al prodotto, ora impiegato nei servizi industriali. Visto il successo ottenuto con gli strumenti di perforazione a triplo cono, le ricerche Seisbit sono proseguite con lo scappello diamantato (PDC) per soddisfare le richieste di innovazione.

La modellistica, l'inversione sismica e lo studio dei fenomeni legati alla presenza dei fluidi nei giacimenti di idrocarburi sono stati altri campi in cui la collaborazione con l'industria, le compagnie di servizio (Norsk Hydro, DMT, TNO, ecc.) e gli istituti di ricerca è stata intensa. Questi temi includono: la modellistica delle onde elettromagnetiche georadar; la simulazione della propagazione delle onde sismiche nelle rocce porose; la modellistica dello scuotimento sismico; la tomografia applicata all'acustica oceanica, alla localizzazione dei gas idrati in Antartide, e all'esplorazione petrolifera nel Mare del Nord.

Il Dipartimento è anche attivo nella geofisica marina, un'attività scaturita dalle numerose campagne condotte dalla nave OGS-EXPLORA in acque mediterranee e antartiche. La campagna antartica 1994/95 ha fornito una gran mole di dati geologici e geofisici dei margini del Cile meridionale e della Penisola Antartica. Questo materiale è stato elaborato nel 1996 e in parte è stato utilizzato per definire i siti di perforazione proposti ed accettati dallo Ocean Drilling Program.

La nave ha condotto una campagna nel Mare Mediterraneo per collaudare un nuovo array di cannoni ad aria ad alta energia (progetto Sinbus, finanziato dalla CEE). Questa sorgente sismica sarà utilizzata nella campagna antartica del 1997 per studi crostali attraverso la Penisola Antartica.

Altre attività correlate con la campagna antartica 1997 - e preparate durante il 1996- comprendono: misure geofisiche e carotaggi a gravità lungo il margine sul Pacifico della Penisola Antartica per studiare il trasporto dei sedimenti, e l'installazione di stazioni sismiche in quell'area per ricerche sui terremoti in collaborazione con istituzioni argentine.

1. Studio della crosta della penisola italiana e mari adiacenti: progetto di sismica CROP-11.

Il progetto CROP è il programma italiano di esplorazione crostale. Ad esso l'Ente ha contribuito fin dal 1986 realizzando profili sismici in terra e le linee sismiche completate con gravimetria e magnetometria raccolte in mare (profili per più di 8500 km).
Nel corso del 1996 l'OGS è stato impegnato nel profilo CROP-11 con contratti di ricerca con CNR e poi con ENEL (associazione temporanea d'impresa con Geotec ed Ismes). Le fasi preparatorie contrattuali, le ricognizioni e lo studio di fattibilità sono stati lunghi e complessi. Difficili anche l'ottenimento delle necessarie autorizzazioni. I rilievi sono stati eseguiti fra settembre e dicembre '96: 128 km, con interruzione a causa delle pessime condizioni meteo.

2. Sviluppo di tecnologie innovative per le indagini sismiche durante la perforazione.

Nel 1996 si è svolta un'intensa attività di ricerca, sviluppo e dimostrazione del metodo Seisbit®, che usa il segnale dello scalpello di perforazione di pozzi petroliferi al fine di ottenere misure di sismica "while drilling" utili per l'esplorazione e per la perforazione stessa. In particolare, è stato sviluppato il progetto di ricerca e dimostrazione per l'uso di segnali di scalpelli diamantati, come il Polychrystalline Diamond Compact (PDC), parzialmente finanziato dalla Comunità Europea. Il segnale di tali scalpelli è, infatti, meno facilmente identificabile rispetto al segnale di scalpelli a coni usati in simili condizioni operative per generare sismogrammi con onde compressionali. Il successo di tale fase di dimostrazione può portare ad un importante ampliamento del campo di applicazione industriale del metodo di "sismica while drilling". Buoni risultati preliminari della ricerca si sono ottenuti con segnali PDC ottenuti in rocce consolidate.

Nel corso del 1996 è stata svolta attività di sviluppo e messa a punto del sistema di acquisizione, che permette la gestione automatizzata del dato in campagna con trasmissione immediata del dato pre-elaborato in sede. Tale lavoro ha prodotto come risultato l'avviamento dell'attività di servizio, innovativo nell'applicazione del metodo Seisbit®, attorno a pozzi AGIP (ma anche di altre compagnie) in Italia.

L'attività in laboratorio ha riguardato i seguenti problemi:
- analisi delle curve di risposta catene di geofoni con il sistema di acquisizione Prosol Fuic A;
- messa a punto della stazione di taratura per accelerometri PCB;
- sperimentazione sul campo di connettori industriali Triad della Thomas & Bet;
- confronto risposte dinamiche degli accelerometri a alta e bassa risoluzione;
- individuazione del tipo più adatto di analizzatore di spettro multicanale;
- analisi funzionali di nuovi sensori (pinza amperometrica, misuratori angolari e celle di carico, pressurometro a membrana, estensimetri);
- analisi di campionatori per registrazioni continue.
- progetto di informatizzazione dei dati di laboratorio;
- messa a punto della metodologia di rilievo e del posizionamento dei sensori;
- scouting particolari per misure meccaniche ed elettriche su impianti con top-drive idraulico, con motore elettrico monofase e trifase.

I rilievi sul terreno:
- ricognizioni, permitting, cartografia, rilievi short refraction e correzioni statiche per i pozzi Elce 1 e S. Gregorio Magno 1;
- misure sul pozzo Elce 1 a Ferrandina (MT), operatore AGIP, sensori torre standard, linea di registrazione a croce;
- misure sul pozzo S. Gregorio Magno 1 a S. Gregorio Magno 1 (SA), operatore Edison Gas, sensori torre standard, una linea d'ascolto;

dicembre: inizio del rilievo sul pozzo Monte Foi 1, operatore Enterprise.

È stato eseguito un attento controllo di QC durante la perforazione, con l'elaborazione di rilievi sismici verticali (VSP) con ricevitori posti a diverse distanze (offset) da testa pozzo. Sono stati ottenuti risultati di predizione al di sotto dello scalpello in tempo reale estremamente significativi per le aree geologicamente complesse che sono stati utilizzati immediatamente dai settori di esplorazione.

È stato approfondito lo studio della sorgente scalpello, sia dal punto di vista metodologico che sperimentale. In particolare sono state eseguite prove di raccolta dati con scalpelli a coni e PDC in condizione di variazione dei parametri di perforazione controllata. Tali prove, ancora in fase di elaborazione, hanno permesso di evidenziare diversi comportamenti dinamici della sorgente. Per la ricerca strumentale, sono stati studiati ed identificati nuovi strumenti di misura in area pozzo, da utilizzare per la misura dei segnali di torsione, significativi per scalpelli PDC.

È stato avviato uno studio preliminare per l'estensione del metodo in mare, che ha compreso una presentazione di risultati Seisbit® alla Norsk-Hydro (Bergen Norvegia,) con discussione sugli aspetti tecnico-scientifici e la verifica di una possibile applicazione del Seisbit® nel Mare del Nord.

È stato predisposto un accordo quadro con AGIP per la continuazione della ricerca, la collaborazione in ricerche finanziate dall'Unione europea, la gestione dei servizi per AGIP in Italia e all'estero e la cessione della licenza a compagnie di mud-logging per il servizio internazionale.

3. Modellazione della propagazione delle onde sismiche.

a. Applicazioni all'esplorazione geofisica.

La modellistica delle onde sismiche richiede l'uso di leggi reologiche realistiche e di tecniche avanzate di simulazione, poiché le proprietà petrofisiche e le strutture litologiche sono attributi importanti delle rocce sede di giacimenti. In questa ottica, il gruppo di modellistica ha proseguito la ricerca teorica e numerica sui mezzi porosi del tipo "Biot". Una soluzione esatta transiente dell'equazione d'onda completa per mezzi viscoelastici porosi è stata ottenuta al fine di convalidare algoritmi numerici e per studiare l'influenza sul campo delle onde delle proprietà del materiale (i moduli di volume, la porosità, la viscosità, la permeabilità e l'attenuazione intrinseca). La fisica dell'onda statica lenta è stata simulata per la prima volta e la modellistica è stata estesa al caso anisotropo, che descrive la presenza di stratificazione fine, compattamento, microfratture allineate, e fratture estese. Questa reologia è importante per predire direzioni preferenziali di flusso dei fluidi. Inoltre, le equazioni differenziali poroelastiche di Biot sono state modificate per includere meccanismi d'interazione matrice-fluido e l'uso di algoritmi numerici per mezzi viscoelastici monofase è stato proposto come più efficiente alternativa alla simulazione di mezzi porosi. Diversi aspetti teorici della propagazione delle onde sono stati approfonditi:

- la polarizzazione delle onde nei mezzi anisotropi, importante nella pianificazione di campagne di rilevamento a più componenti;
- i coefficienti di riflessione e trasmissione di onde di taglio linearmente polarizzate in mezzi anisotropi dissipativi, come problema-prototipo per comprendere fenomeni più complessi;
- i diagrammi di irraggiamento di sorgenti sismiche nei pozzi di perforazione;
- modelli semplificati per le rocce dei giacimenti di idrocarburi;
- l'influenza dell'anisotropia e dell'attenuazione sui tempi d'arrivo e l'ampiezza delle onde sismiche;
- le condizioni al contorno ed i coefficienti di riflessione alle interfacce tra mezzi porosi;
- la trasmissione di vibrazioni torsionali attraverso le aste di perforazione.

Il problema della propagazione delle onde attraverso una singola frattura (limitata o illimitata), riempita di fluido, è stato risolto con la decomposizione dei domini, ed un'analisi teorica e modellistica AVO (Variazione dell'Ampiezza con l'Offset) è servita per l'identificazione della roccia-serbatoio degli idrocarburi. Per ridurre i tempi di calcolo delle simulazioni numeriche in 3D, è stata investigata la possibilità di usare supercomputer massivamente paralleli. In particolare è stato sviluppato un codice di calcolo basato su un efficiente algoritmo parallelo e sulla teoria degli elementi spettrali.

Strumenti analitici (raggi di Fresnel) e modellazioni numeriche con il metodo degli elementi spettrali hanno evidenziato in che modo la limitazione della larghezza di banda influisce sulla risoluzione degli esperimenti tomografici:

1. l'estensione spaziale delle strutture ricostruibili in modo affidabile in base ai tempi di arrivo è pari alla larghezza dei raggi di Fresnel (inversamente proporzionale alla radice quadrata della larghezza di banda) e risulta notevolmente maggiore della lunghezza d'onda minima dei segnali;
2. l'informazione fornita dai soli tempi di arrivo è incompleta (in quanto, pur campionando il raggio di Fresnel, essi sono poco sensibili alle proprietà del mezzo lungo il raggio matematico) ed è perciò indispensabile tenere conto dell'ampiezza al fine di migliorare la risoluzione dell'inversione.

b. Simulazione del georadar applicata all'archeologia e all'ingegneria

Le analogie tra la propagazione delle onde elettromagnetiche e sismiche permette di applicare le tecniche di acquisizione ed elaborazione dei segnali anche ai segnali elettromagnetici, emessi dai georadar. In particolare, la modellistica diretta dei mezzi eterogenei è essenziale per convalidare le interpretazioni geologiche. La ricerca si è basata sull'uso di algoritmi di modellistica sismica e sull'applicazione di analogie fisiche tra propagazione acustica ed elettromagnetica. Le equazioni di Maxwell sono state generalizzate per descrivere l'anisotropia, processi di rilassamento dielettrico, e correnti di conduzione sfasate (deviazioni dalla legge di Ohm). La soluzione numerica per mezzi eterogenei arbitrari è stata ottenuta usando il metodo di Fourier ed un algoritmo di tipo "time-splitting" per ovviare alla "stiffness" delle equazioni differenziali. Inoltre, una nuova tecnica di irraggiamento simula il diagramma di irraggiamento dell'antenna emittente. La modellistica è applicata al calcolo della risposta elettromagnetica di oggetti e strutture archeologiche, tubature interrate, cavità sotto le strade e la presenza di contaminanti liquidi in un aquifero sabbioso.

c. Progetto "Catania": modelli numerici per la simulazione di scenari di scuotimento

Modelli numerici 2-D della propagazione di onde sismiche hanno fornito un importante contributo all'analisi e alla stima dello scuotimento nel Comune di Catania. Questi modelli risolvono l'equazione completa delle onde, e tengono conto della effettiva superficie topografica e delle eterogeneità laterali presenti nella struttura. Il calcolo dei campi d'onda sintetici si è basato su dati relativi a tre transetti che attraversano il Comune di Catania secondo diverse orientazioni. I risultati evidenziano il forte effetto di amplificazione dei valori di ampiezza, e l'allungamento della durata dei sismogrammi, soprattutto sulla Piana di Catania, per effetto della forma e dello spessore dello strato di sedimenti. La distribuzione dei valori di accelerazioni di picco risulta consistente con le stime attese, e fornisce variazioni locali non valutabili con altri metodi.

4. Tomografia sismica

a. Sviluppo di nuovi algoritmi per l'inversione tomografica

La tomografia sismica è molto importante per la ricerca scientifica ed industriale. Ciò dopo i successi nell'applicazione sperimentale, sia nella sismica d'esplorazione che nella produzione petrolifera: le immagini tri-dimensionali ottenute dalla migrazione pre-stack in profondità risultano più nitide ed attendibili di quelle prodotte da metodi convenzionali. Risultati sono stati ottenuti anche all'OGS su dati del Mare del Nord forniti dalla compagnia Norsk Hydro, in collaborazione con la compagnia anglo-francese ELF UK.

Durante il 1996 sono stati sviluppati metodi per l'inversione tomografica congiunta di onde riflesse, rifratte e trasmesse in 3D con griglie irregolari. Si è definito un algoritmo per la ricerca automatica della griglia ottimale, fissati che siano le posizioni di sorgenti e ricevitori e, quindi, le traiettorie di raggi associati alle onde sismiche. Tali traiettorie dipendono anche dalle velocità di propagazione delle onde, ovvero dalla grandezza fisica che si vuol risolvere: occorre quindi seguire un metodo iterativo, migliorando progressivamente la stima del campo di velocità ed usando i nuovi raggi per affinare il campo di velocità. Il metodo introdotto è basato sui poligoni di Voronoi. Esso consente di aumentare o diminuire la risoluzione in base all'attendibilità locale della stima ed ai contrasti locali di velocità: in tal modo, la risoluzione viene aumentata dove serve (presso le anomalie del sottosuolo), purché vi sia una copertura adeguata dei raggi d'onda. Essendo la procedura automatica, essa è veloce e poco influenzata da elementi soggettivi, non supportati dalle misure sperimentali.

b. Sviluppo di software avanzato per l'inversione tomografica.

Ogni nuovo metodo di elaborazione sismica deve poter essere applicato su scala industriale, per poter ottenere un riscontro presso le compagnie geofisiche e petrolifere. Ciò diviene possibile se il *software* viene sviluppato in modo efficiente (da un punto di vista dei tempi di calcolo) ed "amichevole" (dal punto di vista dell'utente). Entrambi gli aspetti sono stati curati durante il 1996 dal gruppo REDS, con particolare riferimento ai prototipi sviluppati negli ultimi anni per l'interpretazione e l'inversione tomografica dei tempi d'arrivo. L'efficienza, l'affidabilità e portabilità dei codici stessi è stato uno degli obiettivi di un progetto per la Comunità Europea, nell'ambito del Programma ESPRIT (sotto-programma ESSI), in collaborazione con il TNO (Olanda) e NAG (Regno Unito). Per quanto riguarda il tempo di calcolo, sono state sviluppate alcune versioni parallele dei codici per il tracciamento di raggi e l'inversione tomografica con protocollo PVM in un *cluster* di *workstations*. La riduzione dei tempi è stata quasi lineare al crescere del numero dei processori usati. Ciò accade per la natura intrinsecamente parallela della tomografia, ove molti raggi possono essere tracciati contemporaneamente, in modo indipendente l'uno dall'altro. È stata predisposta un'interfaccia grafica per l'utente basata sul protocollo TCK/TK. In questo modo, l'interazione tra le varie componenti del pacchetto di programmi per la modellazione ed inversione tomografica è guidata da menù attivati con il *mouse e* aiuto in linea per i comandi e parametri. In finestre grafiche si può seguire il tracciamento dei raggi ed i risultati intermedi dell'inversione tomografica. Il software sviluppato è stato installato presso la Norsk Hydro, l'Università di Atene, la compagnia geofisica mineraria inglese IMC e l'istituto di ricerca tedesco DMT.

5. Ricerche in Antartide.

Un gruppo operativo è creato per la gestione e l'esercizio della n/r OGS-EXPLORA, la più grande struttura di ricerca dell'Ente ed entità rilevante nel panorama della ricerca nazionale. La nave è stata prevalentemente attrezzata ed impiegata per ricerche in Antartide. Queste hanno permesso anche la partecipazione, durante il 1996, a manifestazioni divulgative dell'attività svolta dall'Italia in Antartide insieme all'ENEA. Molto tempo è stato anche dedicato alla progettazione, organizzazione e messa a punto di tutti i progetti della campagne 1997, compresa la strumentazione a bordo della nave, la quale, durante la primavera, è stata utilizzata per uno studio sugli effetti ambientali dell' airgun, coordinata dal CEOM di Palermo e IRPEM del CNR di Ancona.

a. Trasporto di sedimenti nell'offshore antartico.

È stato completato il "processing" di 1340 km di linee sismiche multicanale acquisite nel 1995. Inoltre è stata eseguita l'analisi di velocità tomografica su 5 segmenti della linea I95-152 in corrispondenza di 5 pozzi proposti per la perforazione ODP. Tutti i dati sono stati inoltrati all'ODP Site Survey Panel. Sono state eseguite le analisi previste sulle 9 carote prelevate nel 1995 (Carbonio Organico e Carbonati (61 campioni), raggi X (5 carote), minerali argillosi (60 campioni). Parte del materiale è stato utilizzato con i dati granulometrici, chimici e micropaleontologici ottenuti presso il Britsh Antarctic Survey per l'interpretazione dell'ambiente di sedimentazione. Sono state recuperate dalla *RRS/Bransfield* (British Antarctic Survey) le due stazioni correntometriche deposte al fondo nel 1996. I dati di 10 mesi di osservazioni di corrente e temperatura sono stati elaborati. È stata ultimata una carta batimetrica regionale del Margine Pacifico della Penisola Antartica utilizzando la banca dati ANTOSTRAT e i dati NOOA. È stata eseguita una analisi morfologica dell'intero margine.

b. "Bottom Simulating Reflectors" sul margine delle Isole Shetland Meridionali.

È stata completata l'analisi tomografica delle velocità sismiche su due sezioni del margine Shetland Meridionale (IT90-43 e 44). È stato inoltre sviluppato un software per il "picking automatico" dei riflettori su raggruppamenti "common trace" e "common shot" e un metodo per la stima della velocità teorica in sezioni sedimentarie utilizzando un'equazione per velocità di onde compressionali in mezzi porosi. Le anomalie di velocità ottenute per differenza tra il profilo di velocità teorico e il profilo di velocità ottenuto da analisi tomografica o da "logging" di pozzo, sono interpretabili come percentuale di gas libero e gas idrato all'interno del sedimento. Il metodo è stato applicato ai dati sismici del Margine delle Schetland Meridionali e ai dati di pozzo dell'ODP Leg 164 (Gas Hydrates). È stata stabilita una collaborazione con l'Università di Milano che ha prodotto un'analisi AVO su 30 CDP della linea I95-168.

c. Margine del Cile Meridionale e della Penisola Antartica

Nel corso del 1996 sono stati elaborati i dati sismici (con tecniche avanzate per il DMO e la rimozione delle multiple) e gravimetrici registrati nel corso della campagna 1994/95 lungo il margine del Cile Meridionale a sud dello stretto di Magellano ed è stato elaborato, presentato ed approvato il programma per la campagna 1996/97 nella medesima area.

L'assetto attuale del margine è la conseguenza della collisione tra la dorsale e la fossa cilena, avvenuta tra i 10 ed i 14 ma fa, che ha determinato una generale riorganizzazione dei movimenti tra le placche ed ha portato la Placca Antartica in subduzione sotto la Placca di Scotia. I nuovi dati geofisici (sismica e gravimetria) registrati nel corso della campagna 1995 dell'OGS/Explora hanno

permesso di riconoscere tre domini: la placca Antartica, a crosta oceanica; il complesso di subduzione, formato da un prisma di accrezione relativamente poco sviluppato e da un ben marcato bacino di avant' arco; il backstop che corrisponde alla scarpata continentale. Le caratteristiche del complesso di subduzione, come ad esempio la vergenza strutturale, l'ampiezza e la pendenza del prisma, l'ampiezza e le deformazioni nel bacino di avant'arco, sono molto variabili lungo il margine. Pendenze del prisma relativamente elevate corrispondono ad una scarsa ampiezza del prisma stesso e sono associate a strutture vergenti solo verso l'esterno. Pendenze basse invece si rilevano nelle aree in cui il prisma e più ampio, con deformazioni vergenti sia verso l'esterno che verso l'interno. Si ritiene che queste differenze siano dovute a: variazioni nello spessore dei sedimenti presenti sulla placca in subduzione; presenza di fluidi in sovrapressione (si nota un "bottom simulating reflector" straordinariamente continuo nell' area dove sono presenti strutture vergenti verso terra); presenza di faglie trascorrenti sinistre con direzione circa est/ovest che dislocano l'intero settore a sud di Magellano.

d. Placca di Scotia

Nell'arco del 1996 è stata completata l'elaborazione delle linee sismiche acquisite durante la campagna 1995/96 nel Bacino di Powell (Antartide). L'elaborazione è stata indirizzata principalmente alla definizione del basamento acustico e delle strutture profonde del bacino prevedendo la migrazione su tutte le linee. L'interpretazione degli oltre oltre 6000 km di dati sismici multicanale, magnetici, gravimetrici e batimetrici (acquisiti dalla OGS Explora nel corso di tre campagne geofisiche), ha permesso di tracciare i principali lineamenti morfologici, strutturali e tettonici del bacino. L'analisi dei dati ha evidenziato una profonda differenza di assetto strutturale fra i settori settentrionali e meridionali. Il settore settentrionale presenta caratteristiche tipiche di dominio oceanico, mentre nella parte meridionale si evidenziano strutture associabili a bacini di "rift" transizionale. La fase interpretativa è stata spinta sino alla formulazione di un quadro di sviluppo tettonico dell'area effettuata integrando tutti i dati disponibili e di ricostruire l'evoluzione tettonica del Bacino di Powell e delle strutture continentali che lo circondano a partire dall'Eocene.

e. Sismologia a larga banda in Arco di Scotia.

È proseguito il lavoro iniziato nel 1991 per la realizzazione, con finanziamenti del PNRA, ed in collaborazione con l'Istituto Antartico Argentino (IAA), di una Rete Sismometrica a larga banda nella regione dell'Arco di Scotia. All'inizio del 1996 è stata messa in funzione la stazione di Ushuaia. I dati delle due stazioni sinora operative (Ushuaia ed Esperanza) sono stati elaborati congiuntamente. Nell'attività di ricerca, condotta in collaborazione con il DST dell'Università di Trieste, si sono usate anche le registrazioni delle stazioni Palmer (USA, Penisola Antartica) e Isole Falkland ove, nel quadro delle collaborazioni tra BAS (Inghilterra) ed IRIS (USA), è stata recentemente messa in funzione una nuova stazione. La realizzazione della terza stazione coronerà la collaborazione con l'IAA per lo sviluppo delle Rete sismometrica dell'Arco di Scotia. Grazie anche al lavoro dell'OGS e dell'IAA, oggi sono operative nella regione 7 stazioni digitali a larga banda di cui 3 sono italo-argentine. La rete a larga banda è sempre stata caldeggiata dallo SCAR (Sci. Committee for Antarctic Res.).

6. Prospezioni sismiche ad alta risoluzione per le miniere di sale.

Nel 1996 si è conclusa l'elaborazione e la fase interpretativa del rilievo sismico 3D ad alta risoluzione eseguito nell'ambito del progetto CEE denominato HIRES-SESOM. L'obiettivo è lo studio della subsidenza indotta per aumentare la sicurezza nella coltivazione di miniere di sale mediante l'impiego di sismica ad alta risoluzione. Gli obiettivi della fase interpretativa erano quelli di definire la presenza del banco salino ed al contempo di verificare la presenza di strutture tettoniche e di cavità nel giacimento. Il rilievo è il primo rilievo 3D acquisito ed elaborato dall'OGS ed è stato condotto nell'area meridionale della miniera di sale di Belvedere Spinello ed era stato preceduto da linee 2D ad alta risoluzione che hanno interessato l'intera estensione della coltivazione. Complessivamente 9 linee 2D per un totale di 9 km di lunghezza sono state acquisite sia nell'area Nord della miniera (dove la coltivazione, basata su metodologia di coltivazione mediante pozzi multipli, è stata sospesa) che nell'area sud (dove la coltivazione procede con metodo a singolo pozzo). La fase 2D ha fornito l'immagine delle strutture geologiche presenti fra i 200 ed i 600 metri, permettendo una preselezione dei parametri di acquisizione e dell'area su cui è stato effettuato il rilievo 3D. La verifica delle cavità ha richiesto una fase aggiuntiva di modelling (mediante un programma di simulazione ad elementi spettrali) per lo studio il comportamento dei vuoti dovuti alla coltivazione. I parametri acustici, quali velocità delle onde sismiche e densità, e la forma delle cavità sono stati derivati dalle misure effettuate nei pozzi di coltivazione. Gli obbiettivi raggiunti sono stati: costruzione di un modello geologico 3D della miniera; verifica dell'assetto strutturale sia dell'area del 3D che del 2D; sviluppo e verifica di una metodologia interpretativa che permette di evidenziare in una sezione sismica 2D e 3D la presenza di una cavità all'interno del banco salino.

7. Progetto "SINBUS": golfo di Gela e di Paola.

Il progetto, finanziato dalla Unione Europea (Thermie) si propone di ingegnerizzare un prototipo di sorgente con cannoni ad aria, sincronizzati sul primo impulso di bolla unico modo con cui si può incrementare ampiamente l'energia emessa dal sistema, soprattutto verso le basse frequenze, e quindi miglirare la penetrazione senza per questo perdere in risoluzione. L'OGS ha collaborato in precedenza con l'Università di Trieste (DINMA) nei particolari aspetti della messa a punto dell'acquisizione con la nave OGS-EXPLORA ed anche nella speciale elaborazione richiesta da questii dati ottenendo sorprendenti risultati per lo studio della crosta terrestre (progetto Etnaseis). Nel corso del 1995 sono poi stati acquisiti dati secondo gli attuali parametri industriali standard in un'area di margine attivo (Golfo di Paola). Essi sono stati elaborati nel 1996 (600 km) e sono stati acquisiti altri 700 km circa nel Golfo di Gela e contemporaneamente, nelle due aree, si è ripetuta l'acquisizione di linee sismiche con il metodo SINBUS per effettuare i confronti ed ottenere la validazione dei risultati da una compagnia petrolifera (AGIP, che comparticipa anche ai costi dell'esperimento). La sorgente così resa operativa sulla OGS-EXPLORA è stata predisposta anche per ricerche in Antartide per sismica a riflessione e rifrazione mediante OBS e stazioni mobili a terra per i collegamenti terra-mare attraverso la penisola antartica (progetto TENAP).

B. DIPARTIMENTO DI OCEANOLOGIA E GEOFISICA AMBIENTALE.

INTRODUZIONE

Gli obiettivi scientifici che il Dipartimento OGA ha perseguito nel 1996, possono essere riassunti nei punti seguenti:

- consolidamento delle attivit à di oceanografia, sia sperimentale che modellistica, nell'ambito dei grandi progetti promossi dalla CEE e dalla comunit à scientifica nazionale;
- applicazione di metodologie innovative di acquisizione dati sia oceanografici che ambientali al fine di porre le premesse per incrementare la partecipazione dell'OGS in attivit à ad alto contenuto tecnologico e con forti ricadute ambientali;
- rafforzamento della posizione dell'Ente a livello nazionale ed internazionale come polo di aggregazione per la formazione di giovani ricercatori e per la promozione delle ricerche oceanografiche.

Le attivit à di maggior rilievo sono di seguito evidenziate per settori disciplinari al fine di rendere pi ù agevole la lettura del documento.

1. Ricerche di Oceanografia Fisica.

a. Progetto PRISMA, fase 1 (CNR).

Durante la campagna oceanografica nell'ambito di questo progetto sono stati raccolti, dalla nave THETIS, dati di corrente lungo tutto l'Adriatico per mezzo di un profilatore ad effetto Doppler (ADCP) montato sulla chiglia della nave. La raccolta dati, iniziata nel maggio 1995, è terminata nel febbraio 1996. I dati contengono i profili verticali di una lunghezza complessiva di 20.000 km, pari ad un numero totale di 270 "files" raccolti in ripetizioni multiple nei transetti previsti dal progetto. In parallelo sono state eseguite le misure della temperatura e salinità' su un numero totale di circa 300 stazioni. I dati sulle correnti sono stati corretti per gli errori dovuti all' incertezza del posizionamento della nave e della determinazione della rotta. Successivamente, é stato sviluppato il programma per l'eliminazione del segnale della marea dai dati ADCP secondo il metodo di Candela. Tutti i dati sono stati suddivisi in due stagioni: estiva ed invernale ed é stata fatta un''analisi separata. La stratificazione presente nel periodo estivo influenza le caratteristiche della marea e la struttura verticale del campo delle correnti residue. Nella stagione estiva, infatti, le caratteristiche delle correnti di marea variano con la profondità, mentre nella stagione invernale, verticalmente omogenea, vi è una pressocch è uniforme distribuzione di dette caratteristiche lungo tutta la colonna d'acqua. L'analisi delle correnti residue lungo i transetti ha dimostrato per la prima volta, grazie alla risoluzione orizzontale di qualche centinaio di metri, l'esistenza dei vortici a mesoscala con le dimensioni fino a una decina di chilometri. Questi vortici, durante la stagione stratificata, sono caratterizzati dallo "shear" verticale, mentre durante l'inverno interessano ugualmente tutta la colonna d'acqua. Nei transetti lungo la costa italiana è stato notato un chiaro segnale dovuto all'apporto dell'acqua dolce dal Po. In particolare, é stato notato un rafforzamento della corrente costiera negli episodi di forte aumento degli apporti fluviali. La corrente costiera cosi' provocata mostra di possedere scale spaziali di una decina di chilometri ed è fluttuante in funzione della variabilità della portata del Po. Questi risultati hanno permesso di caratterizzare al meglio la variabilit à stagionale della circolazione dell'Adriatico e costituiscono un patrimonio di dati essenziali alla comprensione degli scambi tra i vari sottobacini dell'Adriatico.

b. Progetto OTRANTO (CEE-MAST).

Dopo la conclusione della fase sperimentale è stata fatta un'analisi dettagliata dei dati acquisiti. Le analisi hanno dimostrato che il deflusso dell'acqua Adriatica profonda non è continuo, ma dimostra una variabilità temporale su una scala di una decina di giorni. Queste variazioni coincidono con le oscillazioni barotropiche lungo la costa italiana. Un possibile forzante è la differenza del livello del mare tr à l'Adriatico e lo Ionio. Sono stati calcolati inoltre, i trasporti della massa dell'acqua, del materiale particellato e disciolto su una scala annuale. Il flusso dell'acqua annuo medio è pari a un milione dei metri cubi al secondo, valore tre volte superiore rispetto alle stime precedenti riportate in letteratura. Partendo da queste stime dei flussi dell'acqua, sono state calcolate le quantità del materiale sospeso e disciolto scambiato attraverso lo stretto. I risultati dimostrano che in media l'Adriatico esporta nutrienti ed importa materiale sospeso dallo Ionio. Questo risultato è estremamente importante per la comprensione dei meccanismi di produttivit à primaria sia in Adriatico che nel Mediterraneo orientale.

c. Progetto PRISMA, fase 2 (CNR).

In luglio 1996 è iniziata la fase sperimentale del progetto che ha come obiettivo lo studio delle caratteristiche del fronte costiero generato dal flusso dell'acqua dolce proveniente dal Po. Le misure svolte sono state fatte su un grigliato di stazioni ad alta risoluzione. Le misure nella stessa zona sono state ripetute quattro volte in un periodo di due mesi per seguire lo sviluppo temporale del sistema frontale costiero. Il gradiente orizzontale nella zona frontale dimostra una variabilità direttamente provocata dagli impulsi della portata del Po ed è ovviamente legata anche alla intensità della corrente costiera come si è notato anche dalle misure fatte dal profilatore verticale nell'ambito del progetto PRISMA 1. Si è notato anche che forti e brevi impulsi di apporti dell'acqua dolce dal Po lasciano un segnale nel mare aperto sotto forma di "lenti" d'acqua meno salata (zone di acqua dolce delle dimensione di una decina di chilometri) che persistono per un periodo più lungo di una settimana dopo l'impulso. Le misure di temperatura e salinit à sono state fatte in alcune stazioni contemporaneamente al campionamento dei parametri biologici, sedimentologici e chimici per caratterizzare il sistema frontale dal punto di vista della produttività biologica.

Queste ricerche si integrano perfettamente tra di loro e forniscono un quadro esaustivo dei fenomeni fisici e bio-geochimici che hanno luogo nell'Adriatico e nel Mediterraneo Orientale. Inoltre, tali attivit à hanno visto l'impiego di strumentazione d'avanguardia e hanno permesso di raccogliere una quantit à di dati che non ha riscontro in precedenza. Va anche detto che il gruppo di oceanografia del DOGA partecipa ai programmi europei sulle banche dati oceanografiche. Tale attivit à pone l'OGS come struttura di riferimento non solo a livello nazionale ma anche a livello europeo.

2. Attività nel campo della modellistica oceanografica.

Il gruppo ' Ecology and Computational Hydrodynamics in Oceanography' (ECHO) afferente al Dipartimento, ha articolato la sua attivit à in base ai contratti di ricerca in essere ed a quelli in via di preparazione. Nello specifico i principali filoni di ricerca si possono identificare nello studio dei cicli biogeochimici del Mediterraneo attraverso la modellazione numerica, lo studio delle reti alimentari specifiche del sistema frontale dell'Alto Adriatico, e la messa a punto di metodiche innovative nel campo della tomografia acustica marina.

a. Cicli biogeochimici nel Mediterraneo.

Lo studio dei flussi trofici e delle sue implicazioni sulla risposta dell'ecosistema mediterraneo è stato sviluppato attraverso un'analisi dei risultati modellistici raggiunti nell'ambito del progetto CEE MTP-I MERMAIDS II e continuati nel progetto CEE MATER (1996). Da una modellizzazione a larga scala, sia temporale che spaziale, i risultati sottolineano l'importanza che le componenti advettive e diffusive hanno per tutti i fenomeni biologici i cui tempi caratteristici sono dello stesso ordine di quello della circolazione generale del bacino e dei suoi principali sottobacini. Lo sforzo modellistico tridimensionale è quindi un presupposto indispensabile per poter affrontare fasi pluriannuali in cui la presenza di un ciclo stagionale ripetitivo garantisca una sufficiente stabilit à del modello ed indipendenza dalle condizioni iniziali. Questi risultati rappresentano gi à un primo passo verso la comprensione delle processi di formazione, trasformazione e trasporto dell'energia biogeochimica, ma il principale risultato è che la dinamica del circolazione nella sua parte pi ù superficiale contribuisce a creare il noto gradiente trofico est-ovest e sud-nord in Mediterraneo.

L'azione combinata dei forzanti termoalini, del rotore dello stress del vento e della componente inerziale in combinazione con gli effetti topografici, determina strutture dinamiche che inducono variazioni del livello del nutriclino, che su base climatologica risente dell'input di vorticit à negativa nella parte settentrionale e di quello di vorticita positiva nella parte meridionale. A questo si aggiunge che, in entrambi i sottobacini, i venti prevalenti creano aree di Ekman suction nelle areee pi ù settentrionali intensificando ancor pi ù lo sbilanciamento della distribuzione dei nutrienti. Per quanto riguarda il pi ù noto gradiente trofico zonale, gli esperimenti numerici tendono a prefigurare uno scenario che si articola in tre sottobacini ognuno dei quali ha caratteristiche peculiari che pero' influenzano le aree pi ù vicine. In particolare la prima suddivisione che i risultati modellistici suggeriscono è tra il bacino orientale e quello occidentale, ma il mar d'Alboran a sua volta dimostra caratteristiche del tutto particolari.

I modelli riproducono abbastanza fedelmente l'oligotrofia del bacino orientale, essenzialmente tenendo conto che nel bacino stesso non avvengono fenomeni di formazione di acqua profonda, se non in maniera episodica, e che, data la sua oligotrofia, la presenza di un massimo di clorofilla è riscontrabile ad alta profondita (90-120m). Cio' implica che, a parte gli upwellings costieri, gli apporti di energia turbolenta per erodere il nutriclino e provocare un entrainment di acqua pi ù densa e pi ù ricca di nutrienti devono essere estremamente energetico e spesso collegato a fenomeni di precondizionamento per che possa accadere. Nel bacino occidentale, invece, la formazione di acqua profonda è praticamente presente ogni anno ed apporta un notevole contributo di nutrienti nella zona superficiale. Inoltre il nutriclino nel Mediterraneo Occidentale è pi ù superficiale ed il mixing invernale provoca un apporto di nutrienti nella zona produttiva gi à alla fine dell'inverno dando luogo ad un bloom tardo invernale.

In entrambi i bacini la luce non si rivela essere mai un limitante nelle acque superficiali, ma contribuisce in maniera determinante al progressivo sprofondamento della zona di compensazione (zona in cui la fotosintesi e maggiore o uguale alla respirazione). Questo sprofondamento è associato con la disponibilità di nutrienti, ma la minore intensità luminosa e, parzialmente, la minore temperatura, riducono le capacita metaboliche degli autotrofi, permettendo la permanenza di un massimo sottosuperficiale di biomassa anche nel periodo estivo ed autunnale quando la attività biologica superficiale ha già consumato gran parte delle risorse rese disponibili in inverno dai movimenti verticali. Nel bacino orientale, però, sopravvivono comunità *autarchiche* altamente dinamiche basate sul ciclo dell'ammoniaca e legate all'attività batterica (microbial loop) che sono insensibili agli apporti dei nutrienti inorganici. Il modello trofico è stato disegnato in modo da rappresentare un compromesso tra il ciclo trofico classico ed il microbial loop: i risultati sono stati analizzati e controllati con le immagini di clorofilla superficiale provenienti dal Coastal Zone Color Scanner su tutto il Mediterraneo nei diversi periodi dell'anno climatologico. I confronti hanno dato

risultati estremamente confortanti sia qualitativamente che quantitativamente, in particolare nel Mediterraneo Occidentale (dove il segnale è più forte ed il rumore di fondo è quindi meno importante). Questo fatto ha permesso di sottolineare come nel Mediterraneo, mare semichiuso, gli apporti costieri NON determinano in maniera significativa il regime trofico delle aree pelagiche ed i fiumi e gli apporti esterni contribuiscono solo marginalmente a determinare le condizioni trofiche regionali, ad eccezione dei mari regionali (Egeo, Adriatico ed Alboran). Su questo progetto si sono attivate collaborazioni nazionali (CNR-IMGA, CNR-ITT) ed internazionali (Plymouth Marine Labs, Danish Hydraulic Institute, Università di Perpignan, etc.) per l'ulteriore sviluppo dei modelli.

b. Studio delle reti alimentari specifiche del sistema frontale dell'Alto Adriatico.

Nell'ambito del programma nazionale PRISMA II, il gruppo ECHO ha rivolto i suoi interessi allo studio della dinamica dell'ecosistema dell'Alto Adriatico in condizione di alta variabilità trofica e dinamica causata dalla presenza del sistema frontale indotto dal pennacchio fluviale del Po. In attesa dei "data sets" in via di acquisizione nel programma stesso, si è iniziato lo studio ed il recupero dei dati storici nelle aree studiate per integrare la conoscenza della variabilità e delle caratteristiche dei gruppi funzionali in esame.

c. Tomografia acustica marina.

Lo scopo è quello di definire teoricamente le caratteristiche del trattamento del segnale per ricostruire i campi di densità e possibilmente di velocità attraverso un'inversione tomografica. La parte innovativa risiede nell'uso di un approccio modale (piuttosto che partire dal modello a raggi) più adatto ad investigare la propagazione di onde acustiche nelle guide d'onda. La tecnica di inversione proposta è simile alla Matched Field Tomography (MFT), che si basa su una elaborazione del segnale legata alla coerenza spaziale di fase. Questa tecnica era stata usata solo in campo di segnali continui o segnali impulsivi a larga banda. L'innovazione alla tecnica MFT apportata è l'estensione delle caratteristiche del segnale energizzante anche a sorgenti a larga banda, stocastiche e quasi stazionarie. L'estensione ha permesso di riformulare la teoria della MTF anche per sorgenti di opportunità come navi che passino nell'area in indagine (raggio attivo dell'ordine di dieci chilometri), in teoria anche senza sapere la loro posizione (sorgenti non cooperative), dando luogo alla tomografia acustica passiva. Questa attività è stata sviluppata di concerto con altri partner italiani (Dune) e stranieri (Thompson, Universita dell'Algarve).

3. Attività nel campo della protezione dell'ambiente.

a. Studio idrologico in sinistra Tagliamento (Regione F.V.G.).

Nel 1996 è stato portato a compimento uno studio idrologico per la determinazione delle scale delle portate nei corsi d'acqua in sinistra Tagliamento nell'ambito del programma SINA (Sistema Informativo Nazionale Ambiente). L'incarico, commissionato dalla Direzione Regionale dell'Ambiente, Convenzione N.612, prevedeva l'esecuzione di misure di portata da eseguirsi su 8 corsi d'acqua e 9 sezioni, per un totale di 54 determinazioni distinte e misure prettamente oceanografiche da esegursi alla foce dell'Isonzo. Queste ultime prevedevano l'installazione di un ancoraggio correntometrico-mareografico per un trimestre estivo ed uno invernale al fine di studiare i meccanismi che caratterizzano lo scarico delle acque del fiume in mare al variare del regime e delle condizioni ambientali nell'estuario. Al fine di comprendere i fenomeni di stratificazione e rimescolamento delle acque dolci e marine sono stati studiati alcuni parametri fisici fondamentali

quali la temperatura e la salinità sia mediante profilatore verticale CTD sia con l' utilizzo di sensori a quota fissa installati nella strumentazione ancorata.

b. Studio in Comune di Barcis (PN) (Regione FVG).

Lo studio ha interessato la zona est e nord-est dell'abitato ed ai relativi versanti che appaiano soggetti a fenomeni deformativi, al rischio di caduta massi ed alla mobilizzazione di accumuli localizzati detritici e materiale sciolto. La prosecuzione ed estensione dello studio di durata biennale ha previsto i seguenti punti qualificanti:

- ritrivellazione di 5 pozzi in posizione attigua alle pre-esistenti installazioni ora inutilizzabili per la corrosione dei tubi in alluminio e installazione di tubi inclinometrici da 60 mm in ABS;
- trivellazione a carotaggio continuo di un pozzo inclinometrico e piezometrico nella postazione denominata BL6, in località Case Ribe, per estendere l'area sottoposta a controllo. La postazione è stata strumentata con un registratore automatico del livello della falda e con pluviometro e termometro aria.

La postazione BL4, ritenuta la più significativa, considerata la posizione centrale rispetto all'abitato, è stata munita con 5 inclinometri fissi servoaccelerometrici biassiali collegati al sistema di acquisizione in registrazione locale che precedentemente acquisiva unicamente il livello della falda (installato dal novembre del '94). Inoltre è stata fornita di un sensore di temperatura dell'acqua del pozzo, calato alla stessa profondità del piezometro. Il rilievo aerofotogrammetrico è stato esteso ad una fascia comprendente la chiesa di S. Francesco e Case Ribe, fino al margine orientale del lago e fino ad una quota comprensiva di quella massima delle possibili zone di crollo, per un'area di circa 150 ettari, ed è già disponibile la restituzione digitale 1:1000, dalla quale sono stati ricavati i profili topografici. Un rilievo topografico ha completata la base cartografica precisa e dettagliata per il rilevamento geologico. Per disporre di registrazioni di alcuni parametri meteorologici fondamentali è stata attivata una stazione termo-pluviometrica autoregistrante in postazione BL6.

L'indagine sul rischio di caduta massi e il monitoraggio di movimenti del terreno nella zona di Barcis è stata completata con uno studio sismologico. Particolare attenzione è stata posta alle sequenze sismiche di Claut e ai possibili effetti sulla stabilità della zona di Barcis.

c. Studio in Comune di Tolmezzo - fraz. di Cazzaso (UD - Regione F.V.G.).

L'incarico, affidato dalla Direzione Regionale dell'Ambiente in prosecuzione di altri due precedenti, ha visto nel '96 il consolidamento dello stato delle conoscenze raggiunte. È stata svolta un'indagine approfondita sugli aspetti strutturali dell'area dissestata, per una maggiore comprensione dei meccanismi che regolano i processi franosi del ripiano di Cazzaso al fine di delimitare gli insediamenti abitativi. In particolare sono stati misurati:

- spostamenti delle coperture detritiche mediante sonde inclinometriche fisse in 3 postazioni (CL3, CL4 e CL1) per un totale di 15 inclinometri fissi biassiali;
- livello di falda in continuo nelle tre postazioni (CL3, CL4 e CL1);
- profili inclinometrici con sonda mobile, ad intervalli medi mensili, con un minimo di 18 cicli di misura, nelle postazioni libere da strumenti fissi (CL2, CL5, CL6, CL7, CL8 e CL9). Nelle stesse postazioni sarà rilevato il livello piezometrico con sondino manuale;
- parametri meteorologici con registrazione in continuo e trasmissione in telemisura nella postazione CL3 (temperatura aria, umidità relativa, pioggia);

Il tutto è accompagnato dalla catalogazione degli eventi sismici, dai dati della rete telesismica dell'Italia Nord Orientale, per correlazioni con gli spostamenti del terreno rilevati dagli

inclinometri fissi. Le fratture di tensione in prossimità del corpo di frana sono state monitorate mediante fessurimetri a sbarra e a filo collegati ad un sistema di registrazione in locale.

4. Studio dei precursori sismici.

Nell'ambito dell'attività di ricerca per i Precursori Sismici sono studiati i precursori "sismologici" e i precursori "geochimici".

a. Precursori sismologici.

Dall'analisi degli eventi locali con epicentro in Friuli si è rivelata la presenza di Gap sismici del II tipo. Questi sono caratterizzati dall'assenza di sismicità con bassa energia nella regione focale prima di eventi più forti con possibile aumento della sismicità nell'area circostante. L'area di Gap coincide quasi sempre con l'area di aftershocks del terremoto che avverrà. In questo modo può essere possibile anche predire la futura area di aftershocks, che per terremoti forti può essere molto importante. Per tutti gli eventi più forti sono stati riscontrati periodi di Gap. Complesso il lavoro di ripulitura dei dati dagli eventi dipendenti e la scelta delle formule per la determinazione dell'area di Gap. Si è continuato a calcolare, per valutarne l'andamento nel tempo, il coefficiente b della legge: $\log N = a - bM$, che si è dimostrato un parametro valido per essere utilizzato come precursore sismico.

b. Precursori Geochimici.

Nel gennaio 1996 è stata installata una stazione di rilevamento di concentrazione di gas radon in suolo. Il radon tende a liberarsi dalle rocce disperdendosi in aria e in acqua dove ha buona solubilità. L'isotopo misurato, 222, ha un tempo di dimezzamento di 3,82 giorni e può essere trasportato a grandi distanze. Durante il processo di preparazione del terremoto si osservano fenomeni precursori. La spiegazione a tali fenomeni è stata data con la teoria della dilatanza. La misura delle variazioni nel tempo di concentrazione di gas radon in acqua o in suolo costituisce uno dei metodi per lo studio dei Precursori Sismici. La stazione di rilevamento è in località Cazzaso (Tolmezzo), a pochi km dall'area regionale sismicamente più attiva, e rientra nella zona di I Categoria secondo la Classificazione Sismica Regionale. La località è già oggetto di uno studio dell'OGS per il controllo del dissesto franoso. A tale scopo sono stati attrezzati alcuni pozzi con inclinometri, dove viene misurato, con campionamento orario, il livello piezometrico, e ancora, la pluviometria e la temperatura dell'aria, misure necessarie per lo studio della concentrazione del gas radon da correlare con valori di temperatura e di pressione e con i dati pluviometrici. Dal mese di gennaio 1996 il rilevatore di radon è rimasto in acquisizione senza interruzioni. L'andamento del radon è stagionale con valori di circa 2000 Bq/m3 nel periodo invernale e circa 7000 con picchi oltre i 15000 Bq/m3 nel periodo estivo.

C. DIPARTIMENTO "CENTRO DI RICERCHE SISMOLOGICHE" ED ALTRE ATTIVITÀ '96 NEL CAMPO DELLA SISMOLOGIA.

INTRODUZIONE

Le attività di seguito descritte sono state sviluppate nel DIPARTIMENTO "CENTRO DI RICERCHE SISMOLOGICE" con sede a Udine o ancora nell'ambito dei Dipartimenti "Oceanografia e Geofisica Ambientale" e "Geofisica della Litosfera". Sono state raccolte assieme in questo capitolo per dare omogeneità alla descrizione di tutta una serie di ricerche e progetti che trovano naturale finalizzazione ultima nella valutazione del rischio sismico. È proprio nella valutazione del rischio sismico che l'OGS ha trovato negli ultimi anni un preciso ruolo nel panorama degli enti di ricerca italiani con fattivi collegamenti col mondo della ricerca (C.N.R.) e con le amministrazioni pubbliche (Dipartimento per la Protezione Civile del Ministero degli Interni, Direzione per la Protezione Civile della Regione Friuli -Venezia Giulia).

I progetti e le ricerche sismologiche si dividono in due filoni generali: la raccolta dati strumentali ed il loro utilizzo al fine di conoscere la sismicità regionale delle Alpi Orientali; la modellazione della pericolosità sismica nazionale.

In questo panorama ricopre un ruolo importante la gestione della rete sismometrica del Friuli - Venezia Giulia e le attività di protezione civile associate.

1. La Stazione Sismografica di Trieste: attività in sismografia e in sismologia a larga banda.

La stazione sismografica di Trieste viene gestita dal Dipartimento "Geofisica della Litosfera" che nel 1996 ha completato i lavori per la messa in funzione della nuova stazione digitale, realizzata in collaborazione con il Dipartimento Scienze della Terra dell' Università di Trieste ed affiliata alla rete MedNet (Mediterranean Network). Le componenti principali delle nuove apparecchiature sono il sistema d'acquisizione Quanterra Q680/V a 24 bit ed i tre sensori Streckeisen (Z, N-S, E-W) STS-1/VBB che sono stati collocati al fondo della Grotta Gigante accanto alle apparecchiature analogiche della stazione WWSSN. Le apparecchiature comunicano con la superficie mediante una linea in fibra ottica, che permette il collegamento diretto con il sismografo a mezzo rete informatica, in modo che i segnali possono essere visualizzati e recuperati da una qualunque postazione remota dotata di collegamento Internet. I dati vengono utilizzati per la valutazione della sismicità vicina e vicinissima, con particolare riguardo a quella di basso livello che caratterizza le aree circostanti Trieste ed all'attività sismica delle delle Dinaridi settentrionali (Monte Nevoso, Fiume e Lubiana) che presentano particolare rilevanza per il rischio sismico dell'area triestina.

Nel corso dell'anno una rilevante parte dell'attività è stata incentrata sull'addestramento all'utilizzo di nuove procedure per l'analisi dei sismogrammi digitali da parte del personale incaricato delle operazioni routinarie di lettura e diffusione dei dati. Nel fare ciò sono stati tenuti in debita considerazione gli aspetti sociali che da sempre caratterizzano l'attività della stazione e che richiedono la disponibilità dei dati relativi a terremoti importanti, a carattere locale e regionale esteso, in tempi brevi dal verificarsi dell'evento e la pronta diffusione degli stessi. A ciò si provvede, sia nel quadro delle collaborazioni interne con il Dipartimento "Centro di Ricerche Sismologiche" dell'OGS, che per lo scambio di informazioni con altri Istituti di Ricerca italiani ed esteri, nonché con gli organi di informazione ed autorità, attraverso alert messages e bollettini inviati per posta elettronica.

2. La rete sismometrica del Friuli-Venezia Giulia.

Attorno alla rete sismometrica del Friuli-Venezia Giulia gestita dal Centro di Ricerche Sismologiche di Udine ruotano attività socialmente importanti: la sorveglianza sismica del territorio regionale e lo studio della sismicità per la caratterizzazione delle sorgenti sismiche. Queste attività sono svolte nell'ambito di una convenzione pluriennale sottoscritta nel 1996 con la Direzione Regionale per la Protezione Civile. Sono da tempo operativi opportuni collegamenti con tutti i principali istituti sismologici nelle regioni italiane e negli stati confinanti (Austria, Germania, Slovenia, Croazia) in modo da disporre dello scambio dati in tempo reale.

La rete sismometrica del Friuli-Venezia Giulia consta di 15 stazioni e copre un territorio di 5000 km^2. L'installazione è iniziata nel 1977, dopo il terremoto che devastò il Friuli. A questa rete si affiancano altri quattro sismografi ubicati nel Veneto orientale, i cui dati vengono acquisiti separatamente. Tutti i dati raccolti vengono elaborati in tempo reale, in modo da attivare un sistema di allarme automatico agli organi di protezione civile ed a quelli di informazione nel caso che il fenomeno sismico interessi il territorio regionale. Nel corso del 1996 si è messo a punto il sistema di localizzazione ed allarme sismico per fornire coordinate ipocentrali e magnitudo in modo da garantire un controllo continuo della sismicità nell'arco delle ventiquattro ore.

Durante il 1996 è stata seguita l'attività sismica regionale, non differenziata da quella degli anni precedenti, ma caratterizzata da una sequenza sismica iniziata nel gennaio e conclusasi nell'aprile nella zona di Claut: 13 aprile, magnitudo di 4,3 gradi Richter. Dei terremoti principali (magnitudo maggiore o uguale a 2,8 gradi) viene data pubblica notizia: 33 terremoti regionali nel 1996. A questi vanno aggiunti il sisma di Reggio Emilia del 15 ottobre che, data la sua rilevanza nazionale (magnitudo 5,0 gradi), ha motivato l'attenzione nello studio della sua evoluzione temporale anche dell'OGS e quello di Dubrovnik del 9 settembre con magnitudo 5,2.

a. Ricerche sulla sorgente sismica.

Le attività di ricerca basate sui dati raccolti dalla rete sismometrica consentono una più approfondita caratterizzazione delle aree sismogenetiche presenti nella regione al fine di stimare l'entità del moto atteso in una determinata area. Più precisamente le attività di ricerca hanno interessato i seguenti argomenti scientifici:

- relazioni tra assetto tettonico-strutturale della crosta e sismicità mediante inversione tomografica di terremoti locali per l'identificazione delle caratteristiche strutturali geometriche e geofisiche crostali; elaborazione ed inversione di meccanismi focali per la determinazione del campo di sforzo tettonico; evoluzione spaziale e temporale delle sequenze sismiche;
- studio dell'attenuazione mediante il fattore Q dall'analisi delle onde di coda del sismogramma; analisi ed inversione del segnale finalizzata all'elaborazione dello spettro sorgente e la determinazione dei parametri quali il momento sismico e lo stress drop, per la caratterizzazione delle zone sismogenetiche ed elaborazione di opportune leggi di scala tra deboli e forti terremoti;
- attività didattica per scuole e comunità della regione, allo scopo di educare la popolazione alla conoscenza e alla convivenza con il terremoto. Viene inoltre svolta un'attività di formazione presso i gruppi di Protezione Civile Comunale.

Fra i risultati conseguiti, l'inversione tomografica ha evidenziato marcate eterogeneità laterali e in profondità nella propagazione delle onde P nell'area maggiormente interessata dalla sismicità. In particolare è stata evidenziata una struttura a circa 7-8 km di profondità, caratterizzata da maggiore velocità rispetto alle zone circostanti, attorno alla quale tende a distribuirsi gran parte della sismicità. Dall'inversione di meccanismi focali sono state determinate le orientazioni degli assi principali di sforzo con campi di sforzo caratterizzati da eterogeneità, sia areale che in profondità. Dalle onde di coda di eventi sismici locali si è ottenuta la relazione fra il fattore di attenuazione Q e