

questi progetti sono state portate avanti. Anche linee di ricerca finalizzate al confronto degli algoritmi di inversione dei segnali LIDAR per uniformare l'analisi dei dati sperimentali tra i gruppi di ricerca coinvolti, in modo da ottenere set di dati il più omogenei possibile.

Nel corso del 1998 l'attività della stazione lidar di L'Aquila è stata finalizzata allo sviluppo dei sistemi esistenti ed al miglioramento della qualità delle misure ottenute tramite un più adeguato trattamento numerico dei segnali di retrodiffusione dell'atmosfera. Il sistema lidar per la misura di profili di sodio atomico presente in mesosfera è stato utilizzato per lo studio delle onde di gravità. Dall'analisi delle oscillazioni temporali della concentrazione di sodio è stata verificata la presenza di onde di gravità e si è effettuata una stima del periodo delle stesse. Uno studio analogo è inoltre stato portato avanti per l'alta troposfera e la stratosfera utilizzando i profili di temperatura ottenuti tramite radiosondaggi. Riguardo agli algoritmi per l'inversione dei segnali lidar è stato completato lo sviluppo e la fase di test dei programmi per l'analisi dei segnali di retrodiffusione Rayleigh-Mie e Raman provenienti dalla bassa ed alta stratosfera. Tali programmi potranno essere utilizzati nello sviluppo futuro di un nuovo sistema lidar per ricavare simultaneamente i profili di concentrazione di ozono nell'intervallo di quota 10-45 km, di aerosol presenti in stratosfera e di temperatura dell'atmosfera nell'intervallo di quota 30-90 km. La fase di test degli algoritmi è stata effettuata tramite lo sviluppo di un simulatore numerico di segnali lidar che tiene conto dei processi fisici di interazione tra la radiazione laser ed i costituenti atmosferici, dei parametri caratteristici dell'apparato sperimentale, e delle sorgenti di rumore che influenzano la misura.

A partire dal 1998 l'U.O.A. ha iniziato una collaborazione con il Parco scientifico e Tecnologico d'Abruzzo per quanto riguarda lo studio della bassa troposfera tramite l'acquisizione dei profili di temperatura virtuale e velocità del vento ottenuti da un sistema Wind Profiler-Rass situato alle pendici del Gran Sasso e da un SODAR installato presso la stazione di Preturo. I dati ottenuti sono stati utilizzati per la verifica ed inizializzazione di modelli numerici meteorologici ad alta risoluzione spaziale e temporale, per la misura dei flussi superficiali di calore sensibile, e per lo studio dell'influenza dell'orografia sulla climatologia delle zone interne dell'Abruzzo.

#### 5. Partecipazione al PNRA (Progetto Nazionale di Ricerche in Antartide)

All'interno dell'ovale aurorale, la ionosfera è particolarmente interessante in quanto direttamente connessa con lo spazio esterno per mezzo della riconnessione delle linee di forza del campo magnetico attraverso la magnetopausa. Le misure disponibili, rilevate tanto da stazioni a terra che da satellite, hanno già mostrato l'occorrenza di fenomeni particolarmente complessi che alle alte latitudini hanno elevata percentuale di accadimento. L'alta variabilità nello spazio e nel tempo dei fenomeni connessi alle interazioni Sole-Terra richiede un grande impegno nella produzione, collezione e analisi statistica di quante più osservazioni geofisiche possibili per poter fornire una o più chiavi di interpretazione degli eventi osservati. Sono perciò necessarie lunghe serie di dati misurati simultaneamente in diversi punti di osservazione. A tal fine l'U.O.A. partecipa dal 1990 al Progetto Nazionale di Ricerche in Antartide con un osservatorio ionosferico permanente installato nella base Italiana di Terra Nova (74.42 S, 164.06 E). Dal 1996 l'Osservatorio Ionosferico Antartico è funzionante durante tutto l'anno e quindi automaticamente, anche durante l'inverno antartico.

Oltre alle misure di plasma ionosferico standard, sono state effettuate importanti campagne di sondaggio ionosferico obliquo tra Terra Nova e Roma e di Contenuto Elettronico Totale (TEC) (in collaborazione con l'Istituto Ricerche Onde Elettromagnetiche, CNR, Firenze) con un sistema di ricezione ed elaborazione del segnale NNSS per misure Doppler Differenziali dalle quali è possibile ricavare informazioni per il calcolo del contenuto colonnare di elettroni tra il satellite e la stazione ricevente al suolo. Studi sul modelling ionosferico nella calotta polare e correlazioni tra TEC misurato e derivato da modelli originali semi-empirici sono in progresso e il primo lavoro sui risultati ottenuti è in pubblicazione.

Le misure provenienti dall'osservazione continua e sistematica delle condizioni ionosferiche a Terra Nova sono state pubblicate su *Annuari* e inviate alla banca dati ionosferici per l'Antartide (IPS, Ionospheric Prediction Service, Sydney, Australia) e vengono inoltre utilizzate per le previsioni settimanali dei parametri utili nei radiocollegamenti regionali in Antartide (Base Italiana-Campi Remoti, Base Italiana-Nave Italica), per la scelta in tempo reale delle frequenze migliori per i radiocollegamenti sia in voice che per trasmissione dati (sistema ALIS) tra la Base Italiana e l'Italia.

Per lo studio delle variazioni rapide spazio/temporali del sistema accoppiato ionosfera-magnetosfera, l'U.O.A. è anche impegnata (in collaborazione con U.O. Geomagnetismo dell'I.N.G.) nel programma "Riometria". La stazione riometrica consta attualmente di due riometri (Relative Ionospheric Opacity Meter) permanenti installati tra il 1993 e il 1995 per la misura del rumore cosmico di fondo a 30 e 38.2 Mhz attraverso il quale è possibile ricavare l'assorbimento non deviativo della bassa regione ionosferica D. Una terza stazione a 38.2 MHz è stata installata nel gennaio 98 in località antartica remota (Eskimo point) attraverso la quale verranno testate condizioni estreme di funzionamento di tutto l'apparato sperimentale. Sulla base delle osservazioni riometriche sono stati condotti diversi studi per l'analisi dei dati di rumore cosmico per l'individuazione della migliore curva quieta di riferimento (QDC) necessaria per il calcolo dell'assorbimento ionosferico. Sono stati anche avviati con buon successo lavori di ricerca mirati all'uso di analisi convenzionale e non lineare applicata a dati di assorbimento e geomagnetici.

Per quanto riguarda la determinazione dei tempi di risposta ionosferici a perturbazioni magnetiche alle alte latitudini, è iniziato nel '97 un lavoro di ricerca che, sulla base di serie temporali di parametri ionosferici opportunamente trasformati, ha evidenziato con buona approssimazione che il "ritardo ionosferico" rispetto al fenomeno perturbativo di origine magnetosferico è di circa 15 ore. In particolare sono stati individuati i migliori coefficienti geomagnetici in grado di descrivere l'attività ionosferica nelle zone polari, ovvero gli indici ap, AE, PC. Attualmente questo tema viene seguito per i risultati di sicuro interesse anche per quanto riguarda le previsioni ionosferiche a corto-termine ad alta latitudine.

Un'altra importante attività sperimentale iniziata nel 1997 e proseguita nel 1998 è stata la progettazione e la realizzazione di un radar doppler operante su frequenze comprese tra 1 e 20 MHz per lo studio dei movimenti degli strati riflettenti della ionosfera. La misura si basa sull'effetto Doppler che modifica la frequenza ricevuta dopo la riflessione ionosferica rispetto a quella emessa di una quantità che dipende anche dalla velocità di spostamento degli strati atmosferici. L'apparato è stato installato

nell'osservatorio ionosferico della base italiana in Antartide durante la spedizione 1997-1998 riportando una serie di misure da analizzare.

Alla fine del 1996 è iniziata anche una collaborazione tra l'Istituto Nazionale di Geofisica e la cattedra di fisica terrestre dell'Università di Milano (Prof. Ignazio Tabacco) nell'ambito di studi di glaciologia antartica. L'attività della U.O.A. (in collaborazione con l'U.O. Geomagnetismo) è focalizzata nel miglioramento del sistema di acquisizione dell'apparato radar impiegato nel passato. Tale apparato si avvaleva di un oscilloscopio digitale che acquisiva il segnale ricevuto in 512 punti consentendo l'acquisizione di una traccia ogni 3 secondi. Il nuovo sistema di acquisizione basato su una scheda progettata e realizzata dalla U.O.A. consente di acquisire fino a 50 tracce/secondo con una risoluzione di 1024 punti. Durante la spedizione antartica del 1997-1998 sono state effettuate misure con l'apparato così modificato riportando dati di notevole qualità. Sono state poi analizzate le misure derivanti da sondaggi sul ghiaccio antartico con particolare riferimento alle lingue galleggianti ed alcuni punti a forte anomalia geomagnetica. Sulla base della passata esperienza è stato realizzato un nuovo sistema radar a compressione d'impulsi. Il nuovo sistema impiega potenze dell'ordine del centinaio di Watt con una risoluzione di circa 10 m e un range di 4.3 km. Il sistema sfrutta le più moderne tecniche di elaborazione on-line del segnale potendo estrarre informazioni utili anche al di sotto della soglia di rumore. Il progetto del sistema radar VHF a compressione di impulsi proposto parte da alcune premesse di carattere generale. La risoluzione di un radar è infatti legata alla durata dell'impulso secondo la formula  $Dd = DTv/2$ , dove:  $DT$  è la durata dell'impulso,  $v$  è la velocità nel mezzo e  $Dd$  la distanza minima lungo la linea di vista (direzione radiale) del radar. Pertanto, se si vuole aumentare la risoluzione bisogna diminuire  $DT$ , ma la diminuzione di questa grandezza comporta una minore potenza media trasmessa e quindi un segnale d'eco complessivamente più debole. Se il radar opera in presenza di rumore  $N$ , sia esterno che interno, come sempre avviene nei casi pratici, il rapporto  $S/N$  risulta essere ancora più sfavorevole. Inoltre, diminuendo  $DT$ , se l'amplificatore di potenza e non è a larga banda, vi può essere una dispersione di frequenze nello spettro intorno alla portante dell'energia associate alle componenti fuori la banda  $B$  dell'amplificatore di potenza. Analogamente, pure il ricevitore deve essere un larga banda. Il metodo usato qui per aumentare il rapporto  $S/N$  è stato quello di aumentare il duty cycle, integrando su un numero maggiore di impulsi trasmessi e, per non perdere in risoluzione senza diminuire la durata  $T$  dell'impulso RF trasmesso, tale impulso è stato modulato in fase con un codice binario. Tale tecnica consiste nel trasmettere un impulso RF di lunga durata con un codice in fase impresso di informazione elementare di durata  $t$ . Pur conservando gli stessi vantaggi in termini di risoluzione e range di un radar con durata di impulso  $t$ , tramite la modulazione in fase binaria l'impulso RF di durata  $T$  con un numero  $M$  di subimpulsi  $t$ , il sistema consente di impiegare potenze in trasmissione più basse. Il segnale d'eco o replica è pertanto fatto passare attraverso un filtro adattivo il quale opera una operazione di compressione dell'impulso rendendo evidenti le informazioni di durata  $t$ . Partendo dai livelli di potenza in ricezione (da -100 a -10 dBm) disponibili all'ingresso del ricevitore, tale tecnica consente di guadagnare all'incirca 20 dB rispetto ad un normale radar a inviluppo. Un'altra facilitazione nella elaborazione della misura è stata ottenuta sfruttando le coordinate e il tempo GPS poiché un ricevitore Trimble sarà interfacciato direttamente con il nuovo sistema. Un sintetizzatore di frequenze a sintesi digitale diretta (DDS) opererà le correzioni in frequenza intorno alla frequenza ottima di lavoro. Le prossime

campagne aeroglacologiche in Antartide per la spedizione 1999-2000 saranno eseguite con il nuovo sistema radar. È stato programmato anche un test strumentale per il mese di Giugno 99 da eseguirsi in Groenlandia.

## 6. Collaborazioni con Istituzioni nazionali e internazionali

### 6.1. Collaborazione con il Centro Internazionale di Fisica Teorica di Trieste (ICTP)

Anche per il 1998 il Laboratorio di Fisica Atmosferica e Radiopropagazione dell'ICTP ha costituito per l'U.O. Aeronomia un importantissimo partner, non solo nei lavori di ricerca svolti nell'ambito dei progetti COST ed ESA, ma anche nell'attiva partecipazione al programma Training Courses in Italian Laboratories.

### 6.2. IITS (Improved Quality of Service in Ionospheric Telecommunication System Planning and Operation) una nuova azione di cooperazione scientifica e tecnologica promossa dalla Comunità Europea.

Nel luglio 1995 fu inaugurato a Bruxelles un' nuova azione COST ovvero di Cooperazione Scientifica e Tecnologica nel settore delle telecomunicazioni, dal titolo IITS Improved Quality of Service in Ionospheric Telecommunication Systems Planning and Operation, e denominata azione COST 251. Tale azione dalla necessità di sviluppare ricerche sul plasma ionosferico e sui suoi effetti nelle radiocomunicazioni intese, non semplicemente come uso e pianificazione dei collegamenti in HF, ma comprendente un range di applicazioni che va dai sistemi satellitari GPS, radar transorizzonte, radar altimetri ed altri strumenti geodetici, nonché al cosiddetto "Space Weather". Tali ricerche furono iniziate durante l'azione COST 238 PRIME, nel quadriennio passato, e sono state estese ad una regione geografica che comprende, oltre al continente Europeo, anche la zona polare ed il vicino oriente utilizzando una più completa e diversificata serie di misure ionosferiche.

I principali obiettivi del progetto COST 251, inseriti nel Memorandum d'intesa approvato da 10 paesi europei, sono :1) Dimostrare il fondamentale miglioramento dei radiocollegamenti terrestri e terra-spazio basati sui modelli generati nel COST 238 PRIME e promuoverne il loro uso.2) Migliorare ulteriormente le prestazioni di questi modelli ed estenderne l'area di applicazione.3) Aggiungere e collezionare altri tipi osservazioni e misure ionosferiche diverse dal radiosondaggio per aumentare la statistica dei fenomeni osservati. I lavori di questo progetto, che coinvolge circa 60 ricercatori ed oltre 10 istituzioni, sono organizzati in quattro differenti Working Groups ed avranno una durata di quattro anni. In particolare la collaborazione ha coinvolge le seguenti Istituzioni: il Centre National d'Etudes des Télécommunication, Francia, per i temi di sondaggio verticale e raccolta dati; il Royal Meteorological Institute, Belgio, l'Osservatorio de l'Ebre, Spagna e il National Defence Research Establishment, Svezia per le misure di sondaggio obliquo; il CNR/IROE di Firenze, il Rutherford and Appleton Laboratory, UK, per i modelli di mapping istantaneo; l'Università di Salonicco, Grecia e il Centro Internazionale di Fisica Teorica di Trieste per i temi di variabilità ionosferica; il Geomagnetic Institute di Belgrado, Jugoslavia e l'Università di Graz, Austria per il mapping mediano mensile. In questo progetto i ricercatori dell'U.O. Aeronomia sono impegnati non solo

nei temi di ricerca ma svolgono anche un importante ruolo gestionale come rappresentanti nel Management Committee, come Vice Chairman o come Working Group leader nel progetto stesso. Oltre al citato lavoro di ricerca nel 1998 l'U.O. Aeronomia ha dato un importante contributo al processo di testing dei modelli ionosferici proposti, fase cruciale dell'intera azione.

### 6.3. Misure di ozono nella stratosfera

Di notevole importanza è il ruolo che la stazione LIDAR di L'Aquila ha avuto nelle diverse campagne e progetti di ricerca internazionali come ESMOS (*European Stations Monitoring the Stratosphere*), UARS Correlative Measurement Program, SESAME (*Second European Stratospheric Artic and Mid-latitude Experiment*), LITE (*Laser In-space Technology Experiment - Shuttle*). Nell'ambito di questi progetti sono state portate avanti anche linee di ricerca finalizzate al confronto degli algoritmi di inversione dei segnali LIDAR per uniformare l'analisi dei dati sperimentali tra i gruppi di ricerca coinvolti, in modo da ottenere set di dati il più omogenei possibile.

Le Istituzioni scientifiche che hanno partecipato e collaborato con l'I.N.G. negli esperimenti citati includevano: il Centre National pour la Recherche Spatial, Francia; il CNR/IROE di Firenze; la Freie Universität di Berlino, Germania; l'Observatoire Cantonal di Neuchâtel, Svizzera; l'Université de Lyon, Francia e il Finnish Meteorological Institute, Finlandia.

### 6.4. Misure ionosferiche durante la missione "Tethered Satellite System Reflight"

L'U.O. Aeronomia ha partecipato alla programmazione e quindi all'esecuzione, all'inizio del 1996, di una serie di sondaggi ionosferici in coincidenza con il volo del TSS-1R *Tethered Satellite System Reflight*. La campagna di misure, condotta da un network mondiale di 34 stazioni ionosferiche distribuite omogeneamente sul pianeta, aveva lo scopo di compiere un monitoraggio e per la prima volta un *real-time forecasting* delle condizioni globali della ionosfera. Anche se la missione ha avuto un esito parzialmente negativo, le misure di plasma ionosferico hanno permesso un primo confronto con le misure da Terra e una prima valutazione dei modelli maggiormente in uso. Per la prima volta comunque è stata fatta una valutazione in tempo reale del plasma ionosferico con misure contemporanee da Terra e dallo Spazio. Durante il 1998 sono stati studiati alcuni primi risultati, derivanti da una parziale analisi delle misure fatte, presentati alla conferenza dell'American Geophysical Union lo scorso mese di maggio pubblicati.

Le attività di ricerca relative alla Fisica Ionosferica e allo Space Weather sono state coordinate dal Science Application International Corporation, USA.

### 6.5. Collaborazione con l'Istituto per le Ricerche sulle Onde Elettromagnetiche del Consiglio Nazionale delle Ricerche

Oltre al citato progetto di ricerca relativo ad una metodologia di valutazione del contenuto elettronico totale è importante ricordare altri due temi di ricerca svolti in collaborazione con l'IROE: l'installazione a Roma e a Firenze di due ricevitori di segnali omega per lo studio della bassa ionosfera e l'installazione di due ricevitori a L'Aquila e Gibilmanna di

segnali provenienti da satelliti NNSS per la misura del contenuto elettronico totale.

**6.6. Collaborazione con l' Agenzia Spaziale Europea ESA nel quadro del progetto EGNOS (European Satellite Augmentation to GPS and GLONASS navigation system)**

L'U.O. Aeronomia ha partecipato allo studio preliminare di modelli ionosferici di riferimento finalizzati al miglioramento dei sistemi di navigazione satellitare GPS per aeromobili, nel quadro del progetto EGNOS promosso dalla Agenzia Spaziale Europea.

**6.7. Altre collaborazioni Internazionali**

Nel quadro delle cooperazioni scientifiche promosse dal Ministero degli Affari Esteri attraverso accordi bilaterali è importante ricordare l'attivo ruolo dell'U.O. Aeronomia negli accordi di cooperazione scientifica e culturale tra il nostro paese e la Grecia, la Repubblica Popolare Cinese e gli Stati Uniti d'America.

## Unità Organica Laboratori e Centro di Elaborazione Dati

### LAB/CED

#### 1. Sintesi dell'attività scientifica svolta nell'anno 1998

Le attività dell'Unità Organica LAB-CED si suddividono in attività di supporto tecnico logistico ed in attività di ricerca. Per quanto riguarda le attività tecnico logistiche, esse fanno capo al:

- a) gruppo di sviluppo ed assistenza di calcolo per gli utenti.

Per quanto concerne l'attività di ricerca, attualmente, si distinguono i seguenti gruppi di ricerca:

- b) Laboratorio di geologia sperimentale per la reologia e la modellistica del flusso di materiali di interesse geofisico.
- c) Laboratorio di telerilevamento ambientale;
- d) Laboratorio per ricerche tecnologiche avanzate;
- e) Laboratorio di geochimica dei fluidi applicata alla sismotettonica;

##### 1.1. Gruppo di sviluppo e assistenza di calcolo per gli utenti

Il gruppo di sviluppo e assistenza di calcolo per gli utenti ha svolto le attività descritte qui di seguito.

###### Rete Internet

La rete Internet nel 1998 è stata dotata di un firewall che consente il collegamento delle linee a 64 Kbyte e a 2 Mbyte. E' inoltre aumentata la presentazione del Web server a disposizione del pubblico: in particolare si è creata una serie di link interni ad altri calcolatori per poter accedere direttamente ad analisi e dati dell'Istituto già catalogati ed archiviati.

###### Cablaggio ottico

Nel 1998 è stato implementato il cablaggio in fibra ottica della rete e sono stati installati ulteriori switch ad alta velocità, esattamente 1100 Mbyte, per poter gestire in maniera abbastanza trasparente i vari rami di rete dell'Istituto. Sono stati istituiti dei collegamenti per linee a 100 M con i server.

##### 1.2. Laboratorio di Telerilevamento

Le 5 linee di ricerca portate avanti dal Gruppo di Telerilevamento sono descritte di seguito. La relazione delle attività 1998 nell'ambito dei progetti avviati all'interno di esse è riportata nei capitoli successivi.

### 1 Sperimentazione di sensori aerobrasportati

L'attività riguarda l'impiego di spettrometri ad immagine di nuova generazione per applicazioni di interesse geofisico. Sensori 'iperspettrali' con elevato numero di canali (AVIRRS, DAIS, MIVIS, con un massimo di 224 bande spettrali nell'intervallo 0.4 - 2.5  $\mu$ m) sono stati sviluppati negli ultimi anni e vengono attualmente sperimentati da piattaforme aeree. Tali strumenti sostituiranno gradualmente i sensori multispettrali a basso numero di canali come il Landsat TM e lo SPOT HRV su piattaforme spaziali, fornendo dati di grande importanza per lo studio ed il monitoraggio di vari fenomeni geofisici superficiali. Le ricerche in questo settore sono particolarmente importanti in quanto consentono lo sviluppo delle metodologie applicative per l'utilizzo dei sensori satellitari che saranno attivi nel prossimo decennio (ASTER, MERIS, MODIS, FOGUS). In particolare vengono affrontate le problematiche specifiche dei sensori iperspettrali mettendo a punto metodologie e procedure per la calibrazione radiometrica, la correzione per gli effetti atmosferici e la valutazione di parametri fisici direttamente legati alle caratteristiche della superficie, quali radianza, riflettanza direzionale/direzionale, emissività, temperatura, rugosità, composizione mineralogica qualitativa.

### 2 Librerie spettrali

La risposta spettrale dei materiali geologici rappresenta la chiave per l'individuazione degli stessi nelle immagini multispettrali telerilevate. Disponendo di sensori per il telerilevamento di tipo iperspettrale, come quelli che sono stati sviluppati negli ultimi anni da varie organizzazioni internazionali (NASA, ESA, DLR, CNR) è possibile eseguire un confronto diretto tra spettro di riflettanza estratto dalle immagini telerilevate e spettri di materiali geologici misurati in laboratorio o in campagna. La creazione di un archivio di spettri di riflettanza ed emissività consente quindi di eseguire un'analisi deterministica delle immagini, impiegando tecniche come lo *spectral matching* e lo *spectral unmixing* per determinare la composizione litologica di ogni singolo elemento dell'immagine (*pixel*). Vari organismi stranieri hanno proceduto negli ultimi anni alla creazione di librerie spettrali di minerali che tuttavia presentano un impiego pratico limitato. Tali librerie sono già state acquisite dall'I.N.G.. E' tuttavia necessario procedere alla creazione di librerie di spettri di rocce, che risultano gli unici strumenti di reale applicabilità al telerilevamento geologico deterministico. Queste librerie, specifiche per domini geodinamici, devono essere compilate tramite l'esecuzione di misure di campagna e di laboratorio, validate tramite l'analisi chimico/petrografica dei campioni e rese di pubblico accesso tramite rete Internet.

### 3 Studio delle deformazioni crostali

Gli studi sono volti all'individuazione di strutture sismotettoniche attive con l'impiego di dati telerilevati da satellite (ERS, LANDSAT e SPOT) anche integrati da Modelli Digitali delle Altezze appositamente creati. Le immagini telerilevate forniscono una visione sinottica della superficie terrestre che consente di individuare strutture morfologiche regionali (10-100 km di lunghezza) altrimenti non identificabili. La stereoscopia sintetica rende tali immagini ancora più efficaci e consente di eseguire delle analisi quantitative su parametri morfometrici diagnostici dell'attività tettonica recente. Le strutture morfologiche individuate alla scala regionale vengono poi selezionate e indagate a scale sempre più dettagliate impiegando

fotografie aeree, rilievi di campagna, indagini geofisiche GPR e geoelettriche, trincee esplorative, fino a stabilire una eventuale attività sismogenetica della struttura in oggetto.

Un altro campo di applicazione del telerilevamento in questo settore è quello del monitoraggio delle deformazioni tramite interferometria differenziale di dati SAR. L'impiego di immagini da satellite in modalità interferometrica permette di individuare spostamenti differenziali della superficie terrestre dell'ordine dei centimetri. L'informazione sullo spostamento è areale (per immagini) e, integrata con dati geodetici classici e GPS, permette di stimare i tassi di accumulo della deformazione sulle strutture sismogenetiche e quindi di valutarne la pericolosità. Lo studio dei campi di deformazione co-sismici permette inoltre di definire meglio i caratteri delle singole strutture, quali profondità, dimensioni, rigetto associato al terremoto, evoluzione geomorfologica recente.

#### 4 Telerilevamento dei vulcani dell'Etna e delle Isole Eolie

Le ricerche riguardano l'impiego di dati telerilevati da aereo nel visibile ed infrarosso vicino e termico e nelle microonde, per valutare dei parametri chimico-fisici importanti ai fini della previsione della pericolosità vulcanica. I vulcani sono di solito caratterizzati da condizioni ambientali ad elevato rischio e la possibilità di acquisire dati geofisici da mezzi remoti assume una valenza ulteriore. Nello stesso tempo molti dei fenomeni vulcanici hanno caratteristiche areali (non localizzate) e si prestano perciò bene ad uno studio per immagini. Le variazioni spaziali di temperatura superficiale, la concentrazione di  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}_2$  ed  $\text{H}_2\text{O}$  nel plume emesso da crateri sommitali e da campi fumarolici, la stima del flusso di  $\text{SO}_2$  e vapore acqueo emessi, la stima del bilancio termico dell'edificio intero, possono essere indagati tramite le tecniche del telerilevamento e sono tutti parametri di grande interesse per la comprensione e la modellizzazione dei fenomeni, anche ai fini di una previsione spazio-temporale dell'attività vulcanica.

#### 5 I Sistemi Informativi territoriali per la Ricerca Geofisica

La grande parte dei dati geofisici prodotti all'I.N.G. è di tipo territoriale, ovvero rappresentabili con una localizzazione nello spazio (con tre coordinate) e uno o più valori associati. La loro archiviazione ed il loro impiego nella ricerca sono resi più semplici ed efficienti dalla possibilità di gestirli tramite dei sistemi informativi territoriali (GIS). La possibilità di visualizzare insieme dati raster e vettoriali, di eseguire confronti ed operazioni logiche su strati informativi diversi, di modificare interattivamente i programmi di calcolo scientifico, di elaborare dei modelli anche complessi, rende il GIS uno strumento estremamente importante per l'esecuzione di un salto di qualità nella ricerca geofisica orientata all'applicazione. Questa linea di ricerca si occupa di creare dei prototipi di GIS per la gestione di piccoli insiemi di dati e provarne l'efficienza in un progetto di ricerca operativo.

##### 1.2.1 Attività di ricerca in collaborazione con istituzioni nazionali

Le linee di ricerca descritte nel capitolo precedente sono state svolte per l'anno 1996, nell'ambito dei seguenti progetti e collaborazioni.

### 1 Sperimentazione di sensori aerotrasportati

Progetto ASI *"Development of a fast lightweight sulfur dioxide sensor for validation of airborne and spaceborne data used in air pollution and volcanic gas emission monitoring"*. Il progetto prevede lo sviluppo e la costruzione di un nuovo sensore per la misura del SO<sub>2</sub> in atmosfera. Lo strumento sarà impiegato per la validazione dei dati telerilevati da aereo e da satellite negli studi in aree vulcaniche. Per questo progetto nel 1998 sono stati effettuati i test preliminari per la caratterizzazione della cella elettrochimica da installare sulla radiosonda atmosferica.

Gli enti nazionali che collaborano a tali progetti sono:

- Osservatorio Geofisico - Università di Modena
- ISPESL

Progetto ASI *"Valutazione di nuovi sensori aerospaziali per il telerilevamento dell'area mediterranea"*. Nell'ambito di questo progetto sono stati utilizzati dati telerilevati da aereo (sensore MIVIS del CNR e DAIS del DLR tedesco) per simulare le risposte e le capacità operative, in campi applicativi diversi, dei sensori spaziali che saranno installati su piattaforme orbitanti (Cosmo-SkyMed, piattaforme polari).

Gli enti nazionali che collaborano a tali progetti sono:

- Osservatorio Geofisico - Università di Modena
- IROE - CNR, Firenze
- Univ. di Parma
- Univ. Firenze - IS
- Officine Galileo

### 2 Librerie spettrali

Progetto *"Caratterizzazione spettrale di litotipi antartici e di siti di calibrazione"*. Nell'ambito del Programma Nazionale di Ricerche in Antartide, è stata proseguita la costituzione della libreria spettrale di litotipi antartici (LILIAN). Un ricercatore ha partecipato alla Spedizione antartica 1997/1998 per l'esecuzione di misure in situ e campionamenti. I dati spettrali sono stati analizzati e graficati. Sono state eseguite le analisi petrografiche di validazione sui campioni raccolti.

Progetto *"Caratterizzazione spettrale delle lave dell'Etna e dell'Isola di Vulcano"*

Nell'ambito del progetto GNV (1996-1998) e del progetto CE MVRRS sono state effettuate delle campagne di misura con spettrometri portatili e misure di laboratorio per caratterizzare il comportamento spettrale (tra 0.4 e 14 µm) delle superfici laviche dell'Etna e dell'Isola di Vulcano, al fine di studiare le alterazioni superficiali in relazione all'età delle colate. Gli spettri saranno inseriti sia nel sito Internet dell'I.N.G. che nelle banche spettrali della NASA.

Gli enti nazionali che collaborano a tali progetti sono:

- IRRS-CNR di Milano,
- CNR - Progetto Antartide.
- Università di Modena
- ISPESL

### 3 Studio delle deformazioni crostali

Progetto *"Individuazione di strutture sismotettoniche nell'Appennino centro-meridionale dall'analisi di dati telerilevati"*. Il progetto riguarda la creazione di elaborazioni di immagini Landsat (coppie stereoscopiche sintetiche, immagini 3D) sulle quali vengono applicate tecniche di fotointerpretazione per l'individuazione di probabili strutture sismogenetiche. Le aree di studio sono la Marsica (Abruzzo) e il Gargano, ovvero zone ad elevata pericolosità, nelle quali non sono ancora state accertate tutte le strutture sismotettoniche regionali. Nel 1998 è stata investigata nel dettaglio la struttura già individuata del M. Ocre (L'Aquila), con ulteriori indagini geofisiche Ground Penetrating Radar e geomorfologiche. È stata confermata per tutta la lunghezza della scarpata una attività recente. Sui materiali raccolti nelle trincee esplorative aperte nel 1997 sono state eseguite delle datazioni che hanno evidenziato la presenza di almeno due paleoeventi di fagliazione superficiale, di cui uno possibilmente correlabile con un analogo evento avvenuto sulla faglia di Ovindoli, 5 km più a sud. Questo potrebbe indicare che le due scarpate sono segmenti di una stessa struttura molto più grande.

Nel Gargano, è stata individuata una struttura morfotettonica di grandi dimensioni, la struttura Apricena-Sannicandro, sulla quale sono state eseguite delle indagini geofisiche di sismica attiva. È stata evidenziata la presenza di una faglia importante nel bedrock calcareo. Le indagini geomorfologiche e stratigrafiche mostrano la presenza di un'attività molto recente della struttura, che potrebbe essere stata responsabile del terremoto del 1627.

Progetto *"Studio del campo di deformazione associato alla sequenza sismica di Colfiorito dell'autunno 1997"*. Sono state impiegate varie coppie di immagini ERS1 e 2 per la ricostruzione di interferogrammi differenziali che evidenziano gli spostamenti co-sismici del terreno causati dall'attivazione della struttura sismogenetica. Le frange interferometriche ricavate indicano spostamenti cosismici nell'area epicentrale fino ad un massimo di 28 centimetri di abbassamento in slant range nell'area di Annifo. Gli spostamenti sono stati confrontati con le misure geodetiche GPS e con i dati sismologici, con i quali risultano perfettamente congruenti. Sono stati modellati i dati di spostamento SAR utilizzando la formulazione di Okada, e sono stati prodotti dei modelli di dislocazione per i tre eventi principali della sequenza. I risultati consentono di caratterizzare bene le tre faglie dal punto di vista dello slip e della profondità minima della rottura. Sono inoltre state eseguite delle elaborazioni del DEM che hanno evidenziato una relazione tra lo spostamento cosismico e l'evoluzione geomorfologica a lungo termine. È stata ripetuta una linea di livellazione sul vecchio acquedotto di Colfiorito che ha evidenziato dei movimenti post sismici dell'ordine dei centimetri, la cui origine è attualmente in corso di studio. Sono state svolte delle indagini GPR e di geoelettrica nella piana di Colfiorito, ed è stata accertata una profondità massima del bedrock di 120 m circa, lungo una sezione che mostra la presenza di una scarpata morfologica sepolta forse riferibile ad una faglia.

Gli enti che collaborano a tale progetto sono:

- IRECE - CNR, Napoli
- Soprintendenza Archeologica delle Marche, Ancona

### Telerilevamento dei vulcani dell'Etna e delle Isole Eolie

Progetto "Monitoraggio di fenomeni vulcanici con tecniche di telerilevamento aereo e da satellite integrate con dati geofisici e geologici", (1996-1998). Nell'ambito di questo progetto sono stati utilizzati dati provenienti da diversi sensori (MIVIS, TIMS, Landsat, DAIS) per l'analisi spettrale dei materiali affioranti e la stima del contenuto di SO<sub>2</sub> nei gas emessi nel plume vulcanico dell'Etna. Le immagini acquisite nell'infrarosso termico sono state utilizzate per caratterizzare il comportamento termico degli edifici vulcanici. In particolare è stata ottenuta una mappa dettagliata delle fratture calde presenti sul cono della Fossa nell'isola di Vulcano. Sono anche proseguiti gli studi sulle caratteristiche mineralogiche superficiali dei prodotti vulcanici del Vulcano della Fossa (Isola di Vulcano) effettuati mediante tecniche di "spectral unmixing" sui dati del MIVIS. Per l'Etna sono state generate mappe di concentrazione dell'SO<sub>2</sub> a partire da dati MIVIS (campagne 1994 e 1997). E' anche stato effettuato uno studio comparativo tra dati MIVIS e DAIS acquisiti nel 1996 per valutare la metodologia di stima dell'SO<sub>2</sub>. Questo studio ha dimostrato che le tecniche di stima sviluppate possono essere esportate con successo a diversi sensori operanti nell'IR termico. Inoltre e' in corso lo studio multitemporale su dati LANDSAT TM per analizzare con metodi statistici le variazioni dei livelli di radianza emessa dai crateri sommitali dell'Etna con la prospettiva di comparare i dati telerilevati con altri dati geofisici e geochimici.

Gli enti che collaborano a tale progetto è:

- IIV di Catania,
- OGUM di Modena,
- CNR - Progetto LARA,
- Dip. di Elettronica dell'Università di Roma "La Sapienza",
- CNR di Pisa, l'Università di Palermo,
- Dip. di Scienze Geologiche dell'Università di Roma "La Sapienza".

### 5 I Sistemi Informativi territoriali per la Ricerca Geofisica

Sono stati creati dei GIS per la gestione dei dati raccolti nel corso delle ricerche nella Marsica, nel Gargano e nell'area dell'Umbria-Marche. Questi strumenti curano la gestione integrata dei dati di sismicità strumentale e storica, di tettonica recente, di deformazione crostale, di geochimica dei fenomeni precursori, di geomorfologia, di telerilevamento. Essi forniscono uno strumento utile non solo per le attività di servizio (fornitura di cartografia agli organismi di protezione civile, diffusione al pubblico di informazioni selezionate, etc.) ma anche per la ricerca (confronto tra i modelli e le deformazioni misurate, analisi geomorfologica numerica, etc.).

#### **1.2.2. Attività di ricerca in collaborazione con istituzioni internazionali**

Le linee di ricerca descritte nel primo capitolo sono state svolte nell'ambito dei seguenti progetti e collaborazioni internazionali (alcuni già descritti nel capitolo precedente):

#### 1 Sperimentazione di sensori aerotrasportati

Progetto ASI "Development of a fast lightweight sulfur dioxide sensor for validation of airborne and spaceborne data used in air pollution and volcanic gas

emissioni monitoring". Il progetto prevede lo sviluppo e la costruzione di un nuovo sensore per la misura del  $\text{SO}_2$  in atmosfera. Lo strumento sarà impiegato per la validazione dei dati telerilevati da aereo e da satellite negli studi in aree vulcaniche. Per questo progetto nel 1998 sono stati effettuati i test preliminari per la caratterizzazione della cella elettrochimica da installare sulla radiosonda atmosferica.

Gli enti internazionali che collaborano a tali progetti sono:  
- Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, California

Progetto "Monitoring of volcanic gas emissions near urban areas by means of remote sensing images, atmospheric measurements and biogeochemistry analysis". Nell'ambito della sperimentazione di nuovi sensori come prototipi per i futuri strumenti spaziali, nel 1996 il Laboratorio di Telerilevamento è stato inserito nei voli sperimentali del sensore DAIS (spettrometro ad immagine con 79 canali) gestito dall'istituto di ricerca tedesco DLR che svolge le sue attività nel campo aerospaziale. Il progetto riguarda lo studio mediante immagini multispettrali e dati a terra delle emissioni gassose in aree vulcaniche attive localizzate in zone fortemente antropizzate. Nel Luglio 1997 è stata effettuata il rilievo aereo con il sensore DAIS sulla zona dei Campi Flegrei (Napoli) e Solforata (Pomezia).

Dopo la campagna di acquisizione dati telerilevati (DAIS) e la relativa campagna a terra è iniziato lo studio delle immagini per il calcolo della temperatura ed emissività superficiale al fine di individuare anomalie dovute alla presenza di elevate concentrazioni di gas vulcanici.

Questi studi sono svolti in collaborazione con:

- DLR Wesling, Germania
- Università di Napoli Federico II, Facoltà di Ingegneria Aerospaziale
- Osservatorio Vesuviano
- Università di Roma I, Dip. di Botanica
- Osservatorio Geofisico dell'Università di Modena.

Progetto " FOCUS ". (1998-2002) Sempre in collaborazione con il DLR il Laboratorio di Telerilevamento partecipa ad un progetto per la realizzazione di un nuovo sensore (Focus) per lo studio degli incendi e delle eruzioni vulcaniche. Lo studio e la realizzazione del sensore sarà sostenuta dall'ESA (Agenzia Spaziale Europea). Il laboratorio di Telerilevamento è stato inserito come consulente per la definizione delle caratteristiche spettrali dello strumento e per l'analisi delle applicazioni scientifiche in campo vulcanologico ed ambientale del futuro sensore. Nel 1998 il Laboratorio di Telerilevamento ING ha fornito alcune valutazioni per la realizzazione dei canali termici dei due sensori ad immagine del FOCUS (FS-IM ed MS-IM) che operano a due risoluzioni spaziali diverse, 300 m e 50-90 m rispettivamente. I dati del MIVIS ed i risultati ottenuti dal progetto MVRSS della CEE sono stati utilizzati per prevedere le applicazioni del FOCUS per lo studio dei vulcani attivi. Al momento il progetto si trova alla fine della fase A (che riguarda la progettazione del sistema) e si avvia verso la fase B in cui si faranno delle simulazioni attive con sensori aerotrasportati, a tal proposito sono previsti delle missioni sull'Etna che costituisce uno dei "test sites" del progetto.

Il progetto è in collaborazione con:

DLR - Wesling, Germania

## 2 Librerie spettrali

Progetto "Caratterizzazione spettrale delle lave dell'Etna e dell'Isola di Vulcano"

Nell'ambito del progetto GNV (1996-1998) e del progetto CE-MVRRS sono state effettuate delle campagne di misura con spettroradiometri portatili e misure in laboratorio per caratterizzare il comportamento spettrale (tra 0.4 e 14  $\mu$ m) delle superfici laviche dell'Etna e dell'Isola di Vulcano al fine di studiare le alterazioni superficiali in relazione all'età delle colate. Gli spettri saranno inseriti sia nel sito Internet dell'ING che nelle banche spettrali della NASA.

Gli enti internazionali che collaborano a tale progetto sono:  
Jet Propulsion Laboratory USA

## 3 Studio delle deformazioni crostali

Progetto "Remote sensing and GIS for Geochemical Seismic Zonation in the Gargano area (1996-1998)". Il Laboratorio di Telerilevamento è inserito nel progetto CEE Geochemical Seismic Zonation per quel che riguarda l'analisi e l'interpretazione di dati Landsat per l'individuazione di strutture morfotettoniche. Nel 1997 sono state acquisite le immagini e sono state elaborate le stereocopie ed i modelli digitali del terreno. E' iniziata la fotointerpretazione delle stereocopie.

Questi studi sono condotti in collaborazione con:

- Università di Roma 1
- Università di Roma 3

## 4. Telerilevamento dei vulcani dell'Etna e delle Isole Eolie

Progetto "Mitigation of volcanic risk by remote sensing techniques" (1996-1999). Trattasi di un progetto approvato dalla CEE per lo studio di tecniche di telerilevamento utili alla prevenzione del rischio vulcanico. Le attività relative al 1998 hanno riguardato principalmente l'analisi dei dati MIVIS acquisiti nel 1997 con l'obiettivo di migliorare ed estendere la tecnica di stima dell'SO<sub>2</sub> a sistemi di telerilevamento spaziale (ASTER). Il laboratorio di telerilevamento si è occupato della trasformazione dei programmi di calibrazione radiometrica creati per il MIVIS in linguaggio IDL che permette una migliore esportazione dei programmi verso la comunità scientifica ed una gestione più agevole del processo di elaborazione dei dati. Come applicazioni scientifiche sono state analizzate le variazioni di temperatura superficiale mediante la comparazione dei dati 1994 e 1997 relativi all'Etna. Data l'elevata risoluzione spaziale dei dati (3-4 m) è stato possibile osservare la variazione di attività all'interno dei crateri sommitali. Per l'isola di Vulcano sono stati analizzati i dati telerilevati nell'IR termico a partire dal 1986 (acquisiti dal TIMS) fino al 1997. Le informazioni ottenute da questi studi forniscono delle indicazioni sullo stato di attività dei due vulcani ma per fornire un dato utile ai fini della ricerca di precursori delle eruzioni devono essere inseriti in programmi di monitoraggio continuo. Il Laboratorio di Telerilevamento è uno dei partner del progetto CEE coordinato dalla Open University britannica.

Questi studi sono condotti in collaborazione con:

- Open University, UK,
- Dipartimento di Geografia Umana dell'Università dell'Egeo, Grecia,
- Joint Research Centre of the European Community di Ispra
- IIV di Catania,
- OGUM di Modena,
- CNR - CSDGA di Pisa.

#### 5 I Sistemi Informativi territoriali per la Ricerca Geofisica

Progetto "Remote sensing and GIS for Geochemical Seismic Zonation in the Gargano area (1996-1998). Nel 1998 è terminata la realizzazione del GIS relativo al progetto CEE *Geochemical Seismic Zonation* per quel che riguarda l'area del Gargano. Il GIS è stato impiegato per analizzare i dati geochimici, geomorfologici, sismologici. Il risultato è stato l'individuazione di una struttura morfotettonica attiva importante, la linea Apricena-Sannicandro.

Questi studi sono condotti in collaborazione con:

- CNRS Nancy, Francia
- Università di Roma 1
- Università di Roma 3

### **1.3. Laboratorio per le ricerche tecnologiche avanzate**

#### **1.3.1. Stazione geochimica *Geochemical Monitoring System* (GMS II)**

È stata posta sul campo nell'ottobre 1998 (Quattrocchi et al., 1999 b, c) il primo prototipo di stazione geochimica multiparametrica *Geochemical Monitoring System* (GMS II) dopo che nel biennio 1997-98 è stata effettuata l'ingegnerizzazione delle parti che la compongono (vedi prossimo paragrafo). A testimoniare la bontà del progetto, è la vendita, da parte dell'I.N.G. di due moduli progettati per la stazione, al P.N.R.A. e all'Università La Sapienza di Roma.

È stato realizzato un modulo di conteggio a due canali con controllo a microprocessore da impiegarsi nella costruzione di un radonometro dedicato alla stazione. È iniziata la progettazione di un modulo multicanale.

#### **1.3.2. Progetto Boomerang.**

E' stato effettuato il lancio del pallone stratosferico Boomerang.

Il progetto Boomerang, oggetto di una ricca collaborazione internazionale (California Institute of Technology, Pasadena, USA; Dipartimento di Fisica, università La Sapienza, Roma, Italy; ENEA, Frascati, Italy; IFA-CNR Roma, Italy; IROE CNR, Firenze, Italy; Physics Department, U.C.B., Berkeley, USA; Queen Mary and Westfield College, London, UK) prevedeva il lancio di un pallone aerostatico stratosferico con carico utile scientifico, che avrebbe volato nel cielo dell'Antartide. Personale dell'L.T.A. ha partecipato alle prove di integrazione della strumentazione nei laboratori dell'N.S.N.F. (Texas) nell'estate del '98 ed alle operazioni di messa a punto e lancio del pallone (Mc Murdo, Antartide) alla fine del 1998. I dati raccolti sono ancora in fase di esame.

Sono stati progettati presso l'L.T.A., oltre al pacchetto geofisico, i due dispositivi di puntamento solare (oggetto di tesi di laurea)

### 1.3.3. Rivelatore ottico di posizione

E' stato realizzato un rivelatore ottico di posizione basato su array CCD lineare con dinamica superiore a 50000 e velocità di risposta superiore a 1/2000 sec. Il dispositivo e' stato pensato come miglioramento del sensore solare del progetto Boomerang, e come rivelatore per strumenti a leva ottica (Wood-Anderson, clinometri, pendoli della grotta gigante). Il dispositivo (oggetto di tesi di laurea) e' stato realizzato con circuiti integrati dedicati (per aumentare la velocità) e con DSP. La caratteristica temporale di risposta può essere controllata attraverso un filtro FIR e rende il dispositivo utile all'uso sismologico.

### 1.3.4. Sensore solare grossolano

E' stato progettato e realizzato un nuovo tipo di sensore solare grossolano basato sull'uso di una corona di Costre Detectors. Il dispositivo e' un miglioramento di quello utilizzato nel primo lancio della navicella Boomerang. Benché il principio di funzionamento sia rimasto invariato, alcune considerazioni matematiche hanno permesso di diminuire il costo individuale ed il numero dei componenti, aumentando al contempo l'affidabilità.

### 1.3.5. Digitalizzatore di superfici tridimensionali

E' stata esaminata la fattibilità di un dispositivo per la digitalizzazione tridimensionale di modelli meccanici del suolo, attualmente in fase di realizzazione. Il dispositivo permetterà la scansione rapida della superficie utilizzando un illuminatore laser ed una serie di telecamere per l'acquisizione dell'immagine, ed un PC per la restituzione dei dati acquisiti.

## 1.4. Laboratorio di Geochimica dei fluidi applicata alla sismotettonica

L'Istituto Nazionale di Geofisica è impegnato, con la creazione di un *Laboratorio di Geochimica dei Fluidi Applicata alla Sismotettonica*, fin dal 1990 nel portare avanti un programma di ricerca sulla geochimica dei fluidi in aree sismogenetiche, con particolare riferimento allo studio dei precursori geochimici dei terremoti, ma sostanzialmente finalizzato alla comprensione del processo sismogenetico, del ciclo sismico e delle interazioni tra fluidi crostali e innesco di sismicità.

A tal fine, il laboratorio si propone di installare stazioni geochimiche di monitoraggio in continuo per la sorveglianza sismica (Quattrocchi et al., 1997; Quattrocchi et al., 1999 a; Galli et al., 1999 a; b). Lo sviluppo di sistemi multiparametrici di monitoraggio in continuo è in linea con gli attuali sviluppi in campo internazionale relativi alla sorveglianza sismica, vulcanica e ambientale.

Studi areali e temporali di monitoraggio geochimico, volti essenzialmente al riconoscimento di sistemi di faglia attivi, utile ai fini del SHA (Seismic Hazard Assessment), sono stati portati a termine dal laboratorio, per la maggior parte nell'ambito del programma comunitario GSZ (vedi dopo), in aree italiane ed estere.

Tali campagne geochimiche sono state portate a termine utilizzando il più possibile un approccio interdisciplinare, con sismologi e geologi strutturali ai fini dello SHA delle rispettive aree. Tali studi hanno permesso