

L'Aquila, in quanto necessario alla riduzione delle misure stesse. L'elaborazione prevede la procedura standard per ottenere tutti gli elementi magnetici (D, I, H, Z, ed F). Si è conclusa nello scorso anno la fase di misurazione per la realizzazione della Rete al 1995.0 (che usualmente dura 2-3 tre anni) i cui risultati verranno presto pubblicati con la nuova cartografia.

III) La ricerca scientifica

Indagini ambientali

Nello scorso anno si è proseguito con le applicazioni della geofisica alle problematiche ambientali. In particolare sono state applicate tecniche di esplorazione del sottosuolo con metodi magnetici (utilizzando magnetometri a precessione di protoni) volte ad accertare la presenza di oggetti magnetizzati (in generale metallici) sepolti. Le indagini sono state curate particolarmente per il rilevamento di fusti interrati di natura metallica su richiesta di autorità competenti. Sono stati effettuati tre interventi su aree geografiche diverse. Tali indagini stanno permettendo ai ricercatori di affinare il 'know-how' nel settore ancora allo stadio di sperimentazione. È stato realizzato un 'test site' in Abruzzo con l'apposito interrimento di bidoni per tarare delle curve sperimentali.

Ricerche storiche

Nel quadro delle indagini storiche strumentali si è provveduto alla conclusione di un catalogo di strumenti geomagnetici classici italiani dal 1700 ad oggi che comprende, tra gli altri, strumenti geomagnetici storici in possesso del nostro Istituto. La stampa è prevista per il 1997. Un altro risultato rilevante della ricerca è stato il ritrovamento e la ricostruzione dei risultati della campagna di Padre Denza, effettuata sulla penisola italiana alla fine del secolo scorso (1875-1883). Su questi dati si è completato un primo lavoro preliminare.

Variazione secolare

A seguito della individuazione di un Jerk al 1990.0 in Europa (cioè una rapida variazione nella pendenza della curva della variazione secolare che può avere notevoli implicazioni sulla conoscenza della dinamica del nucleo terrestre e dei suoi parametri fisici) si è attivato uno studio ad hoc. Si sono iniziate ad esaminare le implicazioni di un possibile occorrenza del fenomeno a livello globale. Si è anche proseguito nell'indagine per trovare possibili correlazioni fra questi eventi, frequenza di occorrenza di forti terremoti ($M > 7$) in questo secolo, e variazioni delle caratteristiche della rotazione terrestre (Chandler wobble, LOD, etc).

Modellazione matematica del campo

L'analisi del campo geomagnetico è proseguita con l'ottimizzazione di tecniche alternative per la modellazione del campo; si sono sviluppate in particolare l'analisi su calotta sferica e la stessa analisi ma con origine degli assi traslata. Altri lavori hanno perfezionato altre tecniche a scala globale e regionale. Si è mostrato anche come sia possibile, in una regione qualsiasi, determinare un modello di campo geomagnetico da misure sparse nella regione considerata aggiungendo una limitata percentuale di misure di gradienti sintetizzate da un modello globale.

Teorie fondamentali

Nel quadro di una rivisitazione delle basi teoriche del geomagnetismo sono stati affrontati due problemi specifici: a) unicità del potenziale Laplaciano in situazioni particolari e b) spettri spaziali di potenza del campo geomagnetico. Si è esaminato il modo in cui informazioni parziali del campo potenziale (sia esso geomagnetico che gravitazionale) su una superficie sferica possano dare un'unica (o quasi unica) conoscenza del campo esterno alla sfera. Riprendendo alcuni risultati di lavori precedenti, apportandone quando è il caso le opportune correzioni in modo originale si dimostrano rigorosamente i casi più generali.

Analisi non lineare

Tecniche frattali e caotiche sono state applicate a dati sperimentali sia del campo magnetico di origine interna che di origine esterna. In quest'ultimo caso si sono ottenuti risultati molto interessanti per la definizione quantitativa di indici di attività magnetica espressi in funzione della frattalità della variazione temporale.

Tettono-elettromagnetismo

Il fine di queste ricerche è nel voler contribuire, con una dettagliata raccolta di dati, alla migliore conoscenza delle possibili relazioni fra la geodinamica e gli effetti elettromagnetici ad essa associati. E' proseguito lo studio dell'effetto sismomagnetico nell'area dell'Aquilano con l'acquisizione dati dai 4 magnetometri a protoni installati in questi ultimi anni con campionamento temporale costante; i risultati di questa esperienza, sono ancora in una fase preliminare. E' proseguita inoltre l'acquisizione di dati magnetotellurici presso la stazione di Colle Meluccio in Abruzzo.

Magnetovariazioni temporali

a)

Per contribuire ad una migliore conoscenza delle interazioni tra vento solare, magnetosfera e ionosfera, in questi ultimi anni si sono elaborati intensivamente dati sia dalle nostre stazioni italiane che da stazioni antartiche. Uno degli obiettivi è lo studio della distribuzione delle correnti ionosferiche e della loro variazione con il ciclo solare. L'indagine è stata dedicata anche alla banda dei fenomeni delle pulsazioni nella banda detta Pc5 (150-600 s).

b)

Con misure specifiche magnetiche e telluriche si è determinata la conducibilità dell'area aquilana da 100 m a 50 km di profondità. Sono stati inoltre approntati programmi idonei allo studio dei dati sia dell'Osservatorio di L'Aquila, che della stazione magnetotellurica di Colle Meluccio, per il calcolo delle variazioni temporali delle "transfer functions" dal 1991 al 1994.

c)

La strutture di conducibilità elettrica della Terra e' stata studiata anche per mezzo dell'analisi in armoniche su calotta sferica. Un interessante risultato ottenuto e' quello di una formulazione matematica che permette, a partire da dati di Sq (Solar quiet variation) osservati in una regione limitata della Terra, di separare i contributi ad essa interno ed esterno e determinare le funzioni di trasferimento dalle quali è possibile risalire alla struttura di conducibilità sottostante la regione in esame.

Nuova tecnologia

Sono stati realizzati nuovi dispositivi sperimentali per misure elettromagnetiche: a) Un sensore flux-gate triassiale elicoidale, impiegato in un magnetometro vettoriale per la misura delle tre componenti del campo geomagnetico; b) Un sensore flux-gate triassiale toroidale che potrà trovare impiego anche in magnetotellurica in virtù dell'elevata sensibilità (0.001 nT) ed una estesa banda passante; c) Un sensore flux-gate biassiale toroidale ad altissima stabilità termica, con il quale sarà possibile, unitamente ad un magnetometro Overhauser, realizzare una stazione per la misura assoluta degli elementi del campo geomagnetico; d) Un sistema originale per il condizionamento dei segnali analogici dei magnetometri flux-gate (amplificazione multiparametrica) e un convertitore analogico-digitale a 24 bit; f) Il prototipo di un magnetometro a precessione particolarmente curato dal punto di vista dell'affidabilità nell'impiego a lunghissimo periodo.

Paleomagnetismo e magnetismo delle rocce

I) Geodinamica della Penisola Italiana

Si prosegue in questo ambito essenzialmente sullo studio delle evidenze paleomagnetiche di rotazioni di blocchi crostali intorno ad assi verticali nella penisola italiana. L'indagine si è concentrata nell'anno in oggetto in due regioni italiane: Marche ed Emilia-Romagna. In particolare si sono studiate le rotazioni che hanno accompagnato, dal Miocene superiore (~7 Ma) al Recente la storia geodinamica della penisola durante la costruzione della catena appenninica e l'apertura del Mar Tirreno definendo e datando precisamente lo sviluppo delle rotazioni nei diversi ambienti strutturali, attraverso lo studio di sequenze sedimentarie contemporanee ai principali eventi geodinamici. I dati dall'Appennino marchigiano-romagnolo hanno portato ad una nuova interpretazione di due eventi fondamentali per l'evoluzione geodinamica di questo settore della penisola: (1) le rotazioni antiorarie misurate sin dagli anni '70 sono da attribuirsi alla messa in posto di strutture scollate e traslate verso l'Adriatico nel corso del Plio-Pleistocene; (2) la relazione diretta tra le rotazioni misurate e la direzione delle strutture lungo l'arco dell'Appennino marchigiano-romagnolo: ossia l'arco è propriamente un "oroclino".

II) Magnetostratigrafia e studio delle inversioni

Si sono indagate alcune successioni rocciose per la datazione di alcuni importanti eventi tettonostratigrafici negli Appennini e lungo il margine Tirrenico. Nella successione di Pietrasecca (L'Aquila) il limite Tortoniano-Messiniano è stato riconosciuto all'interno del subcrono di polarità inversa C3Br.2r (ottenendo un'età di 7.0 Ma) e precede di poco l'inizio della sedimentazione torbiditica. Nella stessa sezione è stato inoltre riconosciuto un evento "breve" a polarità normale, di cui è stato effettuato uno studio paleomagnetico ad alta risoluzione per caratterizzare le transizioni di polarità inferiore e superiore (polarità inversa-normale-inversa). Questo studio ha permesso di porre precisi vincoli sulla durata dell'evento stesso (circa 11.000 anni) e sulla geometria delle transizioni di polarità.

Altre indagini magnetostratigrafiche sono state effettuate nelle successioni pleistoceniche di Montalto di Castro e nell'area urbana di Roma. Nel primo caso le variazioni nelle proprietà magnetiche nella successione sono state interpretate in termini di variazioni paleoambientali legate a cambiamenti climatici ed oscillazioni del livello del mare. Nel secondo caso i dati magnetostratigrafici sono stati utilizzati per la risoluzione di problemi di stratigrafia regionale.

III) Studio delle anisotropie magnetiche delle rocce

Gli studi in questo campo si sono concentrati sull'analisi dell'anisotropia della suscettività magnetica in sedimenti argillosi marnosi per la ricostruzione del *fabric* magnetico di tale rocce. Lo studio delle anisotropie magnetiche è stato fondamentalmente indirizzato secondo due tematiche; lo studio della deformazione in formazioni argillose neogeniche e quaternarie della penisola italiana e l'analisi del controllo mineralogico sul *fabric* magnetico di un sedimento. Nel primo ambito si sono affrontati e avviati a risoluzione alcuni schemi interpretativi in regime tettonico sia compressivo che distensivo.

Unità Organica Aeronomia

1. Sintesi dell'attività scientifica svolta nel 1996

1.1. Introduzione

Il termine Aeronomia fu introdotto per la prima volta da Chapman nel 1932 per indicare quella parte della Geofisica che studia i fenomeni chimici e fisici della atmosfera terrestre ad una quota superiore ai 30 km. Tradizionalmente nell'Istituto Nazionale di Geofisica le attività scientifiche svolte dall'U.O. Aeronomia hanno riguardato principalmente la Fisica della Ionosfera e le sue applicazioni alla radiopropagazione; recentemente l'interesse scientifico si è orientato anche a studi e tematiche ambientali inerenti le interazioni tra media ed alta atmosfera.

1.2. Servizio ionosferico nazionale e previsioni ionosferiche

L'Istituto Nazionale di Geofisica è attualmente l'unica istituzione scientifica in Italia che compie misure continue e sistematiche dei fenomeni ionosferici attraverso i due Osservatori Ionosferici di Roma e Gibilmanna (PA). I risultati di queste osservazioni, ottenuti attraverso un complesso lavoro di interpretazione delle registrazioni, sono pubblicati su bollettini mensili ed annuari e contribuiscono in modo fondamentale alla sinottica ionosferica del pianeta. Infatti la stazione ionosferica di Roma, frequentemente citata nella letteratura scientifica internazionale, è attiva dal 1949, ovvero possiede oltre cinque cicli solari di osservazioni continue che consentono studi di variazioni a lungo termine del campo ionosferico. La stazione ionosferica di Gibilmanna trae la sua importanza dalla sua posizione geografica, rappresentando l'osservatorio ionosferico a più basse latitudini dell'area Europea. Recentemente, un terzo Osservatorio Ionosferico è stato installato a Baia Terra Nova, nella base italiana in Antartide, per l'osservazione e lo studio dei complessi fenomeni fisici dell'atmosfera ionizzata a latitudini polari.

Le osservazioni ionosferiche collezionate negli osservatori sono utilizzate non solo per scopi di ricerca scientifica ma anche per la produzione di diagrammi di previsione per la radiopropagazione ad onda corta via ionosfera. L'U.O. Aeronomia pubblica mensilmente, e con due mesi di anticipo, previsioni per la propagazione ionosferica a lungo termine utili alla pianificazione dei radiocollegamenti ad onda corta. Le previsioni, presentate in forma grafica, hanno validità nell'area mediterranea e vengono inviate regolarmente al Ministero della Difesa, al Ministero dell'Interno ed alla Protezione Civile. In particolare, il Ministero della Difesa è divenuto negli ultimi anni il maggiore utente del servizio di previsioni ionosferiche, soprattutto in coincidenza dei sempre più numerosi impegni delle Forze Armate italiane in zone al di fuori dei confini nazionali. Una continua assistenza nella pianificazione dei radio collegamenti HF è stata infatti fornita sia all'Ispettorato Trasmissioni dell'Esercito che alla Marina Militare in occasione delle operazioni di pace svolte recentemente in Somalia. Il metodo di previsione ionosferica è basato su modelli fisico-empirici regionali. Per previsioni relative a collegamenti a lunga distanza o per previsioni a corto termine si utilizzano invece metodi basati su modelli globali od elaborati ad hoc.

1.3. Fisica e radiopropagazione ionosferica

Nell'ultimo quinquennio sono stati sviluppati particolari algoritmi per il modellamento regionale dei parametri ionosferici osservati con radiosondaggio verticale. Tali studi si sono inseriti all'interno del progetto COST-238 (European Cooperation in the field of Scientific and Technical Research) sponsorizzato dalla CEE della durata di 5 anni (1991-1995). Lo scopo del progetto, denominato PRIME (Prediction and Retrospective Ionospheric Modelling over Europe), era quello di approfondire la conoscenza del comportamento nello spazio e nel tempo del plasma ionosferico a medie latitudini, per valutarne gli effetti sui sistemi in uso per

telecomunicazioni radio. Il progetto si articolava in cinque Working Groups che comprendevano i seguenti temi: sondaggi ionosferici verticali; sondaggi ionosferici obliqui; mapping ionosferico regionale in tempo reale; previsioni ionosferiche regionali a corto termine; modellamento ionosferico regionale e previsioni ionosferiche a medio/lungo termine.

Le ricerche condotte dall'U.O. Aeronomia hanno riguardato, oltre alle attività sperimentali, lo studio della variabilità ionosferica in funzione dell'attività solare finalizzata allo sviluppo di modelli per previsioni a medio/lungo termine dei parametri ionosferici su scala regionale, di un modello per il mapping regionale ionosferico in tempo reale, e di un modello per ricavare il profilo verticale di densità elettronica. Gli interessanti risultati ottenuti attraverso il PRIME hanno costituito la base per la compilazione di un *Software Handbook (1996)* in grado di fornire agli utenti: a) profili verticali di densità elettronica tra 50/1000 km di quota, b) mapping e modellamento delle caratteristiche ionosferiche standard e del contenuto elettronico totale, TEC e c) algoritmi di previsioni ionosferiche a corto termine (ovvero con un anticipo di 24 ore).

1.4. Misure e ricerche sperimentali nell'alta atmosfera e nella ionosfera con tecniche radio

Nel campo della fisica dell'alta atmosfera, le grandezze caratteristiche di interesse non possono generalmente essere misurate *in situ*, soprattutto quando le misure richieste debbono essere continue e sistematiche. Tali parametri sono generalmente ricavati da misure radioelettriche (ampiezza, fase, spostamento Doppler ecc.) di segnali radar o apparecchiature riceventi passive di stazioni e osservatori a terra. A questo proposito negli Osservatori di Roma e Gibilmanna sono stati installati particolari strumenti che, insieme alle tradizionali misure delle caratteristiche ionosferiche necessarie nel campo delle telecomunicazioni, permettono: A) lo studio della bassa ionosfera attraverso l'osservazione dell'altezza delle superfici di isodensità elettronica misurata con ricevitori sintonizzati su stazioni Omega nel campo delle frequenze VLF, B) lo studio dell'atmosfera ionizzata, intesa in senso globale, attraverso la misura del contenuto colonnare di elettroni, TEC (*Total Electron Content*), tramite ricevitori NNSS (*Navy Navigation Satellite System*). Questi due tipi di osservazioni sono completate con un altro sistema HF-Doppler per la misura della velocità di deriva del plasma ionosferico che permette una maggiore comprensione dei fenomeni di dinamica del plasma ionosferico.

1.5. Morfologia dell'alta atmosfera ed interazioni Sole-Terra

I modelli utilizzati per la previsione della radiopropagazione ionosferica a lungo termine sono basati su un'analisi statistica e morfologica di condizioni mediane mensili dell'andamento della densità elettronica alle varie quote da cui poi si ricavano i parametri operazionali del radiocollegamento, ovvero la MUF (*Maximum Usable Frequency*) e la LUF (*Lower Usable Frequency*). Naturalmente una morfologia mediana mensile, definita spesso ed impropriamente ionosfera normale, non tiene conto della variabilità giornaliera, o a cortissimo termine, definita a sua volta come ionosfera perturbata, dovuta alle improvvise variazioni del flusso di radiazione ionizzante di origine solare. In questa fenomenologia rientrano eventi particolarmente vistosi quali le tempeste ionosferiche, associate a tempeste magnetiche, e le strutture irregolari fra le quali particolare rilevanza assumono le perturbazioni ionosferiche viaggianti (TIDs, *travelling ionospheric disturbances*). Lo studio delle TIDs offre un importante contributo alla conoscenza del pianeta in quanto chiarisce i meccanismi di trasporto e di bilancio energetico nell'alta atmosfera. La caratteristica saliente di queste strutture irregolari osservabili nella ionosfera è quella di avere natura ondosa con periodi abbastanza brevi (dalle decine di minuti fino a qualche ora). Non essendo possibile studiare questi fenomeni con il normale sondaggio ionosferico di routine, sono state effettuate diverse campagne di sondaggi ionosferici verticali ad elevata ripetizione con intervalli sino a 5 minuti. In un'analisi dei dati misurati intorno all'alba, sono stati osservati gli effetti delle oscillazioni delle superfici isoelettroniche provocate dal terminatore solare. È stato introdotto un nuovo indice, dedotto da ionogrammi, tramite il quale le oscillazioni ionosferiche risultano più evidenti di quanto non lo siano attraverso gli altri parametri tradizionali. Subito dopo l'alba sono stati messi in evidenza effetti di GWs (*Gravity Waves*) sovrapposti alle onde osservabili nel corso della notte. Questo conferma che il

terminatore solare ovvero la superficie di separazione fra la parte illuminata e quella buia della atmosfera, è in grado di generare GWs rilevabili come TIDs a media scala.

Nell'ambito delle irregolarità ionosferiche, rilevante interesse per i suoi effetti radiopropagativi riveste lo strato E sporadico, uno strato di intensa ionizzazione, frequentemente osservabile a quote intorno ai 110 km, causato da GWs nella termosfera indotte da dinamiche atmosferiche a bassa quota. È stata pertanto condotta un'analisi statistica di eventi meteorologici intensi a larga scala, allo scopo di verificare una possibile correlazione tra la ionizzazione e l'occorrenza dell'E sporadico con il passaggio dei fronti freddi nella troposfera. Tale analisi non ha però mostrato alcuna evidente correlazione tra i due fenomeni.

Gli studi condotti dall'U.O. Aeronomia sul tema delle interazioni Sole-Terra hanno riguardato in modo particolare i fenomeni calorimetrici della ionosfera su scala planetaria. Il parametro fisico utilizzato è stato la mediana mensile $h'F$ dell'altezza virtuale della regione ionosferica F. Anche se essa dipende dall'indice di rifrazione di gruppo degli strati ionosferici sottostanti, con buona approssimazione può essere assimilata all'altezza della base della regione F. Tali altezze definiscono quindi una superficie ideale descritta in armoniche sferiche ma in un nuovo sistema di riferimento avente l'asse polare lungo la direzione Sole-Terra. In questo nuovo sistema di riferimento si osservava una più rapida convergenza del sistema, tale che solo 24 coefficienti dell'espansione si dimostrarono sufficienti per una completa descrizione spaziale della superficie in questione con una deviazione standard (mediata su tutta la Terra).

1.6. Misure di ozono ed aerosol nella stazione LIDAR di L'Aquila (SLAQ)

Dall'inizio degli anni '90 l'U.O. Aeronomia è attiva nella misura della concentrazione di ozono nella stratosfera e nello studio dei modelli di cambiamento globale grazie alla collaborazione scientifica tra l'Istituto Nazionale di Geofisica (I.N.G.) ed il Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di L'Aquila. Lo scopo comune è stato lo sviluppo di apparati di misura per lo studio e il monitoraggio della concentrazione di ozono e di altri costituenti presenti in atmosfera usando come tecnica di indagine il sondaggio LIDAR (*Light Detection And Ranging*). Tale tecnica consiste sostanzialmente nell'inviare in atmosfera impulsi laser con lunghezza d'onda nota e nel raccogliere il segnale retrodiffuso dall'atmosfera. L'analisi temporale del segnale ricevuto equivale, nota la velocità della luce, a fare un'analisi in quota del segnale stesso. Attualmente la stazione SLAQ, situata nei pressi dell'Osservatorio Geofisico di Preturo dell'I.N.G., comprende due sistemi lidar: il sistema DIAL (*Differential Absorption Lidar*) per la misura di profili di ozono in stratosfera e il sistema per il monitoraggio degli aerosol di origine vulcanica. La parte attiva del sistema DIAL è costituita da un laser ad eccimeri mentre la parte di ricezione del sistema è composta principalmente da un telescopio di tipo Cassegrain di 1 m di diametro e 10 m di focale e da una coppia di fotomoltiplicatori controllati termicamente e poi processati dall'elettronica di fotoconteggio ad intervalli temporali di 2 ms. Tale sistema permette di ottenere profili della concentrazione di ozono nell'intervallo di quota compreso tra 15 km e 45 km ad intervalli di quota pari a 300 m. Con il secondo sistema della SLAQ, sostanzialmente molto simile al precedente, si eseguono essenzialmente misure di *Backscattering Ratio*, una grandezza legata otticamente alla presenza di aerosol in stratosfera. I profili di *Backscattering Ratio* possono essere ottenuti nell'intervallo di quota compreso tra 10 km e 40 km con una risoluzione di 300 m. I due sistemi hanno funzionato simultaneamente dalla metà del 1991 in concomitanza con l'eruzione del vulcano filippino Pinatubo verificatasi tra il 12 e il 16 giugno 1991. Tale eruzione ha immesso in stratosfera dalle 20 alle 30 megatonnellate di biossido di zolfo misto a cenere. Nel giro di pochi mesi l' SO_2 si è trasformata in aerosol liquidi composti da una soluzione di H_2O e H_2SO_4 , che si sono diffusi su tutto il globo, a causa dei fenomeni di trasporto, raggiungendo le medie latitudini agli inizi di agosto dello stesso anno. Ciò ha permesso di iniziare un lavoro di ricerca mirato principalmente al monitoraggio degli aerosol del Pinatubo e allo studio dell'influenza che essi hanno sulla concentrazione di ozono e sul bilancio radiativo del pianeta. L'attualità di tale ricerca è legata fortemente al problema relativo alla diminuzione di ozono, sia alle alte che alle medie latitudini, che si è verificata negli ultimi anni. Gli aerosol originati dall'eruzione del Pinatubo sono stati misurati nella SLAQ a partire dall'agosto del 1991 come piccoli strati, presenti a circa 16 km e sporadicamente a 23 km. Dopo circa tre mesi dall'eruzione sono stati osservati strati più consistenti a quote superiori, la cui presenza è dovuta al trasporto su larga scala, dai tropici verso latitudini più alte, della nube originaria. Dal gennaio del 1992, dopo un periodo in cui

sono stati osservati strati molto intensi, i profili di *backscattering ratio* mostrano un andamento decrescente, con il massimo del profilo che lentamente si abbassa in quota, prevalentemente a causa del processo di sedimentazione delle particelle; gradualmente negli anni successivi la presenza di aerosol in stratosfera è tornata a valori tipici (*situazione di background*). Il principale problema per la misura DIAL di ozono è dovuto alla differente interferenza ottica sulle due lunghezze d'onda causata dalla presenza in stratosfera di un grande quantitativo di aerosol. Per cercare di risolvere questo problema è stato sviluppato un nuovo algoritmo per l'inversione dei segnali DIAL che utilizza i parametri ottici degli aerosol, ricavati direttamente dai segnali lidar alle tre lunghezze d'onda disponibili nella SLAQ (308 nm, 351 nm, 589 nm), per correggere i profili di ozono. Da questo tipo di analisi, oltre alla correzione dei profili di ozono, sono state ottenute anche informazioni sulle proprietà ottiche degli aerosol. Il metodo di correzione è stato applicato, con notevole successo, all'intero set di misure effettuate presso la SLAQ. Tali risultati sono stati inoltre validati effettuando misure in concomitanza del lancio di ozonosonde e di *overpass* sulla stazione di strumenti trasportati in orbita da satelliti quali il SAGE II (*Stratospheric Aerosol and Gas Experiment II*), montato sul satellite ERBE (*Earth Radiation Budget Experiment*), e lo strumento MLS (*Microwave Limb Sounder*) montato sul satellite UARS (*Upper Stratosphere Remote Satellite*). Come completamento dell'attività di ricerca svolta a L'Aquila, la SLAQ ha partecipato a campagne di misura artiche nelle quali sono stati sviluppati sistemi lidar per effettuare misure alle alte latitudini dell'emisfero Nord. Il primo lidar è stato installato a Sodankyla (67°N, 13°E), Finlandia, durante la campagna EASOE (*European Arctic Stratospheric Ozone Experiment*) nell'inverno 1991-92 ed era un sistema DIAL per misure di ozono sviluppato in collaborazione con il CNRS francese. Successivamente è stato sviluppato, in collaborazione con l'IROE/CNR di Firenze, la Freie Universität di Berlino (Germania), l'Observatoire Cantonal di Neuchâtel (Svizzera), l'Université de Lyon (Francia) ed il Finnish Meteorological Institute (Finlandia), un sistema per lo studio degli aerosol stratosferici nell'ambito del progetto MOANA (*Measurement and modelling of Ozone and Aerosol in the Northern Atmosphere*). Tale lidar, installato sempre presso l'Istituto Meteorologico Finlandese a Sodankyla, ha funzionato nell'inverno 1994-95 con notevole successo. La finalità dello sviluppo di questo lidar è stata quella di effettuare misure di PSC (nubi stratosferiche polari) con un sistema a più lunghezze d'onda per poterne studiare i meccanismi di formazione e le caratteristiche chimico-fisiche. L'importanza di tale ricerca è legata al ruolo che le PSC, composte prevalentemente da acido nitrico e acido solforico in soluzione acquosa, hanno nella chimica dell'ozono polare. Esse fungono da catalizzatori dei processi chimici che portano alla diminuzione della concentrazione dell'ozono alle alte latitudini. Mentre alcuni anni fa si parlava di diminuzione di ozono solo al Polo Sud per un ben determinato periodo dell'anno, da qualche tempo è stato messo in evidenza come il fenomeno diventi rilevante anche al Polo Nord con episodi stagionali analoghi al *buco di ozono* che si verifica in Antartide, ma meno intensi di quest'ultimo, e con una lenta ma continua diminuzione su base annua che influenza, cosa ancor più importante, anche la concentrazione di ozono alle medie latitudini. Tale diminuzione è quantificabile intorno al 10% per decade alle medie latitudini dell'emisfero Nord (si vedano le note informative del WMO, *World Meteorological Organization*, degli ultimi anni).

2. Collaborazioni con Istituzioni nazionali e internazionali

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

Il Laboratorio di Fisica Atmosferica e Radiopropagazione dell'ICTP costituisce per l'U.O. Aeronomia un importantissimo partner, non solo nei lavori di ricerca svolti nell'ambito dei progetti COST, ma anche nell'attiva partecipazione, quali docenti e/o discenti, nelle Scuole di discipline ionosferiche organizzate annualmente dal Centro.

2.2. PRIME (*Prediction Retrospective Ionospheric Mapping over Europe*)

Il PRIME è stato un progetto di ricerca promosso dalla Comunità Europea della serie COST (*Cooperation in Scientific and Technological Research*) che, nel corso di cinque anni, ha unito gli sforzi di circa 70 ricercatori provenienti da 31 Istituzioni di 17 paesi differenti, di fatto la maggior parte dei gruppi che in Europa si occupano di Fisica e Radiopropagazione Ionosferica. Scopo principale del progetto è stato, oltre alla sistemazione di una vastissima e sparsa banca dati, la realizzazione di una serie di modelli della ionosfera normale e perturbata finalizzata alla produzione, attraverso un software ad hoc, di mappe delle condizioni di densità elettronica nell'area Europea. Un importante contributo alla realizzazione di questo progetto è stato dato dai ricercatori dell'U.O. Aeronomia non solo con la partecipazione a campagne di misure sperimentali o con la produzione di modelli teorici, adottati dal Management Committee, ma anche nella gestione delle attività di ricerca ricoprendo incarichi di coordinamento.

In particolare la collaborazione ha coinvolto 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/IOE 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.

2.3. 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 Arctic and Mid-latitude Experiment*), LITE (*Laser In space Technology Experiment - Shuttle-*). In essi la stazione ha avuto il riconoscimento della comunità scientifica internazionale come stazione a terra per la validazione di misure effettuate da strumenti installati sui satelliti e su navette spaziali e come sito permanente nella rete NDSC (*Network for the Detection of Stratospheric Change*) per lo studio dei cambiamenti in stratosfera a livello planetario. 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 de la Recherche Spatial, Francia; il CNR/IOE 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.

2.4. Misure ionosferiche durante la missione "*Tethered Satellite System Reflight*"

L'U.O. Aeronomia ha partecipato alla programmazione e quindi all'esecuzione, all'inizio di questo anno, 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 una *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. Alcuni primi risultati, derivanti da una parziale analisi delle misure fatte, sono stati presentati alla conferenza dell'American Geophysical Union lo scorso mese di maggio.

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

2.5. Eurocap Program

L'U.O. Aeronomia è stata inserita nell'EUROCAP PROGRAM, un progetto di ricerca finanziato dall'"European Research Office", organismo dell'Esercito degli Stati Uniti, con lo scopo di compiere e collezionare misure delle condizioni ionosferiche nell'area europea attraverso un limitato network di ionosonde situate in Spagna, Belgio e Italia. Tali misure sono finalizzate all'affinamento di modelli di previsione ionosferica a corto o cortissimo termine che utilizzano, per le correzioni istantanee, dati provenienti da satelliti GPS.

Unità Organica Laboratori e Centro di Elaborazione Dati (LAB/CED)

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

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 1996 è stata migliorata aumentando la velocità di trasmissione tra l'I.N.G. e l'Istituto di Fisica da 64 Kbyte a 2 Mbyte. Sono stati installati a fine 1996 due Web server per la presentazione ufficiale del nostro Istituto, dedicando una parte dello spazio a scopo pubblicitario.

Sostituzione Vax-Alpha

Nel 1995 è iniziato inoltre il lavoro di preparazione che ha portato nel 1996 alla dismissione dell'architettura Vax classica per essere soppiantata da una piattaforma Alpha. In pratica si sono svolte tutte le operazioni necessarie a migrare il software esistente verso l'architettura Alpha ed è stato sostituito il vecchio cluster di dischi con un cluster in FDDI.

Cablaggio ottico

Nel 1996 è stata installata e portata a termine la nuova architettura di rete basata su fibra ottica. Tale cambiamento ha comportato oltre alla eliminazione delle vecchie architetture, l'adozione di un nuovo sistema di rete basato su backbone FDDI: per quanto riguarda la parte periferica e terminale ci si è basati su una casa produttrice di reti indipendente da vari "vendors", per assicurare la massima compatibilità di protocolli. La scelta si è concretizzata con la casa 3 COM leader di apparati di comunicazione con rapporto prezzo/prestazioni molto buone.

Attualmente quindi la rete principale è a fibra ottica a 100 Mbit con distribuzione mista coassiale e twisted pair a 10 Mbyte, RG58, RJ45 e fast ethernet 100 Mbit.

1.2. Laboratorio di geologia sperimentale

Nel 1996 si è provveduto a organizzare il laboratorio di geologia sperimentale, facendo un progetto di sviluppo, acquistando il materiale ed iniziando la sperimentazione. Le attività svolte dal Laboratorio nel 1996 sono descritte di seguito secondo le sue tre linee di ricerca.

Progetto sulla "Reologia dei magmi e delle rocce in ambiente vulcanico"

La conoscenza della reologia dei fluidi vulcanici polifasici è di fondamentale importanza per l'analisi della deformazione dei fluidi di interesse geologico, quali i magmi e le sospensioni detritiche. Essa occupa un ruolo di primaria importanza sia nel calcolo della pericolosità di un evento vulcanico che nel calcolo della vulnerabilità dei valori soggetti a tale evento.

A questo fine la ricerca ha analizzato le curve costitutive dei magmi sia a temperature superiori a quella del liquidus che a temperature corrispondenti all'intervallo di cristallizzazione. In particolare, in quest'ultimo intervallo di temperatura è stata la reologia delle lave del Vesuvio a temperature nel rango 1160-1180 °C. Tale lavoro è stato inviato al congresso del Gruppo Nazionale di Vulcanologia a Roma.

Progetto sulla "Deformazione dei rilievi montuosi e vulcanici, con implicazioni sulla pericolosità"

La definizione areale della pericolosità vulcanica e dei rilievi montuosi, già basata unicamente sui prodotti eruttivi e sulle frane, è integrata da un'analisi di campo, sperimentale e teorica della dinamica deformativa ("creep") dei rilievi topografici, vulcanici e montuosi, secondo le seguenti tematiche: rilevamento geologico, geologia regionale, geologia stratigrafica, geologia strutturale, telerilevamento, modellistica (analitica, analogica, numerica) e pericolosità.

I risultati ottenuti sono stati presentati al Congresso dell'American Geophysical Union ed al Congresso dell'AIQUA.

Progetto "Modellizzazione del trasporto di massa, momento e specie chimiche negli acquiferi degli apparati vulcanici"

Il progetto ha elaborato un modello ad elementi finiti tridimensionale dell'acquifero del vulcano Colli Albani. Per la definizione della geometria e della permeabilità dell'acquifero tale modello è basato su dati geologici, litologici e strutturali, già a disposizione dai rilevamenti passati. Le condizioni al contorno sono date dalle variazioni stagionali ed areali del drenaggio superficiale e della piovosità.

I risultati del modello sono la variazione spazio temporale dei livelli piezometrici delle varie falde libere ed in pressione, ed il campo delle velocità di flusso nell'acquifero con i conseguenti tempi di permanenza dell'acqua lungo le varie linee di flusso.

L'utilità dei risultati riguarda la valutazione della provenienza e dei tempi di permanenza nell'edificio vulcanico dei traccianti geochimici e la stima della subsidenza e della variazione micro-gravimetrica dovuta ai cambi del livello piezometrico della falda freatica. Infine, è stata valutata la pericolosità di inquinamento dell'acquifero a causa della attività vulcanica. I risultati sono stati presentati al Congresso dell'American Geophysical Union ed alla Regione Lazio.

1.3. Laboratorio di Telerilevamento

Il Laboratorio di Telerilevamento dell'Istituto Nazionale di Geofisica è stato istituito nel 1990 con l'obiettivo di svolgere ricerca applicata nel campo delle Scienze della Terra impiegando le tecniche di rilevamento remoto con sensori spaziali ed aerotrasportati. Con il tempo le competenze del Laboratorio si sono estese anche all'impiego dei Sistemi Informativi Geografici (GIS) per la gestione di dati territoriali.

Le attività scientifiche svolte dal Gruppo di Telerilevamento si sono esplicitate nell'ambito di 4 linee di ricerca elencate di seguito. I progetti avviati all'interno di esse sono riportati nel paragrafi di seguito.

Sperimentazione di nuovi sensori aerotrasportati

L'attività riguarda l'impiego di spettrometri ad immagine di nuova generazione per applicazioni di interesse geofisico. Sensori 'iperspettrali' con elevato numero di canali (fino a 224 nell'intervallo 0.4 - 2.5 μm) 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 tecnologie necessarie all'utilizzo dei sensori satellitari che saranno attivi nel prossimo decennio. In particolare sono state 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 riflettanza direzionale/direzionale, radianza, rugosità, composizione mineralogica qualitativa.

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, DAEDALUS) 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.. Si ritiene 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.

Studio delle deformazioni crostali

Gli studi sono volti all'individuazione di strutture sismotettoniche attive con l'impiego di dati telerilevati da satellite (generalmente 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 e rilievi di campagna, fino a stabilire una eventuale attività sismogenetica della struttura in oggetto.

Telerilevamento dei vulcani dell'Etna e delle Isole Eolie

Il progetto riguarda 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 del rischio vulcanico. 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 di temperatura areali alla superficie, la concentrazione di SO_2 nel plume emesso dalle bocche e dalle fumarole, la stima del flusso di 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 dell'attività vulcanica.

Il Sistema Informativo Geografico dell'ING: il SING

E' stata pianificata la creazione di un Sistema Informativo Geografico per la gestione dei dati prodotti all'ING. La grande maggioranza di tali dati è rappresentabile sul territorio in coordinate geografiche e valori alfanumerici, ed il loro significato è strettamente connesso alla loro posizione nello spazio. Da anni ormai, analoghi centri di ricerca impiegano queste tecniche per gestire i loro dati e per applicare in modo rapido e sempre aggiornato i modelli per l'analisi dei dati.

In questa fase di creazione del SING si tratta di individuare gli *user requirements* nella gestione ed analisi dei dati, di ideare le strutture delle banche dati e standardizzare i formati di input, di creare le interfacce utente e individuare le *queries* più frequenti, di creare le procedure di analisi e di interfacciare i modelli già sviluppati dai ricercatori nell'ambito del SING, di sviluppare dei *templates* di output per produrre mappe e grafici. E' previsto in particolare l'impiego del SING per la Sala Sismica, nelle fasi di localizzazione epicentrale ed output dei risultati.

Nel 1996, date le scarse risorse dedicate al SING, è stata ultimata solamente la struttura della banca dati cartografica, includendo elementi cartografici digitalizzati alla scala 1:1.000.000 per tutta l'Italia, quali ad es. rete viaria, idrografia, topografia, toponomastica principale, rete ferroviaria. Per quanto riguarda i dati geofisici, sono stati inserite le localizzazioni epicentrali di eventi strumentali dal 1983 ad oggi, copertura orografica e *shaded relief* e, per alcune regioni, isosisme di terremoti storici, immagini da satellite Landsat, geologia di superficie, faglie, carte morfometriche, ecc.

Attività di formazione universitaria e post-universitaria

Laboratorio di Telerilevamento

Nel 1996 sono state attive due tesi di laurea in Scienze Geologiche nell'ambito di progetti sul Telerilevamento dell'isola di Vulcano e sullo studio delle deformazioni crostali in Appennino. In questo ambito è stata prodotta una pubblicazione.

E' stata inoltre assegnata una borsa di studio annuale nell'ambito del progetto CEE "Geochemical Seismic Zonation" per la creazione del Sistema Informativo Geografico del Gargano. In questo ambito sono state prodotte 3 pubblicazioni.

E' stato invitato presso l'ING il Dott. Fawzi Doumaz, ricercatore del CRAAG di Algeri, per imparare le tecniche del telerilevamento nelle applicazioni di sismotettonica. Sono attualmente in corso di preparazione due pubblicazioni sul lavoro svolto relativamente all'area di El Asnam.

1.4. Laboratorio per le ricerche tecnologiche avanzate

Wood-Anderson digitale

E' stata realizzata una versione moderna di un sismografo *Wood-Anderson* (quello dove, storicamente, fu definita la magnitudo di un terremoto).

La parte innovativa consiste nel sistema di registrazione che utilizza un laser a stato solido ed un sensore CCD ed un processore DSP per la digitalizzazione della posizione della massa del sensore. La risoluzione del sistema è di 15 bit a 25 campioni al secondo, ed i dati, forniti in ASCII piano su porta seriale sono acquisibili da calcolatore con semplicità.

Pendoli della Grotta Gigante di Trieste

Il sistema di digitalizzazione adottato per il *Wood-Anderson* (sistema di digitalizzazione della posizione di un punto laser) viene attualmente sperimentato utilizzato per la digitalizzazione dei pendoli della Grotta Gigante.

Tali pendoli (due pendoli orizzontali dal periodo proprio di 6 minuti) sono utilizzati per lo studio delle maree terrestri e delle oscillazioni libere della terra, e le loro oscillazioni sono

registrate con un sistema di leve ottiche su carta fotografica. E' evidente che una digitalizzazione del sistema di registrazione, oltre a rendere i dati direttamente disponibili in un formato trattabile direttamente al calcolatore, potrà evidenziare fenomeni che sfuggono alla registrazione fotografica. L'elettronica, già parzialmente realizzata presso il Laboratorio Elettronico discende da quella costruita per il W.A., con alcune migliorie che riguardano la regolazione automatica dell'intensità del laser. Una installazione preliminare effettuata nel luglio '96 ha fornito eccellenti risultati.

Progetto 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) prevede il lancio di un pallone aerostatico stratosferico con carico utile scientifico, che sorvolerà il cielo dell'Antartide per un mese, acquisendo dati cosmologici, geologici e geofisici. Il Laboratorio dell'I.N.G. ha progettato e realizzato il prototipo del sistema di posizionamento angolare della navicella. Il sistema, che sfrutta l'osservazione del sole (non essendo proponibile l'uso del campo magnetico o misure inerziali), è formato da due sotto sistemi, uno grossolano ad alta affidabilità, realizzato in logica cablata e l'altro, di elevata precisione, realizzato usando un DSP.

Reti neurali simulate

Le reti neurali simulate consentono un utile approccio a problemi difficilmente risolvibili con metodi algoritmici. La loro caratteristica di potere essere istruite attraverso esempi le rende indispensabili in tutti i casi in cui la conoscenza non sia formalizzabile. Questo classe di problemi comprende quella della identificazione e classificazione dei sismogrammi, dove l'esperienza di un interprete umano è ancora insostituibile. Lusinghieri esperimenti in tal senso sono stati condotti dal Laboratorio dell'I.N.G. mediante l'uso di reti *feed-forward*.

Stazione di monitoraggio geochimico.

E' stata progettata e costruita, ed è attualmente in procinto di essere installata, un prototipo di stazione per il monitoraggio geochimico (GMS II, vedi dopo). Il Laboratorio ha curato la parte elettronica della stazione, sviluppando l'elettronica di interfaccia tra diversi sensori ed il software di acquisizione e comunicazione con un interrogatore remoto.

Sensore di campo elettrico

E' stato realizzato il prototipo di un misuratore di campo elettrico per uso geofisico. Basato sul principio classico del *field-mill* il sensore offre una sensibilità 10 volte superiore ai modelli riportati in letteratura, ed è stato previsto sia per l'uso terrestre che per l'uso stratosferico (progetto BOOMERANG).

Stazione sismologica in Antartide

Il Laboratorio ha curato l'installazione e la manutenzione della stazione vbb TNV presso la base italiana in Antartide Baia Terra Nova.

1.5. Laboratorio di Geochimica dei Fluidi Applicata alla Sismotettonica

Il Laboratorio di Geochimica dei Fluidi Applicata alla Sismotettonica dell'Istituto Nazionale di Geofisica ha iniziato la sua attività nel 1990 con l'obiettivo di svolgere ricerca applicata nel campo delle Scienze della Terra impiegando le tecniche della *geochimica dei fluidi* sia finalizzandole allo studio di aree sismiche attive (studio dei precursori sismici e riconoscimento di faglie attive) sia al controllo dei serbatoi acquiferi e gassosi di origine naturale; negli ultimi tempi il monitoraggio geochimico ha assunto anche una finalità di controllo di alcuni rischi ambientali quali il contenuto di Radon e CO₂ sia nelle acque che nei suoli e negli edifici (Colli Albani). La trattazione dei dati avviene con tecniche di statistica multivariabile, programmi di calcolo degli equilibri chimici, programmi di gridding delle

anomalie geochimiche e, recentemente, utilizzando i Sistemi Informativi Geografici (GIS) per la gestione di dati territoriali.

Le attività scientifiche svolte dal Gruppo di Geochimica dei fluidi si sono esplicate nell'ambito di alcune linee di ricerca elencate di seguito. I progetti avviati all'interno di esse sono riportati nel paragrafi 2 e 3.

Studio dei precursori geochimici e dell'interazione fluidi-ciclo sismico

Questa linea di ricerca è finalizzata ad approfondire le conoscenze, anche di base, del comportamento di parametri geochimici nei fluidi durante il ciclo sismico, scegliendo test-sites idonei alla sorveglianza geochimica di eventi sismici. Si evidenziano così tramite la geochimica dei fluidi dei processi pre-sismici in atto, le sorgenti sismiche ed i fenomeni legati allo stress-strain asismico, legati alla risalita di fluidi in superficie ed ai processi profondi di self-sealing. Il movimento dei fluidi - e quindi la loro variazione chimica e termodinamica - può comportare sismicità: si studiano pertanto le correlazioni con eventi sismici vicini e lontani per future applicazioni di previsione sismica ma soprattutto per capire meglio il processo sismogenetico.

Fin dal 1990 è stata installata presso Rocca di Papa (Colli Albani) una stazione geochimica di monitoraggio in continuo, il cui monitoraggio è proseguito durante tutto il corso del 1996 (misura in continuo di temperatura, pH, Eh, CO₂, pressione barometrica, temperatura atmosferica), mentre proseguono le analisi discrete di ²²²Rn ed altri parametri geochimici nelle acque. Nel 1996 è proseguito lo sviluppo - iniziato nel 1995 - del II Prototipo di *Geochemical Monitoring System (GMS II)* che permette di monitorare in continuo alcuni parametri geochimici nelle acque (temperatura, Conduttanza Elettrica, pH, Eh, CO₂, He Rn, livello, etc.); nel maggio 1997 è prevista l'installazione di una stazione GMS II presso *Acque Albule* di Tivoli (vedi Programmi ECE *Geochemical Seismic Zonation* e *Automatic Geochemical Monitoring of Volcanoes*).

Riconoscimento di sistemi di faglia attivi e non

Scopo principale dell'applicazione areale della *geochimica dei fluidi* in aree sismogenetiche è la definizione del contributo di tale disciplina al Seismic Hazard Assessment (SHA); tale applicazione è stata concertata in un approccio multidisciplinare nel programma EC *Geochemical Seismic Zonation* (vedi dopo). In particolare la ricerca intende definire un ampio spettro di parametri geochimici, sia nelle acque, che, in misura minore, nei suoli, come mezzo per tracciare faglie attive (come ad esempio He, Ra, Rn, H₂, H₂S, CO₂, CH₄, NH₃, SiO₂, B, Li, Rb, Cs, Sr, Fe, Mn, F, Se, Tl, Hg, As, Sb, ³T, d ¹⁸O, d D, d ¹³C, d ³⁴S, ²²⁰Rn/²²²Rn, ⁴He/⁴⁰Ar, ³He/⁴He, ⁴⁰Ar/³⁶Ar, ⁸⁷Rb/⁸⁶Sr, ³⁵Cl/³⁷Cl). I dati analitici acquisiti vengono poi elaborati con tecniche di statistica multivariabile, calcolo degli equilibri chimici, modelli di flusso e trasporto massa/calore, tecniche di GIS e mappature areali ragionate (integrando geologia strutturale, sismologia, gravimetria, idrogeologia, etc.). Durante il 1996 sono state effettuate campagne geochimiche nelle seguenti aree: Ischia, Gargano, Alpi (Linea del Tonale-Giudicarie), Sardegna (Graben del Campidano), Colli Albani e parte del Sannio-Matese.

Studio della geochimica dei fluidi di ambiente abissale

Questa linea di ricerca ha come finalità lo sviluppo di tecniche di monitoraggio continuo e discreto della geochimica dell'ambiente di fondo oceanico - in un approccio multidisciplinare (vedi programma EC *GEOSTAR*). Lo studio prevede di approfondire le conoscenze sui flussi di massa e calore nonché sui processi geochimici e biochimici in atto sui fondali marini, specialmente se interessati da campi idrotermali e presenza di idrocarburi fluidi o solidi. Lo studio temporale è indirizzato soprattutto alle specie chimiche riducenti (H₂S, H₂ e CH₄ ed altri idrocarburi) importanti nella produzione di materia organica, di energia e nei processi geochimici basilari di quegli ambienti sottomarini estremi (chemosintesi, etc.). Lo sviluppo di stazioni multiparametriche abissali di monitoraggio in continuo è strategica al fine della comprensione di tali processi soprattutto se connessi ad episodi sismotettonici. Nel 1996 il Laboratorio è stato impegnato nella prima campagna

geochimico - oceanografica nel mare di Ustica - Isole Eolie, con campionamenti, analisi e profili fino a 3000 mt di profondità (piana abissale di Ustica) nell'ambito del Programma ECE GEOSTAR..

Sviluppo del laboratorio

Presso la SEDE I.N.G. di Roma è stato implementato il *Laboratorio I.N.G. di Geochimica dei Fluidi Applicata alla Sismotettonica*, che attualmente consiste nella seguente strumentazione, (in grassetto la strumentazione acquistata nel 1996):

- 1 spettrometro di massa VARIAN per analisi di He (analisi discrete);
- 1 spettrometro di massa ALCATEL - *leak detector* per analisi di He (analisi continue);
- 1 Cromatografo Liquido DIONEX con colonne anioniche e cationiche per l'analisi di Ca, Mg, Na, K, Sr, Li, NH₄ (ed altri cationi in tracce), nonché SO₄, Cl, NO₃, NO₂, PO₄, F (ed altri anioni in tracce);
- 1 gas-cromatografo portatile CHROMPACK, a doppia colonna per l'analisi - in fase gassosa - di CO₂, CH₄ (ed altri idrocarburi), H₂, H₂S, SO₂, COS, O₂, Ar, Ne, N₂, e composti minori;
- 1 Radonometro portatile con valigetta da vuoto RD-RU200 EDA Instruments, per la misura del ²²²Rn e altri radioisotopi sia nella fase liquida che gassosa;
- 1 Radonometro in continuo *prototipo I.N.G.* con sistema a scintillazione;
- 3 sistemi potenziometrici ORION (piaccametri-voltmetri) per analisi potenziometrica con elettrodi iono-selettivi (pH, Eh, H₂S, CO₂, NH₃, Cl);
- 2 conducimetri ANALYTICA per la misura della conduttanza elettrica nelle acque;
- 1 sistema completo di misura di flusso dei gas dal suolo (scatola di flusso e sonde);
- 1 linea di estrazione in vetro per l'estrazione dei gas dalle acque (1997), da accoppiare al gas cromatografo;

2. Attività di ricerca in collaborazione con istituzioni nazionali

2.1. Laboratorio di Geologia Sperimentale

Le linee di ricerca descritte nel capitolo precedente sono svolte nell'ambito dei seguenti progetti e collaborazioni.

Reologia

Progetto "*Reologia dei magmi e delle rocce in ambiente vulcanico*", (1992-1996). Nell'ambito di questo progetto vengono studiate le relazioni costitutive e misurati i parametri di fluidi geologici quali magmi e sospensioni argillose.

Ricerca sviluppata in collaborazione con:

- Università degli Studi di Torino,
- Istituto Internazionale di Vulcanologia, Catania,
- Università degli Studi di Roma "La Sapienza".

Deformazioni gravitative

Progetto "*Deformazione dei rilievi montuosi e vulcanici, con implicazioni sulla pericolosità*" (1992-1996). In questo progetto si prendono in esame le deformazioni gravitative profonde di versante dei rilievi montuosi e vulcanici, ricavando dati salienti per l'analisi della pericolosità geologica.

Ricerca sviluppata in collaborazione con:

- Terza Università, Roma, Italia;
- SGA, Bologna;
- Università di Milano, Italia;

Flusso nei mezzi porosi