

Lo studio dei vulcani attivi e delle
strutture crostali con reti sismiche
temporanee: storia, evoluzione e
prospettive della
Rete Sismica Mobile
dell'Osservatorio Vesuviano (INGV)

Quaderni di Geofisica

97



Quaderni di Geofisica

Direttore

Enzo Boschi

Editorial Board

Raffaele Azzaro (CT)

Sara Barsotti (PI)

Mario Castellano (NA)

Viviana Castelli (BO)

Rosa Anna Corsaro (CT)

Luigi Cucci (RM1)

Mauro Di Vito (NA)

Marcello Liotta (PA)

Simona Masina (BO)

Mario Mattia (CT)

Nicola Pagliuca (RM1)

Umberto Sciacca (RM1)

Salvatore Stramondo (CNT)

Andrea Tertulliani - Editor in Chief (RM1)

Aldo Winkler (RM2)

Gaetano Zonno (MI)

Segreteria di Redazione

Francesca Di Stefano - coordinatore

Tel. +39 06 51860068

Fax +39 06 36915617

Rossella Celi

Tel. +39 06 51860055

Fax +39 06 36915617

redazionecen@ingv.it

Lo studio dei vulcani attivi e delle strutture crostali con reti sismiche temporanee: storia, evoluzione e prospettive della Rete Sismica Mobile dell'Osservatorio Vesuviano (INGV)

The Study of Active Volcanoes and Crustal Structures using Temporary Seismic Networks: History, Development and Prospects of the Osservatorio Vesuviano (INGV) Mobile Seismic Network

Mario Castellano, Danilo Galluzzo, Mario La Rocca e Marco Capello

INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Napoli – Osservatorio Vesuviano)

Lo studio dei vulcani attivi e delle strutture crostali con reti sismiche temporanee: storia, evoluzione e prospettive della Rete Sismica Mobile dell'Osservatorio Vesuviano (INGV)

In questo lavoro viene descritta la storia della Rete Sismica Mobile dell'Osservatorio Vesuviano, attuale Sezione di Napoli dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), attraverso l'evoluzione strumentale e la descrizione delle principali attività di ricerca e monitoraggio svolte a partire dai primi anni '80. Dalle stazioni analogiche con registrazione su nastro magnetico alle prime stazioni digitali con registrazione a soglia, fino ai moderni acquisitori multicanale a 24bit, lo sviluppo tecnologico degli ultimi 30 anni ha contribuito in modo significativo al miglioramento delle conoscenze nei campi della sismologia e della sismotettonica.

La Rete Sismica Mobile è stata impiegata intensivamente sia per studi di sismica crostale che per quelli sulla sismicità in aree vulcaniche e tettoniche. Sui vulcani napoletani, in particolare, la Rete Mobile ha svolto un ruolo fondamentale integrando la Rete Permanente durante i periodi di crisi e fornendo dati di elevata qualità che hanno consentito l'analisi di dettaglio dei fenomeni in atto.

L'introduzione della sincronizzazione del tempo interno dei moderni acquisitori digitali mediante la ricezione del segnale GPS ha, inoltre, consentito l'impiego della Rete Sismica Mobile anche all'estero, sviluppando collaborazioni con i più importanti istituti ed enti di ricerca internazionali.

Attualmente la Rete Sismica Mobile dell'Osservatorio Vesuviano si sta sviluppando verso sistemi di acquisizione multicanale, anche in configurazione di *array*, in grado di registrare contemporaneamente i segnali di vari tipi di sensori (dai sismometri a larga banda ai tiltmetri ed agli accelerometri) per ampliare lo spettro delle frequenze analizzabili.

In this paper the history of the Mobile Seismic Network of the Osservatorio Vesuviano (at present Department of Napoli of the Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia – INGV) is described. The instrumental development and the main research and monitoring activities since the early 1980' are reported. Starting from the analog stations with magnetic tape recording to the first digital stations with trigger recording, until the modern multichannel 24bit devices, the technological development of the last 30 years has given a strong contribution to increase the knowledge in the seismology and seismotectonics fields.

The Mobile Seismic Network has been engaged in active and passive seismic studies both on volcanic and tectonic areas. Particularly, the contribution of the Mobile Seismic Network for the monitoring of Neapolitan active volcanoes has been very important to improve the Permanent Network. During seismic crises high quality data have been gathered allowing detailed analyses of the seismic activity.

Moreover, the time synchronization by means of GPS time code allowed the deployment of the Mobile Network abroad and the collaboration with the main international research institutes.

At present, the Mobile Seismic Network of the Osservatorio Vesuviano is developing on multichannel acquisition systems, also in array configuration, to gathered simultaneously seismic signals with a large frequency band.

Introduzione

A partire dalla seconda metà degli anni '60 l'introduzione di stazioni sismiche a modulazione di frequenza basate su VCO (*voltage-controlled oscillator*) ha contribuito in modo determinante allo sviluppo delle reti sismiche permanenti e al miglioramento della qualità delle informazioni raccolte. I modulatori, infatti, modulano la frequenza del segnale in modo proporzionale alla sua ampiezza utilizzando delle frequenze cosiddette "portanti". In questo modo il segnale sismico può essere trasmesso via radio e, soprattutto, registrato su nastro magnetico. Questo ha consentito per la prima volta l'archiviazione dei segnali sismici per una successiva riproduzione; fino a quell'epoca, infatti, la registrazione era limitata ai monitor a carta affumicata, a inchiostro o termosensibile.

Parallelamente al potenziamento delle reti permanenti centralizzate, la nuova strumentazione analogica, congiuntamente alla produzione di sismometri di nuova concezione dal peso e dimensioni più contenuti, è stata impiegata per realizzare stazioni portatili con cui effettuare la registrazione della sismicità durante esperimenti o a seguito di eventi sismici significativi. Anche in questo caso le nuove stazioni con registrazione su nastro magnetico hanno rapidamente sostituito i registratori portatili a carta del tipo *Portacorder Teledyne Geotech RV320B* o *Spregnether MEW-800*, anche se in molte nazioni questo tipo di registratore è rimasto in funzione fino agli anni '80 e '90 [es. Khattri et al., 1983; Hussein, 1999].

Il passo successivo è stato effettuato con l'introduzione delle stazioni digitali, inizialmente con acquisizione a *trigger* e successivamente in continuo, che hanno consentito il grande salto di qualità a partire dai primi anni '80. Anche le stazioni digitali hanno subito una continua evoluzione sia per quanto riguarda la dinamica dell'acquisitore, raggiungendo i 24 bit di risoluzione, che per la tipologia dei supporti di registra-

zione, passando dalle bobine a nastro magnetico fino agli attuali sistemi basati su *compact flash*, *hard disk*, *PC-card*, ecc. Inoltre, l'introduzione della sincronizzazione del tempo interno con il segnale GPS ha consentito l'utilizzo delle stazioni digitali in tutte le parti del mondo.

Contestualmente agli acquisitori, anche i sismometri hanno avuto una costante evoluzione tecnologica. Dai sensori elettromeccanici passivi a corto periodo si è passati a quelli attivi a banda estesa, fino ai sismometri a larga banda e a lungo o lunghissimo periodo. Anche l'uso di sensori accelerometrici è stato esteso agli impieghi con le stazioni temporanee, essendo particolarmente adatti alla registrazione di segnali ad alta frequenza e di elevata energia.

Nel presente lavoro viene descritto lo sviluppo tecnologico della Rete Sismica Mobile dell'Osservatorio Vesuviano, attualmente sezione di Napoli dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, il suo impiego nelle attività di ricerca e monitoraggio a partire dai primi anni '80, e le prospettive di utilizzo futuro. Inoltre, come una sorta di *diario di bordo* di più di 30 anni di campagne sismiche, lo scopo è anche quello di raccogliere informazioni e descrivere attività, in alcuni casi mai documentate, che hanno sempre visto il personale dell'Osservatorio Vesuviano, e i collaboratori che negli anni si sono succeduti, partecipare con grande entusiasmo anche in situazioni logistiche ed ambientali difficili. Purtroppo molti strumenti sono ormai in disuso ed alienati, per cui per documentarli si è dovuto ricorrere a immagini disponibili in rete, citandone in ogni caso la fonte.

1. La Rete Sismica Mobile dell'Osservatorio Vesuviano (INGV)

Attualmente la Rete Sismica Mobile della Sezione di Napoli Osservatorio Vesuviano dell'INGV (RSM-OV) è gestita dall'Unità Funzionale "Sismologia e Sismotettonica" ed

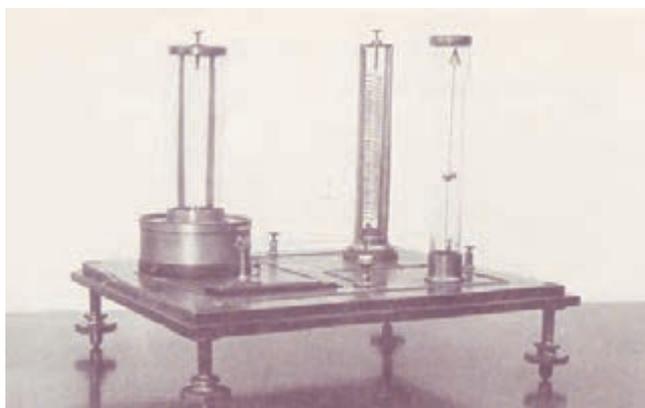


Figura 1 Modulo sensore del sismografo portatile di Palmieri [da Luongo e Nazzaro, 1990].

Figure 1 Sensor module of the Palmieri's portable seismograph [from Luongo and Nazzaro, 1990].

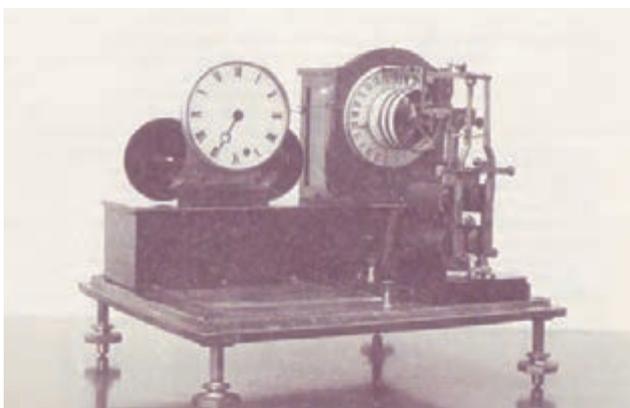


Figura 2 Modulo registratore del sismografo portatile di Palmieri [da Luongo e Nazzaro, 1990].

Figure 2 Recorder module of the Palmieri's portable seismograph [from Luongo and Nazzaro, 1990].

impiegata per progetti di ricerca e per situazioni di emergenza prevalentemente sui vulcani attivi. In quest'ultimo caso, gli interventi possono essere coordinati con le altre Sezioni INGV coinvolte nell'ambito del Tema Trasversale Coordinato (TTC) "Sorveglianza sismologica delle aree vulcaniche attive" [INGV, 2008].

Dal punto di vista strumentale la RSM-OV è costituita da stazioni digitali, caratterizzate da acquisizione *stand-alone* con registrazione su supporti removibili (*hard disk, compact flash, PC-card*). Alcuni apparati, dotati di interfaccia seriale RS-232, possono essere collegati a modem GSM che consentono l'accesso da remoto per la verifica del corretto funzionamento e lo scarico dei dati. Gli acquisitori più moderni sono forniti anche di interfaccia *lan* che consente collegamenti in rete con protocollo *TCP/IP* e l'accesso tramite Internet. La rete è equipaggiata con sensori a corto periodo, a banda estesa, a larga banda ed accelerometrici [La Rocca e Galluzzo, 2011].

Le finalità dei progetti di ricerca e le migliorate tecniche di monitoraggio hanno determinato negli anni l'evoluzione della strumentazione mediante lo sviluppo tecnologico dei sistemi di acquisizione e dei supporti di registrazione, nonché delle tecniche di analisi dei dati.

1.1 Evoluzione della strumentazione utilizzata

La possibilità di registrare anche gli eventi di più bassa energia è stato uno dei principali obiettivi fin dagli albori della sismologia. Per questo motivo Luigi Palmieri, Direttore dell'Osservatorio Vesuviano dal 1855 al 1896 e padre del primo sismometro elettromagnetico [Palmieri, 1870; Nazzaro e Tramma, 1985], progettò e realizzò una versione "portatile" del suo strumento (figure 1 e 2) con il quale furono effettuate registrazioni accurate installandolo in prossimità delle zone sismogenetiche [Palmieri, 1874; Luongo e Nazzaro, 1990].



Figura 3 Trasporto a dorso di mulo sulle pendici del Vesuvio della versione "portatile" del sismometro Palmeri. La strumentazione era custodita all'interno delle casse di legno visibili al centro della foto [da Ricciardi, 2009].

Figure 3 "Portable" Palmieri's seismograph carried on a mule along the slopes of Vesuvio. The instrument was kept within the wood boxes visible in the middle of the photo [from Ricciardi, 2009].

In questo modo Palmieri ha voluto dotare l'Osservatorio Vesuviano, ma anche la comunità scientifica tutta, di uno strumento versatile, adatto a registrare non solo i *sismi vesuviani* ma anche gli *aftershock* dei terremoti appenninici, potendolo trasportare abbastanza facilmente nelle aree interessate. Anche se ovviamente dimensioni e peso erano comunque penalizzanti, questo apparato può essere senz'altro considerato il capostipite degli strumenti utilizzati per un impiego mobile. Lo dimostra l'immagine di figura 3 dove il sismometro portatile di Palmieri, opportunamente condizionato in casse di legno, viene trasportato a dorso di mulo sulle pendici del Vesuvio per registrare gli eventi sismici durante una fase di attività del 1881 [Ricciardi, 2009].

Passando ad un'epoca più recente, i primi interventi "moderni" effettuati dai ricercatori dell'Osservatorio Vesuviano con stazioni sismiche temporanee risalgono alla prima metà degli anni '70 con esperimenti compiuti su aree vulcaniche attive quali Stromboli [Lo Bascio et al., 1973; Del Pezzo et al., 1974], Isole Eolie [Luongo e Rapolla, 1973], Campi Flegrei [Cappello et al., 1974], Etna [Guerra et al., 1976]. Si trattava di campagne pionieristiche realizzate con strumentazione non ancora progettata per un uso "mobile"; basti pensare al peso ed all'ingombro dei sismometri utilizzati (*Geotech S-13* da più di 10 kg per componente, senza considerare la cassa di legno predisposta per il trasporto, figura 4) ed alle dimensioni del registratore a nastro magnetico impiegato in questi primi *survey* (*Geotech 17373* a sette canali che con la sua bassa velocità garantiva circa dieci giorni di registrazione continua). La fine degli anni '70 vede l'introduzione dei registratori a nastro magnetico *UHER Report 4000* con bobine da 13 cm, sicuramente più maneggevoli e adatti a registrazioni di breve durata.

Parallelamente allo studio dei vulcani attivi, le stazioni temporanee furono impiegate anche per lo studio delle strutture crostali e delle sequenze sismiche in aree sismogenetiche.

Uno dei primi esperimenti per lo studio delle strutture crostali profonde venne effettuato in Pakistan, nell'ambito del *Karakorum Geophysical Project 1975* [Colombi et al., 1980; Guerra et al., 1983]. Questa campagna, svolta in collaborazione tra Italia, Unione Sovietica e Pakistan, fu particolarmente impegnativa tenuto conto delle condizioni logistiche ed ambientali (figure 5 e 6).

Uno dei più significativi interventi per lo studio degli *aftershock* venne realizzato a seguito del terremoto del 23 Novembre 1980 in Irpinia [Gruppo di Lavoro Sismometria, 1981]. Nell'area colpita dal forte sisma furono installate numerose stazioni, alcune caratterizzate da registrazione locale ed altre in trasmissione radio presso una centrale di acquisizione.

Nei primi anni '80 le stazioni temporanee sono state impie-



Figura 4 Sbarco a Lipari in occasione della campagna alle Isole Eolie del 1973. L'imballaggio della strumentazione era molto "artigianale" e spicca la cassa di legno per il trasporto del sismometro *Geotech S-13* (per gentile concessione della famiglia Lo Bascio).

Figure 4 The landing at Lipari island during the 1973 survey at Eolie islands. The instruments packing was very "homemade"; note the heavy wood box for the *Geotech S-13* seismometer (by courtesy of Lo Bascio family).

gate anche per lo studio di vulcani in fase di quiescenza, come Pantelleria [Berrino et al., 1982] e Santorino [Castellano et al., 1982] dove sono stati ancora impiegati il registratore portatile a carta *Geotech Portacorder RV-320B* (figura 7) e il registratore trasportabile a carta termosensibile *Helicorder RV-310* (figura 8).

Un deciso impulso a sviluppare nuove soluzioni tecnologiche per le stazioni sismiche temporanee è stato dato dai grandi progetti internazionali per lo studio delle strutture crostali e litosferiche che hanno preso il via negli anni '80 ed hanno visto coinvolti numerosi istituti di ricerca. Fra tutti basti ricordare il Progetto *Geotraversa Europea* (1981-1988) [Galson e Mueller, 1986] e il Progetto Strategico *CROP - Crosta Profonda* (1985-1999) [Morelli, 1990]. Questi grandi progetti sono stati effettuati utilizzando sorgenti sismiche artificiali di elevata potenza (fino a 1 ton di esplosivo) i cui segnali erano registrati da decine o centinaia di stazioni sismiche, permanenti e mobili, posizionate lungo profili lineari o a ventaglio.

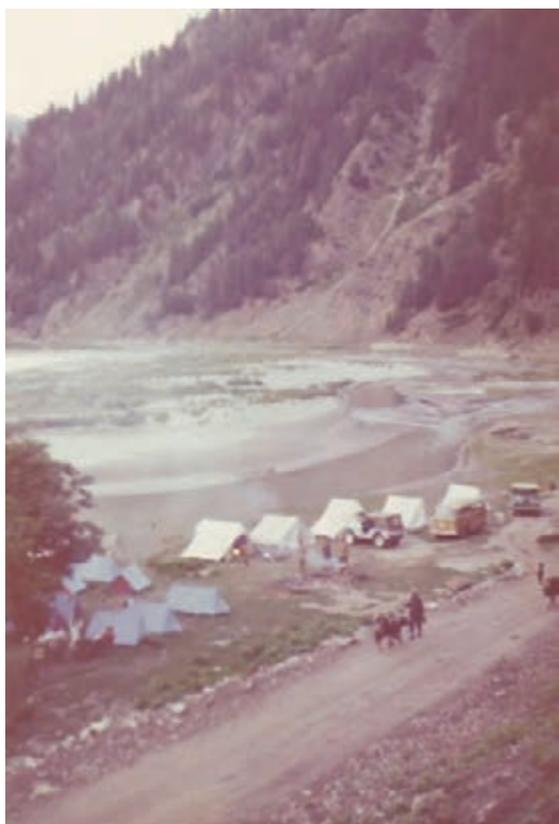


Figura 5 Immagine di un accampamento predisposto durante la campagna in Pakistan del 1975 (per gentile concessione della famiglia Lo Bascio).

Figure 5 Photo of a camp during the 1975 survey in Pakistan (by courtesy of Lo Bascio family).



Figura 6 Aldo Lo Bascio durante una fase di registrazione con una stazione sismica installata per la campagna in Pakistan del 1975 (per gentile concessione della famiglia Lo Bascio).

Figure 6 Aldo Lo Bascio engaged in the seismic recording during the 1975 survey in Pakistan (by courtesy of Lo Bascio family).

La strumentazione impiegata era diventata più compatta, essendo generalmente costituita da un modulatore *Lennartz MARS-66* con una piccola antenna in ferrite per la ricezione del segnale tempo DCF77, registratore a nastro magnetico *UHER Report 4000* e sismometro a componente verticale *Mark L4-C*. Poiché gli scoppi erano previsti ad orari stabiliti gli operatori avevano il compito di far partire la registrazione alcuni minuti prima dell'evento programmato e di farla durare per circa 5 – 10 minuti. Anche effettuando più scoppi al giorno, la ridotta capacità dei nastri su bobine da 13 cm era comunque ampiamente sufficiente a registrare il programma della giornata. In breve tempo, però, i registratori *UHER* sono stati sostituiti da normali registratori a cassetta ancora meno ingombranti, più leggeri e di più facile utilizzo.

Un ulteriore miglioramento è stato ottenuto con l'introduzione di *timer* che opportunamente programmati consentivano la registrazione automatica delle finestre temporali previste per gli scoppi (comprese le eventuali riserve) senza la presenza dell'operatore. Questo sistema, realizzato per la campagna sismica CROP sulle Alpi occidentali del 1985 [Castellano, 1985], ha permesso un deciso risparmio economico sui costi di gestione degli esperimenti di sismica crosta-

le. Per gestire 15 stazioni erano, infatti, sufficienti solo 4 – 5 persone e non più un operatore per stazione.

Parallelamente si è proceduto a migliorare il condizionamento della strumentazione per facilitare i trasporti ed ottimizzare le procedure di installazione e messa in funzione degli apparati. Sono state utilizzate valigie con rivestimento esterno in alluminio predisposte con un'imbottitura interna sagomata per il contenimento di tutta la strumentazione: modulatore, registratore, antenna DCF77 e sismometro *Mark L4-C* opportunamente disposto in posizione capovolta durante il trasporto per bloccarne la massa.

Un altro progresso è stato ottenuto con la realizzazione, da parte di tecnici del Laboratorio Elettronico dell'Osservatorio Vesuviano, di modulatori realizzati su un progetto originale e totalmente compatibili con il modello *MARS-66* della *Lennartz*. Questi apparati sono stati assemblati in nuove valigie, di dimensioni più ridotte, la cui ingegnerizzazione ha consentito di disporre tutta la strumentazione necessaria in poco spazio.

Dalla metà degli anni '80 si hanno significativi cambiamenti: l'Osservatorio Vesuviano si è dotato del primo nucleo di stazioni sismiche digitali *Lennartz PCM 5800*, composto da 4

apparati predisposti per la registrazione locale e per la trasmissione radio, e i progetti su cui si è indirizzata l'attività della RSM-OV hanno riguardato prevalentemente lo studio dell'attività sismica in aree di vulcanismo attivo. Le nuove stazioni erano dotate di un sistema di sincronizzazione del *clock* interno mediante ricezione del segnale DCF77, che ha consentito di integrare facilmente tra loro i dati provenienti da singole stazioni in registrazione locale. Il sistema *Lennartz PCM 5800*, che ha avuto una grande diffusione a livello europeo e mondiale e in alcuni paesi è ancora operativo, aveva il limite della registrazione a *trigger* [Castellano et al., 2007]. Per questo motivo le stazioni erano adatte per la registrazione della sismicità di tipo tettonico o vulcano-tettonico, ma non potevano essere impiegate per registrare segnali sismici non impulsivi quali eventi a lungo periodo, VLP o segnali di lunga durata come il tremore. Fino alla prima metà degli anni '90 la RSM-OV vede la coesistenza e l'integrazione delle stazioni analogiche, anche in trasmissione radio, con i nuovi apparati digitali [Castellano e Vilardo, 1993].

La necessità di un sistema portatile che consentisse la registrazione continua dei segnali sismici ha portato all'acquisto di stazioni dotate di supporti di registrazione di grande capacità [Castellano et al., 1996]. Alla fine degli anni '90 sono così state acquistate le prime 8 stazioni sismiche *Lennartz MARSlite* a tre canali, seguite dopo pochi anni da altre 8, con registrazione su dischi magneto-ottici da 512 Mb ed equipaggiate con sismometri a corto periodo *Lennartz LE-3Dlite*.

All'inizio degli anni 2000 nasce l'esigenza di acquisire contemporaneamente un maggior numero di segnali. Vengono così acquistate 5 stazioni *Lennartz M24* a 6 canali con acquisizione su *hard-disk* da 20 GB. Le stazioni a 6 canali possono essere impiegate anche come *mini-array* (per esempio un sensore a 3 componenti e 3 sensori a componente verticale) ampliandone le possibilità di utilizzo.

Sempre nella ricerca di soluzioni multicanale, e con l'intenzione di uniformare la strumentazione con quella in dotazione presso altre sezioni dell'INGV, sono state acquistate 6 stazioni *Nanometrics Taurus* dotate del modulo di espansione *Trident*, e 2 stazioni *Reftek 130-01* a sei canali. La disponibilità di un elevato numero di stazioni a sei canali ha consentito di estendere l'utilizzo delle stazioni multi sensore, affiancando ad un sismometro a larga banda un sensore accelerometrico o un tiltmetro, allargando così la banda delle frequenze analizzabili.

Negli ultimi anni sono stati effettuati numerosi esperimenti, prevalentemente sui vulcani attivi ma anche in aree tettoniche, basati sull'uso di *array* sismici. Gli *array*, definiti anche "antenne sismiche", sono stati inizialmente costituiti da strumentazione multicanale a 48 canali appositamente progettata e costruita autonomamente [Del Pezzo e La Rocca, 2004] e, più recentemente, realizzati con gruppi di stazioni a tre o sei canali opportunamente disposte nell'area da investigare. Per ottimizzare l'acquisizione e migliorare l'analisi dei dati con le tecniche di *array* è stato di recente acquistato il sistema

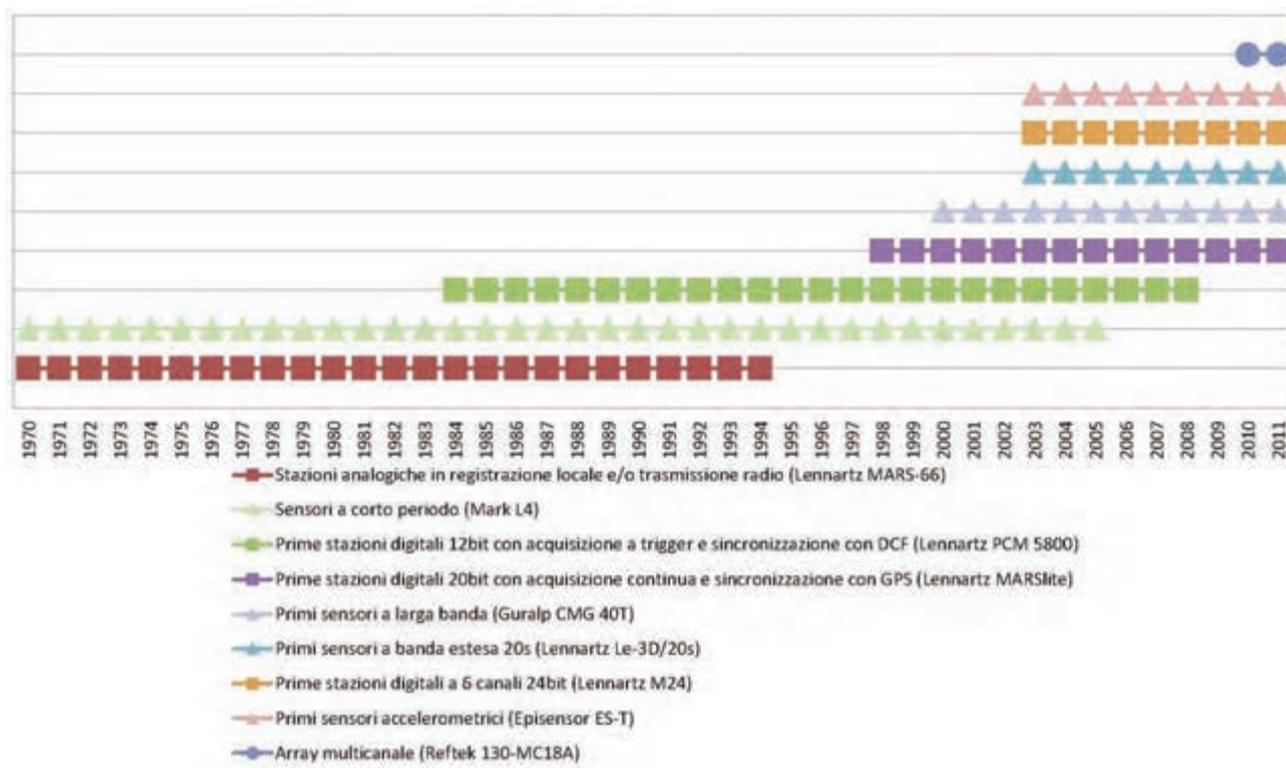


Figura 7 Schema dell'evoluzione strumentale della Rete Sismica Mobile dell'Osservatorio Vesuviano (RSM-OV) dal 1970 al 2011. Figure 7 Technological upgrade of the Mobile Seismic Network of the Osservatorio Vesuviano (RSM-OV) from 1970 to 2011.

Reftek 130-MC a 18 canali. Questo apparato è stato progettato appositamente per collegare fino a sei sensori a tre componenti mediante cavi di varia lunghezza, rendendo l'acquisizione particolarmente flessibile nell'impiego in campagna.

In figura 7 è riportato uno schema sintetico dei principali passi dell'evoluzione strumentale della RSM-OV a partire dal 1970 fino ai giorni nostri.

2. Sistemi di acquisizione

Nel corso degli anni sono stati molti gli strumenti utilizzati durante le campagne effettuate con la RSM-OV. Questo per il naturale sviluppo tecnologico dei vari apparati ma anche per l'obiettivo di sperimentare strumentazione diversa e di confrontarne pregi e difetti al fine di utilizzarla al meglio nelle diverse situazioni logistiche.

In questo paragrafo vengono descritti i sistemi di acquisizione, analogici e digitali, maggiormente impiegati con una breve descrizione tecnica e la spiegazione di alcune modifiche introdotte per migliorarne l'utilizzo.

2.1 Strumentazione analogica

2.1.1 Registratori a carta

I primi sistemi portatili moderni per la registrazione di terremoti sono stati i monitor a carta. Tra tutti merita di essere menzionato il *Portacorder Teledyne Geotech RV-320B* (figura 8), dotato di un sistema di scrittura ad inchiostro mediante un pennino con puntale in vetro. Il segnale proveniente da un sismometro (l'accoppiamento ideale era con il sismometro *Geotech S-500* descritto nel capitolo 3) poteva essere filtrato

mediante un filtro passa-banda elettronico e quindi amplificato per un'ottimale registrazione.

Era dotato di un marcatempo interno abbastanza preciso. Comunque era prassi registrare ad ogni cambio carta un paio di minuti del codice DCF in modo da definirne la deriva ed effettuare le opportune correzioni.

Uno dei vantaggi di questo strumento era costituito dall'alimentazione a 24 V (+12, -12) che lo rendeva totalmente autonomo consentendo un facile trasporto ed una veloce installazione.

Un punto debole, in realtà, era proprio la scrittura con inchiostro: infatti, era frequente trovare il pennino otturato, specialmente se non usato da tempo. Questo comportava procedure di pulizia non sempre indolori per l'operatore, con l'inchiostro (veniva usato quello di colore rosso) che andava frequentemente a colorare mani ed abiti. Per questo motivo, su progetto di M. Capello, il pennino originale è stato successivamente sostituito con un pennino termico ricavato da quelli in dotazione al monitor a 8 tracce *Graphtec WR3320 Linercorder Mark VII* (vedi paragrafo 4.6).

Proprio per la sua maneggevolezza e funzionalità il *Portacorder* è stato ampiamente utilizzato durante campagne di rilevazione della sismicità in aree tettoniche e vulcaniche. Da ricordare l'installazione in piena emergenza a Oliveto Citra (SA) effettuata da M. Castellano e S. Pinto il 26 Novembre 1980 tre giorni dopo il terremoto irpino [Gruppo di Lavoro Sismometria, 1981], quella a Pantelleria sempre nel 1980 [Berrino et al., 1982] e l'impiego durante l'intervento a Stromboli del 1986 [Castellano et al., 1986b].

Un altro modello di monitor a carta utilizzato è stato il *Geotech Helicorder RV-301B* (figura 9). Questo registratore a carta termosensibile è in realtà lo stesso modello utilizzato per il monitoraggio continuo della sismicità nelle Sale



Figura 8 Esempio di registratore portatile a carta con scrittura ad inchiostro *Portacorder Teledyne Geotech RV-320B* (<http://s271.photobucket.com>).

Figure 8 Portable paper-drum recorder *Portacorder Teledyne Geotech RV-320B* (<http://s271.photobucket.com>).



Figura 9 Registratore trasportabile a carta termosensibile *Geotech Helicorder RV-301B* (foto G. Vilardo).

Figure 9 Portable thermal paper-drum recorder *Geotech Helicorder RV-301B* (photo G. Vilardo).

Sismiche di molti istituti di ricerca, INGV compreso. Veniva montato in un apposito *rack* dotato di coperchio e robuste maniglie. Il tutto era sicuramente trasportabile ma certamente non leggero! Inoltre, era necessario interfacciarlo con un amplificatore esterno *Geotech AR-311*, installabile nello stesso *rack*, per la visualizzazione dei segnali. Nonostante il volume ed il peso, questo monitor è stato impiegato in diversi interventi a medio - lungo termine come quelli a Santorino nel 1980 [Castellano et al., 1982] ed Etna 1988 - 1993 [Castellano et al., 1988a].

2.1.2 Modulatori Lennartz MARS-66 con segnale del tempo DCF

Sono stati tra i primi apparati a modulazione di frequenza (FM) utilizzati dall'Osservatorio Vesuviano per le stazioni permanenti in trasmissione radio ed impiegati anche per l'uso portatile con registrazione su nastri magnetici di diversa capacità e durata (figura 10). I segnali sismici erano amplificati mediante amplificatori lineari in potenze di 2 prima di essere modulati in frequenza. Le frequenze di modulazione comunemente usate per una stazione a 3 componenti erano: 430, 1050 e 2200 Hz. Nelle stazioni mobili, un'altra frequenza (generalmente 4750 Hz) era riservata alla modulazione del segnale del tempo DCF77 ricevuto mediante un'antenna in ferrite (figura 11a, b) collegata al modulo radio *Lennartz 8006*. In alternativa veniva usata la radio ricevente *Patek Philippe T-80* (figura 11c) dotata anche di uscita audio per la verifica della qualità del segnale del tempo ricevuto.



Figura 10 Esempio di stazione *Lennartz MARS-66* a tre componenti collegata ad un registratore *UHER Report 4000* (www.lennartz-electronic.de).

Figure 10 Three component *Lennartz MARS-66* seismic station linked to an *UHER Report 4000* tape recorder (www.lennartz-electronic.de).

Figura 11 Sistemi per la ricezione del segnale DCF77.

a) antenna in ferrite con connettore BNC (foto M. Castellano).

b) elemento interno in ferrite con l'elettronica di interfaccia (myworld.ebay.co.uk).

c) radio ricevitore *Patek Philippe T-80* con uscita audio (foto M. Castellano).

Figure 11 Receiving systems for DCF77 time code.

a) ferrite antenna with BNC connector (M. Castellano photo).

b) ferrite inner component with electronics (myworld.ebay.co.uk).

c) *Patek Philippe T-80* radio receiver with audio output (photo M. Castellano).

2.1.3 Registratori a nastro magnetico

Durante le prime campagne svolte agli inizi degli anni '80, focalizzate alla registrazione in continuo di sequenze sismiche in aree tettoniche o della sismicità correlata all'attività vulcanica, sono stati impiegati registratori a bobina magnetica del tipo *Grunding TS-1000* (figura 12) e *Philips N4420* (figura 13) con bobine da 18, 23 o 27 cm.

Il registratore *Grunding TS-1000* (figura 12) è stato prodotto nel 1976 e montava bobine fino a 27 cm di diametro. Il registratore *Philips N4420* (figura 13) è stato introdotto sul mercato alla fine degli anni '70 e montava bobine di 18 cm.

Entrambi i registratori sono stati impiegati con successo



Figura 12 Esempio di registratore a nastro magnetico *Grunding TS-1000* (www.grunding.it).

Figure 12 *Grunding TS-1000* tape recorder (www.grunding.it).

durante l'intervento a Stromboli del 1985 [Castellano et al., 1986a]. Dei due, il *Philips* era sicuramente il più maneggevole date le minori dimensioni e peso, ma il *Grunding* aveva il vantaggio di poter montare bobine più grandi con conseguente maggiore durata della registrazione.

2.1.4 Registratori a nastro magnetico portatili

I registratori a nastro magnetico portatili sono stati impiegati per registrazioni di breve durata, quali misure di *noise* sismico o campagne di sismica crostale.

I primi ad essere utilizzati sono stati i registratori *UHER Report 4000* (figura 14) con bobine da 13 cm. Con una velocità di registrazione impostata a 4.75 cm/s si aveva una durata massima di 90 minuti, sufficiente per brevi *survey* come quello effettuato a Pantelleria nel 1980 [Berrino et al., 1982]. L'affidabilità dei registratori *UHER* era molto elevata ma col passare del tempo si sono manifestati vari problemi sia meccanici che elettronici la cui riparazione è diventata economicamente non conveniente. Per questo motivo sono stati gradualmente introdotti i registratori a cassetta (con durata equivalente ai nastri da 13 cm) *Philips D-6410* (figura 15) e *N-2235* (figura 16).

Questi registratori sono stati utilizzati in molte campagne sia di sismica crostale che di registrazione di *noise* in aree vulcaniche [Castellano et al., 1982; Castellano, 1985; Castellano et al., 1986a, 1986b]. Nel tempo, questi registratori sono stati sostituiti dall'*Aiwa HS-F07* (figura 17), dotato della funzione autoreverse, e dal nuovo modello *Philips D-6625* (figura 18). I nuovi registratori sono stati utilizzati per l'acquisizione in campagna, mentre per la restituzione dei dati si è continuato ad utilizzare il registratore *Philips N-2235* in quanto fornito di *pitch-control* per la variazione fine della velocità. In questo



Figura 13 Esempio di registratore a nastro magnetico *Philips N4420* con bobine da 18 cm (www.radiomuseum.org).

Figure 13 *Philips N4420* tape recorder with 18 cm wheels (www.radiomuseum.org).



Figura 14 Esempio di registratore a bobina magnetica *UHER Report 4000* (www.teenagewasteland.de).

Figure 14 *UHER Report 4000* tape recorder (www.teenagewasteland.de).



Figura 15 Registratore a cassetta *Philips D-6410* ([www.sk2kw.se/SK2KW WEB/SM2DMU/Old Radios/Old Tape Recorders.HTM](http://www.sk2kw.se/SK2KW_WEB/SM2DMU/Old_Radios/Old_Tape_Recorders.HTM)).

Figure 15 *Philips D-6410* cassette recorder ([www.sk2kw.se/SK2KW WEB/SM2DMU/Old Radios/Old Tape Recorders.HTM](http://www.sk2kw.se/SK2KW_WEB/SM2DMU/Old_Radios/Old_Tape_Recorders.HTM)).

modo era possibile compensare lievi differenze nella velocità di rotazione dei nastri durante la registrazione, imputabile, per esempio, a cali della tensione di alimentazione.

2.2 Strumentazione digitale

2.2.1 Il sistema Lennartz PCM-5800

Si tratta di un sistema basato su un convertitore A/D da 12 bit che con un'acquisizione a guadagno variabile (*gain ranging*) raggiunge una dinamica di 120 db. La registrazione avviene a *trigger* mediante un semplice ma efficace algoritmo STA/LTA (*short time average/long time average*).

Le stazioni *Lennartz PCM 5800* (figura 19) sono dotate sia di sistemi di registrazione locale su nastro magnetico (*UHER*

Report Monitor 4200/4400; figura 20) che della trasmissione radio mediante apparati quarzati *TX 4000* (banda di trasmissione UHF 430-450 MHz) su unità *Mixer* con 4 ingressi seriali a sua volta interfacciata ad un registratore a nastro *NAGRA 6102* con bobine da 18 cm. La sincronizzazione del *clock* interno degli acquisitori avviene mediante ricezione del segnale DCF77. Le stazioni erano originariamente equipaggiate con sismometri a corto periodo a tre componenti *Mark LA-3D*. Il sistema di decodifica originario per la conversione dei dati e la loro analisi, denominato *SAS 58000*, era composto da un registratore *Revox-B77*, un *Decoder PCM 5800* e un elaboratore basato sul sistema operativo CP/M-68k. In questa configurazione l'archiviazione dei dati avveniva esclusivamente su floppy disk da 3.5".

Il primo intervento realizzato con queste stazioni è stato effettuato nel gennaio 1986 a seguito di una sequenza sismica di bassa energia, localizzata in Molise [Alessio et al., 1990]. Le quattro stazioni *Lennartz PCM 5800* installate hanno operato per circa un mese in registrazione locale, acquisendo circa 1500 eventi locali.

La dotazione di stazioni *Lennartz PCM 5800* è stata incrementata negli anni fino a comprendere 8 stazioni a 4 canali, 2 stazioni a 15 canali e 2 unità di decodifica; queste ultime erano composte da un registratore a nastro *Revox-B77* (figura 21) e da un'unità *Decoder PCM 5800* collegato ad un computer mediante un'interfaccia *IEEE-488* [Castellano et al., 2007].

Nonostante l'elevata qualità dei registratori *UHER*, l'uso intenso a cui sono stati sottoposti ha portato nel tempo al deterioramento delle parti meccaniche la cui sostituzione non era più economicamente conveniente. Per questo motivo, e per il limite della registrazione a *trigger*, dagli inizi degli anni 2000 le stazioni *Lennartz PCM 5800* sono state temporaneamente dismesse.



Figura 16 Registratore a cassetta *Philips N-2235* (www.radiomuseum.org).

Figure 16 *Philips N-2235* cassette recorder (www.radiomuseum.org).



Figura 17 Registratore a cassetta autoreverse *Aiwa HS-F07* (www.music-players.de).

Figure 17 *Aiwa HS-F07* autoreverse cassette recorder (www.music-players.de).



Figura 18 Registratore a cassetta *Philips D-6625* (<http://home.planet.nl/~btillborg/Hardware.htm>).

Figure 18 *Philips D-6625* cassette recorder (<http://home.planet.nl/~btillborg/Hardware.htm>).

L'elevato numero di stazioni ancora perfettamente funzionanti ha, in seguito, stimolato la ricerca di sistemi di registrazione alternativi ai registratori *UHER* che consentissero, in modo economico, il recupero degli acquisitori in dotazione. È stato così sviluppato un progetto che ha visto la sperimentazione e l'introduzione dei registratori digitali *Sony Hi-MiniDisc* come supporto di registrazione delle stazioni *Lennartz PCM 5800* [Capello et al., 2007; Castellano et al., 2007]. Con questi registratori, dotati di supporti magnetico-ottici rimovibili con capacità di 1 GB, è possibile ottenere un tempo di registrazione di circa 8 ore, cinque volte la durata dei nastri magnetici dei registratori *UHER* (figure 22 e 23).

Oltre al nuovo sistema di registrazione, le stazioni *Lennartz PCM 5800* sono state dotate di un nuovo sistema per la sincronizzazione del tempo interno mediante apparati convertitori GPS-DCF prodotti dalla Ditta SARA (<http://www.sara.pg.it>). Ciò ha migliorato significativamente la funzionalità del sincronismo.

Così modificate, sei stazioni sono state nuovamente installate nelle aree vulcaniche del Vesuvio e dei Campi Flegrei [La Rocca et al., 2007a].

2.2.2 Stazioni Lennartz MARSLite

Sono state le prime stazioni digitali in registrazione continua a far parte della RSM-OV. Dotate di un convertitore A/D a 20 bit, utilizzano per l'acquisizione dei dati un drive magne-

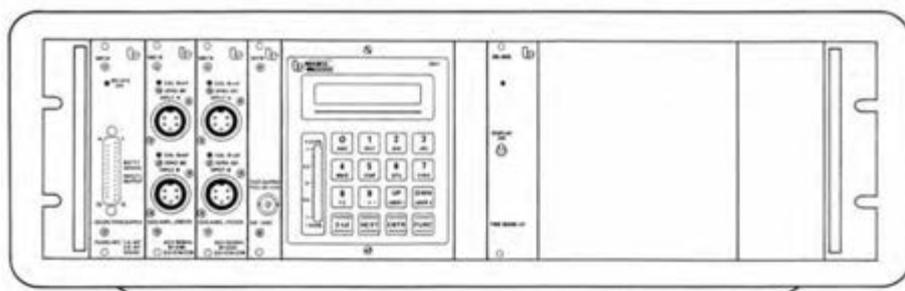


Figura 19 Schema di stazione sismica *Lennartz PCM 5800* a 4 canali in rack da 19" [Lennartz Electronic, 1985].

Figure 19 Sketch of four channels *Lennartz PCM 5800* seismic station in 19" rack configuration [Lennartz Electronic, 1985].

to-ottico *Fujitsu* da 540Mb, utilizzabile con dischi magnetico-ottici standard da 3.5" (figura 24). Con una frequenza di campionamento di 125 Hz si ottiene una durata di registrazione continua di circa 8 giorni.

Le caratteristiche principali delle stazioni *Lennartz MARSLite* sono la semplicità d'uso e la maneggevolezza. A questo si aggiunge che possono essere equipaggiate con i sismometri a corto periodo *Lennartz LE-3Dlite* rendendo questi apparati ideali per l'impiego in una rete sismica mobile. Altra caratteristica importante è che il tempo interno può essere sincronizzato sia con il segnale DCF77 che con il GPS; questo rende le *MARSLite* utilizzabili in tutto il mondo e garantisce, almeno nell'area europea, un'elevata flessibilità nelle installazioni.

Anche su queste stazioni è stato realizzato un miglioramento tecnologico finalizzato all'incremento della durata della registrazione. Infatti, i drive magnetico-ottici in dotazione sono stati sostituiti da lettori di *PC-card* con interfaccia standard *PCMCIA* [La Rocca e Galluzzo, 2011].



Figura 20 Registratore *UHER Report Monitor 4400* (<http://reelreelworld.blogspot.com>).

Figure 20 *UHER Report Monitor 4400* tape recorder (<http://reelreelworld.blogspot.com>).



Figura 21 Registratore *Revox-B77* (www.zwettler.net).

Figure 21 *Revox-B77* tape recorder (www.zwettler.net).



Figura 22 Stazione Lennartz PCM 5800 installata presso il sito di Bunker Sud, versante meridionale del Gran Cono del Vesuvio. Sulla destra è inserito il contenitore del registratore Sony Minidisc HiMD [da Castellano et al., 2007].

Figure 22 Lennartz PCM 5800 seismic station installed in the Bunker Sud site, southern slope of Gran Cono (Vesuvio). On the right you can see the box with the Sony Minidisc HiMD [from Castellano et al., 2007].



Figura 23 Come figura 22. Si può notare l'ingegnerizzazione dell'apparato di registrazione Sony HiMD con la scatola grigia contenente l'elettronica di controllo. Il contenitore, a tenuta stagna, è stato coibentato a causa dei limiti termici di funzionamento dei registratori MiniDisc [da Castellano et al., 2007].

Figure 23 As in figure 22. The Sony Minidisc HiMD and the grey box with the control electronics is shown. The white box is thermal insulated owing to the temperature operativity of the MiniDisc recorders [from Castellano et al., 2007].

In questo modo è possibile utilizzare supporti di capacità maggiore (sono stati testati dischi da 2 a 8 GB) a tutto vantaggio dell'autonomia di acquisizione. Dal punto di vista hardware sono stati utilizzati con successo vari tipi di supporti, dai dischi rigidi a quelli a stato solido fino alle schede compact flash negli appositi adattatori con connessione PCMCIA.

2.2.3 Stazioni Lennartz M24

Sono stazioni sismiche caratterizzate da due acquisitori a tre canali da 24 bit e dalla registrazione su un singolo hard disk da 20 GB (figura 25). Con queste stazioni sono state effettuate le prime installazioni multi-sensore, generalmente realizzate con un sismometro a larga banda e un

accelerometro, con l'obiettivo di estendere la banda di frequenze registrate.

La flessibilità di questi apparati è garantita dalla presenza sia di un'interfaccia seriale RS-232 (a cui collegare, per esempio, un modem GSM) che di quella LAN fruibile mediante il protocollo TCP/IP.

Proprio la presenza dell'interfaccia LAN ha consentito di utilizzare con successo gli acquisitori Lennartz M24 per la sperimentazione della trasmissione wireless con protocollo WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) nell'ambito del Progetto di Ricerca finanziato dalla Comunità Europea "WEIRD": (WiMAX Extension to Isolated Research Data networks) [Castrucci et al., 2009] (figura 26).



Figura 24 Stazione sismica Lennartz MARSlite equipaggiata con il lettore magneto-ottico (www.lennartz-electronic.de).

Figure 24 Lennartz MARSlite seismic station equipped with magneto-optical drive (www.lennartz-electronic.de).



Figura 25 Stazione sismica Lennartz M24 (www.lennartz-electronic.de).

Figure 25 Lennartz M24 seismic station (www.lennartz-electronic.de).

L'esperienza maturata con questi apparati ne ha messo in evidenza i limiti per un uso intenso su una rete sismica mobile, risultando, invece, ottimali per installazioni a medio-lungo termine in condizioni di costanza di alimentazione [La Rocca e Galluzzo, 2011].

2.2.4 Stazioni Nanometrics Taurus + Trident

Si tratta di una stazione sismica a tre canali di ultima generazione caratterizzata da un convertitore A/D a 24 bit e da un'interfaccia utente basata su un *display* grafico LCD a colori (figura 27a). Con questo *display* ed il *keypad* a cinque tasti è possibile effettuare tutte le operazioni di impostazione dei parametri e controllo del funzionamento, compresa la visualizzazione in tempo reale delle tracce sismiche.

L'acquisizione dei segnali avviene su due diversi supporti: una scheda *compact flash* e un disco ATA da 1.8" (figura 27b).

Il digitalizzatore a tre canali 24 bit *Trident* (figura 28) è stato progettato come naturale espansione delle stazioni *Taurus*. Infatti, è possibile collegare fino a 2 unità *Trident* ad un apparato *Taurus* per ottenere un sistema di acquisizione multicanale utilizzabile per la realizzazione di *mini-array* anche se la configurazione e lo scarico dati del modulo *Trident* risultano abbastanza macchinosi [La Rocca e Galluzzo, 2011].

Con queste stazioni è stato sperimentato con successo il collegamento remoto tramite modem GSM. Utilizzando modem GSM-GPRS *Siemens MC35i* dotati di interfaccia seriale RS232

(figura 29) è stato possibile collegarsi alle stazioni *Taurus* installate sul territorio direttamente dal Laboratorio della Rete Mobile presso la sede dell'Osservatorio Vesuviano e accedere alle funzioni principali dell'acquisitore, verificarne il corretto funzionamento e scaricare parti di segnale in caso di eventi significativi. Questo ha consentito, in caso di eventi nelle aree del Vesuvio e Campi Flegrei, una rapida integrazione dei dati acquisiti dalla Rete Mobile con quelli registrati dalla Rete Permanente operante nelle stesse aree [La Rocca et al., 2007b]. Purtroppo, a partire dall'aggiornamento *firmware* 2.05.09 del 2007 la *Nanometrics* non ha più previsto il supporto per il collegamento sulla porta seriale. Saranno quindi sperimentate altre modalità per il collegamento remoto mediante l'impiego di *router* UMTS con interfaccia *ethernet*.

2.2.5 Stazioni Reftek 130-01

La stazione sismica *Reftek 130-01* a sei canali è, probabilmente, il sistema di acquisizione più compatto e funzionale



Figura 26 Stazione sismica *Lennartz M24* collegata ad un sistema di trasmissione *WiMAX Alvarion*, realizzato da *Alcatel*, durante la sperimentazione del sistema *WiMAX* (foto M. Castellano).
Figure 26 *Lennartz M24* seismic station linked to a *WiMAX Alvarion* transmission system during the *WiMAX* test (photo M. Castellano).



Figura 27 a) Stazione sismica *Nanometrics Taurus* (www.nanometrics.ca) con display LCD a colori e *keypad* a cinque tasti. b) Supporti di memorizzazione (*compact flash* e disco ATA).
Figure 27 a) *Nanometrics Taurus* seismic station (www.nanometrics.ca) with LCD color display and five button keypad. b) Internal data storage (*compact flash* and ATA disk).

attualmente disponibile sul mercato (figura 30). Dotata di un convertitore A/D a 24 bit acquisisce i segnali sismici su due supporti rimovibili del tipo *compact flash*.

L'elettronica è assemblata in un robusto contenitore a tenuta stagna mentre tutte le operazioni di programmazione e controllo vengono effettuate con un palmare o un computer portatile mediante un *software* di gestione dedicato.

La presenza di sei canali consente di equipaggiare questo acquisitore con due sensori a diverso periodo per estendere la banda di frequenze registrabili.

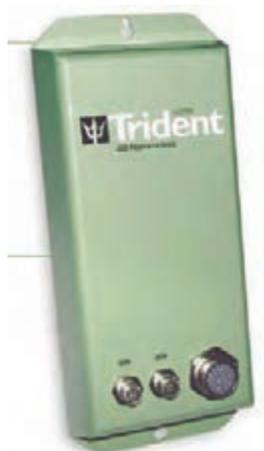


Figura 28 Modulo *Trident* a tre canali (www.nanometrics.ca).
Figure 28 Three channels *Trident* module (www.nanometrics.ca).



Figura 29 Modem *GSM-GPRS Siemens MC35i* (www.siemens.it/wm).
Figure 29 *GSM-GPRS Siemens MC35i* modem (www.siemens.it/wm).

2.2.6 Stazioni Reftek 130-MC18A

Sistema di acquisizione multicanale a 24 bit con la possibilità di registrare in locale su *compact flash* e/o trasmettere i segnali in tempo reale o su richiesta (figura 31).

Configurato con 18 canali di acquisizione, può essere impiegato per la realizzazione di *array* sismici equipaggiati con sismometri a corto periodo e a larga banda. L'elettronica è assemblata in un robusto contenitore in acciaio per un comodo trasporto.

L'impiego di acquisitori ad elevata dinamica appositamente progettati per un uso multicanale potrà consentire l'ulteriore sviluppo della tecniche di *array* per lo studio e il monitoraggio dei vulcani attivi.



Figura 30 Stazione sismica *Reftek 130-01* a sei canali (www.reftek.com).
Figure 30 Six channels *Reftek 130-01* seismic station (www.reftek.com).

3. Sismometri

Numerosi sono stati i sismometri utilizzati durante le campagne effettuate con la RSM-OV; in funzione degli obiettivi e del tipo di segnali sismici da registrare sono stati impiegati sensori con caratteristiche anche molto diverse tra loro. Alcuni dei sensori attualmente utilizzati come dotazione della RSM-OV non sempre hanno dato i risultati attesi, in termini di qualità del segnale ed efficienza nel tempo [La Rocca e Galluzzo, 2011].

Di seguito vengono elencati i sismometri utilizzati con una sintetica descrizione delle principali caratteristiche tecniche.

Mark L4-C

È probabilmente il sismometro passivo a componente verticale più utilizzato negli anni '70 - '90 (figura 32). Leggero e facile da trasportare (avendo l'accortezza di metterlo a testa in giù per bloccare la massa) è dotato di bobina di calibrazio-



Figura 31 Sistema di acquisizione *Reftek 130-MC* a 18 canali (www.reftek.com).
Figure 31 Eighteen channels *Reftek 130-MC* acquisition system (www.reftek.com).

ne. È stato intensamente impiegato durante le varie campagne di sismica crostale.

Mark L-15B

Sismometro estremamente robusto ma poco sensibile (figura 33), è stato impiegato con cavi sismici multicanali per indagini di tomografia sismica a piccola scala. Realizzato con componenti verticali e orizzontali separate, è stato prodotto anche in una versione a tre componenti.

Mark L4-3D

È stato uno dei primi sismometri a tre componenti assemblato in un unico involucro (figura 34). Costituito da tre sensori L4-C disposti lungo i tre assi, mal sopportava i continui trasporti a cui era sottoposto con conseguente alterazione della risposta in ampiezza. Ha equipaggiato prevalentemente le stazioni digitali Lennartz PCM 5800.

Geotech S-500

Sismometro attivo molto versatile, caratterizzato da una curva di risposta estesa fino a 100 Hz, poteva essere utilizzato indifferentemente in verticale o in orizzontale senza alcuna modifica (figura 35). Era dotato delle uscite in velocità e accelerazione per un impiego estremamente flessibile. È stata la naturale dotazione del monitor Portacorder Teledyne Geotech RV-320B (vedi figura 8).



Figura 32 Sismometro Mark L4-C a componente verticale (www.sercel.com).
Figure 32 Vertical component Mark L4-C seismometer (www.sercel.com).

Specifiche tecniche	
Risposta in frequenza	1 - 10 Hz
Resistenza	5500 Ω
Costante elettrodinamica	~ 170 V/m/s
Costante di calibrazione	~ 0.45 N/A
Temperatura operativa	-29...+60 °C
Dimensioni (h - Ø) cm	13.0 - 7.6
Peso	2.1 kg



Figura 33 Sismometro Mark L-15B a componente verticale (www.ce.unlv.edu/eg/Equipment).
Figure 33 Vertical component Mark L-15B seismometer (www.ce.unlv.edu/eg/Equipment).

Specifiche tecniche	
Risposta in frequenza	4.5 - 10 Hz
Resistenza	600 Ω
Costante elettrodinamica	~ 1.15 V/inch/s
Dimensioni (h - Ø) cm	3.5 - 3.2
Peso senza involucro	0.20 kg



Figura 34 Sismometro a tre componenti Mark L4-3D (www.ija.csic.es).
Figure 34 Three-component Mark L4-3D seismometer (www.ija.csic.es).

Specifiche tecniche	
Risposta in frequenza	1 - 10 Hz
Resistenza	5500 Ω
Costante elettrodinamica	~ 170 V/m/s
Costante di calibrazione	~ 0.45 N/A
Temperatura operativa	-29...+60 °C
Dimensioni (h - Ø) cm	19.0 - 20.3
Peso	9.1 kg



Figura 35 Sismometro Geotech S-500 a singola componente (verticale/orizzontale) (www.geoinstr.com).
Figure 35 Single component (vertical or horizontal) Geotech S-500 seismometer (www.geoinstr.com).

Specifiche tecniche	
Risposta in frequenza	1 - 100 Hz
Sensibilità	450 V/m/s
Output	± 4 V a 1 Hz
Range dinamico	100 dB
Temperatura operativa	-35...+60 °C
Dimensioni (h - Ø) cm	16.5 - 5.7
Peso	1.5 kg

Geotech S-13

Eccellente sismometro per stazioni permanenti (figura 36), dati il peso e le dimensioni è stato impiegato per un uso mobile solo durante le prime campagne sui vulcani attivi.



Specifiche tecniche	
Risposta in frequenza	1 - 10 Hz
Resistenza	3600 Ω
Costante elettrodinamica	~ 629 V/m/s
Range dinamico	164 dB
Temperatura operativa	-51...+60 °C
Dimensioni (h - Ø) cm	38.1 - 16.8
Peso	13.6 kg

Figura 36 Sismometro *Geotech S-13* a componente verticale ed orizzontale (www.geoinstr.com).
 Figure 36 Vertical and horizontal component *Geotech S-13* seismometer (www.geoinstr.com).

Lennartz LE-3Dlite

Sismometro estremamente affidabile e di grande robustezza (figura 37), date le piccole dimensioni è il naturale equipaggiamento delle stazioni *Lennartz MARSlite*. Le caratteristiche tecniche e le prestazioni nel tempo ne fanno, probabilmente, il miglior sismometro a corto periodo attualmente sul mercato.



Specifiche tecniche	
Risposta in frequenza	1 - 80 Hz
Sensibilità	400 V/m/s
Output	± 5 V
Range dinamico	>120 dB
Temperatura operativa	-15...+50 °C
Dimensioni (h - Ø) cm	6.5 - 9.5
Peso	1.8 kg

Figura 37 Sismometro attivo a tre componenti *Lennartz LE-3Dlite* (www.earth.sinica.edu.tw).
 Figure 37 Active three-component *Lennartz LE-3Dlite* seismometer (www.earth.sinica.edu.tw).

Lennartz LE-3D/20s

È un sismometro a banda estesa particolarmente compatto e adatto all'impiego con una rete sismica mobile (figura 38). Richiede semplici procedure per l'installazione e poche decine di secondi per la stabilizzazione. Poco sensibile alle variazioni termiche, non necessita di particolari sistemi di isolamento. Con l'uso intensivo alcuni sensori hanno manifestato risposte anomale a segnali impulsivi anche di piccola entità [La Rocca e Galluzzo, 2011].



Specifiche tecniche	
Risposta in frequenza	20 s - 40 Hz
Sensibilità	1000 V/m/s
Output	± 10 V
Range dinamico	>120 dB
Temperatura operativa	-15...+50 °C
Dimensioni (h - Ø) cm	16.5 - 19.5
Peso	6.5 kg

Figura 38 Sismometro a banda estesa *Lennartz LE-3D/20s* (www.lennartz-electronic.de).
 Figure 38 Broad band *Lennartz LE-3D/20s* seismometer (www.lennartz-electronic.de).

Guralp CMG-40T

Sismometro a larga banda dalle ottime caratteristiche tecniche (figura 39). Le ridotte dimensioni e il peso contenuto lo rendono particolarmente adatto ad un impiego intensivo come equipaggiamento di una moderna rete sismica mobile. Necessita di un adeguato isolamento termico.



Specifiche tecniche	
Risposta in frequenza	60 s - 50 Hz
Sensibilità	2*400 V/m/s
Output	± 10 V
Range dinamico	>145 dB
Temperatura operativa	-20...+75 °C
Dimensioni (h - Ø) cm	20.7 - 15.4
Peso	5.0 kg

Figura 39 Sismometro a larga banda *Guralp CMG-40T* (www.guralp.com).
 Figure 39 Broad band *Guralp CMG-40T* seismometer (www.guralp.com).

Geotech KS-2000

Caratterizzato da un'elevata banda di risposta in frequenza è particolarmente adatto per la registrazione di segnali sismici a bassa frequenza generati dai vulcani attivi. Le dimensioni e le procedure di controllo e regolazione delle masse ne penalizzano l'uso intenso con la RSM-OV, rimanendo comunque molto valido per installazioni a medio-lungo termine (figura 40).



Figura 40 Sismometro a larga banda *Geotech KS-2000* (www.geoinstr.com).
Figure 40 Broad band *Geotech KS-2000* seismometer (www.geoinstr.com).

Specifiche tecniche	
Risposta in frequenza	120 s – 50 Hz
Sensibilità	2*1000 V/m/s
Output	± 20 V
Range dinamico	143 dB
Temperatura operativa	-40...+60 °C
Dimensioni (h – Ø) cm	28.5 – 19.0
Peso	11.3 kg

Kinematics Episensor FBA ES-T

Sensore accelerometrico *force balance* (figura 41), ha una risposta in frequenza estremamente ampia. Di piccole dimensioni viene generalmente impiegato insieme ad un sismometro a larga banda su un acquirente a sei canali, estendendo così la tipologia di segnali sismici registrabili.



Figura 41 Sismometro a larga banda *Guralp CMG-40T* (www.guralp.com).
Figure 41 Broad band *Guralp CMG-40T* seismometer (www.guralp.com).

Specifiche tecniche	
Risposta in frequenza	DC – 200 Hz
Sensibilità	20V/g
Output	± 20 V
Range dinamico	>155 dB
Temperatura operativa	-20...+70 °C
Dimensioni (h – Ø) cm	6.5 – 13.3

4. Progetti di ricerca ed interventi di monitoraggio

In questa sezione vengono brevemente descritti alcuni interventi particolarmente significativi effettuati con la RSM-OV. Ovviamente l'elenco non è completo, ma sono documentate quelle campagne, in Italia ed all'estero, che per l'impegno e la difficoltà di esecuzione, per le soluzioni

tecnologiche adottate o per la particolare rilevanza scientifica hanno costituito delle tappe fondamentali nella storia della RSM-OV.

4.1 Sardegna 1982, 1983

Sono state due campagne di sismica crostale realizzate nell'ambito del Progetto *Geotraversa Europea* che hanno visto



Figura 42 Gruppo di operatori durante la campagna in Sardegna 1983 (foto C. Del Gaudio).
Figure 42 Field workers during the Sardegna 1983 survey (photo C. Del Gaudio).



Figura 43 Stazione sismica *Lennartz MARS-66* con registratore *Philips D-6410* predisposta per la registrazione di uno degli scoppi durante la campagna in Sardegna (foto G. Milano).
Figure 43 *Lennartz MARS-66* seismic station equipped with *Philips D-6410* cassette recorder during the Sardegna 1983 survey (photo G. Milano).

l'impegno di un elevato numero di operatori tra il personale di ricerca e tecnico dell'Osservatorio Vesuviano nonché la partecipazione di studenti e giovani laureati che hanno potuto sperimentare sul campo le procedure di acquisizione dati (figura 42).

Fino a 10 stazioni sismiche *Lennartz MARS-66* equipaggiate con sensori *Mark L4-C* sono state disposte lungo profili che hanno coperto anche zone molto impervie della Sardegna nord-orientale e centro-meridionale (figura 43). Per ottimizzare i tempi delle installazioni, i punti stazione sono stati scelti accuratamente e tutta la campagna pianificata sulla base di una ricognizione preventiva delle aree potenzialmente idonee.

Nel 1983, dopo le registrazioni effettuate in Sardegna, la campagna è proseguita nell'area dell'Appennino settentrionale (Bardi, Borgetto di Vara, Deiva Marina) e nel Piemonte (Carmagnola) [Biella et al., 1985].

4.2 Tunisia 1985

Nell'ambito del Progetto *Geotraversa Europea*, che ha interessato anche la parte settentrionale dell'Africa [Galson e Muller, 1986], nel mese di Luglio 1985 è stato realizzato un esperimento di sismica crostale che ha visto l'Osservatorio Vesuviano impegnato nell'area del Sahara tunisino.

La strumentazione, costituita da 9 stazioni analogiche *Lennartz MARS-66* equipaggiate con sismometri *Mark L4-C* e registratori *Philips* per cassette C90, è stata assemblata in valigie adatte al trasporto. Le valigie sono state realizzate con un'ingegnerizzazione interna tale da rendere facile le operazioni di controllo e di funzionamento della strumentazione. Prima dell'inizio della campagna di acquisizione vera e propria, è stato effettuato un test per il controllo e la calibrazione di tutte le stazioni impegnate nell'esperimento (figure 44 e 45).

Gli operatori, e la relativa strumentazione, erano accompagnati da personale e mezzi militari che prendevano parte attiva alle operazioni di campagna (figure 46 e 47).



Figura 44 Test-point per la calibrazione degli strumenti. La strumentazione è stata assemblata in valigie con rivestimento metallico per un sicuro e comodo trasporto (foto G. Milano).
Figure 44 Test-point for instruments calibration. The instruments are mounted into hard cases with metallic covering for safe and easy transport (photo G. Milano).



Figura 45 Operazioni di controllo su una stazione durante il test-point (foto G. Milano).
Figure 45 Check of the seismic stations during the test-point (photo G. Milano).



Figura 46 Stazione sismica, all'interno di una jeep dell'Esercito Tunisino, predisposta per la registrazione di uno degli scoppi (foto G. Milano).
Figure 46 Seismic station, mounted in a vehicle of the Tunisian Army, ready for the shot recording (photo G. Milano).



Figura 47 Sopralluogo presso uno dei siti predisposti per gli scoppi in terra (foto G. Vilardo).
Figure 47 Inspection near a shot point (photo G. Vilardo).

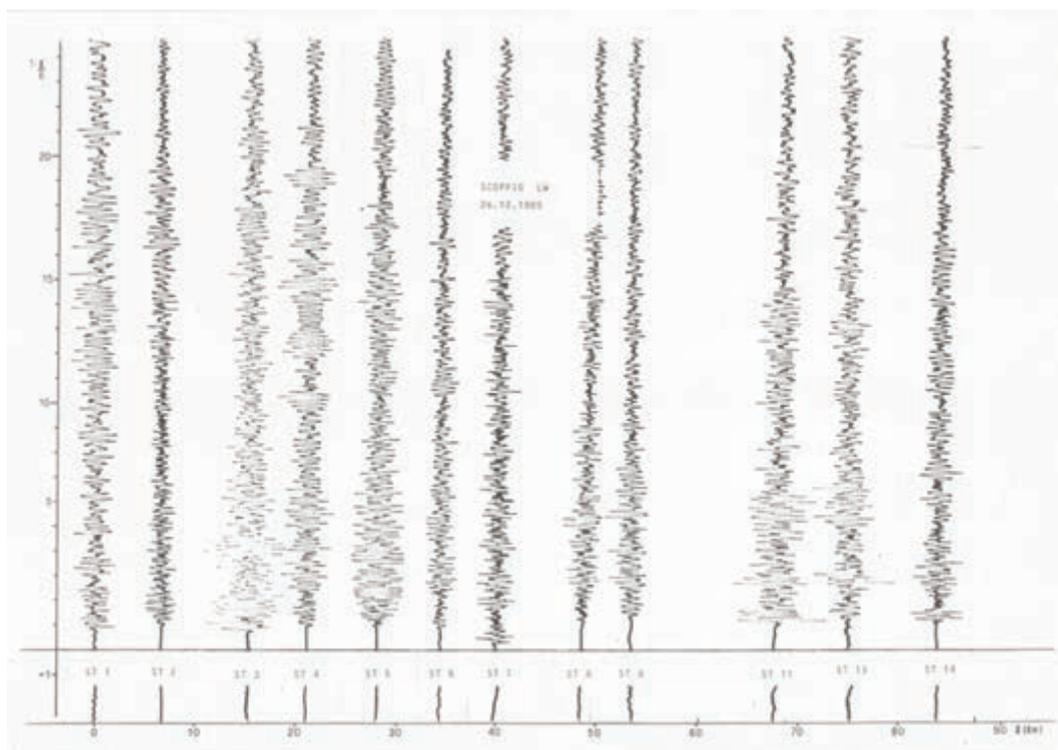


Figura 48 Sezione film relativa ai segnali dello scoppio LW registrato lungo il ventaglio disposto nella zona della bassa Provenza [da Castellano, 1985].

Figure 48 Cross-section from shotpoint LW recorded along a fan deployed in the Provenza area [from Castellano, 1985].

4.3 CROP 1985

Nel mese di ottobre 1985 è stata effettuata una campagna di sismica crostale nella zona delle Alpi Occidentali nell'ambito del Programma Internazionale "Crosta intermedia e profonda (ECORS - CROP)". La campagna è stata realizzata con lo schema classico di esplosioni in terra e registrazione dei segnali generati lungo profili lineari e ventagli [Hirn et al., 1989a, 1989b].

L'Osservatorio Vesuviano ha partecipato con 15 stazioni sismiche analogiche basate su apparati Lennartz MARS-66 equipaggiati con sensori a corto periodo Mark L4-C [Castellano, 1985]. In questa campagna sono stati introdotti i timer per l'acquisizione programmata delle finestre di registrazione, con conseguente riduzione del personale necessario all'esecuzione dell'esperimento.

Un esempio di registrazione lungo uno dei ventagli ricoperti è mostrato in figura 48.

4.4 Stromboli 1986

L'intervento si è svolto nel mese di settembre 1986 durante una fase di intensa attività stromboliana ed ha visto il primo utilizzo delle stazioni Lennartz PCM 5800 in trasmissione radio centralizzata [Castellano et al., 1986b].

La centrale di acquisizione è stata posta presso un'abitazione situata alle spalle del centro abitato verso la zona di S. Vincenzo (figura 49) e dotata di un monitor in registrazione

continua Geotech Portacorder RV-320B (figura 50).

Sono state installate 4 stazioni PCM 5800 equipaggiate con sismometri Mark L4-3D, di cui tre in trasmissione radio su unità Mixer PCM 5800 (figure 51 e 52) ed una collegata direttamente al Mixer presso la centrale di acquisizione (vedi figura 49). Data la particolare morfologia di Stromboli e l'impossibilità di ricorrere a ponti radio, le stazioni sono state concentrate nel versante nord-orientale dell'isola.

L'elevata frequenza degli eventi sismici legati alle esplosioni (vedi figura 50) ha consentito di testare con efficacia l'algorit-

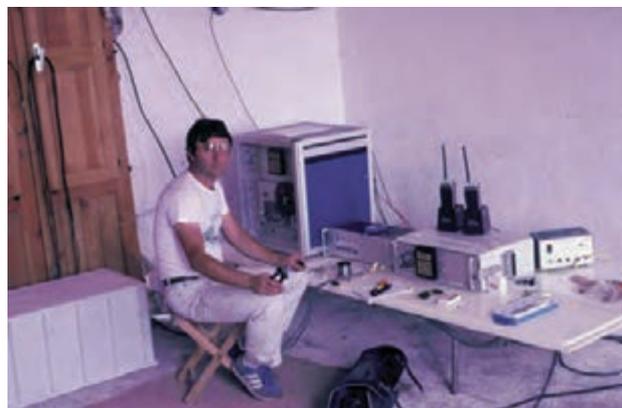


Figura 49 Installazione della centrale di acquisizione (foto G. Vilardo).

Figure 49 Acquisition center installation (photo G. Vilardo).

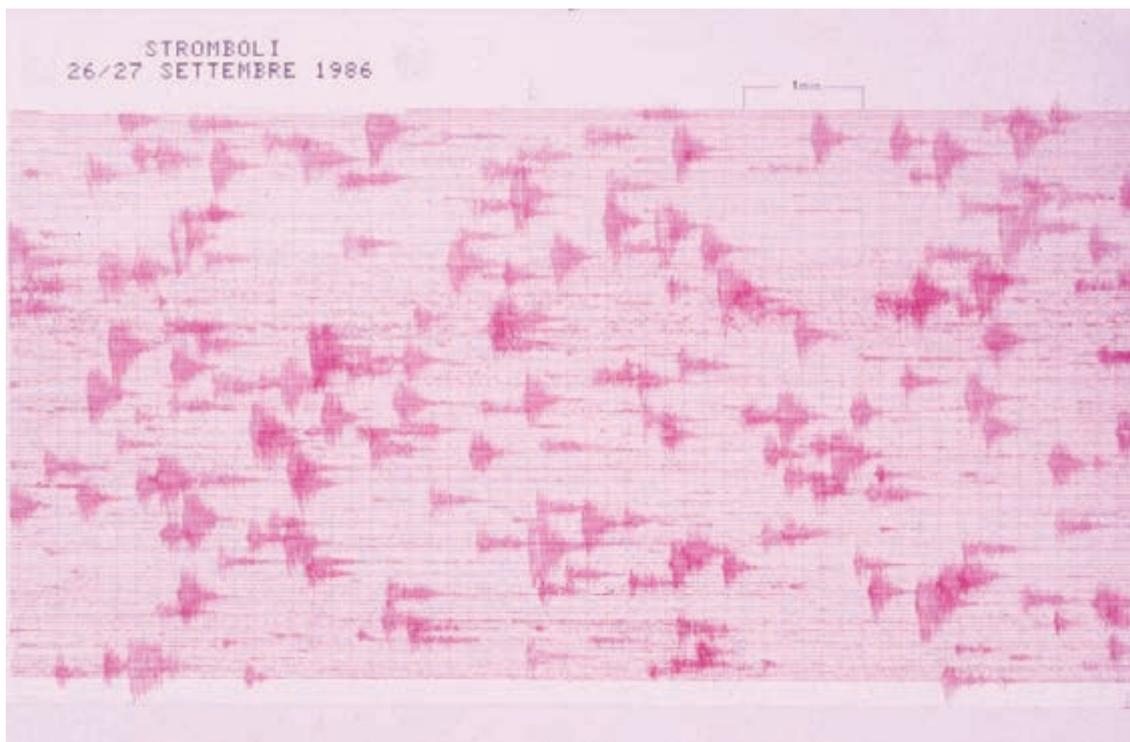


Figura 50 Esempio dell'attività sismica registrata su monitor *Geotech Portacorder RV-320B*, nel corso dell'esperimento Stromboli 1986 (foto G. Vilardo).

Figure 50 Seismogram of one-day seismic activity of Stromboli recorded during the experiment Stromboli 1986 on the *Geotech Portacorder RV-320B* (photo G. Vilardo).



Figura 51 Installazione del sistema di trasmissione radio (foto G. Vilardo).

Figure 51 Installation of the radio transmission system (photo G. Vilardo).

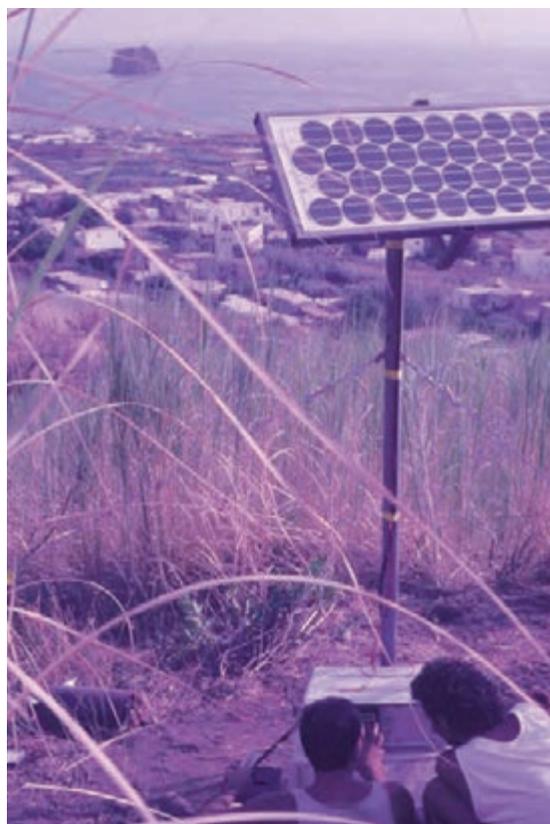


Figura 52 Operazioni di controllo su una stazione *Lennartz PCM 5800* (foto M. Castellano).

Figure 52 Check of a *Lennartz PCM 5800* seismic station (photo M. Castellano).

mo di *trigger*, basato sul rapporto STA/LTA, provando diverse impostazioni dei parametri programmabili (STA, LTA, STA/LTA, filtro sul segnale in ingresso, filtro sul segnale utile al *trigger*, ecc.).



Figura 53 Stazione sismica *Lennartz PCM 5800* installata sull'Isola di Vulcano. Sullo sfondo l'antenna *loop* per la ricezione del segnale del tempo DCF77 (foto G. Vilardo).

Figure 53 *Lennartz PCM 5800* seismic station installed at Vulcano island. In the background the loop antenna for the DCF77 time signal is visible (photo G. Vilardo).



Figura 54 Sistema di acquisizione del cavo multicanale, costituito da un *Encoder PCM 5800* a 15 canali e registratore *Nagra* a nastro magnetico (foto G. Vilardo).

Figure 54 Fifteen channels *Encoder PCM 5800* acquisition system of the multi-channel seismic cable with *Nagra* tape recorder (photo G. Vilardo).

Oltre all'installazione delle stazioni *Lennartz PCM 5800*, durante l'intervento sono state effettuate delle registrazioni del *noise* in punti campione. Le misure sono state effettuate con una stazione mobile analogica *Lennartz MARS-66* equipaggiata con due sismometri a componente verticale (*Mark L4-C* con frequenza propria di 1 Hz e *Mark L-15B* con frequenza propria di 4.5 Hz) ed acquisizione su registratore a cassetta *Philips D-6600* [Castellano et al., 1986b].

4.5 Vulcano-Lipari 1986, 1987, 1988

Gli anni dal 1986 al 1988 sono stati caratterizzati da tre campagne di sismica attiva e passiva focalizzate allo studio delle strutture crostali del complesso Lipari-Vulcano ed alla sismicità dell'Isola di Vulcano [Castellano et al., 1988b].

Nel maggio del 1986 è stato realizzato un esperimento di sismica attiva DSS (*Deep Seismic Sounding*) con la realizzazione di profili e ventagli disposti tra Lipari e Vulcano [Milano et al., 1988; Ferrucci et al., 1991]. Più di 80 stazioni sono state installate grazie alla collaborazione con l'IPG di Parigi e con altri istituti di ricerca ed università italiane. L'Osservatorio Vesuviano ha partecipato con alcune stazioni analogiche del tipo *Lennartz MARS-66*, con registrazione su cassette C90 e sensori *Mark L4C*, e quattro stazioni digitali *Lennartz PCM 5800* equipaggiate con sismometri *Mark L4-3D*. Nel periodo Settembre - Ottobre 1987 è stato effettuato un esperimento per la registrazione della sismicità dell'area della Fossa a Vulcano. La RSM-OV è intervenuta installando 7 stazioni *Lennartz PCM 5800* (figura 53) equipaggiate con sismometri *Mark L4-3D* e un cavo sismico multicanale (equipaggiato con una terna di sensori *Mark L-15B* e 12 sensori *Mark L-15B* a sola componente verticale) acquisito da un'unità *Encoder PCM 5800* a 15 canali predisposta all'interno di un carrello trasportabile (figura 54). Ulteriori 15 stazioni *Lennartz PCM 5800* sono state messe a disposizione dall'Institute de Physique du Globe (IPG) di Parigi [Ferrucci et al., 1991].

Nel 1988, a seguito di un incremento dell'attività fumarolica, è stata realizzata un'operazione di sorveglianza multidisciplinare sotto il coordinamento del Gruppo Nazionale per la Vulcanologia [CNR-GNV, 1988].

Sono state installate 7 stazioni *Lennartz PCM 5800* equipaggiate con sismometri *Mark L4-3D* intorno all'area della Fossa e due cavi sismici multicanali con sensori *Mark L-15B* sul versante occidentale del cratere [Vilardo et al., 1991]. Alcune stazioni provenivano dalla rete già operativa all'Etna (cfr. § 4.6) e spostate per venire incontro alle sopravvenute esigenze di monitoraggio dell'Isola di Vulcano.

I risultati di queste campagne hanno consentito di mettere in evidenza le marcate eterogeneità laterali presenti nell'area e una zona ad alta velocità al disotto del cratere di Vulcano [Castellano et al., 1988b; Ferrucci et al., 1991].



Figura 55 Installazione della stazione *Lennartz PCM 5800* in trasmissione radio in località Castagno dei Cento Cavalli, Sant'Alfio (foto G. Vilardo).

Figure 55 Installation of the radio transmitted *Lennartz PCM 5800* station located at Castagno dei Cento Cavalli, Sant'Alfio (photo G. Vilardo).



Figura 56 Verifica dei parametri impostati sulla stazione *Lennartz PCM 5800* installata in località Emmaus, Zafferana Etnea (foto G. Vilardo).

Figure 56 Check of the parameters setting at the *Lennartz PCM 5800* seismic station located at Emmaus, Zafferana Etnea (photo G. Vilardo).



Figura 57 Installazione della stazione *Lennartz PCM 5800* in trasmissione radio in località Monte Nespole, Adrano (foto J. Dorel).

Figure 57 Installation of the radio transmitted *Lennartz PCM 5800* station located at Monte Nespole, Adrano (photo J. Dorel).



Figura 58 Operazioni di controllo su una stazione *Lennartz PCM 5800* in registrazione locale (foto G. Vilardo).

Figure 58 Checking of a *Lennartz PCM 5800* seismic station in local recording (photo G. Vilardo).

4.6 Etna 1988 – 1995

La campagna per lo studio della sismicità superficiale e periferica dell'Etna (Progetto finanziato dal Gruppo Nazionale per la Vulcanologia e dal Gruppo Nazionale di Geofisica della Terra Solida) ha rappresentato un'esperienza fondamentale per la RSM-OV. Si può dire che con questa campagna sono state gettate le basi per una moderna Rete Mobile, sperimentando nuove soluzioni tecnologiche per sfruttare al meglio la strumentazione disponibile, all'epoca costituita dal sistema *Lennartz PCM 5800* [Castellano et al., 1988a].

Durante il progetto, realizzato anche in collaborazione con l'Università degli Studi di Catania, l'IPG di Parigi e l'Observatoire Sismologique di Clermont-Ferrand, sono state installate fino a 22 stazioni sismiche *Lennartz PCM 5800* equipaggiate con sismometri *Mark L4-3D*. Una parte della rete era composta da stazioni in trasmissione radio centra-

lizzate presso le unità di acquisizione di San Gregorio di Catania (ad est) e Adrano (ad ovest; dal 1992 a Centuripe) (figure 55, 56 e 57), mentre la maggior parte delle stazioni erano configurate in registrazione locale (figura 58).

La centrale di acquisizione di San Gregorio era dotata di monitor a carta *Helicorder RV-310* per la visualizzazione continua ed in tempo reale di un segnale scelto tra quelli acquisiti dall'unità *Mixer* (figura 59). Una catena di decodifica per l'elaborazione *off-line* dei dati registrati anche dalle stazioni con acquisizione locale completava il sistema di restituzione dei dati (figura 60).

Dal 1992 l'intervento si è svolto anche in collaborazione con l'Osservatorio Sismologico di Protezione Civile di Acireale nei cui locali è stata installata una nuova centrale di acquisizione per le stazioni in trasmissione sul versante orientale dell'Etna [Castellano et al., 1992]. È stata, inoltre, installata

una rete digitale in acquisizione locale sulla struttura sismogenetica di Piano Pernicana – Piano Provenzana [Bianco et al., 1995] per il monitoraggio della particolare sismicità della faglia attiva.

Uno degli sviluppi tecnologici più significativi introdotto durante questa campagna è stato l'uso del quarto canale delle stazioni *Lennartz PCM 5800* per l'acquisizione del segna-

le di una stazione analogica trasmessa via radio. Per ottenere questo risultato sono stati predisposti, su progetto e realizzazione del Laboratorio di Elettronica dell'Osservatorio Vesuviano, apparati di modulazione-trasmissione e ricezione-demodulazione come da schema della figura 61.

In questo modo, con la stazione analogica installata anche a diversi chilometri da quella digitale, era possibile impostare



Figura 59 Sistema di acquisizione installato in località San Gregorio (CT). Si nota l'unità *Mixer* ed una stazione collegata al registratore *UHER Report Monitor 4400*. In basso a destra è visibile il registratore a carta *Helicorder RV-310* (foto G. Vilardo).
Figure 59 Acquisition system installed at San Gregorio (CT). Note the *Mixer* unit and a seismic station with the *UHER Report Monitor 4400* tape recorder. In the lower right corner the thermal paper monitor *Helicorder RV-310* is visible (photo G. Vilardo).



Figura 60 Catena di decodifica del sistema *Lennartz PCM 5800* installata presso la centrale di acquisizione di San Gregorio (foto G. Vilardo).
Figure 60 *Lennartz PCM 5800* decoding system installed at the acquisition center of San Gregorio (photo G. Vilardo).

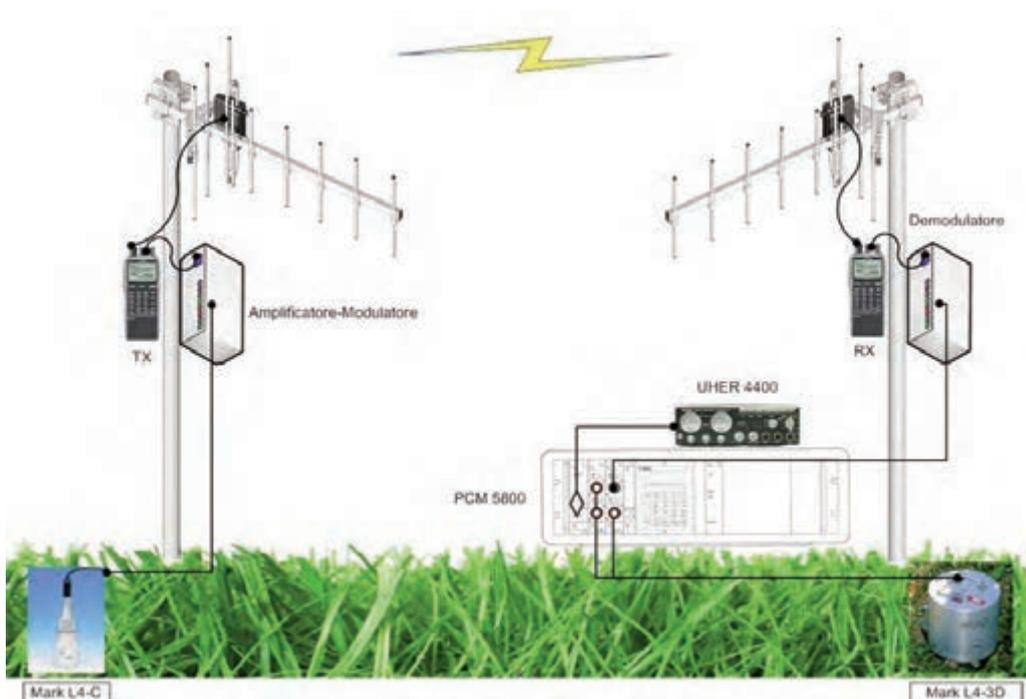


Figura 61 Schema del sistema integrato digitale-analogico. Il segnale di una stazione analogica monocomponente viene trasmesso via radio; ricevuto e demodolato è acquisito sul quarto canale libero di una stazione digitale *Lennartz PCM 5800* e registrato su un registratore *UHER 4400* congiuntamente a quelli del sismometro a tre componenti.
Figure 61 Sketch of the digital-analog integrated system. The analog one-component signal is radio transmitted toward a digital *Lennartz PCM 5800* seismic station. Here the signal is demodulated and recorded on a *UHER 4400* tape recorder together with the local three-component signals.



Figura 62 Esempio di monitor a 8 tracce *Graphtec WR3320 Linercorder Mark VII* (www.techno-test.com).

Figure 62 Eight channels *Graphtec WR3320 Linercorder Mark VII* monitor (www.techno-test.com).

su quest'ultima i parametri di *trigger* in modo che la registrazione scattasse solo se entrambe le stazioni avevano rilevato l'evento. Si sono ridotti, così, i falsi *trigger* legati a rumori antropici locali [Castellano et al., 1988a].

Un'altra soluzione tecnologica adottata per rendere fruibili in tempo quasi reale i segnali delle stazioni acquisite a *trigger* è stata realizzata collegando un monitor a 8 tracce *Graphtec WR3320 Linercorder Mark VII* (figura 62) alle uscite digitale/analogico (D/A) del *Mixer* [Castellano e Ferrucci, 1989]. In questo modo, con il monitor funzionante in *stand-by*, lo scorrimento della carta veniva azionato dal *trigger* del *Mixer* consentendo la visualizzazione dei segnali sismici e del tempo DCF. Il pre-evento (generalmente impostato su 7 secondi) era sufficiente per una corretta visualizzazione delle tracce sismiche su cui venivano effettuate le letture dei tempi d'arrivo per la successiva localizzazione dell'evento. Il sistema era in grado di far fronte in tempo reale anche a sequenze con un'elevata frequenza di eventi [Castellano et al., 1992].

I risultati ottenuti dai dati raccolti durante questa campagna hanno consentito di caratterizzare la sismicità dell'Etna a cavallo dell'eruzione del 1989 [Castellano et al., 1993, 1997] e di studiare in dettaglio l'andamento dei parametri legati all'anisotropia sismica [Bianco et al., 1996, 1998].

4.7 Eolie 1990 – 1991

Per integrare i dati acquisiti durante le campagne svolte nel periodo 1986-1988, un nuovo *survey* è stato realizzato tra l'autunno del 1990 e la primavera del 1991. Obiettivo principale di questo intervento era la registrazione di segnali telesismici per un'analisi della struttura crostale del complesso vulcanico Lipari-Vulcano-Salina [Ventura et al., 1999]. Sono state installate 6 stazioni sismiche digitali *Lennartz PCM 5800* equipaggiate con sismometri *Mark L4-3D*. Di queste 4 erano installate rispettivamente a

Vulcano cratere (CRN; figura 63), Lipari Pianoconte (PNC; figura 64), Lipari M. Chirica (CHI) e Salina (SAL), e centralizzate via radio su un'unità *Mixer PCM 5800* montata nell'area dei ponti radio SIP di Mt. S. Angelo (Lipari) (figure 65, 66 e 67). Altre 2, installate a Lipari rispettivamente presso la centrale di acquisizione di Mt. S. Angelo (MGL) e l'Osservatorio di Lipari (FAL), erano configurate in registrazione locale. La stazione FAL era costituita da un *Encoder PCM 5800* a 15 canali su cui erano acquisiti i segnali di un sensore *Mark L4-3D* e alcuni segnali della rete sismica delle Eolie gestita dall'Istituto Internazionale di Vulcanologia, attuale Sezione di Catania dell'INGV.

Durante questo *survey* sono stati registrati 8 eventi telesismici con caratteristiche adatte allo studio previsto. La loro analisi ha contribuito alla definizione della geometria delle strutture crostali e del modello di velocità superficiale del complesso vulcanico Lipari-Vulcano [Ventura et al., 1999].



Figura 63 Controllo del funzionamento di una stazione *Lennartz PCM 5800* in trasmissione installata a Vulcano (foto G. Vilardo).

Figure 63 Check of the radio transmitted *Lennartz PCM 5800* seismic station installed at Vulcano island (photo G. Vilardo).



Figura 64 Controllo del funzionamento di una stazione *Lennartz PCM 5800* installata a Lipari (foto G. Vilardo).

Figure 64 Checking of a *Lennartz PCM 5800* operation at Lipari island (photo G. Vilardo).



Figura 65 Operazioni per l'installazione delle antenne di ricezione su una piattaforma del traliccio SIP (foto G. Vilardo).
Figure 65 Installation procedures of the receiving antennas on the SIP pylon (photo G. Vilardo).



Figura 66 Installazione dell'antenna *loop* per la ricezione del segnale del tempo DCF77 sul traliccio della centrale SIP (foto G. Vilardo).
Figure 66 Installation of the DCF77 loop antenna on the SIP pylon (photo G. Vilardo).



Figura 67 Installazione del sistema di acquisizione a Mt. S. Angelo (Lipari) costituito da un'unità Lennartz Mixer PCM 5800 e registratore Nagra a nastro magnetico all'interno di un carrello trasportabile (foto V. D'Errico).
Figure 67 Acquisition system installation at Mt. S. Angelo (Lipari). A Mixer Lennartz PCM 5800 unit with Nagra tape recorder is mounted within a car trailer (photo V. D'Errico).

4.8 Egitto 1992

Il 12 Ottobre 1992 un terremoto di $M = 5.6$ ha colpito la città del Cairo e l'alta valle del Nilo causando più di 500 vittime e determinando vistosi effetti al suolo [Brancaccio et al., 1993]. Su richiesta del Servizio Geologico Egiziano, e con il patrocinio dell'Ambasciata Italiana al Cairo, ricercatori dell'Osservatorio Vesuviano e del Dipartimento di Geofisica e Vulcanologia dell'Università di Napoli sono stati invitati a collaborare allo studio della sequenza sismica e degli effetti

sul terreno indotti dall'evento principale [Castellano e Milano, 1993]. L'Osservatorio Vesuviano ha partecipato con una rete temporanea composta da 3 stazioni Lennartz PCM 5800 equipaggiate con sismometri Mark LA-3D (figure 68 e 69) che ha integrato la rete analogica del Servizio Geologico Egiziano costituita da 5 stazioni a componente verticale e registrazione su monitor a carta affumicata (figura 70). Le stazioni digitali sono state installate in aree desertiche a circa 40-50 km a sud del Cairo a completare una geometria di rete distribuita intorno all'area degli *aftershock*. Durante l'intervento, durato dal 9 al 15 Novembre 1992, sono stati registrati circa 140 eventi con una magnitudo massima $M = 4.0$. Ogni giorno veniva effettuato il cambio dei nastri registrati e la successiva analisi dei dati presso i laboratori del Servizio Geologico Egiziano mediante una catena di decodifica appositamente predisposta (figura 71) in modo da poter integrare rapidamente il *data-set* delle localizzazioni [Milano e Castellano, 1993]. L'esperimento, oltre alle ricadute scientifiche, ha avuto un



Figura 68 Installazione di una stazione *Lennartz PCM 5800* protetta da una formazione rocciosa a sud del Cairo (foto G. Milano).

Figure 68 A *Lennartz PCM 5800* seismic station installation with the shelter of a rock formation southward of Cairo (photo G. Milano).



Figura 69 Installazione di una stazione *Lennartz PCM 5800* in pieno deserto a sud del Cairo. Sulla destra è visibile l'antenna *loop* per la ricezione del segnale del tempo DCF77 (foto G. Milano).

Figure 69 *Lennartz PCM 5800* seismic station installation in the desert southward of Cairo. On the right the DCF77 loop antenna is visible (photo G. Milano).



Figura 70 Sostituzione del rullo a carta affumicata del registratore *Spregnether MEW-800* in dotazione al Servizio Geologico Egiziano (foto M. Castellano).

Figure 70 Change of the smoked paper drum of a *Spregnether MEW-800* monitor belonging to the Egyptian Geological Survey (photo M. Castellano).



Figura 71 Catena di decodifica e sistema per l'elaborazione dei dati acquisiti dalle stazioni *Lennartz PCM 5800* installato presso i laboratori del Servizio Geologico Egiziano (foto M. Castellano).

Figure 71 *Lennartz PCM 5800* decoding system and data analysis mounted in the Egyptian Geological Survey laboratories (photo M. Castellano).

grande valore aggiunto: la collaborazione con colleghi che, a fronte della scarsità dei mezzi a loro disposizione, hanno partecipato al progetto con un entusiasmo ed una competenza veramente encomiabili!

4.9 Vesuvio 1995 – 2011

È sicuramente l'intervento "temporaneo" che dura da più tempo! È iniziato in modo sistematico nella seconda metà del 1995 a seguito di un incremento dell'attività sismica del Vesuvio. Tra il 1995 ed il 1996, in collaborazione con l'Università di Catania ed il Gruppo Nazionale per la Vulcanologia, sono state installate fino a sette stazioni *Lennartz PCM 5800* della RSM-OV equipaggiate con sensori *Mark L4-3D* per integrare la Rete Sismica Permanente che

all'epoca era costituita solo da quattro stazioni [Bianco et al., 1999; Vilardo et al., 1996].

L'intervento è continuato negli anni seguenti, con un numero di stazioni variabile nel tempo affiancando, e successivamente sostituendo, alle stazioni *Lennartz PCM 5800* le più moderne *Lennartz MARSlite* equipaggiate con i sismometri *Lennartz LE-3Dlite*.

A partire dalla seconda metà degli anni 2000 sono state re-installate 5 stazioni *Lennartz PCM 5800* con il nuovo sistema di registrazione basato su apparati *Sony Hi-MiniDisc* [Castellano et al., 2007] ed equipaggiate con sensori *Lennartz LE-3Dlite* (figura 72). Sono stati, inoltre, effettuati interventi per migliorare l'autonomia dei sistemi di alimentazione con l'installazione di pannelli solari per stazioni



Figura 72 Stazione *Lennartz PCM 5800*, equipaggiata con un sismometro *Lennartz LE-3Dlite*, installata presso il sito di Bunker Nord. La batteria Varta alimenta il solo sismometro (foto M. Castellano).

Figure 72 *Lennartz PCM 5800* equipped with a *Lennartz LE-3Dlite* seismometer installed at Bunker Nord (northern slope of Gran Cono). The Varta battery is powering only the seismometer (photo M. Castellano).



Figura 73 Sistema di pannelli solari installato su Bunker Nord, versante settentrionale del Gran Cono (foto M. Castellano).

Figure 73 Solar pannels mounted on the Bunker Nord site, northern slope of Gran Cono (photo M. Castellano).



Figura 74 Installazione dei pannelli solari e passaggio cavi presso il sito di Bunker Sud, Riserva Naturale "Tirone Alto Vesuvio" (foto M. Capello).

Figure 74 Solar pannels installation and cables pass through at Bunker Sud site, wild park "Tirone Alto Vesuvio" (photo M. Capello).

installate in aree remote (figure 73 e 74).

Negli ultimi anni si è fortemente puntato su stazioni multi sensore (un esempio in figura 75) che consentono di estendere la gamma di frequenze registrate. Attualmente nell'area del Vesuvio sono operative 4 stazioni dotate di apparati *Lennartz MARSlite* e *Nanometrics Taurus* equipaggiate con sensori a larga banda (*Guralp CMG-40T* o *Lennartz LE-3D/20s*) e/o accelerometrici *Episensor ES-T*. Sono ancora operativi altri due siti con le stazioni *Lennartz PCM 5800* dotate di sismometri *Lennartz LE-3Dlite* [Cusano et al., 2011].

La grande mole di dati raccolti specialmente durante le crisi del 1995-1996 e del 1999 ha consentito di studiare in dettaglio la sismicità del Vesuvio [Bianco et al., 1999b] e le sue correlazioni con campo di stress [Bianco et al., 1998]. Inoltre, è stato possibile stimare l'attenuazione sismica [Bianco et al., 1999a] e definire i parametri di sorgente e gli effetti di sito [Galluzzo et al., 2009].

In figura 76 sono indicati tutti i siti in cui sono state installate negli ultimi anni le stazioni della RSM-OV nell'area del Vesuvio.

4.10 Etna 1999

A Settembre 1999 è stato realizzato un esperimento all'Etna con l'obiettivo di studiare i parametri di polarizzazione del campo d'onda sismico generato durante una fase eruttiva e calcolare le velocità e l'attenuazione della struttura superficiale. L'esperimento è stato svolto in collaborazione con l'Istituto Andaluz de Geofisica (Università di Granada) e l'Istituto Internazionale di Vulcanologia (attuale Sezione di Catania dell'INGV) [Castellano et al., 2000].

Sono stati installati due *array* sismici (uno in prossimità dell'Osservatorio di Pizzi Deneri e l'altro nell'area di Torre del Filosofo) ed un profilo in coincidenza dell'*array* di Pizzi Deneri (Piano delle Concazze) (figure 77 e 78) [Ibanez et al., 2009].

La RSM-OV ha partecipato con 16 stazioni *Lennartz MARSlite*, equipaggiate con sismometri *Lennartz LE-3Dlite* a



Figura 75 Sismometro *Guralp CMG-40T* (parzialmente coibentato) ed accelerometro *Episensor ES-T* installati presso la stazione di Trecase (foto D. Galluzzo).

Figure 75 *Guralp CMG-40T* seismometer (partly insulated) and *Episensor ES-T* accelerometer installed at Trecase site (photo D. Galluzzo).

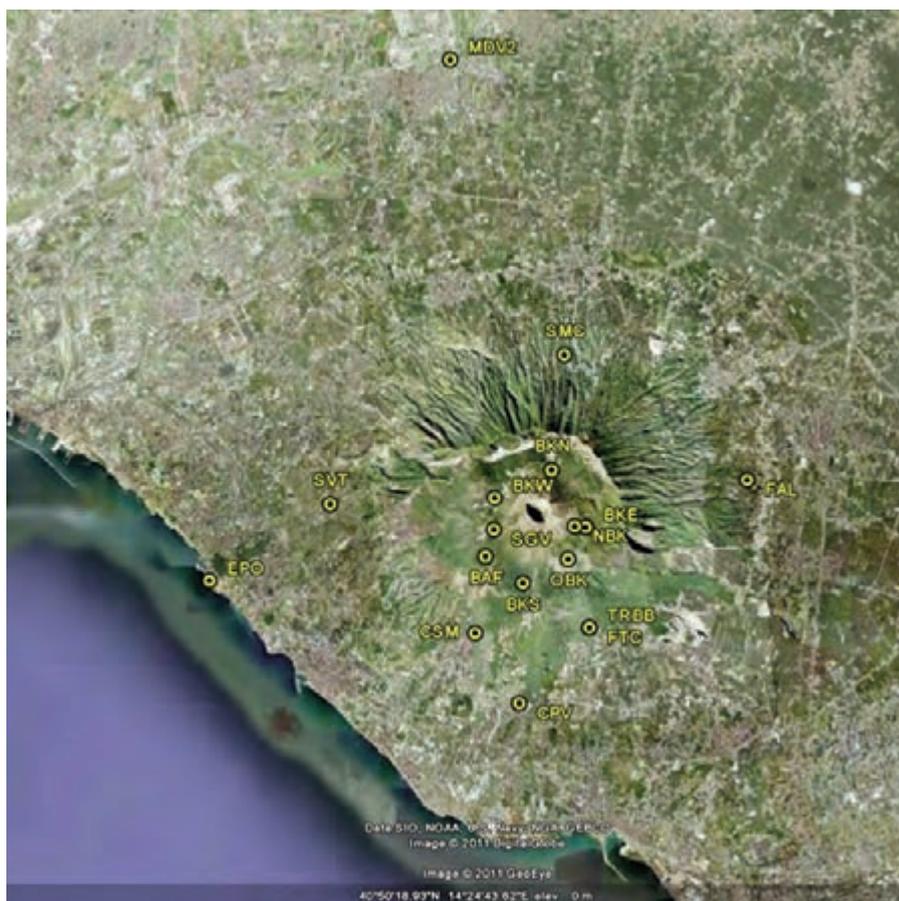


Figura 76 Mappa dei siti occupati dalle stazioni della RSM-OV nell'area del Vesuvio dal 1987 al 2011.

Figure 76 Maps of the sites engaged by the RSM-OV in the Vesuvius area from 1987 to 2011.

corto periodo, disposte per realizzare il profilo e successivamente installate in configurazione di *array* circolare intorno all'area dei crateri sommitali.

L'esperimento si è svolto in condizioni meteorologiche

estremamente variabili ed anche proibitive (figura 79), ciò nonostante è perfettamente riuscito grazie anche al grande spirito di collaborazione che ha caratterizzato tutti i partecipanti al progetto.



Figura 77 Installazione del sistema di acquisizione dell'*array* in località Piano delle Concazze (foto M. Castellano).

Figure 77 Installation of the array acquisition system at Piano delle Concazze (photo M. Castellano).



Figura 78 Stendimento dei cavi dell'*array* in località Piano delle Concazze (foto M. Castellano).

Figure 78 Array cables positioning at Piano delle Concazze (photo M. Castellano).



Figura 79 Protezione dalla pioggia del sistema di acquisizione dell'array durante le procedure di controllo (foto M. Castellano).
Figure 79 Rain protection of the array acquisition system during the check procedures (photo M. Castellano).



Figura 80 Installazione di una stazione *Lennartz MARSlite* equipaggiata con sismometro a larga banda *Guralp CMG-40T*. Sullo sfondo si nota lo scavo per il posizionamento interrato del sensore (foto D. Galluzzo).

Figure 80 Installation of a *Lennartz MARSlite* seismic station equipped with a *Guralp CMG-40T* broad band seismometer. On the background the vault for the sensor siting is visible (photo D. Galluzzo).



Figura 81 Installazione di una stazione sismica *Lennartz MARSlite* appartenente all'array (foto D. Galluzzo).
Figure 81 Installation of a *Lennartz MARSlite* seismic station belonging to the array (photo D. Galluzzo).

4.11 Nisyros 2001

Un esperimento per lo studio dei segnali sismici a larga banda associati ad un'attività di tipo magmatico-idrotermale è stato realizzato all'Isola di Nisyros (Grecia) dall'11 al 27 Giugno 2001.

Il dispositivo di registrazione era composto da 3 stazioni *Lennartz MARSlite* equipaggiate con sismometri a larga banda *Guralp CMG-40T* (figura 80) e da un array composto da altre 9 stazioni *MARSlite* equipaggiate con sismometri *Lennartz LE-3Dlite* a corto periodo (figura 81) [Caliro et al., 2005].

Durante l'esperimento sono stati registrati circa 40 terremoti locali e 2 eventi *long-period* (LP) interpretati come il risultato di una rapida variazione di pressione nei fluidi idrotermali presenti nelle fratture alla profondità di circa 1-2 km [Caliro et al., 2005].

4.12 Stromboli 2002

Dal 16 al 21 Ottobre 2002 si è tenuto presso l'Osservatorio San Vincenzo di Stromboli un *Workshop* dal titolo "Terremoti nel basso Tirreno: dalla subduzione alle esplosioni stromboliane".

Il *workshop* è stato anche l'occasione per mettere a confronto e testare la grande varietà di acquisitori e sismometri in dotazione alle varie sezioni dell'INGV (figure 82 e 83). Inoltre le discussioni e gli approfondimenti che ne sono scaturiti sono stati di grande importanza per migliorare le tecniche di installazione e di analisi dei dati.

Durante il *workshop* sono anche stati installati alcuni strumenti sulle pendici del vulcano. Tra questi, sono stati installati due tiltmetri *Applied Geomechanics*, uno alla base dei crateri dal lato della piazzola dell'elicottero e l'altro in località Valle della Luna (figure 84 e 85), acquisiti da stazioni *Lennartz MARSlite*.

4.13 Azzorre 2003

Un esperimento per lo studio della sismicità dell'Isola di San Miguel (Azzorre) è stato realizzato da Aprile a Luglio 2003 nell'ambito delle attività previste dal Progetto Europeo *e-Ruption* [Saccorotti et al., 2004b]. Scopo dell'esperimento era ottenere una registrazione continua della sismicità degli apparati vulcanici Fogo e Furnas per caratterizzarne il livello di attività [Martini et al., 2009].

L'Osservatorio Vesuviano è intervenuto installando una rete temporanea composta da 10 stazioni sismiche digitali a tre componenti *Lennartz MARSlite* equipaggiate con sensori a larga banda *Guralp CMG-40T* e *Lennartz LE-3D/20s* e a corto periodo *Lennartz LE-3Dlite* (figure 86, 87 e 88). Le stazioni sono state disposte in configurazione di array ad integrazione della Rete Sismica Permanente locale.

Durante l'esperimento sono stati registrati più di 1000 terremoti la metà dei quali localizzabili con buona precisione.



Figura 82 Test-point dei sistemi di acquisizione presso l'Osservatorio San Vincenzo (foto M.Castellano).
Figure 82 Acquisition systems test-point at Osservatorio San Vincenzo (photo M. Castellano).



Figura 83 Come figura 82 (foto M.Castellano).
Figure 83 As figure 82 (photo M. Castellano).



Figura 84 Installazione di un tiltmetro in acquisizione su una stazione Lennartz MARSlite in località Valle della Luna (foto M. Castellano).
Figure 84 Installation of a Lennartz MARSlite seismic station equipped with a tiltmeter in the Valle della Luna site (photo M. Castellano).



Figura 85 Come figura 84. Operazioni di verifica della messa in bolla del tiltmetro in acquisizione su una stazione Lennartz MARSlite (foto M. Castellano).
Figure 85 As figure 84. Levelling of the tiltmeter acquired by a Lennartz MARSlite seismic station (photo M. Castellano).



Figura 86 Installazione di una stazione sismica Lennartz MARSlite (foto M. La Rocca).
Figure 86 Installation of a Lennartz MARSlite seismic station (photo M. La Rocca).



Figura 87 Stazione sismica Lennartz MARSlite e relativo sistema di protezione da atti vandalici! (foto M. La Rocca).
Figure 87 Lennartz MARSlite seismic station and protection system for vandalism! (photo M. La Rocca).



Figura 88 Stazione sismica Lennartz MARSlite alimentata con pannello solare (foto M. La Rocca).
Figure 88 Lennartz MARSlite seismic station powered by solar panel (photo M. La Rocca).



Figura 89 Una fase dell'installazione di una stazione sismica dell'array di Lopez Island.

Figure 89 Seismic station installation at the Lopez Island array.

4.14 Cascadia 2004, 2009, 2010

La RSM-OV ha partecipato negli ultimi anni alle campagne di acquisizione dati per lo studio del "Deep Tremor" (tremore profondo non vulcanico) in Cascadia, nel nord dello Stato di Washington [La Rocca et al., 2005; La Rocca et al., 2008b; Rubinstein et al., 2008]. Nel 2004 la RSM-OV ha partecipato con l'installazione di 2 array a corto periodo: il primo (*Sequim Array*) era composto da 7 stazioni sismiche Lennartz MARSlite equipaggiate con sensori a corto periodo Lennartz LE-3Dlite, mentre il secondo (*Lopez Array*) era basato su acquisitori Lennartz M24 e sensori Lennartz LE-3Dlite (figure 89 e 90) [McCausland et al., 2010].

Negli ultimi anni il personale della RSM-OV ha partecipato all'installazione di 9 array nell'ambito del progetto "Array-of-Arrays" per lo studio dell' *Episodic Tremor and Slip (ETS)* nella zona di subduzione di Cascadia [La Rocca et al., 2009; McCausland et al., 2010].

4.15 Campi Flegrei 2004 – 2011

A seguito delle prime evidenze di una ripresa del sollevamento del suolo nell'area dei Campi Flegrei [Del Gaudio et al., 2010], è stato realizzato un intervento con la RSM-OV finalizzato alla registrazione della sismicità locale con stazioni sismiche a larga banda [Del Pezzo et al., 2005; La Rocca et al., 2006].

L'intervento, tutt'ora in corso, ha visto l'installazione di stazioni sismiche e di array sismici multicanale con una configurazione che è stata modificata nel tempo anche tenendo conto dell'andamento della sismicità nell'area.

Sono impiegati acquisitori Lennartz MARSlite e Lennartz M24 oltre a Reftek 130-01 e Reftek 130-MC18A. I sismometri utilizzati sono Lennartz LE-3D/20s, Lennartz LE-3Dlite, Guralp

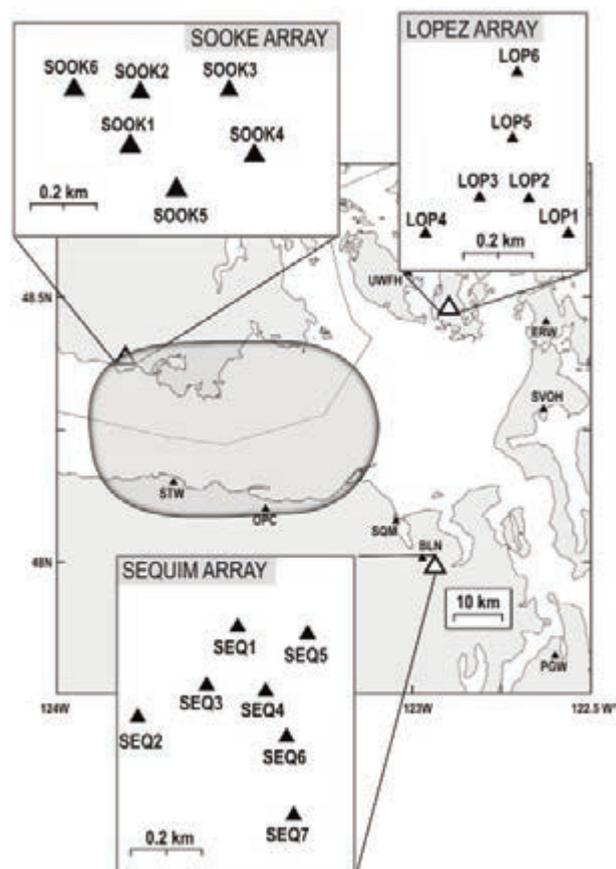


Figura 90 Mappa degli array installati durante l'intervento del 2004 in Cascadia [da McCausland et al., 2010].

Figure 90 Map of the installed array during the 2004 survey in Cascadia [from McCausland et al., 2010].

CMG-40T e Geotech KS2000, oltre all'accelerometro Episensor FBA ES-T.

La rete operativa alla fine del 2010 è costituita da 8 stazioni (figure 91 e 92), di cui due multi sensore equipaggiate con sismometro a larga banda e accelerometro (figura 93), e 1 array multicanale costituito da 6 sismometri Lennartz LE-3Dlite a corto periodo acquisiti da un apparato Reftek 130-MC18A.

L'impiego di stazioni digitali e di sensori a larga banda ha consentito di studiare in dettaglio la sismicità degli ultimi anni. In particolare, è stato possibile analizzare in dettaglio gli eventi verificatisi nel 2006 quando oltre a circa 250 terremoti vulcano tettonici (M_L max = 1.4) sono stati registrati più di 800 eventi a bassa frequenza (LP) localizzati nell'area della Solfatara [La Rocca et al., 2007a; Saccorotti et al., 2007; Cusano et al., 2008].

Di particolare interesse è stata l'installazione di una stazione idrofona multisensore posta all'estremità del Pontile Nord di Bagnoli [La Rocca et al., 2007a] e operativa da ottobre 2006 a novembre 2009. La stazione era costituita da due acquisitori Lennartz MARSlite (figura 94) in registrazione locale collegati a quattro tipi diversi di sensori: Geospace



Figura 91 Stazione sismica ASB2 costituita da un acquirente *Lennartz MARSlite* ed un sismometro *Lennartz LE-3D/20s* installata all'interno dell'Oasi WWF degli Astroni fin dall'autunno 2004 (foto D. Galluzzo).

Figure 91 Seismic station ASB2 composed by a *Lennartz MARSlite* device equipped with a *Lennartz LE-3D/20s* seismometer. The station is installed in the Naturalistic Oasis of Astroni since autumn 2004 (photo D. Galluzzo).



Figura 92 Stazione sismica *Lennartz MARSlite* e sensore *Lennartz LE-3D/20s* installati presso il sito dell'Oasi Naturalistica di Monte Nuovo (OMN2) (foto D. Galluzzo).

Figure 92 *Lennartz MARSlite* seismic station equipped with a *Lennartz LE-3D/20s* seismometer installed at the Naturalistic Oasis of Monte Nuovo site (OMN2) (photo D. Galluzzo).



Figura 93 Stazione multi sensore di CELB (Pozzuoli). Ad un acquirente *Reftek 130-01* a sei canali sono collegati un sismometro *Geotech KS-2000* ed un accelerometro *Kinematics EpiSensor FBA ES-T* (foto D. Galluzzo).

Figure 93 CELB (Pozzuoli) multi-sensor station. It is composed by a six channels *Reftek 130-01* seismic station equipped with a *Geotech KS-2000* seismometer and a *Kinematics EpiSensor FBA ES-T* accelerometer (photo D. Galluzzo).

MP24L, Reson TC 4033, Sensors PM1L e Ott PS1 [La Rocca et al., 2007a]. Dal 2009 la strumentazione della RSM-OV è stata sostituita con un apparato della Rete Sismica Permanente in trasmissione radio ed acquisita presso il Centro di Monitoraggio dell'Osservatorio Vesuviano [Cusano et al., 2010].

Nell'ambito delle attività di studio dell'area dei Campi Flegrei va annoverato l'esperimento effettuato con la RSM-OV nell'area della Solfatarina per la definizione della struttura crostale superficiale e degli effetti di sito mediante lo studio del noise sismico [Petrosino et al., 2008]. Sono state impiegate 5 stazioni *Lennartz MARSlite*, equipaggiate con sismometri a corto periodo *Lennartz LE-3Dlite*, disposte in configurazione di array.

In figura 95 sono indicati tutti i siti occupati negli ultimi anni dalle stazioni della RSM-OV nell'area dei Campi Flegrei.



Figura 94 Acquisitori *Lennartz MARSlite* installati presso la stazione idrofonica PNI (foto M. Castellano).

Figure 94 Two *Lennartz MARSlite* devices installed at the hydrophone station PNI (photo M. Castellano).

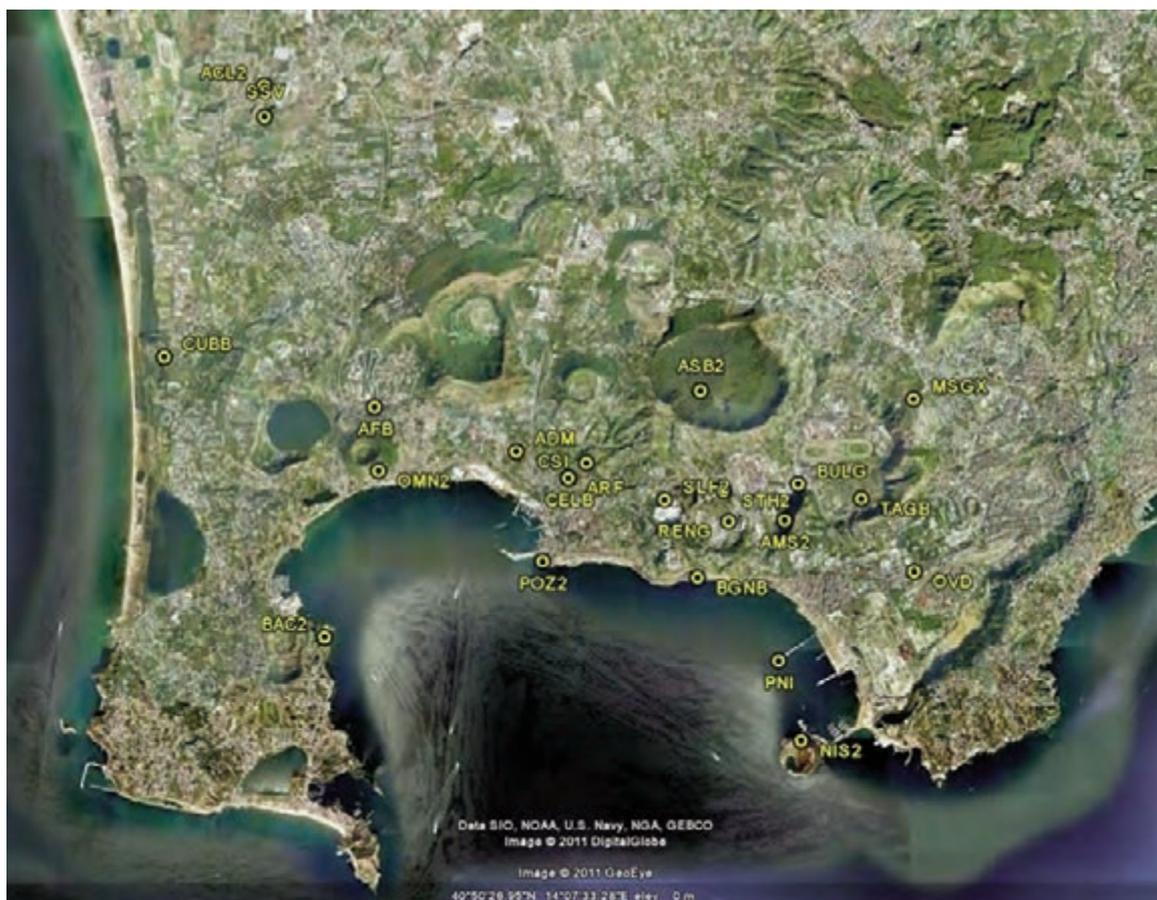


Figura 95 Mappa dei siti occupati dalle stazioni della RSM-OV nell'area dei Campi Flegrei dal 2000 al 2011.
Figure 95 Maps of the sites engaged by the RSM-OV in the Campi Flegrei area from 2000 to 2011.

4.16 Colima 2005 – 2006

Nell'ambito del Progetto FIRB 2-13-3-46-23, mirato allo studio dei vulcani esplosivi ad alto rischio, dal novembre 2005 a maggio 2006 è stato effettuato un *survey* al vulcano Colima (Messico) [Del Pezzo et al., 2007]. L'esperimento, realizzato in collaborazione con l'Osservatorio Vulcanologico dell'Università di Colima e l'Instituto Andaluz de Geofisica dell'Università di Granada, aveva lo scopo di studiare il campo d'onda generato dall'attività sismica associata alle varie fasi della dinamica vulcanica del Colima.

L'Osservatorio Vesuviano ha partecipato con l'installazione di 4 stazioni sismiche *Lennartz MARSlite* (figure 96 e 97) equipaggiate con sismometri *Lennartz LE-3D/20s* che sono andate ad integrare la Colima Telemetric Seismic Network (Red Sismica de Colima, RESCO) operativa durante tutto il periodo dell'esperimento.

Le stazioni della RSM-OV sono state installate a quote variabili dai 600 ai 3200 metri s.l.m. Particolare cura è stata posta durante il posizionamento dei sismometri al fine di garantire il migliore accoppiamento possibile ed isolare i sensori da sorgenti esogene quali il vento (figure 98 e 99).

Durante l'esperimento sono stati registrati numerosi eventi

locali, sia vulcano-tettonici che a bassa frequenza (LP), nonché segnali legati all'attività di tremore a bassa energia. Inoltre, sono stati acquisiti anche segnali di eventi a scala regionale e telesismi [Del Pezzo et al., 2008]. I dati a disposizione hanno consentito di analizzare e definire in dettaglio la posizione della sorgente degli eventi a lungo periodo [Petrosino et al., 2011].

4.17 Stromboli 2006 – Esperimento di Tomografia sismica

Dal 25 novembre al 2 dicembre 2006 si è svolto il primo esperimento di tomografia sismica all'Isola di Stromboli. All'esperimento, svolto nell'ambito della Convenzione INGV-DPC 2004-2006, hanno partecipato ricercatori e tecnici dell'INGV, dell'Istituto per l'Ambiente Marino Costiero del CNR (IAMC, Napoli), dell'Istituto di Scienze Marine del CNR (ISMAR, Bologna) e dell'Università di Firenze [Marsella et al., 2007].

Sono stati effettuati più di 1500 scoppi in mare con una batteria di 4 *air-gun* installata a bordo della R/V *Urania* del CNR. Il dispositivo di registrazione a terra era composto da 13 stazioni della Rete Permanente gestita dall'Osservatorio Vesuviano e 20 stazioni temporanee in registrazione locale appositamen-



Figura 96 Stazione sismica *Lennartz MARSlite* installata alle pendici del vulcano Colima (foto M. La Rocca).

Figure 96 *Lennartz MARSlite* seismic station installed on the slopes of Colima volcano (photo M. La Rocca).

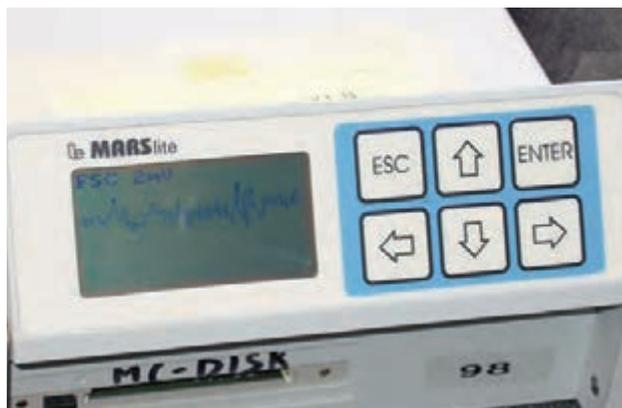


Figura 97 Display di una stazione *Lennartz MARSlite* con la visualizzazione del segnale sismico durante le procedure di installazione (foto M. La Rocca).

Figure 97 Seismic signal displayed on the monitor of a *Lennartz MARSlite* seismic station during the installation procedures (photo M. La Rocca).



Figura 98 Predisposizione della base per il posizionamento del sismometro (foto D. Galluzzo).

Figure 98 Arrangement of the seismometer basement in a vault (photo D. Galluzzo).



Figura 99 Posizionamento e messa in bolla di un sismometro *Lennartz LE-3D/20s* (foto D. Galluzzo).

Figure 99 Positioning and leveling of a *Lennartz LE-3D/20s* seismometer (photo D. Galluzzo).



Figura 100 Installazione della stazione *MARSlite* in località Scari (foto M. Castellano).

Figure 100 A *MARSlite* seismic station installation at the Scari site (photo M. Castellano).



Figura 101 Posizionamento del sismometro *Lennartz LE-3Dlite* interrato a circa 40 cm di profondità (foto M. Castellano).

Figure 101 A *Lennartz LE-3Dlite* seismometer installed to a depth of about 40 cm (photo M. Castellano).



Figura 102 Posizionamento mediante GPS portatile *Garmin*® di una stazione sismica durante l'esperimento di Tomografia (foto M. Castellano).

Figure 102 GPS positioning of a seismic station by means of a portable *Garmin*® GPS during the tomographic experiment (photo M. Castellano).



Figura 103 Procedure per consentire la visualizzazione in tempo reale dei segnali di tutte le stazioni della Rete Permanente (foto M. Castellano).

Figure 103 Real-time monitoring of all the stations of the Permanent Network (photo M. Castellano).



Figura 104 Preparazione dei collegamenti degli idrofoni con la stazione *Lennartz M24* (foto M. Castellano).

Figure 104 Setting of the hydrophones connection to the *Lennartz M24* seismic station (photo M. Castellano).



Figura 105 Collegamento degli idrofoni con la stazione digitale *Lennartz M24* (foto M. Castellano).

Figure 105 Connection of the hydrophones to the *Lennartz M24* seismic station (photo M. Castellano).



Figura 106 Gommone con il sistema di acquisizione dei sensori idrofonici in prossimità della R/V *Urania* (foto V. Augusti).

Figure 106 Rubber boat with the acquisition system of the hydrophones near the R/V *Urania* (photo V. Augusti).



Figura 107 Predisposizione della mappa delle stazioni a terra e degli OBS sulla base DTM dell'Isola di Stromboli (foto V. Augusti).

Figure 107 Positioning of both land stations and OBS on a DTM map of Stromboli island (photo V. Augusti).

te installate per l'esperimento. Inoltre, 10 OBS sono stati posizionati sui fondali al largo di Stromboli per ampliare la rete sulle strutture sottomarine [Castellano et al., 2008].

La Rete Mobile dell'Osservatorio Vesuviano, Sezione coordinatrice del progetto, ha partecipato con l'installazione di 5 stazioni *Lennartz MARSlite* equipaggiate con sismometri *Lennartz LE-3D* a corto periodo. I sismometri sono stati installati ottimizzando l'accoppiamento col substrato per ottenere il miglior rapporto segnale/rumore (figure 100 e 101).

Il posizionamento delle stazioni è stato effettuato mediante GPS portatili le cui coordinate sono state successivamente confrontate con quelle ottenute dai GPS interni dei diversi acquisitori (figura 102).

Durante l'esperimento, grazie al fondamentale contributo di W. De Cesare, è stato possibile controllare in tempo reale l'efficacia degli scoppi mediante la visualizzazione dei segnali registrati da tutte le stazioni della Rete Permanente centralizzate presso il COA (Centro Operativo Avanzato) di

Stromboli (figura 103).

Durante l'esperimento di Tomografia a Stromboli sono stati anche provati dei sensori idrofonici. Alcuni sono stati installati sul vecchio molo di Ficogrande ed acquisiti con una stazione *Lennartz M24* (figure 104 e 105), mentre un altro è stato impiegato in mare aperto con la strumentazione su un gommone stazionante in prossimità dei punti di scoppio dell'Urania (figura 106).

Le operazioni svolte quotidianamente presso il COA di Stromboli hanno consentito di realizzare lo *station-book* dell'esperimento nonché alcune analisi preliminari utili per la selezione dei segnali impiegabili per le prime inversioni tomografiche (figura 107) [Castellano et al., 2008].

4.18 Etna 2008

Nei primi mesi del 2008 è stato osservato un incremento dell'attività dell'Etna culminata con l'eruzione del 13 maggio 2008 [Aiesi et al., 2008].



Figura 108 Installazione di una stazione sismica *Lennartz MARSlite* in località Cratere del Piano (foto M. Castellano).
Figure 108 *Lennartz MARSlite* seismic station installation at Cratere del Piano site (photo M. Castellano).



Figura 109 Installazione di una stazione multi-sensore basata su un acquirente *Lennartz M24* a 6 canali in prossimità di Punta Lucia (foto M. Castellano).
Figure 109 Six channels multi-sensors *Lennartz M24* installed at Punta Lucia site (photo M. Castellano).



Figura 110 Sismometro *Geotech KS-2000* e tiltmetro *Applied Geomechanics* posizionati su due mattonelle di cemento all'interno di una buca scavata nelle vulcaniti (foto M. Castellano).
Figure 110 *Geotech KS-2000* seismometer and *Applied Geomechanics* tiltmeter siting in an appropriate vault buried in volcanic material (photo M. Castellano).



Figura 111 Regolazione del corretto posizionamento orizzontale del tiltmetro *Applied Geomechanics* (foto M. Castellano).
Figure 111 Checking the levelling of the *Applied Geomechanics* tiltmeter (photo M. Castellano).



Figura 112 Procedure per un corretto posizionamento di un sensore a larga banda in materiale vulcanico. a) dopo aver scavato una buca profonda circa 40-50 cm, si posiziona sul fondo una mattonella di cemento; b) la mattonella di cemento viene pressata per ottenere un ottimale accoppiamento con substrato; c) viene controllato con una livella il corretto posizionamento della mattonella di cemento; d) si posiziona il sensore (in questo caso un *Geotech KS-2000*) opportunamente coibentato per ridurre gli effetti dell'escursione termica. Infine si copre il tutto con il materiale precedentemente rimosso (foto M. Castellano).

Figure 112 The right procedure to siting a broad band seismometer in volcanic material. a) a concrete brick is positioned on the bottom of a 40-50 cm deep hole; b) the concrete brick is pushed down to obtain a good ground coupling; c) the levelling of the concrete brick is checked by a bubble level; d) the sensor (*Geotech KS-2000* in this case) is positioned and insulated to avoid thermic effects. Finally, the vault is covered with the previous dug-out material (photo M. Castellano).

Sulla base della tipologia e dell'andamento della sismicità registrata è stato realizzato un intervento congiunto tra le sezioni INGV di Catania e di Napoli per il potenziamento della rete di monitoraggio e per uno studio di dettaglio della sorgente dei segnali a bassa frequenza [De Barros et al., 2009]. L'intervento è stato effettuato con il coordinamento del TTC 1.4 "Sorveglianza sismologica delle aree vulcaniche attive".

L'Osservatorio Vesuviano ha partecipato con 7 stazioni sismiche digitali. Sono state installate 6 stazioni *Lennartz MARSlite* (figura 108), equipaggiate rispettivamente con 2 sismometri *Guralp CMG-40T*, 2 sismometri *Geotech KS-2000*, 1 sismometro *Lennartz LE-3D/20s* e 1 tiltmetro *Applied Geomechanics AG 702*, ed una stazione *Lennartz M24* a 6 canali equipaggiata con 1 sismometro *Geotech KS-2000* e 1 tiltmetro *Applied Geomechanics AG 702* (figure 109, 110 e 111).

Tutte le stazioni sono state installate in prossimità dei crateri sommitali, a quote comprese tra 2500 e 3050 metri s.l.m.

Come è consuetudine nelle installazioni delle stazioni della RSM-OV è stata posta una particolare cura nel posizionamento dei sismometri a larga banda al fine di ottenere il miglior accoppiamento possibile col terreno ed un adeguato isolamento termico (figura 112 a - d).

I dati raccolti durante questo intervento, coinciso con un periodo di intensa attività sismica associata all'eruzione, hanno consentito l'analisi di dettaglio della geometria della sorgente degli eventi a lungo periodo [De Barros et al., 2009].

4.19 Campi Flegrei 2009 – Esperimento UNREST

Nell'ambito della Convenzione INGV-DPC 2007-2009 per la realizzazione di un metodo integrato finalizzato alla defi-

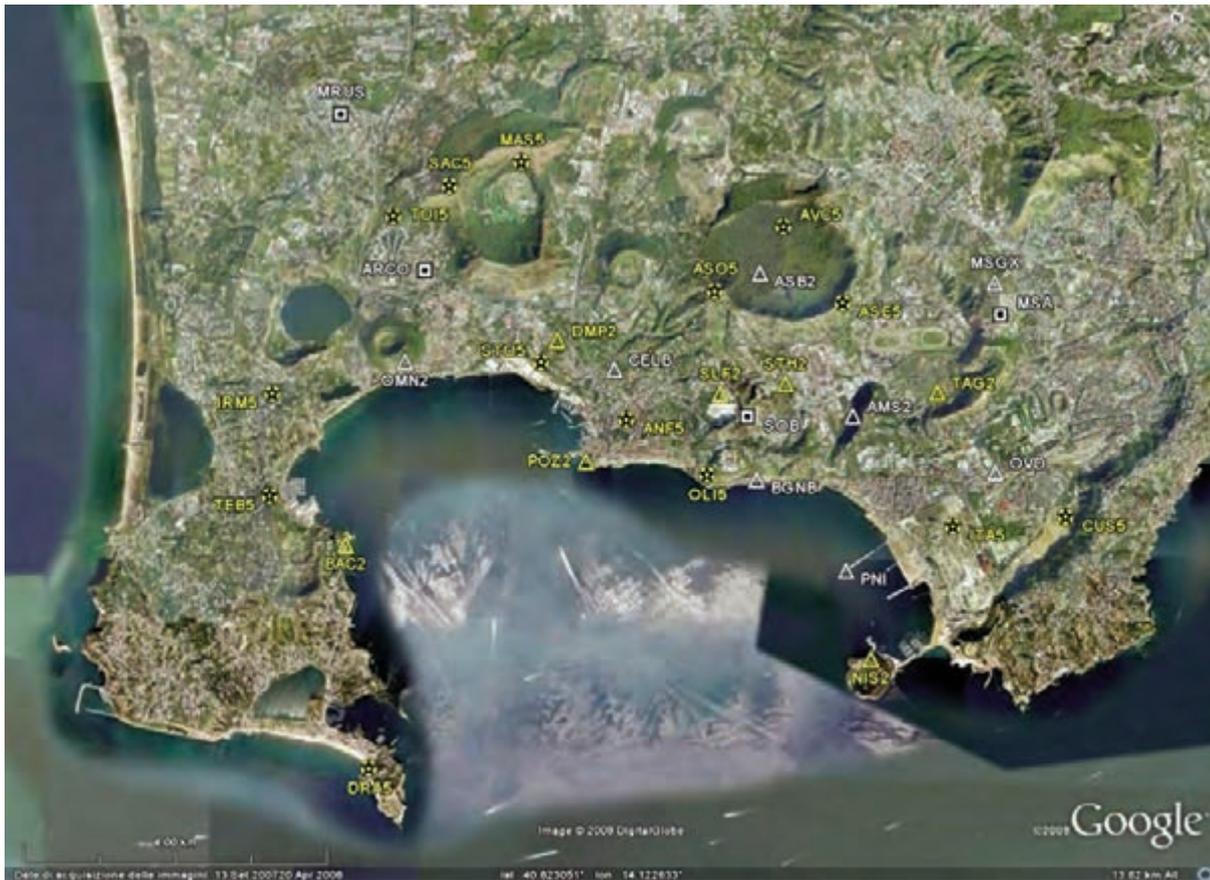


Figura 113 La Rete Sismica attiva durante l'esperimento UNREST. I triangoli bianchi e gialli indicano rispettivamente le stazioni della RSM-OV già in funzione e quelle installate per l'esperimento [da Bianco et al., 2010].

Figure 113 The Seismic Network operative during the UNREST experiment. White and yellow triangles show the RSM-OV already running and just installed for the experiment, respectively [from Bianco et al., 2010].

nizione delle fasi di *unrest* ai Campi Flegrei (Progetto V1 - UNREST), è stato realizzato un esperimento avente come oggetto la registrazione del *noise* sismico nell'area vulcanica dei Campi Flegrei. L'esperimento, realizzato in collaborazione tra la sezione INGV - Osservatorio Vesuviano (U.F. Sismologia e Sismotettonica) e la sezione INGV - Roma-1 (U.F. Effetti dei Terremoti e Pericolosità Sismica) si è svolto dal 9 al 26 marzo 2009 [Bianco et al., 2010].

La RSM-OV ha partecipato con 14 stazioni sismiche digitali. Di queste, 7 erano già operative per lo studio della sismicità dei Campi Flegrei ed a supporto della Rete Permanente, mentre altre 7 sono state appositamente installate per l'esperimento (figura 113).

La strumentazione già operativa era costituita da 3 stazioni *Lennartz MARSlite* equipaggiate con sensori *Lennartz LE-3D/20s*, 2 stazioni *Lennartz M24* equipaggiate rispettivamente con un sensore *Lennartz LE-3D/20s* e una coppia di sensori composta da un sismometro *Guralp CMG-40T* e un accelerometro *Episensor ES-T*, 1 stazione *Nanometrics Taurus* equipaggiata con un sensore *Geotech KS-2000* e 1 stazione *Reftek 130-01* a sei canali equipaggiata con un sen-

sore *Geotech KS-2000* e un accelerometro *Episensor ES-T* (figura 114).

Per l'esperimento sono state installate 6 stazioni *Lennartz MARSlite* e 1 stazione *Lennartz M24*, tutte equipaggiate con sismometri *Lennartz LE-3D/20s*. La maggior parte delle stazioni sono state installate all'interno di siti archeologici presidiati (figura 115), consentendo la piena operatività della strumentazione per l'intera durata dell'esperimento.

La grande quantità di dati raccolti durante l'esperimento è stata organizzata in un *data-set* costituito da file della durata di un'ora in formato SAC (*Seismic Analysis Code*).

Le analisi effettuate hanno consentito di evidenziare il contributo delle condizioni meteorologiche sul livello dell'ampiezza del *noise*. L'effetto è particolarmente evidente nella banda di frequenze 1-10 s che coincide con le frequenze degli eventi LP registrati ai Campi Flegrei durante il 2006 [Saccorotti et al., 2007; Cusano et al., 2008]. Il completamento delle analisi consentirà di ottenere una mappa della distribuzione spazio-temporale del livello del *noise* e delle sue caratteristiche spettrali, rendendo possibile la definizione della soglia di magnitudo rilevabile [Bianco et al., 2010].

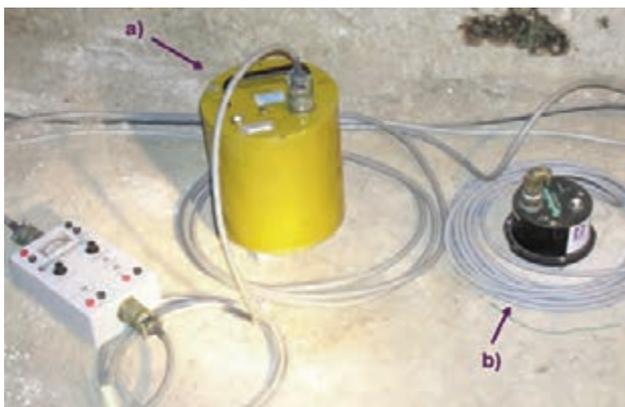


Figura 114 Dettaglio della stazione multisensore CELB: sismometro *Geotech KS-2000* (a) ed accelerometro *Kinematics Episensor FBA ES-T* (b) ([da Bianco et al., 2010]; foto D. Galluzzo).

Figure 114 Detail of the CELB multi-sensor station: (a) *Geotech KS-2000* seismometer and (b) *Kinematics Episensor FBA ES-T* accelerometer ([da Bianco et al., 2010]; photo D. Galluzzo).



Figura 115 Sito archeologico delle Terme di Baia utilizzato per l'installazione della stazione TEB5 ([da Bianco et al., 2010]; foto M. Castellano).

Figure 115 The archeological site of Terme di Baia used for the installation of the TEB5 station ([from Bianco et al., 2010]; photo M. Castellano).

4.20 Altri esperimenti

Oltre a quelli descritti o già citati nei precedenti paragrafi, molti altri esperimenti e interventi di monitoraggio sono stati effettuati utilizzando strumentazione e risorse della RSM-OV. Alcuni di questi meritano sicuramente una citazione: Campi Flegrei 1986 [Castellano et al., 1988b], Vesuvio 1986-1987 [Castellano et al., 1987], Gibuti (Rift Valley, Etiopia) 1988, Vesuvio 1993 [Vilardo et al., 1993], Esperimento *TomoVes* 1994, Sannio-Matese 1997 [Milano et al., 1999], Stromboli 1997 [La Rocca et al., 2004b], Benevento 1999 [Maresca et al., 2003], Campi Flegrei 2000 [Saccorotti et al., 2001], Isola di Deception (Antartide) 2001, Progetto *Serapis* 2001 [Nisii e Saccorotti, 2006], Etna 2001 - 2005 (in realtà, dato il numero di interventi effettuati, l'Etna meriterebbe un capitolo dedicato!) [Saccorotti et al., 2002; Di Lieto et al., 2007], Colfiorito 2002 [Maresca et al., 2006], Ischia 2002 [Saccorotti et al., 2004a], Panarea 2002-2003 [La Rocca et al., 2004a], Stromboli 2003 [Saccorotti et al., 2005], Vesuvio *Esercitazione MESIMEX* 2006, Gran Sasso 2007 [La Rocca et al., 2008a], Vico Equense 2010 [Cusano et al., 2011].

5. Sviluppi e prospettive

La Rete Sismica Mobile dell'Osservatorio Vesuviano-INGV è basata su stazioni in registrazione locale che consentono una rapida installazione della strumentazione e la possibilità di ottimizzare la geometria della rete in funzione dello scenario in atto, senza vincoli legati alla visibilità per una eventuale trasmissione radio punto-punto e alle relative infrastrutture. D'altra parte, l'utilizzo di modem *GSM-GPRS* consente comunque l'accesso remoto e la possibilità di accedere ai dati registrati in tempo quasi reale per una eventuale integrazione

ne con la Rete Sismica Permanente operante nell'area vulcanica napoletana.

Uno dei prossimi obiettivi è, quindi, l'estensione del collegamento *GSM-GPRS* a tutti gli acquisitori dotati di interfaccia *RS232*, al fine di rendere quanto più flessibile possibile l'impiego delle stazioni digitali e consentirne il controllo da remoto anche per la semplice verifica del corretto funzionamento. Si intende, inoltre, sperimentare il sistema di trasmissione basato su rete *UMTS*, già utilizzato con successo dalla Rete Sismica Mobile del Centro Nazionale Terremoti [Moretti et al., 2010]. In questo modo, mediante l'utilizzo di *router UMTS* dotati di interfaccia *ethernet*, sarebbe possibile l'acquisizione centralizzata in tempo reale dei segnali delle stazioni *stand-alone*, mantenendo comunque la registrazione in locale per l'accesso ai dati in caso di problemi sulla trasmissione *UMTS*.

Dal punto di vista dei sistemi di alimentazione, tutte le stazioni sono dotate di sistemi a 12V basati su batterie a tenuta stagna interfacciate a caricabatterie a tensione costante e corrente limitata o pannelli fotovoltaici dotati di regolatori di carica. L'alimentazione con pannelli solari deve essere accuratamente bilanciata per far fronte a situazioni di illuminazione molto variabili, specialmente durante il periodo invernale. Per questo motivo saranno adottati pannelli fotovoltaici di nuova generazione con celle ad elevato rendimento in grado di fornire, a parità di dimensioni, una maggiore efficienza rispetto ai moduli tradizionali.

Per quanto riguarda il potenziamento strumentale si considera necessario un ulteriore sviluppo verso sistemi multicanale in grado di acquisire i segnali di diversi tipi di sensori ed estendere così la banda di frequenze registrabili. Per lo studio del campo d'onda generato dai segnali sismici a bassa frequenza, sia in aree vulcaniche (LP, VLP, tremore) che tetto-

niche (tremore non vulcanico), sarà fondamentale l'impiego di *array* sismici strutturati in modo da poter realizzare configurazioni con geometrie variabili. Gli *array* potranno essere costituiti da gruppi di stazioni multicanale o da apparati appositamente progettati con bassi consumi (tipo *Reftek 130-MC*). In questo modo sarà possibile adattare le configurazioni alla tipologia dei segnali e alle condizioni logistiche di campagna, le quali possono determinare limitazioni o vincoli all'installazione stessa dell'*array*.

L'impegno della RSM-OV sui vulcani napoletani sarà mantenuto e in alcuni casi intensificato, come per i Campi Flegrei, in considerazione del particolare stato di attività. Al Vesuvio si prevede di integrare la Rete Mobile esistente anche con l'impiego di *array* per lo studio sistematico di segnali sismici a bassa frequenza, estendendo l'analisi già effettuata sia con *array* multicanali [Del Pezzo et al., 1999] che con un semplice ma efficace *array* quadripartito [Bianco et al., 2005]. Anche l'Isola d'Ischia potrà essere oggetto di installazioni temporanee tenuto conto dell'esistenza della zona sismogenetica di Casamicciola (settore settentrionale) e di un'area caratterizzata da manifestazioni idrotermali nel settore sud-occidentale, già oggetto di un intervento nel 2002 [Saccorotti et al., 2004a]. Allo stesso tempo la RSM-OV continuerà ad essere impegnata nei progetti di ricerca e nelle attività di monitoraggio sulle aree vulcaniche attive e tettoniche del territorio nazionale ed all'estero, nonché nello studio della risposta di sito anche in aree urbanizzate.

Conclusioni

Negli ultimi 30 anni la Rete Sismica Mobile della Sezione di Napoli "Osservatorio Vesuviano" dell'INGV ha compiuto un'evoluzione strumentale in sintonia con lo sviluppo tecnologico dei sistemi di acquisizione. Anche le moderne tecniche di analisi hanno spinto verso l'utilizzo di apparati sempre più sofisticati in grado di acquisire una grande mole di dati spaziando su una sempre più ampia banda di frequenze. Inoltre, l'impiego di *array* sismici multicanali ha aperto nuovi scenari di indagine, specialmente per segnali a basse frequenze, contribuendo, tra l'altro, allo sviluppo di moderni sistemi per il monitoraggio dell'attività dei vulcani attivi.

Le esperienze maturate in questi anni costituiscono un bagaglio culturale di grande valore ed hanno consentito di ottenere importanti risultati scientifici e tecnologici, sviluppando collaborazioni con enti di ricerca nazionali ed internazionali all'avanguardia nel campo della sismologia e delle scienze della terra in generale. Infine, l'impiego della RSM-OV si è dimostrato strategico, come necessaria integrazione della Rete Permanente, durante molte situazioni di crisi al Vesuvio e ai Campi Flegrei fornendo dati di elevata qualità fondamentali per lo studio e l'interpretazione dei fenomeni legati alla dinamica di un'area vulcanica ad alto rischio.

Ringraziamenti

Giuseppe (Geppi) Vilardo, Francesca Bianco, Germana Gaudiosi, Girolamo (Mino) Milano e Fabrizio Ferrucci sono stati, e sono, molto più di semplici compagni di viaggio: è insieme a loro che sono state create le basi per la moderna Rete Sismica Mobile dell'Osservatorio Vesuviano, e per questo i ringraziamenti non saranno mai abbastanza. Inoltre, tutto questo non sarebbe stato possibile senza l'appoggio ed il sostegno di Giuseppe Luongo e Lucia Civetta, Direttori dell'Osservatorio Vesuviano rispettivamente dal 1983 al 1993 e dal 1993 al 2001, dell'insostituibile Aldo Lo Bascio, e del contagioso entusiasmo di Edoardo Del Pezzo, ancora oggi prodigo di consigli e di stimolanti progetti di ricerca. Simona Petrosino, Paola Cusano, Gilberto Saccorotti, Vincenzo D'Errico, Stefano Vulcano, Sebastiano Imposa, Carlo Del Gaudio, Giuliana Alessio, Rosalba Maresca, Giovanni P. Ricciardi, Patrizia Ricciolino, Vincenzo Augusti, Domenico Lo Bascio, Mariano Amedeo, Salvatore Pinto, Vincenzo D'Isanto e tanti altri amici e colleghi hanno contribuito alla riuscita delle numerose campagne effettuate e di quelle ancora in corso; a tutti loro va un affettuoso ringraziamento. Infine, gli autori ringraziano l'anonimo revisore per gli utili suggerimenti che hanno contribuito a migliorare il manoscritto.

Bibliografia

- Aiesi G., Cappuccio L., Contrafatto D., Castellano M., Cusano P., Bianco F., Galluzzo D., Di Prima S., La Rocca G., Messina A., Platania R., Patanè D., Pellegrino A., Rapisarda S., Scuderi L. and Zuccarello L., (2008). *La rete sismica e infrasonica dell'INGV-CT: interventi di ottimizzazione della rete permanente e installazione della rete mobile nel corso dell'attività eruttiva*. In: Quadro di sintesi e aggiornamento al 19 Maggio 2008 sullo stato di attività sismica dell'Etna. INGV - Sezione di Catania (ed.), Catania; 14 pp.
- Alessio G., Godano C. and Gorini A., (1990). *A low magnitude seismic sequence near Isernia (Molise, Central Italy) in January 1986*. Pageoph, 134, 243-260.
- Berrino G., Castellano M., Del Gaudio C., D'Errico V., Franchino A., Grimaldi M. and Ricco C., (1982). *Anomalie Gravimetriche e Noise Sismico a Pantelleria*. Boll. Soc. Natur. Napoli, XCI, 125-144.
- Bianco F., Castellano M., Gresta S. and Pellicori O., (1995). *La struttura sismogenetica di Piano Pernicana-Piano Provenzana (Etna nord-orientale): forme d'onda, volumi focali e propagazione delle onde sismiche*. Atti. 14° Convegno GNGTS, 155-158.
- Bianco F., Castellano M., Milano G. and Vilardo G., (1996). *Shear-wave polarization alignment on the eastern flank of*

- Mt.Etna volcano (Sicily, Italy). *Annali di Geofisica*, XXXIX, 2, 429-443.
- Bianco F., Castellano M. and Ventura G., (1998). *Structural and seismological features of the 1989 syn-eruptive NNW-SSE fractures system at Mt.Etna*. *Geophys. Res. Lett.*, 25, 10, 1545-1548.
- Bianco F., Castellano M., Del Pezzo E. and Ibanez J.M., (1999a). *Attenuation of short period seismic waves at Mt.Vesuvius, Italy*. *Geophys. Jour. Int.*, 138, 67-76.
- Bianco F., Castellano M., Milano G., Vilardo G., Ferrucci F. and Gresta S., (1999b). *The seismic crises at Mt.Vesuvius during 1995 and 1996*. *Phys. Chem. Earth (A)*, 24, 11-12, 977-983.
- Bianco F., Cusano P., Petrosino S., Castellano M., Buonocunto C., Capello M. and Del Pezzo E., (2005). *Small-aperture Array for Seismic Monitoring of Mt. Vesuvius*. *Seism. Res. Lett.*, 76, 3, 344-355.
- Bianco F., Castellano M., Cogliano R., Cusano P., Del Pezzo E., Di Vito M.A., Fodarella A., Galluzzo D., La Rocca M., Milana G., Petrosino S., Pucillo S., Riccio G. and Rovelli A., (2010). *Caratterizzazione del noise sismico nell'area vulcanica dei Campi Flegrei (Napoli): l'esperimento "UNREST"*. *Quaderni di Geofisica*, n. 86, (INGV, ed.), Roma, 21 pp. ISSN: 1590-2595.
- Biella G., Lozej A., Scarascia S. and Tabacco I., (1985). *Detailed seismic structure in the "Ligure-Emiliano" Apennines*. In: *Proceedings of the Second Workshop on the EGT Project*. (D.A. Galson e S. Mueller eds.), European Science Foundation, 7-9 febbraio 1985, Strasburgo, pp. 155-160.
- Brancaccio L., Castellano M., De Pippo T., Abdel Fattah A.M., Grimaldi M., Iannaccone G., Milano G., Ortolani F., Pagliuca S., Rapolla A., Sgrosso I. and Torre M., (1993). *Gli effetti locali del terremoto egiziano del 12-10-1992 nell'area archeologica compresa tra El Giza, la Bassa Valle del Nilo e El Fayum*. Abstract Meeting "Terremoti e Civiltà Abitative - Nuove discipline e applicazioni: dieci anni di ricerche". *Acc. Naz. Lincei - I.N.G.*, Roma, 27-29 October 1993.
- Capello M., Castellano M. and Ricciolino P., (2007). *Commercial digital audio recorders: a new life for portable Lennartz PCM 5800 seismic stations*. *ORFEUS Newsletter*, vol. 7, n. 2: page 6. © Orfeus (Observatories and Research Facilities for European Seismology), <http://www.orfeus-eu.org>.
- Cappello P., Lo Bascio A. and Luongo G., (1974). *Seismic Noise survey at Solfatara Crater, Phlegraean Fields, Italy*. *Geothermics*, 3, 2, 76-80.N.
- Caliro S., Chiodini G., Galluzzo D., Granieri D., La Rocca M., Saccorotti G. and Ventura G., (2005). *Recent activity of Nisyros volcano (Greece) inferred from structural, geochemical and seismological data*. *Bull. Volcanol.*, 67, 358-369. doi: 10.1007/s00445-004-0381-7.
- Castellano M., D'Errico V. and Pinto S., (1982). *Indagine di sismica passiva all'isola di Thera, Grecia*. Osservatorio Vesuviano Internal Report. <http://hdl.handle.net/2122/5152>. [Pubblicato sotto licenza Creative Commons].
- Castellano M., (1985). *Campagna sismica Alpi occidentali 1985 - Programma ECORS-CROP*. Osservatorio Vesuviano Internal Report. <http://hdl.handle.net/2122/5153>. [Pubblicato sotto licenza Creative Commons].
- Castellano M., D'Errico V. and Ricciardi G.P., (1986a). *Intervento di sismica passiva all'isola di Stromboli durante l'eruzione del Dicembre 1985*. Osservatorio Vesuviano Internal Report. <http://hdl.handle.net/2122/5151>. [Pubblicato sotto licenza Creative Commons].
- Castellano M., Coppa U., Cubellis E., Rebuffat M. and Vilardo G., (1986b). *Sorveglianza sismica a Stromboli: Settembre 1986*. Osservatorio Vesuviano Internal Report. <http://hdl.handle.net/2122/5154>. [Pubblicato sotto licenza Creative Commons].
- Castellano M., Vilardo G., Ferrucci F., Gaudiosi G. and Luongo G., (1987). *Ultra-microsismicità del Vesuvio*. *Atti 6° Convegno GNGTS*, 247-250.
- Castellano M., Ferrucci F., Luongo G., Imposa S. and Patanè G., (1988a). *Sismicità dell'Etna nel periodo Aprile-Ottobre 1988 da dati digitali a tre componenti*. *Atti 7° Convegno GNGTS*, 1531-1542.
- Castellano M., Ferrucci F., Gaudiosi G., Godano C., Milano G., Pino A.N. and Vilardo G., (1988b). *Struttura crostale delle aree vulcaniche attive dell'Italia meridionale da indagini di sismica attiva (DSS) e passiva: area vulcanica campana; Isole Eolie meridionali*. *Mem. Soc. Geol. It.*, 41, 1299-1305.
- Castellano M. and Ferrucci F., (1989). *Rete Sismica Digitale Mt. Etna: stato di avanzamento al febbraio 1989*. Osservatorio Vesuviano Internal Report - Marzo 1989. <http://hdl.handle.net/2122/7180>. [Pubblicato sotto licenza Creative Commons].
- Castellano M., Bianco F. and Capello M., (1992). *Rete Sismica Mt.Etna: relazione sull'intervento di installazione della Rete Permanente*. Osservatorio Vesuviano Technical Report - Aprile 1992. <http://hdl.handle.net/2122/5156>. [Pubblicato sotto licenza Creative Commons].
- Castellano M. and Milano G., (1993). *Italy-Egypt Scientific Co-operation: The Egyptian Earthquake, 12 October 1992*. *STOP Disaster*, 12, 15.
- Castellano M. and Vilardo G., (1993). *La Rete Sismica Mobile dell'Osservatorio Vesuviano*. Osservatorio Vesuviano Technical Report - September 1993. <http://hdl.handle.net/2122/5144>. [Pubblicato sotto licenza Creative Commons].
- Castellano M., Ferrucci F., Godano C., Imposa S. and Milano G., (1993). *Upwards migration of seismic foci: a forerun-*

- ner of the 1989 eruption of Mt.Etna (Italy). Bull. Volcanol., 55, 357-361.
- Castellano M., Bianco F., Gaudiosi G., Milano G. and Vilardo G., (1996). *Progetto per il potenziamento della Rete Sismica Mobile dell'Osservatorio Vesuviano*. Osservatorio Vesuviano Internal Report. <http://hdl.handle.net/2122/5145>. [Pubblicato sotto licenza Creative Commons].
- Castellano M., Bianco F., Imposa S., Milano G., Menza S. and Vilardo G., (1997). *Recent deep earthquakes occurrence at Mt.Etna volcano (Sicily, Italy)*. Phys. Earth. Planet. Int., 102, 277-289.
- Castellano M., Capello M., Del Pezzo E., Giudicepietro F., La Rocca M., Martini M., Petrosino S., Saccorotti G., Ibanez J., Abril M., Almendros J., Carmona E., Martinez C., Vilchez J., Privitera E., Alparone, S., Di Grazia G. and Gresta S., (2000). *A Double Seismic Array Experiment on Mt. Etna*. Osservatorio Vesuviano Open-File Report 2-2000, pp. 30. <http://hdl.handle.net/2122/3554>.
- Castellano M., Buonocunto C., Capello M. and Ricciolino P., (2007). *Stazioni sismiche obsolete: il recupero del Sistema Lennartz PCM 5800*. Quaderni di Geofisica, n. 48, (INGV, ed.), Roma, 17 pp. ISSN: 1590-2595.
- Castellano M., Augusti V., De Cesare W., Favali P., Frugoni F., Montuori C., Sgroi T., De Gori P., Govoni A., Moretti M., Patane' D., Cocina O., Zuccarello L., Marsella E., Aiello G., Di Fiore V., Ligi M., Bortoluzzi G., Ferrante V., Marchetti E., Lacanna G. and Olivieri G., (2008). *Seismic Tomography Experiment at Italy's Stromboli Volcano*. EOS Trans. AGU, 89 (30), 269-270. doi:10.1029/2008EO300001.
- Castrucci M., Castellano M., Bianco F., Bestetti A., Angori E., Martufi G. and Landi G., (2009). *Using WiMAX to improve volcano monitoring during an emergency: a feasibility study of the WEIRD System applied to the Campi Flegrei volcanic area scenario (Southern Italy)*. Seism. Res. Lett., 80, 3, 411-419. doi: 10.1785/gssrl.80.3.411.
- CNR-GNV, (1988). *Intervento straordinario a Vulcano, estate 1988*. Open File Report Ottobre 1988, Gruppo Nazionale per la Vulcanologia (CNR), Roma, 29 pp.
- Colombi B., Guerra I., Luongo G. and Scarascia S., (1980). *Report on seismic measurements along the profile Lawrencepur-Astor (Karakorum Geophysical Project 1975)*. Acc. Naz. Lincei, Serie VIII, LXIX, fasc.6, 415-424.
- Cusano P., Petrosino S. and Saccorotti G., (2008). *Hydrothermal origin for sustained long-period (LP) activity at Campi Flegrei Volcanic Complex, Italy*. J. Volcanol. Geotherm. Res., 177(4), 1035, doi:10.1016/j.jvolgeores.2008.07.019.
- Cusano P., Galluzzo D., La Rocca M., Petrosino S., Bianco F., Castellano M. and Del Pezzo E., (2010). *Rete Mobile e Laboratorio Analisi aVanzate (LAV)*. Convenzione DPC – INGV 2007-2009, Rapporto per Rendiconto dell'attività svolta nel 2010, 15 pp. <http://hdl.handle.net/2122/7043>. [Pubblicato sotto licenza Creative Commons].
- Cusano P., Galluzzo D., La Rocca M., Petrosino S., Bianco F., Castellano M. and Del Pezzo E., (2011). *Rete Mobile e Laboratorio Analisi aVanzate (LAV)*. Convenzione DPC – INGV 2010-2012, Rapporto per Rendiconto dell'attività svolta nel 2010, 17 pp. <http://hdl.handle.net/2122/7044>. [Pubblicato sotto licenza Creative Commons].
- De Barros L., Bean C.J., Lokmer I., Saccorotti G., Zuccarello L., O'Brien G.S., Metaxian J.P. and Patané D., (2009). *Source geometry from exceptionally high resolution Long Period event observations at Mt Etna during the 2008 eruption*. Geophys. Res. Lett., 36, L24305. doi:10.1029/2009GL041273.
- Del Gaudio C., Aquino I., Ricciardi G.P., Ricco C. and Scandone R., (2010). *Unrest episodes at Campi Flegrei: A reconstruction of vertical ground movements during 1905-2009*. J. Volc. Geoth. Res., 195, 48-56, doi:10.1016/j.jvolgeores.2010.05.014.
- Del Pezzo E., Guerra I., Lo Bascio A., Luongo G., Nappi G. and Scarpa R., (1974). *Microtremors and volcanic explosions at Stromboli, part 2*. Bull. Volcanol., 38, 1023-1036.
- Del Pezzo E., Bianco F., Castellano M., Petrosino S., Pingue E., Capello M., Esposito T., Augusti V., Saccorotti G., La Rocca M., Maresca R., Galluzzo D., Cirillo A., Grozea B., Ibanez J., Carmona E. and Alguacil G., (1999). *A Seismic Array on Mt.Vesuvius*. Osservatorio Vesuviano Open-File Report 1-1999; 28. pp. <http://hdl.handle.net/2122/2807>.
- Del Pezzo E. and La Rocca M. (2004). *PAS – Progetto Antenne Sismiche*. I manuali del CRdC-AMRA n. 5, 16 pp. © Università degli Studi di Napoli Federico II – CRdC-AMRA.
- Del Pezzo E., La Rocca M., Saccorotti G., Galluzzo D. and Bianco F., (2005). *Interventi della Rete Sismica Mobile*. In: Monografie istituzionali INGV, vol. VII, app.: Convenzione DPC-INGV 2004-2006 - Rendiconto dell'attività svolta nel 2004 e nel primo semestre 2005; (INGV, ed.), Roma, 60-67.
- Del Pezzo E., Bianco F., Saccorotti G., La Rocca M., Galluzzo D., Nisii V., Petrosino S., Cusano P., Zaccarelli L., Damiano N., Tramelli A., De Astis G., Breton M., Orozco-Rojas J., Navarro C., Ibanez J., Ocana E. and Aracoeli G., (2007). *Seismic Survey Of Colima Volcano (Mexico) November 2005 – May 2006*. INGV-Osservatorio Vesuviano Open File Report, 7/2007, 27 pp.
- Del Pezzo E., La Rocca M., Galluzzo D., Petrosino S., Cusano P., Bianco F., Breton M., Orozco-Rojas J., Ibanez J. and Veneruso M., (2008). *A seismic survey at*

- Colima volcano (Mexico)*. EGU General Assembly 2008, Geoph. Res. Abs., vol. 10, SRef-ID: 1607-7962/gra/EGU2008-A-06891.
- Di Lieto B., Saccorotti G., Zuccarello L., La Rocca M. and Scarpa R., (2007). *Continuous tracking of volcanic tremor at Mount Etna, Italy*. Geophys. J. Int., 169, 699–705.
- Ferrucci F., Gaudiosi G., Milano G., Nercessian A., Vilardo G. and Luongo G., (1991). *Seismological exploration of Vulcano (Aeolian Islands, southern Tyrrhenian sea): case history*. Acta Vulcanol., 1, 143-152.
- Galluzzo D., Del Pezzo E., La Rocca M., Castellano M. and Bianco F., (2009). *Source Scaling and Site Effects at Vesuvius volcano*. Bull. Seism. Soc. Am., 99, 3, 1705-1719. doi:10.1785/0120080142.
- Galson D.A. and Mueller S.T., (1986). *An introduction to the European Geotraverse Project: First results and present plans*. Tectonoph., 126, 1, 1-30. doi:10.1016/0040-1951(86)90218-0.RES
- Gruppo di Lavoro Sismometria Terremoto del 23.11.1980, (1981). *Il terremoto campano-lucano del 23.11.1980: elaborazione dei dati sismometrici*. Rend. Soc. Geol. It., 4, 427-450.
- Guerra I., Lo Bascio A., Luongo G. and Scarpa R., (1976). *Seismic activity accompanying the 1974 eruption of Mt. Etna*. J. Volc. and Geoth. Res., 1, 347-362.
- Guerra I., Luongo G., Maistrello M. and Scarascia S., (1983). *Deep seismic sounding along the profile Lawrencepur –Sango Sar (Nanga Parbat)*. Boll. Geof. Teorica ed Applicata, 25; 211–219.
- Hirn A., Nadir S., Thouvenot F., Nicolich R., Pellis G., Scarascia S., Tabacco I., Castellano M. and Merlanti F., (ECORS-CROP Deep Seismic Sounding Group) (1989a). *A new picture of the Moho under the western Alps*. Nature, 337, n° 6204: 249-251. doi:10.1038/337249a0.
- Hirn A., Nadir S., Thouvenot F., Nicolich R., Pellis G., Scarascia S., Tabacco I., Castellano M. and Merlanti F., (ECORS-CROP Deep Seismic Sounding Group) (1989b). *Mapping the Moho of the Western Alps by wide-angle reflection seismics*. Tectonoph., 162, 193-202. doi:10.1016/0040-1951(89)90243-6.
- Hussein H.M., (1999). *Source process of the October 12, 1992 Cairo earthquake*. Ann. Geof., 42, 665-674.
- Ibanez J.M., Saccorotti G., La Rocca M., Del Pezzo E., Zuccarello L. and Alguacil G., (2009). *The use of seismic arrays to study the seismo-volcanic source. The example of Mt. Etna and Stromboli Volcano*. In: The VOL-UME Project – VOLcanoes: Understanding subsurface mass movement (C.J. Bean, A.K. Braiden, I. Lokmer, F. Martini e G.S. O'Brien, ed.), pp. 217-226. ISBN: 978-1-905254-39-2.
- INGV, (2008). *La realtà operativa dell'INGV: Temi Trasversali Coordinati (TTC)*. In: Piano Triennale di Attività 2008-2010, (INGV, ed.), Monografie Istituzionali INGV, v. XII.
- Khattri K., Wyss M., Gaur V.K., Saha S.N. and Bansal V.K., (1983). *Local seismic activity in the region of the Assam Gap*. Bull. Seism. Soc. Am., 73, 459-469.
- La Rocca M., Galluzzo D., Saccorotti G., Tinti S., Cimini G.B. and Del Pezzo E., (2004a). *Seismic Signals Associated with Landslides and with a Tsunami at Stromboli Volcano, Italy*. Bull. Seism. Soc. Am., 94, 5, 1850-1867.
- La Rocca M., Saccorotti G., Del Pezzo E. and Ibanez J., (2004b). *Probabilistic source location of explosion quakes at Stromboli volcano estimated with double array data*. Jour. Volc. Geoth. Res., 131, 123-142.
- La Rocca M., McCausland W., Galluzzo D., Malone S., Saccorotti G. and Del Pezzo E., (2005). *Array measurements of deep tremor signals in the Cascadia subduction zone*. Geoph. Res. Lett., 32, L21319, doi:10.1029/2005GL023974.
- La Rocca M., Galluzzo D., Del Pezzo E., Saccorotti G., Castellano M. and Bianco F., (2006). *Vulcani dell'area napoletana e di Stromboli – Attività della Rete Sismica Mobile*. In: Monografie Istituzionali INGV, vol. IX, app. I: Convenzione DPC-INGV 2004-2006 - Rendiconto dell'attività svolta nel secondo semestre 2005, (INGV, ed.), Roma, 74-86.
- La Rocca M., Galluzzo D., Castellano M., Saccorotti G., Bianco F. and Del Pezzo E., (2007a). *Vulcani dell'area napoletana e Stromboli - La Rete Mobile*. In: Monografie Istituzionali INGV, vol. X, app. I: Convenzione DPC-INGV 2004-2006 - Rendiconto dell'attività svolta nel secondo semestre 2006, (INGV, ed.), Roma, 74-87.
- La Rocca M., Galluzzo D., Petrosino S., Cusano P., Del Pezzo E., Saccorotti G., Castellano M. and Bianco F., (2007b). *Rete Mobile e Laboratorio Analisi aVanzate (LAV)*. Convenzione DPC – INGV 2007-2009, Rapporto per Rendiconto dell'attività svolta nel I semestre 2007; 13 pp. <http://hdl.handle.net/2122/7040>. [Pubblicato sotto licenza Creative Commons].
- La Rocca M., Galluzzo D., Castellano M., Ciampi M., Bianco F., Del Pezzo E., Petrosino S. and Cusano P., (2008a). *Rete Mobile e Laboratorio Analisi aVanzate (LAV)*. Convenzione DPC – INGV 2007-2009, Rapporto per Rendiconto dell'attività svolta nel II semestre 2007; 15 pp. <http://hdl.handle.net/2122/7041>. [Pubblicato sotto licenza Creative Commons].
- La Rocca M., Galluzzo D., Malone S., McCausland W., Saccorotti G. and Del Pezzo E., (2008b). *Testing small-aperture array analysis on well-located earthquakes*. Bull. Seism. Soc. Am., 98, 2, 620-635.
- La Rocca M., Creager K.C., Galluzzo D., Malone S., Vidale J.E., Sweet R. and Wech G., (2009). *Cascadia tremor*

- located near plate interface constrained by minus P wave time. *Science*, 323, 620, doi: 10.1126/science.1167112.
- La Rocca M. and Galluzzo D., (2011). *La Rete Sismica Mobile dell'Osservatorio Vesuviano*. In: Monitoraggio sismico del territorio nazionale: stato dell'arte e sviluppo delle reti di monitoraggio sismico. Miscellanea INGV, n. 10, (INGV, ed.), Roma, 61-64. ISSN 2039-6651.
- Lennartz Electronic, (1985). *Digital MARS 5800 Manual*. Lennartz Electronic GmbH.
- Lo Bascio A., Luongo G. and Nappi G., (1973). *Microtremors and Volcanic Explosions at Stromboli (Aeolian Islands)*. *Bull. Volcanol.*, 37, 596-606.
- Luongo G. and Rapolla A., (1973). *Seismic noise in Lipari and Vulcano Islands, Southern Tyrrhenian Sea, Italy*. *Geothermics*, Vol.2, 1, 29-31.
- Luongo G. and Nazzaro A., (1990). *I sismografi di Ascanio Filomarino e di Luigi Palmieri nella storia degli studi vesuviani*. In: Gli strumenti sismici storici, Italia e contesto europeo. Ist. Naz. di Geofisica, Ed. SGA Bologna, 97-108.
- Maresca R., Castellano M., De Matteis R., Saccorotti G. and Vaccariello P., (2003). *Local site effects in the town of Benevento (Italy) from noise measurements*. *Pageoph.*, 160, 9, 1745-1764.
- Maresca R., Galluzzo D. and Del Pezzo E., (2006). *H/V Spectral Ratios and Array techniques Applied to Ambient Noise Recorded in the Colfiorito Basin, Central Italy*. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 96, 2, 490-505.
- Marsella E., Favali P., Castellano M., Aiello G., Bortoluzzi G., Di Fiore V., Ligi M., Sgroi T., Frugoni F., Patane' D., Passaro S., Ruggieri S., Ferrante V., Scotto Di Vettimo P., Iavarone M., Mangano G., Augusti V., Ciampi M., De Cesare W., La Rocca M., Di Prima S., Rapisarda S., Zuccarello L., Platania R., Contrafatto D., Moretti M., Govoni A., Speciale S., Marchetti E., Lacanna G., Olivieri G., Genco R., Ilinsky D. and Rinke N.R., (2007). *The Stromboli geophysical experiment. Preliminary report on wide angle refraction seismics and morphobathymetry of Stromboli Island (Southern Tyrrhenian Sea, Italy) based on integrated offshore-onshore data acquisition*. ISMAR-CNR Technical Report n. 102. ISMAR (ed.), Bologna, pp. 85. http://projects.bo.ismar.cnr.it/MEDITERRANEAN/STROMBOLI/STR06_REP/STR06_REP.pdf
- Martini F., Bean C.J., Saccorotti G., Viveiros F. and Wallenstein N., (2009). *Seasonal cycles of seismic velocity variations detected using coda wave interferometry at Fogo volcano, São Miguel, Azores, during 2003–2004*. *Jour. Volcanol. Geoth. Res.*, 181, 231–246.
- McCausland W.A., Creager K.C., La Rocca M. and Malone S.D., (2010). *Short-term and long-term tremor migration patterns of the Cascadia 2004 tremor and slow slip episode using small aperture seismic arrays*. *Jour. Geophys. Res.*, 115, B00A24, doi:10.1029/2008JB006063.
- Milano G., Gaudiosi G., Guerra I. and Ferrucci F., (1988). *La transizione Tirreno – Isole Eolie – Sicilia mediante modellizzazione diretta ai fasci gaussiani di dati sismici*. *Atti 7° Convegno GNGTS*, 3, 1565-1576.
- Milano G. and Castellano M., (1993). *Gli aftershock del terremoto egiziano del 12 Ottobre 1992*. *Atti. 12° Convegno GNGTS – CNR*, 203-204.
- Milano G., Di Giovambattista R. and Alessio G., (1999). *Earthquake swarms in the Southern Apennines chain (Italy): the 1997 seismic sequence in the Sannio-Matese mountains*. *Tectonoph.*, 306, 57-78.
- Morelli C., (1990). *Deduzioni dai profili CROP-ECORS (Alpi Occidentali) ed EGT-CROP-NFP20 (Alpi Centrali)*. *Atti 7° Convegno GNGTS*, 709-722.
- Moretti M., Govoni A., Colasanti G., Silvestri M., Giandomenico E., Silvestri S., Criscuoli F., Giovani L., Basili A., Chiarabba C. and Delladio A., (2010). *La Rete Sismica Mobile del Centro Nazionale Terremoti*. *Rapporti Tecnici INGV*, n. 137, (INGV, ed.), Roma, 66 pp.
- Nazzaro A. and Tramma B., (1985). *Il sismografo di Luigi Palmieri*. *Boll. Soc. Natur. Napoli*, XCIV, 1-18.
- Nisii V. and Saccorotti G., (2006). *Complex wave propagation in the Campi Flegrei Caldera, Italy, from source- and receiver-array analysis of sea-shot recordings*. *Boll. Geof. Teorica ed Applicata*, 47, 1-2, 115-124.
- Palmieri L., (1870). *Seismographe electro-magnetique*. *Annali del Reale Osservatorio Meteorologico Vesuviano*, IV, 1-16.
- Palmieri L., (1874). *Il sismografo portatile*. *Atti dell'Accademia Pontaniana di Napoli*, Napoli. 123-130.
- Petrosino S., Damiano N., Cusano P., Veneruso M., Zaccarelli L., Torello V. and Del Pezzo E., (2008). *Seismic noise at Solfatara Volcano (Campi Flegrei, Italy): acquisition techniques and first results*. *Quaderni di Geofisica*, n.51, (INGV, ed.), Roma, 25 pp. ISSN: 1590-2595.
- Petrosino S., Cusano P., La Rocca M., Galluzzo D., Orozco-Rojas J., Bretòn M., Ibanez J. and Del Pezzo E., (2011). *Source location of long period seismicity at Volcàn de Colima, Mèxico*. *Bull. Volcanol.*, doi: 10.1007/s00445-011-0447-2.
- Ricciardi G. P., (2009). *Diario del Monte Vesuvio*. Edizioni Scientifiche ed Artistiche, Napoli. ISBN: 9788895430164. 893 pp.
- Rubinstein J.L., La Rocca M., Vidale J.E., Creager K.C. and Wech A.G., (2008). *Tidal modulation of nonvolcanic tremor*. *Science*, doi:10.1126/science.1150558.
- Saccorotti G., Bianco F., Castellano M. and Del Pezzo E., (2001). *The July-August 2000 seismic swarms at Campi Flegrei volcanic complex, Italy*. *Geophys. Res. Lett.*, 28, 13, 2525-2528.
- Saccorotti G., La Rocca M. and Galluzzo D., (2002). *Attività della rete sismica mobile nell'ambito della sorveglianza*. In: *Rendiconto sull'attività di sorveglianza - II seme-*

- stre 2001, (INGV-Osservatorio Vesuviano ed.), Napoli, 20-25.
- Saccorotti G., La Rocca M., Galluzzo D. and Del Pezzo E., (2004a). *Interventi della Rete Sismica Mobile*. In: Attività di Sorveglianza dell'Osservatorio Vesuviano - Rendiconto anno 2002. (INGV - Osservatorio Vesuviano, ed.), Napoli, 33-47.
- Saccorotti G., Wallenstein N., Ibanez J., Bonagura M.T., Damiano N., La Rocca M., Quadrio A., Silva R. and Zandomeneghi D., (2004b). *A seismic field survey at Fogo Furnas Volcanoes, São Miguel, Azores*. EGU General Assembly 2004, Nizza. Geophys. Res. Abs. 6, 04493.
- Saccorotti G., La Rocca M., Galluzzo D., Del Pezzo E., Bianco F., Lo Bascio D. and Nisii V., (2005). *Interventi della Rete Sismica Mobile*. In: Attività di Sorveglianza dell'Osservatorio Vesuviano - Rendiconto anno 2003. (INGV - Osservatorio Vesuviano, ed.), Napoli, 41-56.
- Saccorotti G., Petrosino S., Bianco F., Castellano M., Galluzzo D., La Rocca M., Del Pezzo E., Zaccarelli L. and Cusano P., (2007). *Seismicity associated with the 2004-2006 renewed ground uplift at Campi Flegrei caldera, Italy*. Phys. Earth. Planet. Int., 165, 14-24. doi:10.1016/j.pepi.2007.07.006.
- Ventura G., Vilardo G., Milano G. and Pino N.A., (1999). *Relationships among crustal structure, volcanism and strike-slip tectonics in the Lipari-Vulcano Volcanic Complex (Aeolian Islands, Southern Tyrrhenian Sea, Italy)*. Phys. Earth. Planet. Int., 116, 1-4, 31-52.
- Vilardo G., Castellano M., Gaudiosi G. and Ferrucci F., (1991). *Seismic surveillance at Vulcano by use of a portable digital array: features of the seismicity and relocation of the events in a 3-D heterogeneous structure*. Acta Vulcanologica, 1, 171-177.
- Vilardo G., Bianco F., Castellano M. and Milano G., (1993). *La recente attività sismica al Vesuvio: forme d'onda e volumi focali*. Atti 12° Convegno GNGTS - CNR, 947-948.
- Vilardo G., Bianco F., Castellano M. and Milano G., (1996). *The seismic monitoring of the Mt. Vesuvius*. In Bardi Thorkelsson (Ed.): Seismology in Europe. Atti XXV European Seismological Commission General Assembly, Reykjavik; 437-442.

Indice

Introduzione	5
1. La Rete Sismica Mobile dell'Osservatorio Vesuviano (INGV)	5
1.1 Evoluzione della strumentazione utilizzata	6
2. Sistemi di acquisizione	10
2.1 Strumentazione analogica	10
2.1.1 Registratori a carta	10
2.1.2 Modulatori <i>Lennartz MARS-66</i> con segnale del tempo DCF	11
2.1.3 Registratori a nastro magnetico	12
2.1.4 Registratori a nastro magnetico portatili	12
2.2 Strumentazione digitale	13
2.2.1 Il Sistema <i>Lennartz PCM-5800</i>	13
2.2.2 Acquisitori <i>Lennartz MARSlite</i>	14
2.2.3 Acquisitori <i>Lennartz M24</i>	15
2.2.4 Acquisitori <i>Nanometrics Taurus + Trident</i>	16
2.2.5 Acquisitori <i>Reftek 130-1</i>	16
2.2.6 Acquisitori <i>Reftek 130-MC18A</i>	17
3. Sismometri	17
4. Progetti di ricerca ed interventi di monitoraggio	20
4.1 Sardegna 1982, 1983	20
4.2 Tunisia 1985	21
4.3 CROP 1985	22
4.4 Stromboli 1986	22
4.5 Vulcano-Lipari 1986, 1987, 1988	24
4.6 Etna 1988 - 1993	25
4.7 Eolie 1990 - 1991	27
4.8 Egitto 1992	28
4.9 Vesuvio 1995 - 2011	29
4.10 Etna 1999	30
4.11 Nisyros 2001	32
4.12 Stromboli 2002	32
4.13 Azzorre 2003	32
4.14 Cascadia 2004, 2009, 2010	34
4.15 Campi Flegrei 2004 - 2011	34
4.16 Colima 2005 - 2006	36
4.17 Stromboli 2006 - Esperimento di Tomografia sismica	36
4.18 Etna 2008	39
4.19 Campi Flegrei 2009 - Esperimento UNREST	40
4.20 Altri esperimenti	42
5. Sviluppi e prospettive	42
Conclusioni	43
Ringraziamenti	43
Bibliografia	43

Coordinamento editoriale e impaginazione

Centro Editoriale Nazionale | INGV

Progetto grafico e redazionale

Daniela Riposati | Laboratorio Grafica e Immagini | INGV

© 2012 INGV Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Via di Vigna Murata, 605

00143 Roma

Tel. +39 06518601 Fax +39 065041181

<http://www.ingv.it>



Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia