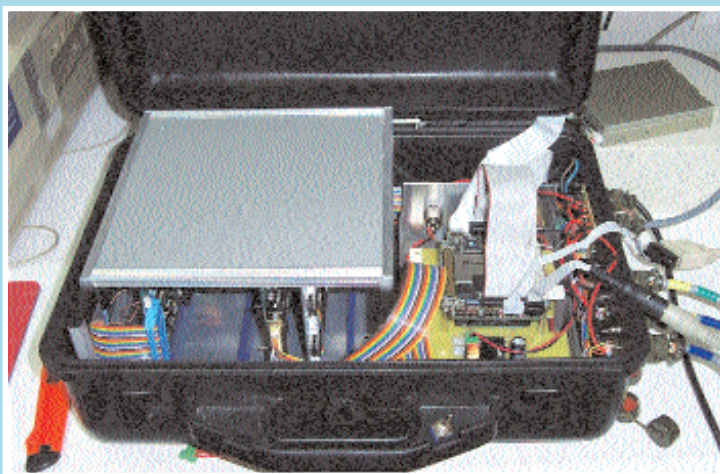


Centro Regionale di Competenza  
Analisi e Monitoraggio del Rischio Ambientale

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia  
Osservatorio Vesuviano – Napoli

# PAS

Progetto Antenne Sismiche



*Manuale tecnico a cura di:*

Edoardo Del Pezzo  
Mario La Rocca



Centro Regionale di Competenza  
Analisi e Monitoraggio del Rischio Ambientale

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia  
Osservatorio Vesuviano – Napoli

# PAS

Progetto Antenne Sismiche

*Manuale tecnico a cura di:*

Edoardo Del Pezzo  
Mario La Rocca

Centro Regionale di Competenza  
Analisi e Monitoraggio del Rischio Ambientale  
Polo delle Scienze e delle Tecnologie  
Dipartimento di Scienze Fisiche  
C/o Facoltà di Ingegneria - Via Nuova Agnano, 11 - III° Piano  
80125 - Napoli - Italy  
[www.amra.unina.it](http://www.amra.unina.it)  
[ambiente@na.infn.it](mailto:ambiente@na.infn.it)  
Telefono +39 081 76-85125/124/115  
Fax. +39 081 76-85144

*Autori*

Edoardo Del Pezzo, Mario La Rocca  
*Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia  
Osservatorio Vesuviano – Napoli*

*Coordinamento editoriale*

**doppiavoce**  
[www.doppiavoce.it](http://www.doppiavoce.it)

Copyright © 2004 Università degli Studi di Napoli "Federico II" – CRdC-AMRA

Tutti i diritti riservati  
È vietata ogni riproduzione

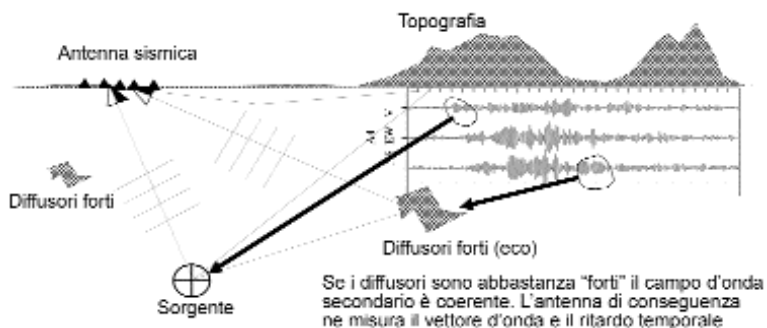
# Indice

Introduzione	5
Settori di applicazione	7
Schema organizzativo e gestionale del PAS	8
Dettagli dell'apparecchiatura	9
Esempi e applicazioni	12
Possibili sviluppi	14
Bibliografia	15



## Introduzione

Le antenne sismiche (seismic arrays) sono un raggruppamento di sensori del moto del suolo di differente natura (spostamento, velocità, accelerazione) disposti sul territorio in particolari configurazioni e geometrie; tali configurazioni costituiscono un'antenna direzionale, sensibile alle onde elastiche. Il segnale di ciascun sensore viene registrato in un canale di un data logger, generalmente controllabile tramite un PC portatile. Lo scopo è la misura del vettore "lentezza", una quantità il cui modulo è l'inverso della velocità apparente e la cui direzione e verso coincidono con quelli del vettore velocità (Figura 1).



**Fig. 1.** Metodo di array: localizzazione della sorgente primaria e dei diffusori nella terra.

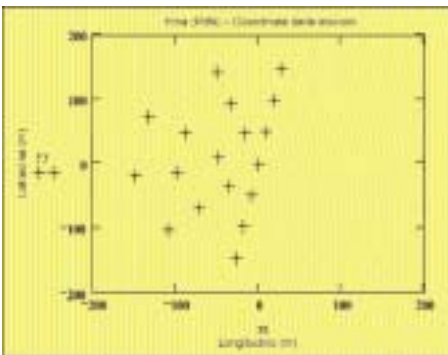
La determinazione delle componenti del vettore "lentezza" viene ottenuta dall'analisi della matrice di covarianza calcolata tra tutte le coppie di segnali registrati in ciascun canale. La matrice può essere stimata sia nel dominio delle frequenze (FFT) che in quello del tempo (funzione di cross-correlazione). Vi sono diverse tecniche numeriche possibili per trattare i segnali e ottenere la misura della "lentezza", ciascuna più adatta in particolari condizioni sperimentali, che qui di seguito vengono solo elencate, mentre per una trattazione esauriente si rimanda alla bibliografia.

1. MUSIC;
2. ZERO\_LAG CROSS-CORRELATION;
3. PlaneWaveFitting (PWF);
4. HighResolution;
5. BeamForming.

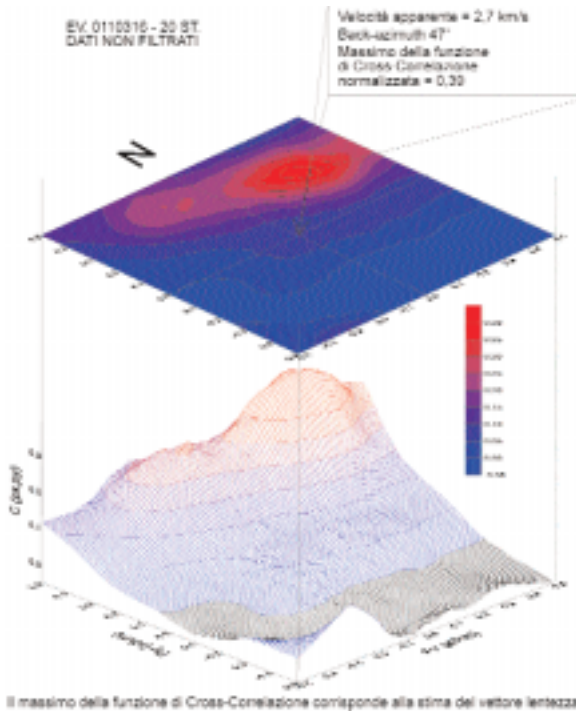
In Figura 2 viene riportato uno schema che illustra il principio di funzionamento dell'antenna e della misura di "lentezza". In Figura 3 viene riportato uno schema di configurazione utilizzato in un esperimento effettuato all'Etna nel 2001 per lo studio del campo d'onda (Saccorotti et al. 2004). In Figura 4 viene riportato un esempio di output del software utilizzato: in questo caso, l'algoritmo ZERO\_LAG applicato alla fase compressionale di un evento vulcano-tettonico del Vesuvio.



**Fig. 2.** Principio di funzionamento dell'antenna e della misura di lentezza.



**Fig. 3.** Etna 1999 – Pizzi Deneri. Antenna Semicircolare. + Coordinate delle stazioni sismiche (sensori L4C 1 Hz).



**Fig. 4.** Valore della cross-correlazione a zero-lag in funzione delle componenti del vettore “lentezza”.

## Settori di applicazione

I settori di possibile applicazione delle tecniche di array sono:

1. prospezione sismica superficiale (tecniche tau-p; tecniche SPAC) fino a profondità di 300-400 metri con sensori sismici a corto periodo;
2. controllo dinamico di dighe e bacini (studio del campo d'onda di microterremoti indotti) con sensori sismici a corto periodo e/o accelerometri;
3. controllo di frane subaeree e sottomarine (studio del campo d'onda di transienti elastici generati da fenomeni franosi) con sismometri, accelerometri o idrofoni);



4. controllo delle esplosioni subaeree e sottomarine con sensori sismici e idrofonici;
5. ricerca scientifica in sismologia e controllo del territorio (sorveglianza dei vulcani, studio di campi geotermali sia in ambito subaereo che sottomarino).

## Schema organizzativo e gestionale del PAS

L'Unità Funzionale di Sismologia della sezione di Napoli dell'INGV svolge gran parte della propria ricerca utilizzando dati provenienti da Antenne Sismiche. Utilizzando questi dispositivi, come si vede dalla bibliografia allegata, è stata studiata la dinamica di alcuni vulcani attivi importanti come l'Etna, lo Stromboli e il vulcano Deception, in Antartide. Inoltre sono state effettuate molte misure delle proprietà del campo d'onda del rumore sismico di fondo, che hanno permesso alcune applicazioni a studi di rischio sismico e pericolosità, proprie del settore dell' "Engineering Seismology".

Il Progetto Antenne Sismiche (PAS) si basa sulla promozione di queste attività, finanziate sia in ambito Europeo che Nazionale. Il primo passo per uno sviluppo e per un'estensione dell'attività ad ambiti diversi da quelli della ricerca in sismologia sui vulcani e del rischio sismico è stato quello del progetto e della successiva realizzazione di un data logger che rispondesse al meglio ai requisiti richiesti per un uso multidisciplinare delle antenne sismiche. Questa fase è stata interamente finanziata dalla Protezione Civile Italiana. Il data logger deve poter essere equipaggiato da sensori di vario genere (ad es. idrofoni) per poter estendere ad ambiti non propriamente sismologici l'applicazione delle tecniche di array.

L'acquisizione di sensori di diverso genere è stata finanziata dal CRdC AMRA, insieme a un potenziamento dei mezzi di calcolo a disposizione dell'Unità Funzionale di Sismologia. Pur esistendo nel pool delle strumentazioni gestite dall'Unità Operativa altri data logger adatti alla registrazione di dati di array, il finanziamento del CRdC AMRA ha dato un notevole impulso alle ricerche nel settore.

In particolare, in ambito AMRA l'attività è consistita in:

1. realizzazione del data logger con possibilità di trasferimento del know-how a imprese spin-off;
2. acquisizione di sensori commerciali;
3. studio delle configurazioni di array per le varie possibili applicazioni;
4. produzione di software amichevole per un uso applicativo;
5. applicazioni e test.

## Dettagli dell'apparecchiatura

L'array sismico multicanale è composto da un modulo centrale di acquisizione a cui si possono collegare fino a 16 moduli periferici di acquisizione a tre canali. Pertanto l'array può acquisire fino a 48 canali. La sincronizzazione dei dati è realizzata tramite un modulo provvisto di antenna GPS collegato all'unità centrale. I segnali analogici forniti dai sensori collegati ai moduli periferici vengono convertiti in segnali digitali e trasmessi al modulo centrale attraverso una linea RS-485. La conversione analogico/digitale avviene in modo indipendente per ogni canale, con range dinamico corrispondente a 24 bit. I moduli periferici sono collegati in serie fino a un massimo di 4 unità per ognuna delle quattro linee che il modulo centrale è in grado di gestire. La frequenza di campionamento, l'amplificazione dei segnali e molti altri parametri possono essere configurati via software.

L'unità centrale è provvista di un computer industriale con sistema operativo commerciale (attualmente Windows 98). A questo modulo si possono collegare facilmente monitor, tastiera e mouse oppure un computer portatile per un'agevole configurazione dell'acquisizione. I dati digitali acquisiti dai moduli periferici e ricevuti sulla linea di trasmissione RS-485 vengono "confezionati" nell'ordine e nel formato prestabilito e quindi salvati su un hard disk. Lo scarico dei dati registrati può avvenire via rete oppure collegando direttamente un altro computer.

I sensori sono di tipo velocimetrico a corto periodo (Lennartz LE-3D a 1 secondo); a medio periodo (Lennartz LE 3D a 20 secondi); sensori accelerometrici (Kinematics Episensor FBA ES-T) e idrofonici (Geospace MP 24-L1). In Figura 5 è riportata una foto che mostra i vari sensori interfacciati con il data log-

ger. Uno schema a blocchi dell'apparecchiatura è mostrato in Figura 6; nelle Figure 7-9 sono mostrati i dettagli dell'elettronica del data logger.

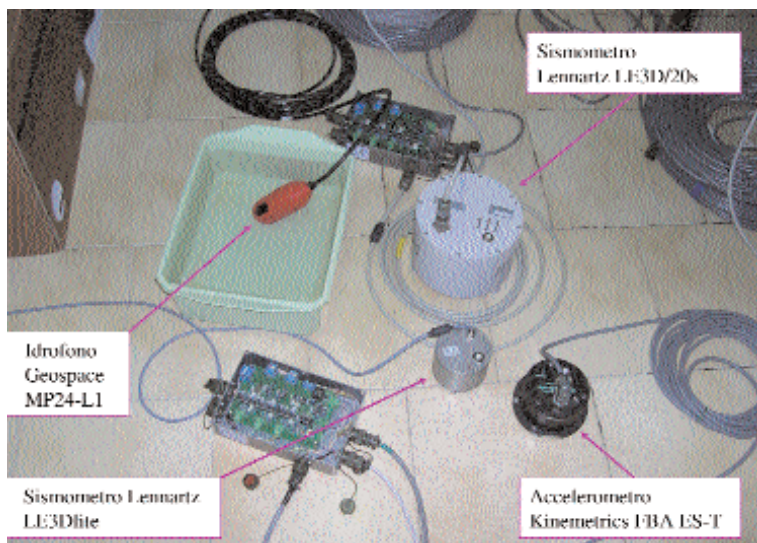


Fig. 5. Prove di acquisizione in laboratorio con i vari sensori.

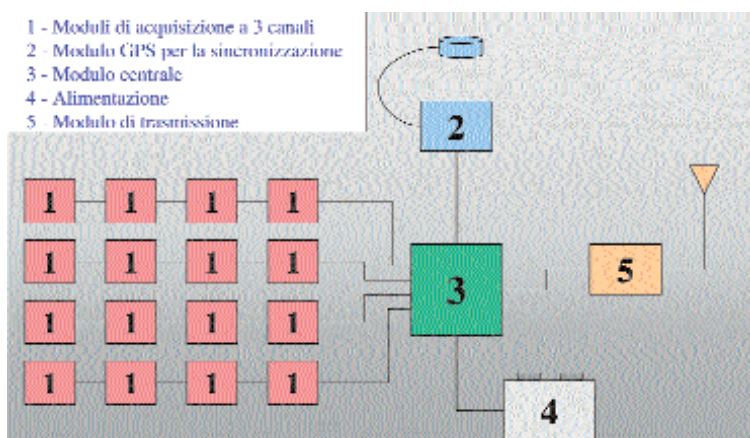


Fig. 6. Schema a blocchi dell'array multicanale.



**Fig. 7.** Modulo centrale: gestisce il sincronismo dei moduli periferici di acquisizione e salva i dati su hard disk.



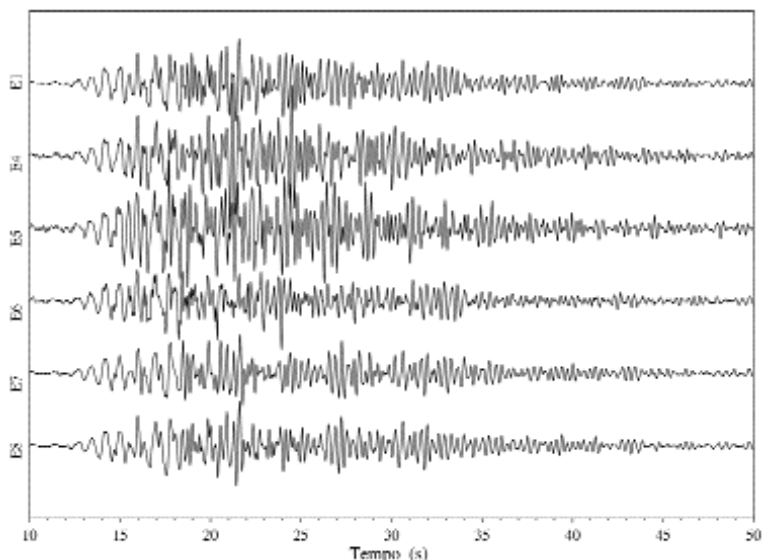
**Fig. 8.** Moduli di acquisizione a 3 canali. Se ne possono collegare fino a 4 in serie su ognuna delle 4 linee.



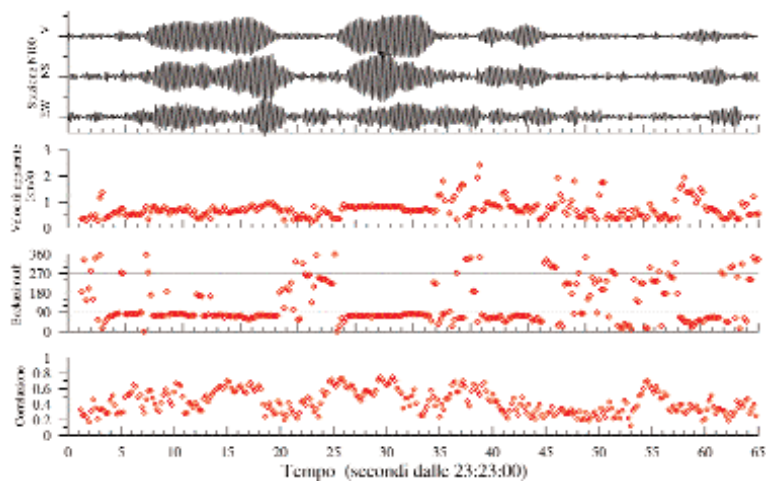
**Fig. 9.** Modulo GPS per la sincronizzazione assoluta dei dati acquisiti.

## Esempi e applicazioni

Molti esempi di applicazione delle tecniche di array sono riportate in bibliografia. Nel presente manuale tecnico riportiamo un evento sismico registrato a Stromboli da un array disposto in località Labronzo durante l'ultima eruzione del 2002 (Figura 10). In Figura 11 riportiamo un esempio di analisi effettuata su dati di tremore vulcanico registrato all'isola di Nisyros, in Grecia. Nel pannello superiore c'è la registrazione di un tratto di tremore a una delle stazioni dell'array (3-D). A seguire verso il basso i risultati relativi a velocità apparente, back-azimuth di provenienza e correlazione tra le stazioni dell'array. Tutte queste quantità sono ottenute in funzione del tempo, permettendo un'analisi dell'evoluzione dinamica delle proprietà del campo d'onda di questo tratto di tremore vulcanico.



**Fig. 10.** Evento sismico di natura vulcanica registrato a Stromboli da array multicanale.



**Fig. 11.** Risultati di analisi con tecniche di array di tremore vulcanico registrato a Nisyros (Grecia) il 23/06/2001.

## Possibili sviluppi

Un'impresa knowledge-based potrebbe nascere sull'esperienza maturata nel settore dai proponenti del Progetto Antenne Sismiche nei settori, indicati precedentemente, dell'ingegneria sismica e strutturale (controllo delle vibrazioni, misura sperimentale dei modi di vibrazione degli edifici) e della geologia applicata (prospezioni superficiali, controllo di dighe e bacini, controllo di frane). Il know-how acquisito dall'Unità Funzionale, soprattutto nel trattamento dei dati, potrebbe risultare quindi utile per lo sviluppo di un settore servizi nel campo del controllo ambientale e dell'ingegneria edile. Tale impresa potrebbe trarre vantaggio anche dal progetto di data logger, pur considerando che l'elettronica ha un tasso di sviluppo tale da far risultare difficile mantenere per lungo tempo standard qualitativi avanzati. Sicuramente il Progetto darà un notevole aiuto nella formazione di personale tecnico adeguato.

## Bibliografia

- Del Pezzo E, La Rocca M, Ibanez J. Observations of high frequency scattered waves using dense arrays at Teide Volcano. *Bull. Seism. Soc. Am.* 1997;6:1637-47.
- Almendros J, Ibanez J, Alguacil G, Del Pezzo E. Array analysis using circular wavefront geometry: an application to locate the nearby seismic-volcanic source. *Geophys. J. Int.* 1999;136:1.
- Maresca R, Del Pezzo E, La Rocca M, Liguori G, Milana G, Sabbaresse C. Site response obtained from array techniques applied to the seismic noise: two examples in Italy. *J. of Seismology* 1999;3:31-43.
- Saccorotti G, Del Pezzo E. A probabilistic approach to the inversion of data from a seismic array and its application to volcanic signals. *Geophys. J. Int.* 2000;143:1-18.
- La Rocca M, Del Pezzo E, Simini M, Scarpa R, De Luca G. Array analysis of seismograms from explosive sources: evidence for surface waves scattered at the main topographical features. *Bull. Seism. Soc. Am.* 2001;91(2):219-31.
- Saccorotti G, Almendros J, Carmona E, Ibanez JM, Del Pezzo E. Slowness anomalies from two dense seismic arrays at Deception Island volcano, Antarctica. *Bull. Seism. Soc. Am.* 2001;91:561-71.
- Del Pezzo E, Giudicepietro F. Plane wave fitting method for a plane, small aperture, short period seismic array: a MATHCAD 2000 professional program. *Computer and Geosciences* 2002;28:59-64.



Finito di stampare nel mese di novembre 2004  
presso la LEGMA/Napoli

