

Centro Regionale di Competenza
Analisi e Monitoraggio del Rischio Ambientale

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
Osservatorio Vesuviano – Napoli

SARis

Sismica ad Alta Risoluzione



Manuale tecnico a cura di:

Pier Paolo Bruno
Anna Cicchella
Vincenzo Di Fiore



Centro Regionale di Competenza
Analisi e Monitoraggio del Rischio Ambientale

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
Osservatorio Vesuviano – Napoli

SARis

Sismica ad Alta Risoluzione

Manuale tecnico a cura di:

Pier Paolo Bruno
Anna Cicchella
Vincenzo Di Fiore

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
ambiente@na.infn.it
Telefono +39 081 76-85125/124/115
Fax. +39 081 76-85144

Autori

Pier Paolo Bruno, Anna Cicchella, Vincenzo Di Fiore
*Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
Osservatorio Vesuviano – Napoli*

Coordinamento editoriale

doppiavoce

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
Strumentazione e metodologie	6
Campi di applicazione	14
Bibliografia	15

Introduzione

Gli avanzamenti tecnologici nel campo della geofisica e in particolare dell'esplorazione sismica hanno reso accessibili agli Enti di Ricerca strumentazioni e metodologie un tempo a disposizione, per i costi elevati, solo delle compagnie petrolifere. Le nuove strumentazioni e tecniche sismiche possono essere proficuamente utilizzate anche nell'ambito tecnico-professionale, permettendo di migliorare notevolmente, in termini di accuratezza, i risultati ottenibili. Ciò può rivelarsi di fondamentale importanza in progetti connessi alla mitigazione dei rischi sismico, vulcanico e idrogeologico.

Nelle prospezioni sismiche la sorgente è di fondamentale importanza per la qualità dei risultati. Sorgenti sismiche di tipo impulsivo (esplosivi, masse battenti, ecc.), sono invasive, costose, pericolose e difficili da maneggiare. L'utilizzo di una sorgente controllabile, ad esempio di tipo vibratorio, riducendo rumore e numero di incognite durante l'elaborazione permette di ottenere risultati qualitativamente migliori.

L'Unità Operativa 3 (UO3) della sezione Rischio Vulcanico dell'AMRA opera con strumentazione a elevato contenuto tecnologico. A titolo di esempio, la sorgente sismica vibratoria (MINIVIB) è quella a più elevata frequenza disponibile sul mercato. Il MINIVIB, prodotto dalla IVI International Ltd. e alloggiato su veicolo a 4 ruote motrici, è anche in grado di generare onde di taglio. Sensori ad alta frequenza e sismografi ad ampia dinamica consentono di sfruttare al meglio le caratteristiche di altissima risoluzione della sorgente MINIVIB.

Il personale dell'UO3 che costituisce il gruppo qui denominato SARis (Sismica ad Alta Risoluzione) opera nel campo della sismica attiva da oltre 10 anni con tecnologie di punta in acquisizione ed elaborazione, come documentato dall'ampia produzione scientifica. L'esperienza del personale e la disponibilità di strumentazione a elevato contenuto tecnologico permettono di offrire servizi geofisici di altissima qualità a costi non superiori rispetto a quanto attualmente presente sul mercato geologico e ingegneristico-ambientale.

Strumentazione e metodologie

STRUMENTAZIONE

La strumentazione sismica, di proprietà del CRdC AMRA e dell'INGV, e gestita dal gruppo SARis, è composta da un'unità di energizzazione, di un'unità di registrazione e di un sistema di elaborazione dati.

Unità di energizzazione

L'unità di energizzazione comprende una sorgente di tipo impulsivo, il MINIBANG (Figura 1), e un sistema a sorgente vibratoria, il MINIVIB (Figura in copertina).

Il sistema MINIBANG è utile per basse profondità di indagine (max 100 m). Tale sistema è costituito da un cannoncino cal. 8 che, rispetto alle sorgenti comunemente utilizzate (ad es. martello da 5-10 kg), risulta essere migliore in termini di ripetibilità, energia e contenuto in frequenza.

Il sistema MINIVIB è invece composto da una massa vibrante di circa 320 kg, azionata da un meccanismo idraulico ad alta



Fig. 1. Componenti della sorgente impulsiva MINIBANG.

pressione (Figura 2), montato su veicolo fuoristrada del peso di circa 6 tonnellate (che funge anche da accoppiatore col terreno). Questa sorgente consente di generare dei segnali controllati in frequenza, ampiezza, fase e durata.

Le frequenze di oscillazione in esercizio del MINIVIB vanno da 5 Hz a 550 Hz. Inoltre, è possibile effettuare qualunque operazione sul segnale in ingresso alla massa vibrante anche in tempo reale. La sorgente è anche dotata di un sistema di generazione di onde S, costituito da una piastra dentata che con movimenti torsionali genera prevalentemente onde SH in qualsiasi piano passante per l'asse della massa vibrante.



Fig. 2. Particolare della massa vibrante e della piastra della sorgente sismica vibratoria MINIVIB.

Unità di registrazione

L'unità di registrazione è costituita dai sensori sismici (geofoni), dalle schede di acquisizione e conversione analogico-digitale (A/D) e dall'unità di archiviazione dei dati e di gestione del

sistema. I sensori, di tipo elettromagnetico (Figura 3), sono costituiti da geofoni da 40 Hz (verticali) e 10 Hz (orizzontali e verticali), impiegabili i primi per prospezioni superficiali ad altissima risoluzione, i secondi per indagini più profonde.

Tali sensori, prodotti dalla OYO Geospace, hanno curve di risposta piatte per ampi intervalli di frequenza. Le schede di acquisizione ad alta velocità, con ampia gamma dinamica (fino a 135 dB) e conversione A/D a 24 bit, sono integrate in sismografi GEODE Geometrics (Figura 4).



Fig. 3. Geofoni: 10 Hz verticali e orizzontali (colore blu) e 40 Hz verticali (colore rosso).



Fig. 4. Sismografi GEODE Geometrics.

L'unità di registrazione è rappresentata da un Laptop realizzato con materiali antiurto e capace di operare in condizioni climatiche di notevole disagio (temperature da -5 a +50 gradi °C, umidità > 80%). Tale unità è fornita di hard disk ad alta capacità ed è in grado di registrare circa 40 GB di dati sismici. Il Laptop è corredato anche di software che permette di acquisire, pre-elaborare, gestire e archiviare i dati sismici nei formati più comuni (seg, seg2, ecc.).

Sistema di elaborazione dati

È costituito da computer e workstation localizzate presso l'Osservatorio Vesuviano (Figura 5), basate su sistemi operativi

Microsoft Windows, SUN Solaris e Linux e programmi di elaborazione dati freeware e commerciali.



Fig. 5. Centro di elaborazione dati del gruppo SARis presso l'Osservatorio Vesuviano-INGV.

METODOLOGIE SISMICHE

Le indagini eseguite dal gruppo SARis mirano a obiettivi diversi. In linea generale le metodologie utilizzate sono:

1. sismica a riflessione multicanale ad alta risoluzione in onde P e S;
2. sismica a rifrazione multicanale ad alta risoluzione in onde P e S;
3. tomografia sismica ad alta risoluzione in onde P e S;
4. metodi basati sulla generazione e studio delle onde superficiali (Love e Rayleigh);
5. metodi basati sull'acquisizione dei dati sismici in foro (ad es. VSP, Profilo Sismico Verticale, downhole, crosshole, uphole).

Questi servizi sono resi dal SARis a Enti Pubblici e Privati, che, nel rispetto della primaria funzione scientifica del CRdC AMRA della Regione Campania, valorizzino le risorse disponibili presso l'UO3.

Le procedure e le forme unificate per l'effettuazione di dette prestazioni di consulenza scientifica e professionale e di servizio sono definite nel regolamento di gestione.

La sismica a riflessione

La sismica a riflessione multicanale è il metodo sismico che permette di ottenere la più elevata risoluzione del dato. Essa risulta molto efficace nelle applicazioni geologico-strutturali, in quanto fornisce una sezione del sottosuolo molto simile a una "sezione" geologica e consente, quindi, di eseguire analisi strutturali sulle faglie e analisi di stratigrafia "sismica" sui riflettori. La sismica a riflessione superficiale in genere viene integrata con la tomografia sismica, che sostituisce l'analisi classica di velocità. La combinazione dei due metodi fornisce risultati a riflessione molto accurati anche per applicazioni superficiali, che finora erano qualitativamente inferiori a causa di una maggiore complessità del dato. La sorgente MINIVIB e gli acquisitori sono espressamente progettati per applicazioni a riflessione ad altissima risoluzione. Un esempio di confronto tra sezioni sismiche a riflessione ottenute utilizzando la sorgente MINIVIB e la sorgente impulsiva MINIBANG è mostrato in Figura 6 [1]. Questi profili sismici sono stati acquisiti con differenti tipi di sorgenti superficiali in una discarica di rifiuti speciali. Tra tutte, la sorgente MINIVIB è risultata la più efficace per il notevole miglioramento del rapporto segnale/rumore e della risoluzione verticale e orizzontale del segnale. Inoltre, la sorgente MINIVIB è caratterizzata da un basso impatto ambientale rispetto alle altre sorgenti considerate.

La sismica a rifrazione

La sismica a rifrazione multicanale offre buone possibilità di investigazione a basso e medio costo ed è utilizzabile in siti che non presentano forti variazioni laterali di velocità sismica. Il gruppo SARis utilizza diverse tecniche di interpretazione dei dati a rifrazione che necessitano di una più complessa fase di acquisizione in campagna rispetto alle tecniche standard. Ad esempio, il Metodo Reciproco Generalizzato di interpretazione (GRM) [2] consente di superare il limite costituito da strati lenti definendo anche le variazioni di velocità e morfologia lungo i rifrattori. Quando il sottosuolo è caratterizzato da elevata complessità strutturale e giaciturale (ad es. in aree vulcaniche, allu-

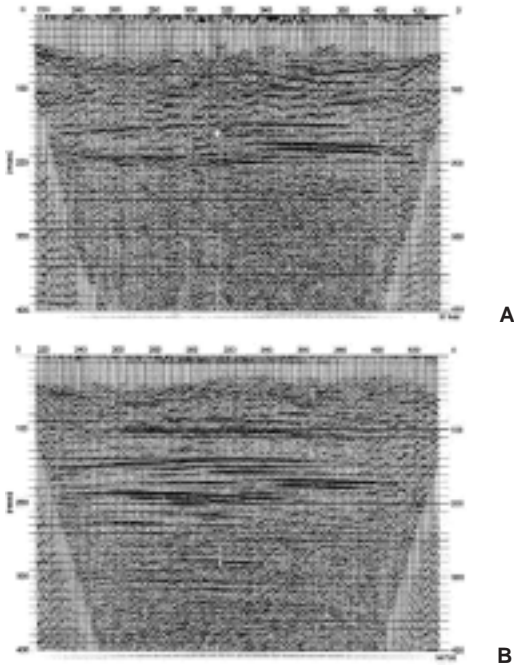


Fig. 6. Sezioni sismiche a riflessione ottenute utilizzando due diversi tipi di sorgenti: il MINIBANG (A) e il MINIVIB (B). Nella sezione ottenuta con il MINIVIB, i riflettori risultano più chiari e più continui lateralmente (da [1]).

vionali, ecc.), è possibile interpretare i dati a rifrazione con metodi tomografici che forniscono generalmente risultati molto accurati, che ovviamente comportano un incremento dei costi e tempi di elaborazione. In generale, la tomografia sismica si basa sulla minimizzazione, attraverso un processo iterativo, degli scarti dei tempi di arrivo calcolati per un modello teorico e confrontati con i tempi letti in campagna. Il risultato è costituito da un tomogramma in cui il sottosuolo è schematizzato in celle all'interno delle quali la velocità o il gradiente di velocità è costante. Ovviamente la risoluzione del metodo dipende dalla grandezza delle celle che a sua volta è legata al numero di ricevitori e al numero di scoppi. La strumentazione sismica a disposizione permette di ottenere alta risoluzione e qualità gra-

zie all'elevato numero di canali e di energizzazioni ottenibili con il MINIVIB. La Figura 7 mostra un esempio di sezione sismica tomografica eseguita in Irpinia sull'espressione superficiale della scarpata originatasi in occasione del sisma del 1980 [3].

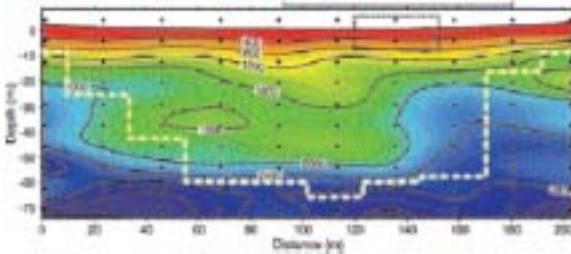


Fig. 7. Sezione sismica tomografica ad alta risoluzione ottenuta su una delle faglie attivate durante il sisma del 1980 (da [3]).

Le onde superficiali

I metodi basati sull'inversione delle curve di dispersione delle onde superficiali, permettono di stimare la velocità delle onde S. I metodi più utilizzati sono il SASW [4], il MASW [5] e l'RM [6]. Le onde superficiali risultano essere dispersive in un mezzo reale, ovvero la loro velocità varia (generalmente diminuisce) con la frequenza. Tutti i metodi partono dalla costruzione delle curve di dispersione ovvero curve in cui sono riportate le velocità di fase (o di gruppo) rispetto alla frequenza. Dall'analisi di tali curve, si ricavano dei profili di velocità medie delle onde trasversali con la profondità. Queste metodologie di indagine, se integrate con altre tecniche sismiche, possono essere determinanti nei casi in cui non è possibile effettuare misure in foro, e sono particolarmente consigliate in aree che non presentano forti variazioni laterali di velocità. La strumentazione del gruppo SARis può essere proficuamente utilizzata per eseguire indagini basate sull'utilizzo delle onde superficiali con elevata risoluzione anche nei primi metri di suolo.

I metodi sismici in pozzo

Le indagini sismiche in foro risultano indispensabili per tarare il dato sismico con la litologia. Le indagini in foro eseguite dal gruppo SARis comprendono metodi semplici ed economici e altri più complessi e ovviamente più costosi. Tra i metodi semplici è da citare il downhole in cui l'energia sismica viene generata sulla superficie a una distanza trascurabile dal boccapozzo e il tempo di percorrenza delle onde sismiche viene misurato a intervalli regolari lungo il foro per mezzo di una successione di geofoni o idrofoni. Esistono, poi, metodi più complessi tra i quali il VSP (Vertical Seismic Profiling) che utilizza sensori posti a diversa profondità nel pozzo e più energizzazioni in superficie, ottenendo così la registrazione dell'intero treno d'onda. In tal caso oltre alle fasi dirette e rifratte è possibile ricostruire le riflessioni semplici e multiple. Nella tomografia in foro, per la quale la geometria di acquisizione è molto simile a quella del VSP, si raccolgono le varie tracce registrate per ogni scoppio in raggruppamenti che poi potranno essere utilizzati per l'inversione del campo d'onda.

Studio delle vibrazioni

La sorgente MINIVIB può essere anche utilizzata per una serie di applicazioni ingegneristiche come, ad esempio, la generazione di vibrazioni (oscillazioni orizzontali e verticali) in prossimità di manufatti. Molto spesso, infatti, nel collaudo di edifici di varia natura si rende necessario effettuare test inerenti la risposta della struttura a varie frequenze di oscillazione. Risultando in pratica impossibile realizzare tavole vibranti di dimensioni tali da ospitare interi edifici, si può ovviare a tale problema, conoscendo o stimando i parametri elastici del suolo e sottosuolo nell'immediato della struttura, utilizzando la sorgente MINIVIB come generatore di segnali. Altre applicazioni possono essere eseguite sui terrapieni o su massicciate per determinare il grado di addensamento generale del manufatto.

Campi di applicazione

Aree sensibili (vulcaniche, sismiche, centri urbani, siti archeologici e zone a rischio frana) richiedono l'impiego di sorgenti a basso impatto ambientale. Il MINIVIB trova applicazione in aree dove la conoscenza dell'assetto geostrutturale e la geometria dei corpi geologici giocano un ruolo fondamentale nella mitigazione del rischio.

Le tecniche esposte precedentemente, utilizzate da sole o in combinazione con altre tecniche classiche geognostiche, geofisiche e ingegneristiche, permettono di fornire alla comunità scientifica e geologico-tecnica un'ampia gamma di servizi, tra i quali sono citati a titolo di esempio:

- microzonazione sismica del territorio;
- amplificazione sismica di sito;
- studi dettagliati delle strutture sepolte in aree vulcaniche, sismogenetiche e in aree antropizzate e per i beni culturali;
- prospezioni sismiche nella crosta superficiale fino a profondità dell'ordine del km per applicazioni geologiche e strutturali;
- studio dettagliato delle proprietà meccaniche dinamiche e geometriche dei terreni per applicazioni ingegneristiche;
- indagini geofisiche di sito per opere infrastrutturali di varia entità;
- caratterizzazione sismica di aree a rischio frana;
- studio degli effetti di vibrazioni sui manufatti.

Tali servizi possono essere resi alla collettività in tre forme:

1. **Servizi di noleggio strumentazione.** La strumentazione o parte di essa può essere noleggiata da privati che ne facciano richiesta. Il noleggio include anche le spese di personale addetto all'operazione della strumentazione.
2. **Servizi di acquisizione e/o elaborazione dati sismici.** Il SARis-AMRA fornisce un servizio di acquisizione e/o di elaborazione di dati di sismica attiva su commessa. Tale servizio può essere limitato alla sola acquisizione dati su indicazione del committente. Il SARis-AMRA si prende anche carico della

pianificazione, definizione e ottimizzazione delle operazioni in campagna.

3. **Servizi di consulenza tecnica e scientifica.** Queste prestazioni includono: lo studio della problematica posta dal committente; la proposizione di un approccio geofisico e successivamente all'approvazione del committente, la pianificazione della fase di acquisizione, l'acquisizione, l'elaborazione e l'interpretazione dei dati.

Bibliografia

1. Doll WE, Miller RD, Xia J. A noninvasive shallow seismic source comparison on the Oak Ridge Reservation Tennessee. *Geophysics* 1998;4(63).
2. Palmer D. An Introduction to the generalized reciprocal method of seismic refraction interpretation. *Geophysics* 1981;46(11):1508-18.
3. Improta L, Zollo A, Bruno PP, Herrero A, Villano F. High-resolution seismic tomography across the 1980 (Ms 6.9) Southern Italy earthquake fault scarp. *GRL* 2003;30(10).
4. Nazarian S, Stokoe II KH. In situ shear waves velocities from spectral analysis of surface. In *Proceedings of the World Conference on Earthquake Engineering*, Vol. 8, San Francisco, 21-28 July, 1984.
5. Park CB, Miller RD, Xia J. Multi-channel analysis of surface waves. *Geophysics* 1999;64:800-8.
6. Louie NJ. Faster, Better: Shear-wave Velocity to 100 meters depth from refraction microtremor array. *BSSA* 2001;91(2):347-64.

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

