



POLITECNICO
MILANO 1863



GNGTS - GRUPPO NAZIONALE DI GEOFISICA DELLA TERRA SOLIDA

COMBINAZIONE DI DIVERSE TECNICHE GEOFISICHE DI SUPERFICIE FINALIZZATE ALLA INDIVIDUAZIONE DELLA SISMO-STRATIGRAFIA PER LA MICROZONAZIONE

M. Compagnoni, S. Munda, F. Pergalani

*Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale
Politecnico di Milano*

GNGTS

Trieste, 17-19 novembre 2015

Lo scopo del lavoro è la combinazione di diverse tecniche geofisiche di sismica superficiale, finalizzate alla individuazione della sismo-stratigrafia (spessori, velocità delle onde di taglio) per studi di microzonazione sismica (ICMS, 2008) ed analisi di risposta sismica locale (NTC, 2008), in siti di cui non si dispone di conoscenze pregresse di tipo geofisico.

Il lavoro ha la finalità di proporre una metodologia basata sulla combinazione delle diverse tecniche di sismica superficiale, definendo una specifica sequenza delle indagini, al fine di vincolare le elaborazioni successive, compensando l'assenza di conoscenze pregresse, e ottimizzare il risultato finale.

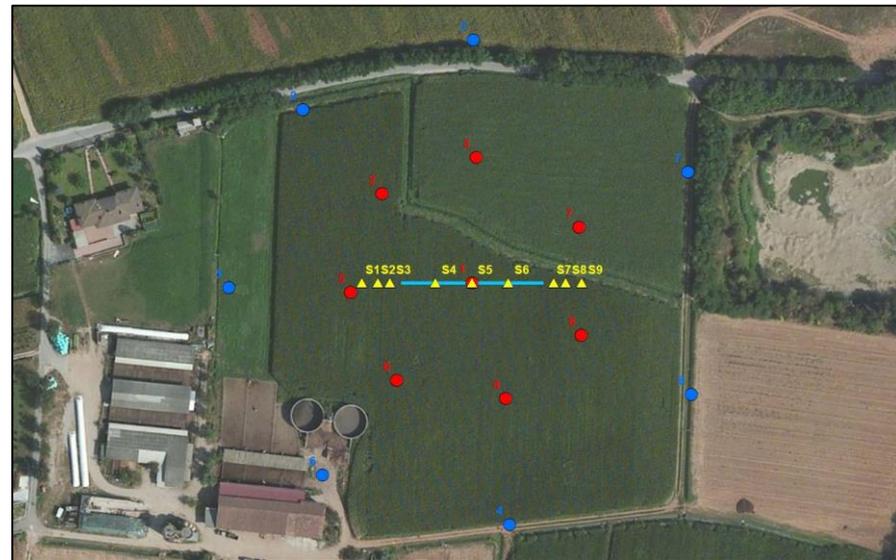
Sito campione un'area posta in Comune di Ghedi (BS), caratterizzata dalla presenza di alternanze di ghiaie da medie a grossolane e sabbie da medie a fini, di origine alluvionale, di spessore di alcune centinaia di metri, nella quale si dispone esclusivamente di un sondaggio a carotaggio continuo.

L'area scelta rappresenta uno scenario geologico e geomorfologico molto diffuso in Regione Lombardia, in quanto tipico dell'alta pianura lombarda a nord della linea delle risorgive.

INDAGINI GEOFISICHE



- n. 8 indagini HVSR, utilizzando sismometri a 3 componenti Trillium Compact della Nanometrics (20 s);
- n. 1 indagini MASW, utilizzando 24 geofoni verticali, risonanza 4.5Hz;
- n. 1 indagini di sismica a rifrazione in onde P, utilizzando 24 geofoni verticali, risonanza 4.5Hz;
- n. 1 indagine di sismica a rifrazione in onde SH, utilizzando 24 geofoni orizzontali, risonanza 8Hz;
- n. 2 array sismici, utilizzando gli 8 sismometri Trillium Compact della della Nanometrics a 20 s, con 2 geometrie circolari.



INDAGINI GEOFISICHE



Le indagini a rifrazione e MASW sono state acquisite lungo uno stendimento lineare di geofoni equispaziati di 3 m prevedendo 6 punti di energizzazione esterni, posti rispettivamente a 20, 12 e 6 m da ciascun geofono esterno e 3 punti di energizzazione interni, posti tra il 6° e il 7°, il 12° e il 13° e tra il 18° e 19° geofono; la frequenza di campionamento è pari a 2 kHz e la durata delle acquisizioni è pari a 2 s.

I sensori a 3 componenti sono stati posizionati secondo due configurazioni circolari, prevedendo un sensore al centro della circonferenza di raggio rispettivamente pari a 60 m (array60) e 120 m (array120), e i 7 sensori restanti equispaziati tra loro, in modo che la distanza tra i due sensori sia pari rispettivamente a 52 m e 104 m. Le acquisizioni sono state effettuate per una durata complessiva di 4 ore con frequenza di campionamento pari a 200 Hz.



Le elaborazioni sono state effettuate:

- per le elaborazioni delle acquisizioni attive con tecnica a rifrazione in onde P e SH i software WinSism10 della W-Geosoft (www.wgeosoft.ch) e Reflexw7.5 della Sandmeier software (www.sandmeier-geo.de);
- per le elaborazioni delle acquisizioni attive con tecnica MASW il software WinMasw 5.2 della Eliosoft (www.winmasw.com);
- per le elaborazioni delle acquisizioni passive a stazione singola e ad array 2D il software Geopsy, messo a punto durante il Progetto Europeo Sesame del 2004 (www.geopsy.org).

La procedura prevede:

- elaborazione delle acquisizioni a stazione singola con tecnica HVSR, al fine di verificare l'omogeneità dell'area investigata e l'eventuale presenza di contrasti di impedenza sismica tali da generare picchi significativi nella curva H/V
- interpretazione delle acquisizioni attive in termini di sismica a rifrazione in onde P ed onde SH, mediante l'individuazione del primo arrivo, la ricostruzione delle relative dromocrone e la predisposizione di sezioni bidimensionali in termini di velocità V_p e V_{SH} . Tali indagini hanno permesso di individuare l'intervallo di variabilità dei parametri V_p e V_{SH} e dello spessore delle diverse unità sismo-stratigrafiche presenti nel primo sottosuolo (profondità d'indagine dell'ordine dei 20 m).

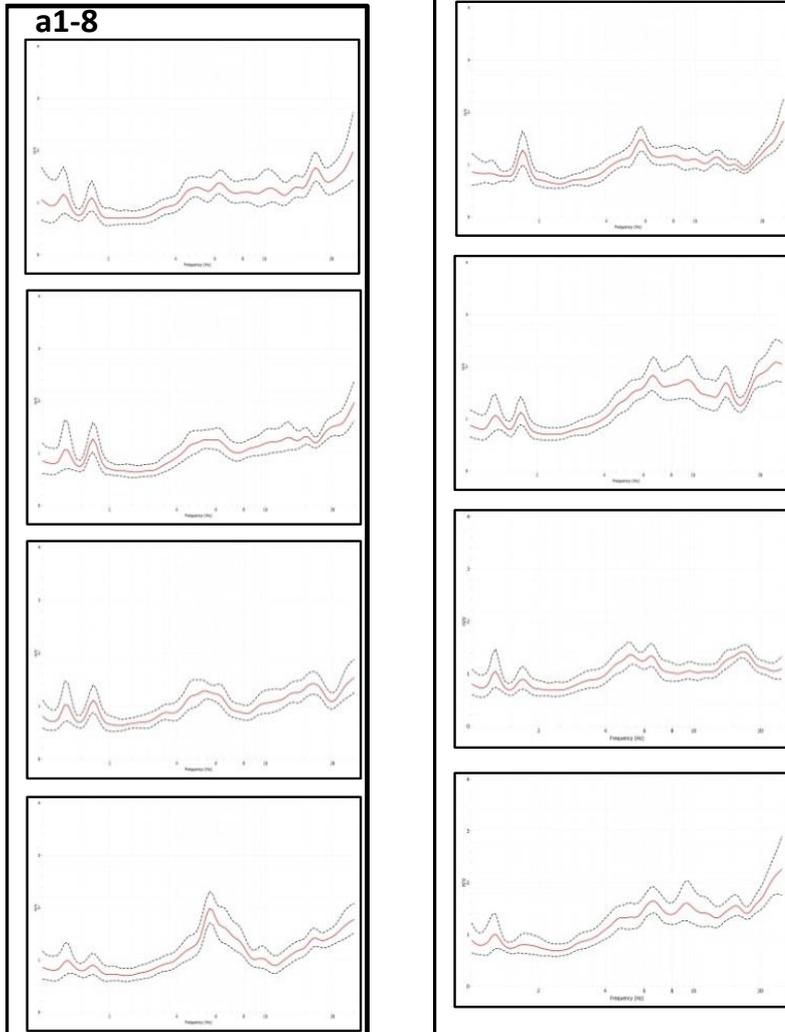
Le acquisizioni attive (MASW) sono state elaborate:

- Utilizzando la sorgente ed i geofoni verticali in termini di spettri di velocità nel dominio fk , dal quale è stato eseguito il picking manuale della curva di dispersione del modo fondamentale delle onde di Rayleigh; la curva di dispersione così individuata è stata considerata attendibile fino a frequenze dell'ordine dei 10-15 Hz.
- Utilizzando la sorgente e i geofoni orizzontali in termini di spettri di velocità delle onde di Love, al fine di verificare la correttezza del picking della curva di dispersione ed escludere l'eventuale inclusione di possibili modi superiori delle onde di Rayleigh. L'utilizzo dell'analisi delle onde di Love, quando presenti, consente un doppio controllo sull'attendibilità dell'interpretazione data.

Le componenti verticali delle acquisizioni passive eseguite lungo gli array 2D sono state elaborate con metodo f_k per individuare la curva di dispersione delle onde di Rayleigh nella banda di frequenza inferiore ai 10-15 Hz;

Il limite inferiore di attendibilità della curva è controllato dalle caratteristiche strumentali e spaziali dei ciascun array 2D (nel caso in esame la frequenza minima di attendibilità per l'array con raggio pari a 60 m è dell'ordine di 2.0-2.5 Hz, mentre per l'array con raggio pari a 120 m è dell'ordine di 0.7-0.8 Hz).

I tre tratti di curva di dispersione così individuati (MASW, array60, array120) sono stati assemblati in un'unica curva, da invertire mediante processo di inversione, utilizzando come spazio di ricerca gli intervalli di variabilità individuati mediante l'indagine di sismica a rifrazione per il primo tratto delle curva, mentre per gli altri due tratti delle curva sono stati imposti intervalli di variabilità più ampi in termini di spessori e velocità di V_p e V_{SH}

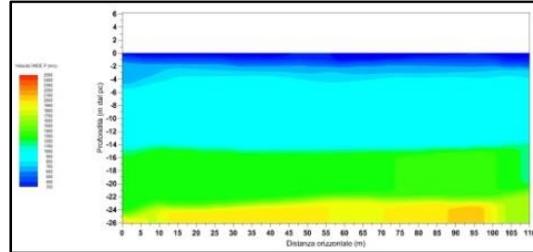
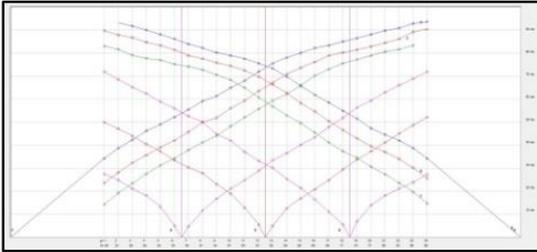


I risultati dell'indagine con HVSR, nei termini di curve H/V, mostrano un andamento simile in tutti i punti analizzati, definendo una buona omogeneità stratigrafica nell'area indagata. Inoltre l'assenza di picchi importanti denota una situazione di aumento graduale delle velocità delle onde con la profondità.

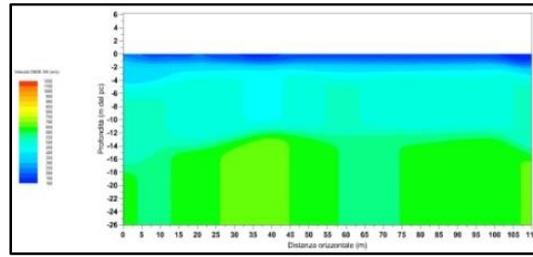
RISULTATI



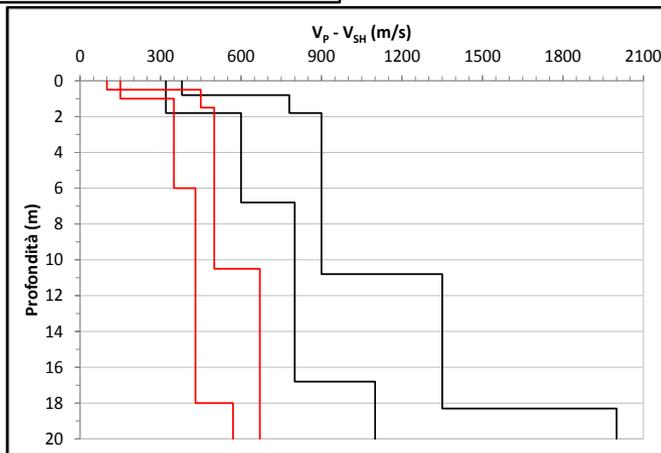
b1



b2



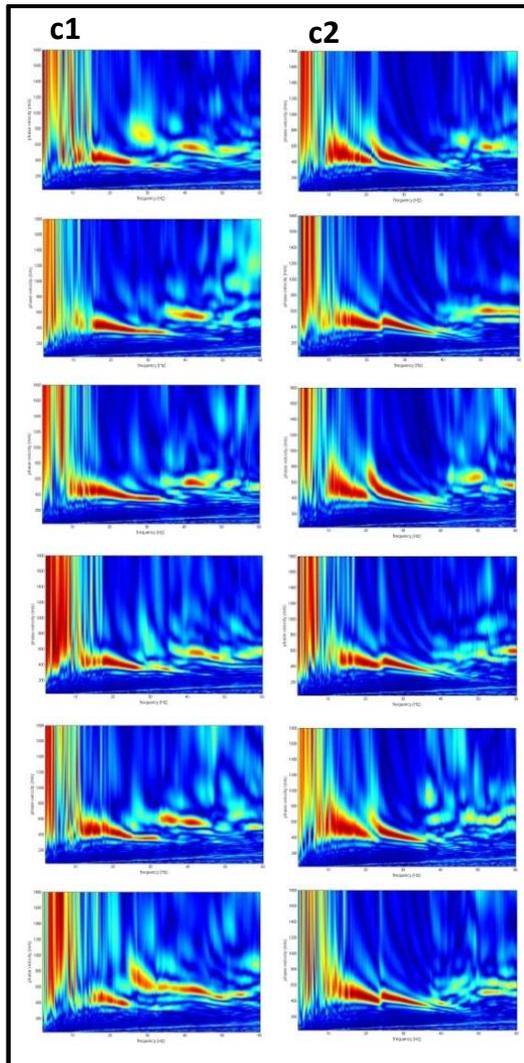
b3



Il grafico delle dromocroni e le sezioni bidimensionali derivate dalle elaborazioni delle acquisizioni di sismica a rifrazione in onde P (b1) e in onde SH (b2) e i relativi campi di variabilità individuati in termini di valori di V_P e V_{SH} e spessori dei vari sismostrati (b3)



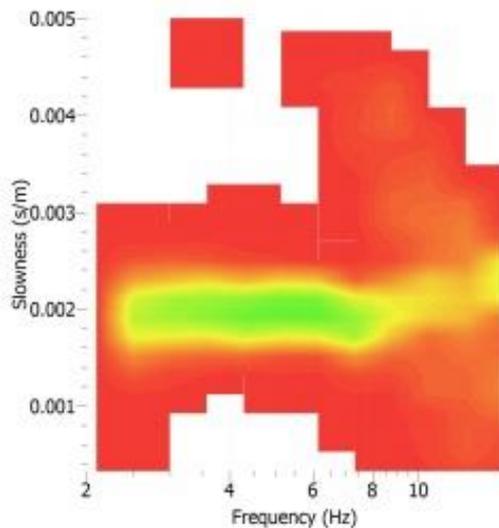
RISULTATI



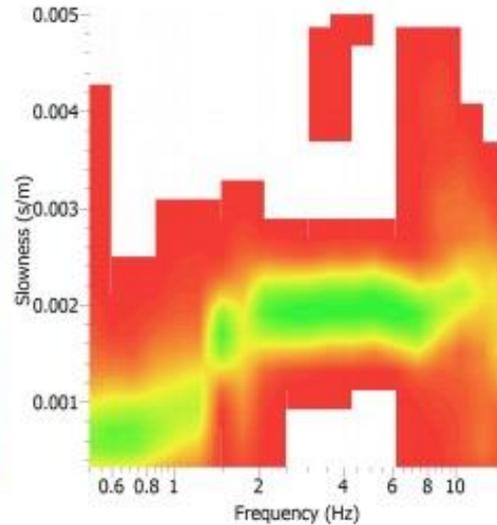
Gli spettri di velocità calcolati dalle acquisizioni eseguite con sorgenti esterne allo stendimento di geofoni nelle due configurazioni utilizzate, ovvero sorgenti e geofoni verticali (c1) e sorgenti di taglio e geofoni orizzontali (c2), dai quali è stato desunto, tramite picking manuale, il tratto di curva di dispersione compreso tra 15 e 45 Hz



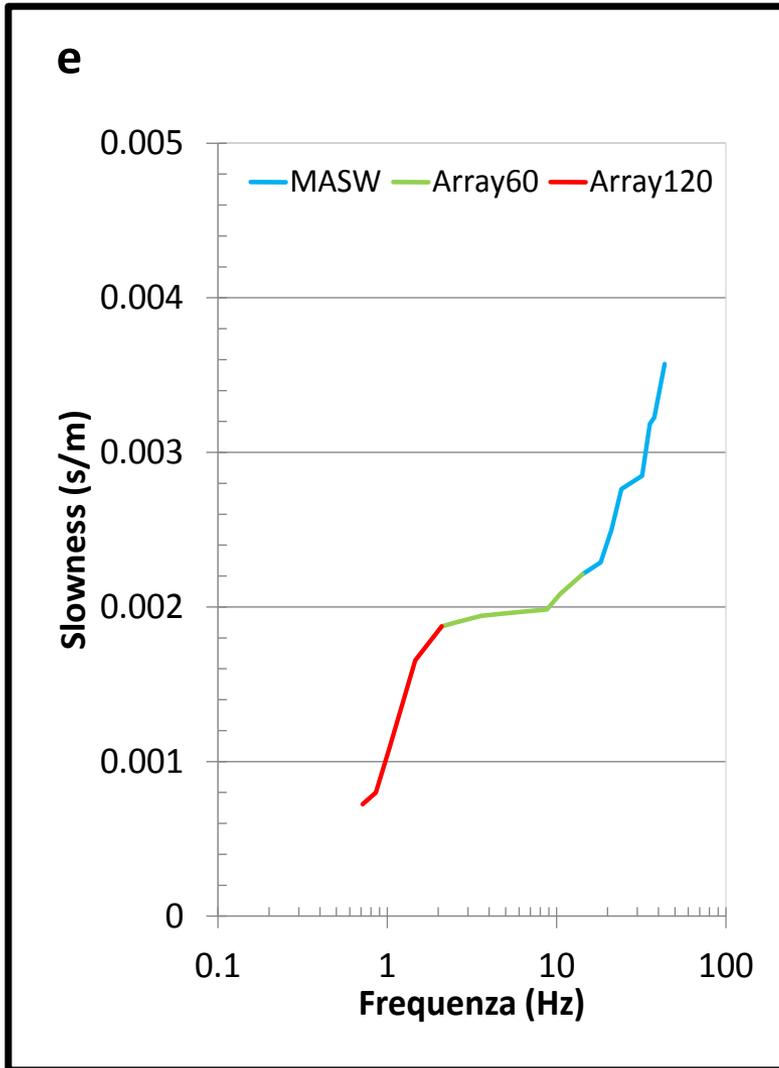
d1



d2

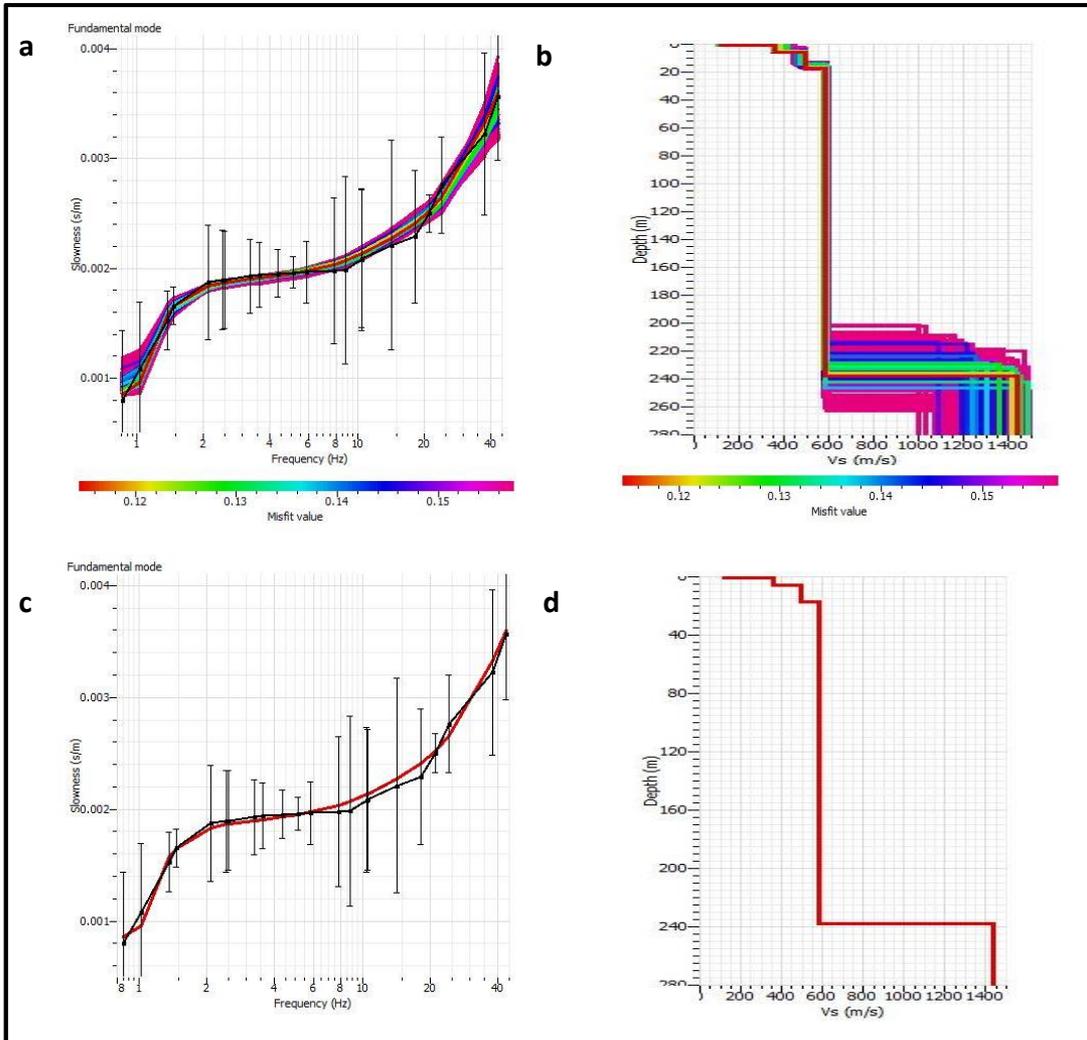


Gli spettri di velocità calcolati dalle acquisizioni passive eseguite con i due array circolari con raggio rispettivamente pari a 60 m (d1) e 120 m (d2), dai quali sono stati desunti rispettivamente i tratti di curva di dispersione compresi tra 2-15 Hz e 0.7-2 Hz



La curva di dispersione sperimentale derivata dall'assemblaggio dei 3 tratti sopra descritti (e)

RISULTATI



La curva di dispersione sperimentale è stata invertita assegnando come parametri dello spazio di ricerca i campi di variabilità desunti dall'indagine di sismica a rifrazione; alle profondità superiori a quelle raggiunte dall'indagine di sismica a rifrazione è stato assegnato un campo di variabilità molto ampio in termini di spessori e velocità di V_p e V_{SH} .

(a) curve di dispersione teoriche ottenute dall'inversione per valori di misfit inferiori a 0.2 e il profilo di velocità in termini di V_{SV} (b); (c) e (d) curva di dispersione e l'andamento delle velocità V_{SV} migliori con misfit di 0.11.



Il tratto di curva di dispersione individuato nella banda di frequenza compresa tra 15 e 45 Hz tramite acquisizioni attive eseguite con le due configurazioni sopra descritte risulta ben vincolato e permette di definire l'andamento delle V_p e V_{SV} nei primi 20-30 m di profondità.

Nel caso in esame tale profondità risulta però inferiore alla profondità del substrato rigido, considerato il substrato di riferimento per gli studi di microzonazione di livello 2 e 3.

Il tratto di curva di dispersione individuato nella banda di frequenza compresa tra 2 e 15 Hz tramite acquisizioni passiva con array60, essendo sostanzialmente orizzontale, fornisce come unica informazione quella di omogeneità in termini di valori di velocità del quarto sismostrato, individuato come ultimo strato dalle indagini di sismica attiva.

Il tratto di curva di dispersione individuato nella banda di frequenza compresa tra 0.7 e 2 Hz tramite acquisizioni passiva con array120, permette di individuare lo spessore del quarto sismostrato poggiante sul substrato rigido.

CONCLUSIONI



- L'applicazione descritta rappresenta una combinazione di indagini di sismica superficiale, la cui esecuzione ed elaborazione sono da considerarsi consolidate ma che singolarmente possono non essere sufficientemente esaustive per finalità di microzonazione di livello 2 e 3. La combinazione proposta può essere considerata una possibile procedura di caratterizzazione sismica di aree sufficientemente vaste, quali potrebbero essere le microzone già individuate negli studi di microzonazione di livello 1.
- Il caso in esame rappresenta un esempio di area priva di conoscenze geofisiche pregresse e pertanto ha richiesto l'esecuzione di 2 array 2D di dimensioni diverse, in quanto la particolare situazione stratigrafica non ha permesso il raggiungimento del substrato rigido con il solo array circolare di raggio 60 m, in altre situazioni potrebbe essere sufficiente un unico array 2D.
- I risultati dell'indagine combinata, in quanto desunti dall'utilizzo di diverse tecniche di indagine basate su tipologie di onde diverse, possono essere ritenuti robusti, sufficientemente attendibili e utilizzabili come dati di input in modellazioni numeriche finalizzate alle analisi di risposta sismica locale.
- Peraltro tale combinazione d'indagini richiede impegni economici compatibili con le risorse economiche disponibili in ambito pianificatorio negli studi di microzonazione sismica di livello 2 e 3 e in ambito pianificatorio per opere rilevanti e/o strategiche.

