

## **MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 3 AD AMATRICE: INDAGINI GEOFISICHE PER LA CARATTERIZZAZIONE SISMICA DI SITO**

**R. de Franco<sup>1</sup>, G. Caielli<sup>1</sup>, M. Compagnoni<sup>2</sup>, J. Facciorusso<sup>4</sup>, C. Madiari<sup>4</sup>, G. Milana<sup>5</sup>,  
M. Moscatelli<sup>3</sup>, F. Pergalani<sup>2</sup>, S. Piscitelli<sup>6</sup>, A. Tento<sup>1</sup>, Gruppo di Lavoro Amatrice**

<sup>1</sup> *Istituto per la Dinamica dei Processi Ambientali, CNR, Milano*

<sup>2</sup> *Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Milano*

<sup>3</sup> *Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria, CNR, Monterotondo*

<sup>4</sup> *Università degli Studi di Firenze, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Firenze*

<sup>5</sup> *Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia*

<sup>6</sup> *Istituto di Metodologie per le Analisi Ambientali CNR*

**Premessa.** Si presentano le attività di acquisizione dei dati ed i risultati delle indagini geofisiche effettuate nell'area del territorio comunale di Amatrice in seguito al terremoto del 2016 che ha colpito i territori delle Marche, Abruzzo, Umbria e Lazio. Le indagini geofisiche sono effettuate nell'ambito delle attività per gli studi propedeutici alla Microzonazione Sismica di livello 3 (MS3) (ICMS, 2008) e che rientrano nelle attività previste dalle diverse ordinanze

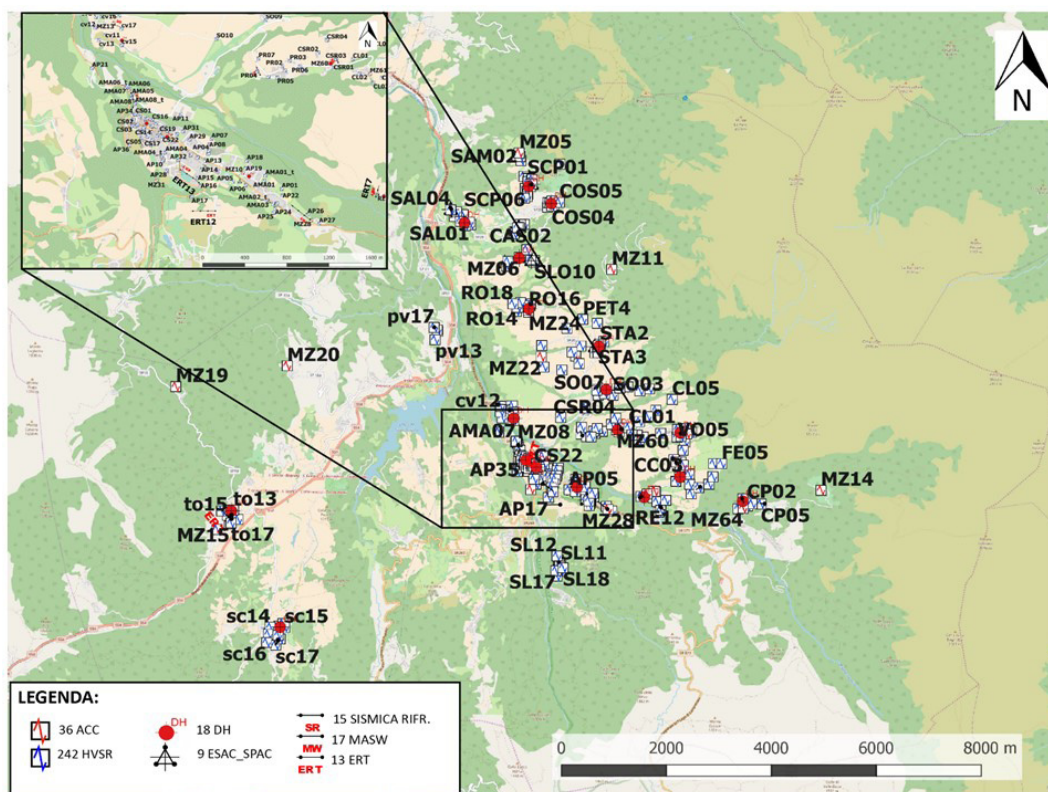


Fig. 1 - Mappa delle indagini geofisiche effettuate ad Amatrice (zoom pannello in alto a sinistra) e frazioni.

del Commissario di Governo a partire dal settembre 2016. Le attività di indagine hanno visto coinvolti diversi gruppi di lavoro appartenenti a diverse istituzioni: gli istituti IGAG, IDPA e IMAA del CNR, l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, il Politecnico di Milano e l'Università di Firenze.

Obiettivo principale delle indagini è stato la caratterizzazione di sito per la valutazione dell'amplificazione sismica locale e degli eventuali effetti indotti.

In particolare l'attività geofisica si è articolata nei seguenti passi:

- pianificazione delle indagini geofisiche in superficie e in foro;
- acquisizione dati geofisici in superficie e in foro;
- elaborazione ed interpretazione dei dati.

Il territorio di Amatrice si estende per circa 175 km<sup>2</sup>. Gli studi geofisici si sono concentrati su tutta l'area del centro urbano di Amatrice e su aree che includevano 25 delle 50 località abitate del comune stesso. Dette aree sono state selezionate e perimetrare dalla struttura del Commissario di Governo in accordo con l'amministrazione Comunale, sulla base di criteri che includevano principalmente il grado di danneggiamento della frazione ( $I_{MCS} \geq VII$ ) in seguito al primo evento del 24 agosto 2016. In Fig.1 si riporta la mappa delle frazioni sottoposte agli studi con indicazione delle relative indagini eseguite.

**Acquisizione dei dati.** L'attività di acquisizione dei dati geofisici da superficie è iniziata a metà settembre 2016 e si è prolungata fino a inizio 2017. A seguito della elaborazione dei dati geofisici sono stati indicati i siti di ubicazione delle perforazioni per i sondaggi a carotaggio continuo in cui sono state successivamente eseguite, tra giugno e settembre 2017, le prove

geofisiche in pozzo di tipo down-hole.

Per la caratterizzazione di sito sono state eseguite le seguenti misure (Fig. 1):

- HVSR (278) di cui 36 della micrete installata nell'area;
- rilievi sismici a rifrazione/MASW (32);
- array sismici ESAC (9);
- elettro-tomografia (ERT, 13);
- prove Down Hole (18).

Le misure HVSR sono state acquisite con standard definiti dal progetto SESAME (Acerra *et al.*, 2004) garantendo una copertura areale su griglia irregolare idonea (inter-distanza tra punti di misura generalmente non superiore a 300 m) a coprire le aree perimetrate del centro urbano e delle frazioni. Per l'acquisizione dei dati sismici attivi di superficie (Rifrazione-MASW) si è adottata uno standard minimo della configurazione strumentale e della geometria di acquisizione idoneo ad un'interpretazione in fase P ed S dei dati acquisiti. I dati su array sismici ESAC ed elettro-tomografici sono stati acquisiti con parametri strumentali e geometrici standard. Le prove DH sono state eseguite con geofoni da foro 3D, sistemi di energizzazione distinti per la generazione di onde P ed S e sistema di acquisizione costituito da un sismografo modulare a 12 canali.

**Elaborazione dati e risultati.** L'elaborazione dei dati acquisiti ha consentito di ottenere i risultati utili alla caratterizzazione dei diversi siti. In particolare:

- 1) l'elaborazione delle misure HVSR mediante l'individuazione delle frequenze di risonanza  $F_0$  dei picchi HVSR e l'analisi della similarità di forma HVSR (approccio manuale e Cluster) hanno consentito di costruire le mappe e di valutare della distribuzione areale delle  $F_0$  e dei corrispondenti picchi HVSR. Tali risultati hanno supportato l'individuazione delle microzone a comportamento omogeneo in prospettiva sismica (MOPS);
- 2) le sismo-stratigrafie di sito 1D ( $V_s$ ,  $V_p$ ) sono state ottenute sia mediante l'inversione dei dati acquisiti in superficie con indagini a rifrazione, MASW ed ESAC, sia mediante l'integrazione dei risultati ottenuti da inversioni congiunte di misure geofisiche di superficie e misure puntuali HVSR (Fig. 2). L'analisi areale delle sismo-stratigrafie 1D e l'elaborazione dei dati di superficie, ricavati mediante tomografia sismica, metodi 2D in fase P ed elettro-tomografia, hanno consentito anche la valutazione della bidimensionalità dei siti indagati. In tale fase si è anche operata la calibrazione ed il confronto tra le

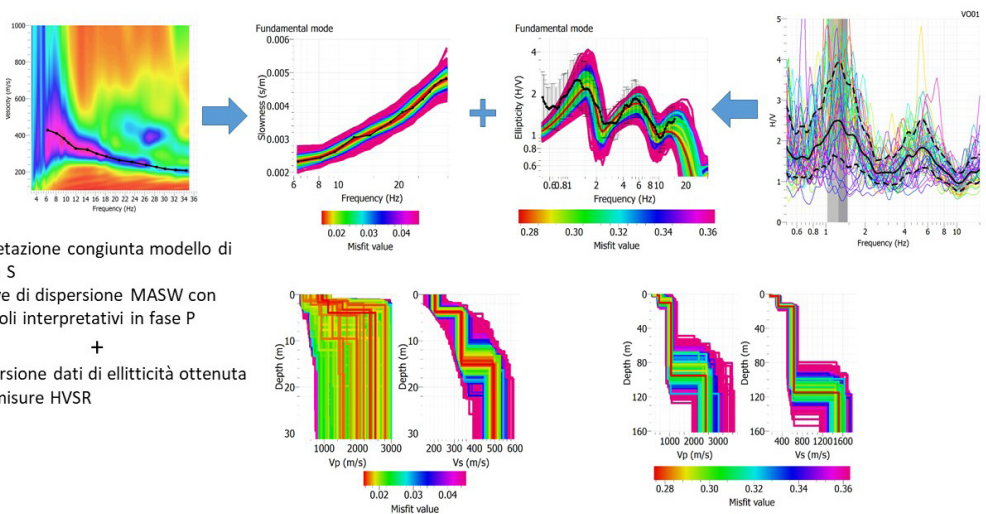


Fig. 2 - Esempio di inversione congiunta dati MASW e HVSR per la definizione della sismo-stratigrafia sismica del sito di Voceto.

Tab. 1 - Esempio di tabella di associazione tra parametri geofisici, geotecnici e unità geologiche e geologico tecniche delle unità omogenee in prospettiva sismica per il sito di Voceto.

INFO DA MISURE GEOFISICHE SITO VOCETO					GEOLOGIA	MOPS	DESCRIZIONE	INFO PER MODELLAZIONE		
Prof. (m)	Spes (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Sigla	Legenda CG	Legenda CGT	Unità	Range $V_s$ (m/s)	Curve G/G0 e D	Interpretazione da:
0 -3.5	3.5	469	206	U2a	dg	SM fd	Unità di Glacis < 5 m	200 – 350 (Vs 270)	media fuso Rollins et al. (1998)	MASW IDPA VOCETO
3.5- 11	7.5	1010	332	U4a	LAGp_1	SFALS	Formazione Laga – Membro pelitico - arenaceo (fino a 5 m)	150 – 400 (Vs 300)	Terre rosse L'Aquila Amoroso et al. (2015)	DH RAN IT.AMT, ARRAY IGAG CASALE, MASW_IDPA COLLECRETA
11-110	99	2000	476	U4b	LAGp_2	SFALS	Formazione Laga – Membro pelitico - arenaceo (oltre i 5 m)	400 – 600 (Vs 500)	Terre rosse L'Aquila Amoroso et al. (2015)	DH RAN IT.AMT, ARRAY IGAG_CASALEE, MASW_IDPA COLLECRETA
110	-		1450	U5a	LAGa_1	SFGRS	Formazione Laga – Membro arenaceo - pelitico	650 – 900 (Vs 800)	Elastico D= 0.5%	DH RAN IT.AMT, MASW_POLIMI POGGIO_VITELLINO

curve di trasferimento di sito ottenute mediante analisi numeriche lineari dalle sismo-stratigrafie con quelle sperimentali ottenute mediante rapporti spettrali rispetto a sito/i di riferimento da dati di microrete (SSR);

- 3) i risultati descritti nel precedente punto, integrati con i dati e le elaborazioni dei dati geologici hanno supportato la pianificazione di sondaggi a carotaggio continuo, con prelievo di campioni per le analisi geotecniche, prove SPT e misure sismiche di tipo down-hole. In particolare, il supporto è consistito nella selezione e individuazione dei siti di perforazione nel capoluogo comunale e nelle diverse frazioni, e nella definizione della massima profondità di perforazione compatibilmente con i metri totali di sondaggio disponibili;
- 4) l'ultimo passo della procedura è stata la definizione delle velocità delle onde P ( $V_p$ ) ed S ( $V_s$ ) e dei parametri geotecnici (modulo di taglio normalizzato G/Go e rapporto di smorzamento D in funzione della deformazione di taglio) dei litotipi identificati nella carta geologico tecnica. Il risultato di tale passo è stata la costruzione di una tabella (Tab. 1) di associazione delle proprietà geofisiche e geotecniche delle diverse unità sismo-stratigrafiche alle unità lito-stratigrafiche omogenee in prospettiva sismica. La tabella di associazione prevede un intervallo di variazione delle velocità  $V_p$  e  $V_s$  per le diverse unità/litotipi. Tale associazione ha consentito l'estensione, guidata dalle MOPS, delle sismo-stratigrafie alle aree circostanti le aree campionate da misure di superficie. In questo modo è stato possibile ottenere i dati di ingresso per le modellazioni numeriche della risposta sismica locale per il calcolo degli spettri di risposta e dei fattori di amplificazione per ciascuna microzona.

#### Bibliografia

- Acerra C, Aguacil G, Anastasiadis A, Atakan K *et al.*; 2004 Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations measurements, processing and interpretation. European Commission – EVG1-CT-2000-00026 SESAME.
- ICMS; 2008: Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica. Conferenza delle Regioni e delle Province autonome - Dipartimento della Protezione Civile, Roma, Italy, 3 vol. and Dvd.