

44<sup>th</sup> GNGTS National Conference  
Udine, 10-13 February 2026



*Workshop di Microzonazione Sismica: dalla ricerca scientifica a nuovi standard, pratiche e linee guida*

Stato dell'arte, criticità, spunti e proposte  
innovative per la raccolta e l'aggiornamento dei  
dati: **il contributo della geofisica**

Roberto de Franco

Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria



## La geofisica negli studi di Microzonazione Sismica *Dalla ricerca alla pratica: spunti per nuovi indirizzi e standard della MS*

Il contributo della geofisica va reso più omogeneo, utilizzabile, tracciabile e confrontabile:

- **Standard minimi** di acquisizione, elaborazione e inversione dei dati e per **deposito di metadati, dati e prodotti** (per garantire ulteriore qualità dei dati e del prodotto e il loro riuso).
- **Chiara Differenziazione** degli approcci geofisici e tipi di indagine secondo livelli di approfondimento e di tematica specifica di MS (Effetti di Amplificazione stratigrafica e topografica, effetti instabilità, Liquefazione, FAC, CLE).

**La MS di contesto territoriale (e la CLE)** richiede indagini geofisiche dedicate e un cambio di scala nelle pratiche operative.

**WEBMS può evolvere**, mantenendo la sua peculiarità di archivio «ufficiale degli studi MS validati», da archivio a **infrastruttura dati** per la MS per riuso scientifico, aggiornamento, e supporto professionale e decisionale.

**L'accuratezza dei modelli geofisici** deve diventare parte esplicita negli studi di MS, da non confondere con l'**incertezza e la variabilità** legata all'input (modello geologico-fisico) delle procedure di calcolo della risposta sismica locale.

**Innovazione e ricalibrazione dell'approccio geofisico alla MS di aree complesse** (es. aree vulcaniche), e **sviluppo e test di nuove tecnologie per standardizzarle** all'uso professionale e renderle applicabili in modo estensivo negli studi di MS (es. Nodi sismici, DAS, Geofisica con Droni).



**Temi MS vs Informazioni & Tecniche Geofisiche e Livelli Approfondimento**  
Non è la tecnica geofisica, è il tema e il livello di approfondimento che guida l'indagine

Tema MS	INFORMAZIONI e PARAMETRI	Tecniche
<b>Amplificazione Stratigrafica/ Topografica (A)</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>Stratigrafia sismica 1D, 2D, 3D (Vs, Vp, Qs, Qp)</li><li>Indicatori sintetici e proxies geofisici (Fo, Vsh, etc.)</li><li>Contrasti di impedenza significativi: Vs del bedrock geofisico e sua geometria</li><li>Caratterizzazione sismostratigrafia del bedrock geofisico affiorante e sub-affiorante</li></ul>	HVSR, Array, DH/CH, MASW pseudo 2D, PS-logging; SASW, tomografia, rifrazione, riflessione HR, <b>Nodi Sismici attivi/passivi, DAS attiva/passiva</b>
<b>Instabilità e frane (I)</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>Parametri geomorfologici ad alta risoluzione (telerilevamento)</li><li>Caratterizzazione geofisica corpi rocciosi soggetti a crollo e collassi gravitativi</li><li>Caratterizzazione geofisica Vp, Vs, Resistività, del corpo di frana</li><li>Geometria del piano scorrimento della frana e velocità sismiche del substrato</li></ul>	Lidar/Drone, ERT, TOMO Rifrazione, Riflessione HR, <b>Nodi Sismici attivi/passivi, DAS</b>
<b>Liquefazione (L)</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>Profondità e geometria livello di falda (con variazione anche nel tempo)</li><li>Determinazione ad alta risoluzione delle velocità sismiche e Rapporto Vp/Vs almeno primi 20 m di profondità</li></ul>	ERT, SEV, Rifrazione in fase P e S -> MASW Pseudo 2D, DH/CH, (CPT, CPTU)
<b>Faglie Attive e Capaci (F)</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>Parametri geomorfologici ad alta risoluzione (telerilevamento)</li><li>Individuazione del piano di faglia principale (affiorante o cieco) e dei piani secondari</li><li>Indicazione sullo stato di fratturazione della zona di faglia</li></ul>	Lidar/Drone, ERT 2D/3D, rifrazione tomo, MASW, GPR, EM-MAG profiling, Down/Cross-hole, riflessione HR, <b>Nodi Sismici attivi/passivi, DAS attiva/passiva</b>

- Livello 1 - tema A - zonazione preliminare:** ricognizione geofisica speditiva
- Livello 2 - tema A - controllo stratigrafico:** modelli Vs 1D, indicatori sintetici, proxies di riferimento per l'uso di abachi
- Livello 3 – tema A,I,L,F- Parametri geofisici e dinamici:** modelli 1D- pseudo 2D- 2D–3D input mod. risposta sismica locale

## La geofisica a supporto della MS di contesto territoriale: MS + Condizione Limite Emergenza

**La geofisica supporta anche altri studi strettamente collegati alla MS come la CLE.**

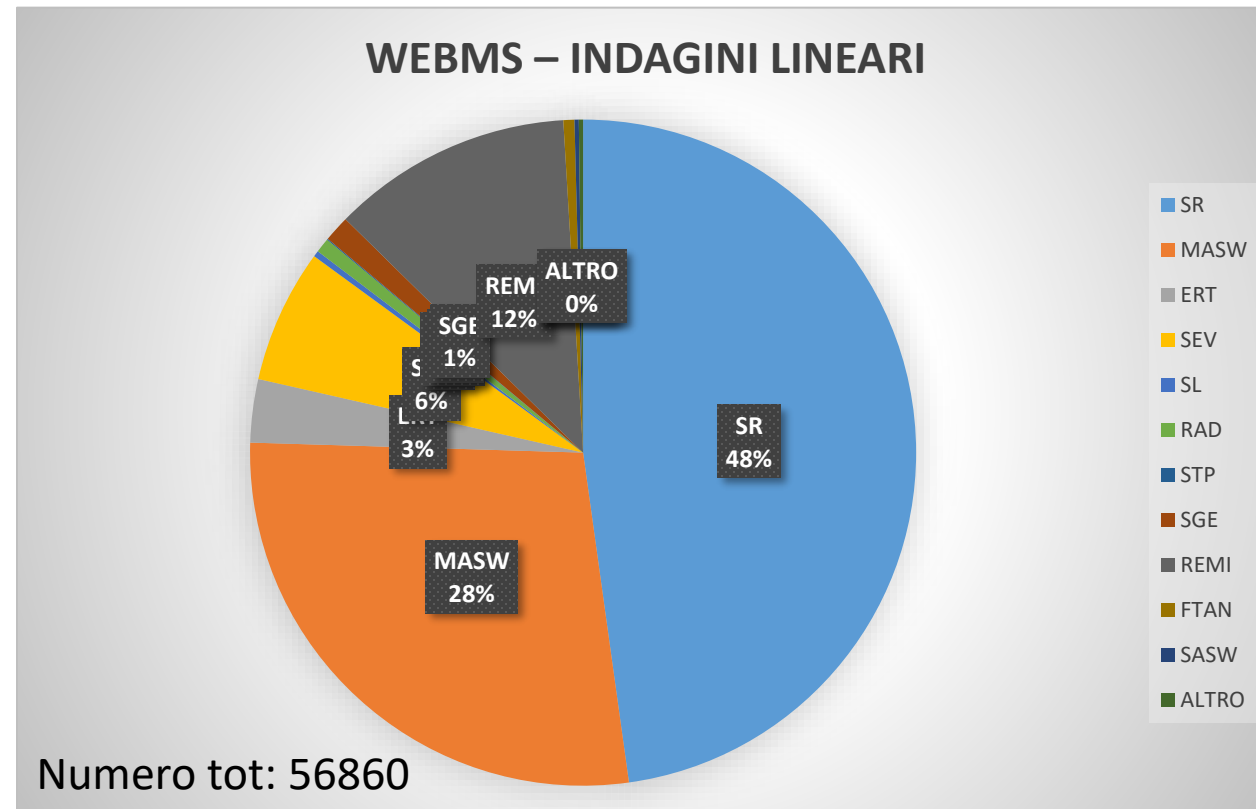
**La CLE non è un livello della MS ma è uno studio aggiuntivo sulla funzionalità del sistema di emergenza che prevede specifiche analisi urbanistiche, strutturali e territoriali:**

- Pur utilizzando gli studi MS, che sono spesso perimetrati sul centro abitato, e i PAI **richiede livelli di approfondimento diversi e spazialmente più estesi di contesto territoriale.**
- La valutazione della CLE, anche se non previsto (formalmente), **richiede informazioni (propri della MS) sulla caratterizzazione delle aree di ubicazione degli elementi funzionali:**
  - Aree Edifici Strategici (ES), Aree di Emergenza e di ammasso (AE), Aree di ubicazione delle infrastrutture di Connessione a livello di contesto territoriale (AC) Aree di ubicazione di Aggregati Strutturali e/o Unità Strutturali e loro interferenza (AS/US).
- **In assenza di indagini MS o analisi dedicate, la CLE si basa spesso su giudizio esperto.**

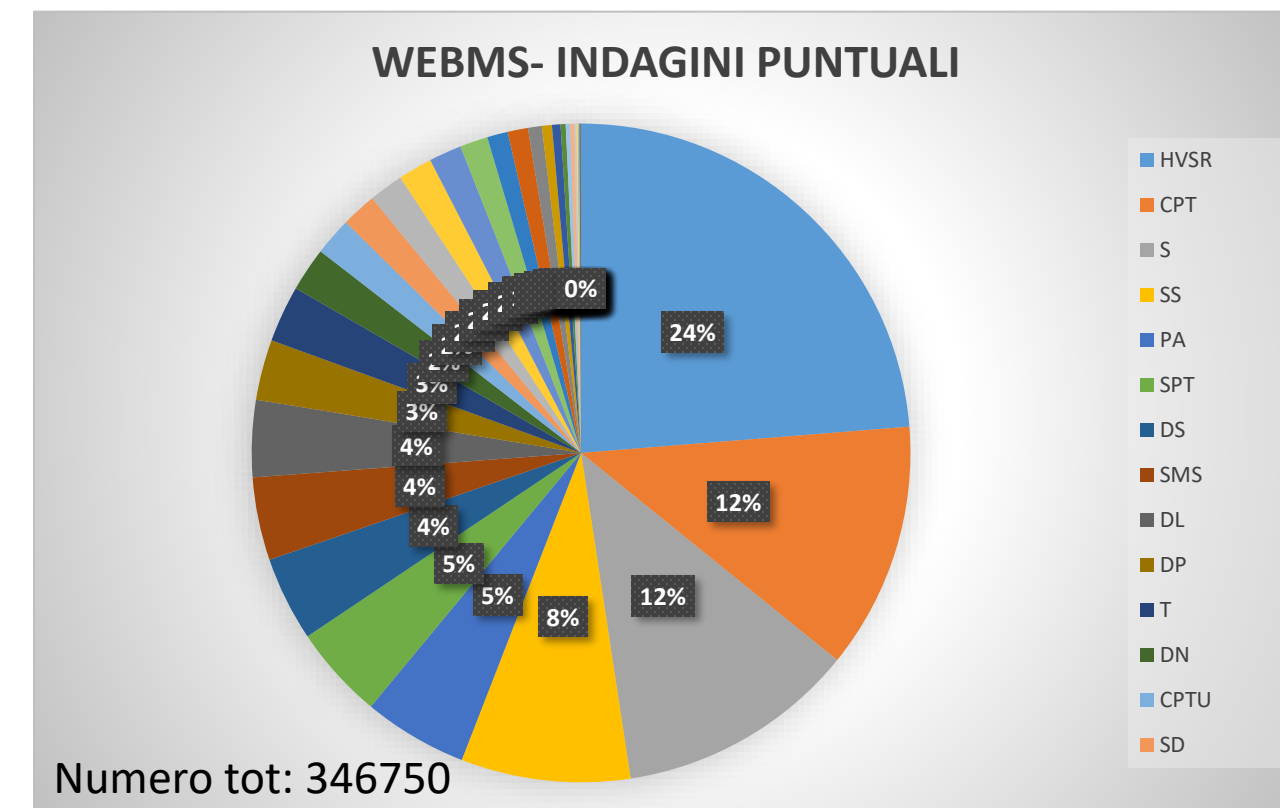
**E' necessario pensare ad approcci geofisici mirati a contribuire alla MS di contesto territoriale a scala più estesa rispetto all'attuale senza perdere il dettaglio di approfondimento e includendo anche le indagini a supporto della CLE.**



## I dati geofisici negli studi MS: il patrimonio WEBMS



SR	27179
MASW	15739
ERT	1744
SEV	3692
SL	166
RAD	405
STP	29
SGE	718
REMI	6649
FTAN	304
SASW	119
ALTRO	116



HVSR	82276
CPT	41947
S	40804
SS	28809
PA	17728
SPT	15906
DS	14363
SMS	14126
DL	13065
DP	10298
T	9628
DN	7459
CPTU	6445
SD	5992
ALTRO	5855
SM	5804
SC	5560
SDS	4740
SP	3537
TD	3453
DH	2358
ESAC_SPAC	1695
CPTU	1445
GEO	871
ELL	763
ED	691
UU	353
ERT	234
CR	143
VT	141
LF	117
CU	74

Il WEBMS differenzia tra indagini lineari e indagini puntuali (acquisizioni geofisiche) prescindendo dalla dimensionalità (1D, 2D e 3D) del modello geofisico ricostruito con la specifica indagine.

- Il metadato e il dato acquisito di campo non sono completi e prevalentemente in formato cartaceo PDF  
( → **Deposito digitale dei dati di campo e loro metadati**)
- I modelli geofisici e loro metadati ottenuti con delle inversioni e/o interpretazioni dei dati di campo prevalentemente sono depositati in forma di report PDF.  
( → **Deposito digitale di Modelli/Risultati e dei loro metadati e di quelli di processo di elaborazione/inversione**)
- Quando presenti in forma numerica-digitale i dati di campo e i modelli/risultati non sono in formato standard  
( → **Standardizzazione di formato dati e Modelli**).

## Le Indagini geofisiche

ACQUISIZIONE	INDAGINE - TECNICA	LAYOUT INDAGINE	TIPO DI MISURA	OUTPUT PRIMARIO	ELABORAZIONE - MODELLO	DIM MODELLO
<b>Attiva</b>	DH, CH	Puntuale	Diretta	Curve Arrivi onde P, S – Profondità	Calcolo Diretto Vs-Z	1D
<b>Attiva</b>	Rifrazione in Fase P ed S	Lineare	Indiretta	Curve Arrivi onde primarie- Distanza – Sezione rifrazione GRM-SRCS in tempi intercetti	Inversione tomo - Analisi velocità rifrattori – Conversione Profondità Vp/Vs-X,Z	2D (1D)
<b>Attiva</b>	Riflessione in Fase P ed S	Lineare	Indiretta	Sezioni a riflessione in tempi a due vie	Analisi Velocità CDP- Conversione Profondità – Vp/Vs-X,Z	2D (1D)
<b>Attiva</b>	MASW, SASW, Array- NODI SIS, DAS	Areale, Lineare, Puntuale	Indiretta	Curve di dispersione, FTAN, Mappe F-K, Cross Correlazione	INVERSIONE - Vs-Z	1D - PSEUDO 2D (MASW, NODI, DAS)
<b>Passiva</b>	REMI, ESAC – SPAC, Array- NODI Sis., DAS	Areale, Lineare	Indiretta	Curve SPAC, dispersione, FTAN, Mappe F-K, Cross Correlazione	INVERSIONE - Vs-Z	1D - PSEUDO 2D (NODI DAS)
<b>Passiva</b>	Misura rumore (Staz.Sing, Array-NODI sis 3C)	Puntuale	Indiretta	Curva HVSR (Ellitticità)	INVERSIONE – Vs/Vp-Z, Calcolo diretto Fo/Fi	1D - PSEUDO 2D
<b>Attiva</b>	ERT (SEV – SEO)	Lineare	Indiretta	Pseudo sezioni resistività	INVERSIONE - Rho-X,Z	2D, (1D)
<b>Attiva</b>	GPR - RADAR	Lineare	Indiretta	Sezioni a riflessione in tempi a due vie	Analisi velocità onde EM Conversione Profondità – Vem-X,Z	2D, (1D)

**Protocolli e linee guida sull'acquisizione, l'elaborazione e l'inversione dei dati acquisiti per gli studi MS sono disponibili sul sito del CentroMS**

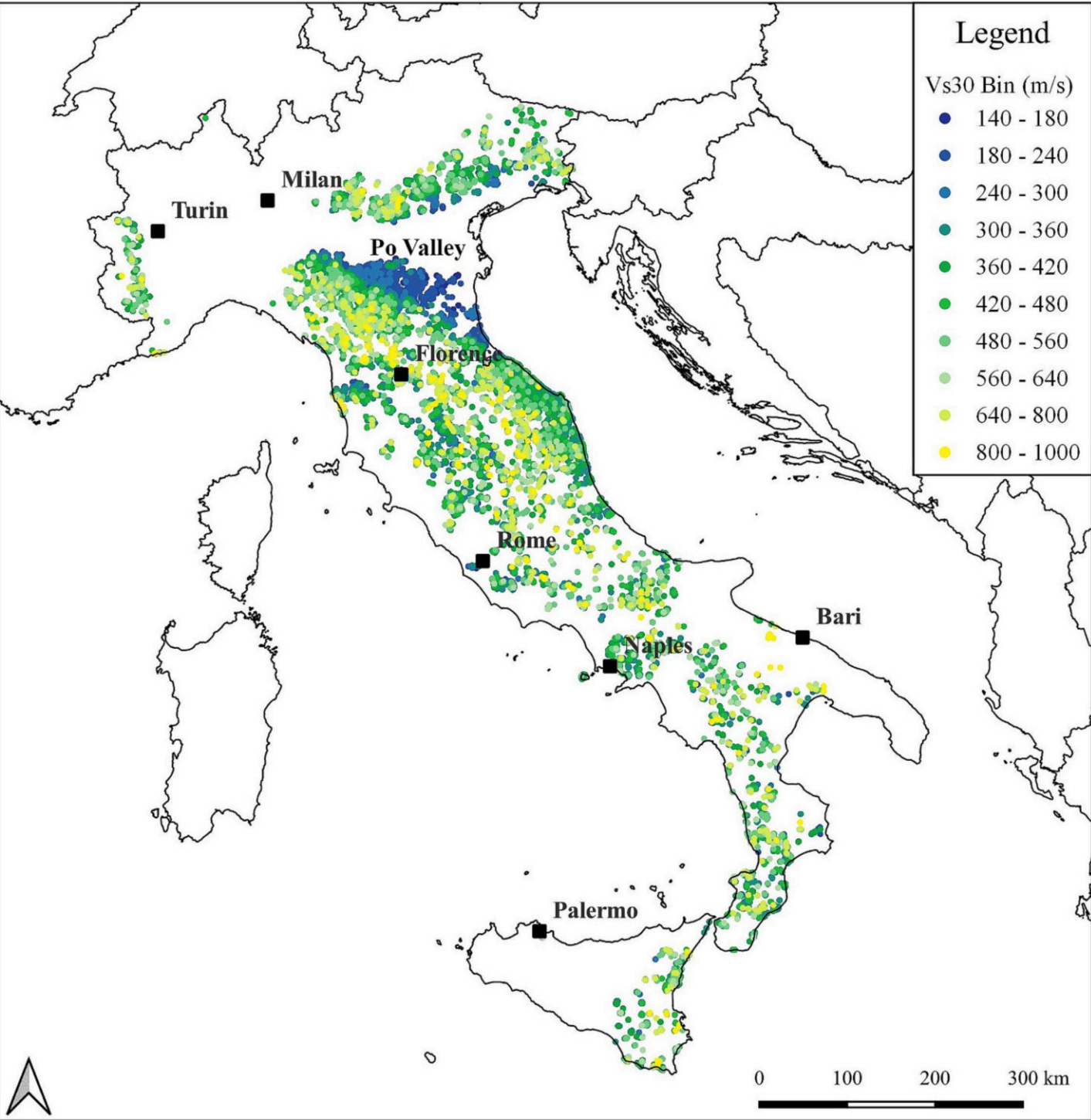
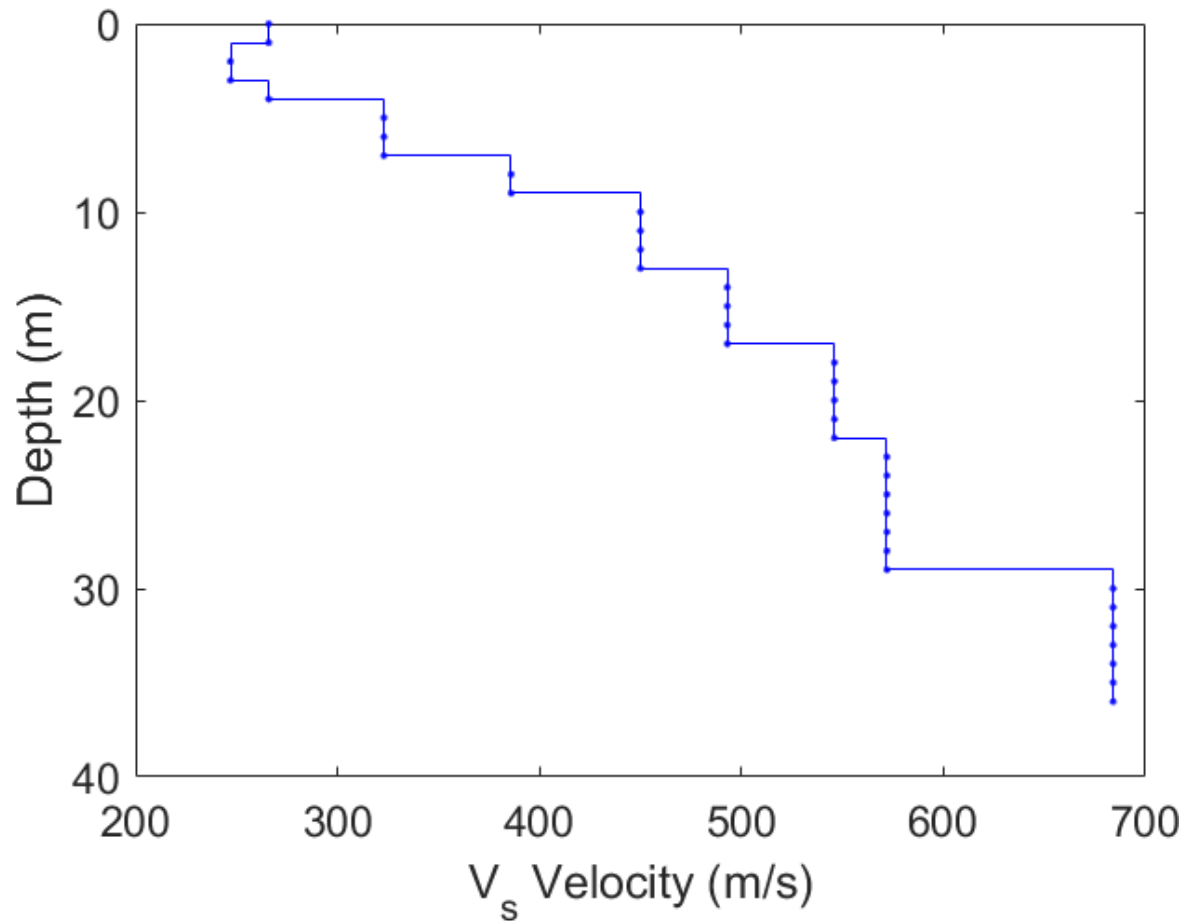
[https://www.centromicrozonazioneismica.it/documents/33/Protocolli di acquisizione ed elaborazione dati di MS di livello 3 in Italia Centrale.pdf](https://www.centromicrozonazioneismica.it/documents/33/Protocolli%20di%20acquisizione%20ed%20elaborazione%20dati%20di%20MS%20di%20livello%203%20in%20Italia%20Centrale.pdf)

[https://www.centromicrozonazioneismica.it/documents/32/Libro MS linee guida.pdf](https://www.centromicrozonazioneismica.it/documents/32/Libro%20MS%20linee%20guida.pdf) - Linee guida per le buone pratiche dell'analisi delle onde superficiali

# Dal/AI WEBMS: aggiornamento e revisione di dati e risultati

Sul WEBMS è possibile effettuare sulla base dell’analisi della qualità dei risultati delle indagini geofisiche , profili profondità-Vs, e della geostatistica una riorganizzazione, riqualificazione e reindicizzazione del risultato originario.

14897 profili Vs-Z (Da 23,512 originali: 15,936 profili Z > 30 m – 1039 Vs outliers)	
Type of Method	Count
DH	1091
CH	12
MASW	9457
REMI	3160
SASW	23
SR	190
ESAC-SPAC	753
FTAN	211



id_s	x(UTM33N)	y(UTM33N)	Typeof survey	depth(m)	Vs(m/s)	id_clusterSM
001011L2	-114532	4995078	MASW	1	266	266196
001011L2	-114532	4995078	MASW	2	247	266196
001011L2	-114532	4995078	MASW	3	247	266196
001011L2	-114532	4995078	MASW	4	266	266196

Mori, F., Mendicelli, A., Moscatelli, M., & Varone, C. (2024). Shear wave velocity profiles from Italian Seismic Microzonation project [Data set]. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.11263471>

Mori F., Naso G., Mendicelli A., Ciotoli G., Varone C., Moscatelli M , (2025). Characterizing uncertainty and variability in shear wave velocity profiles from the Italian seismic microzonation studies, **Engineering Geology**, <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2025.107997>



# Dal/AI WEBMS: integrazione validata di nuovi risultati

Dai dati/risultati e informazioni geofisiche del WEBMS è possibile produrre nuove informazioni e dati derivati utili alla MS.

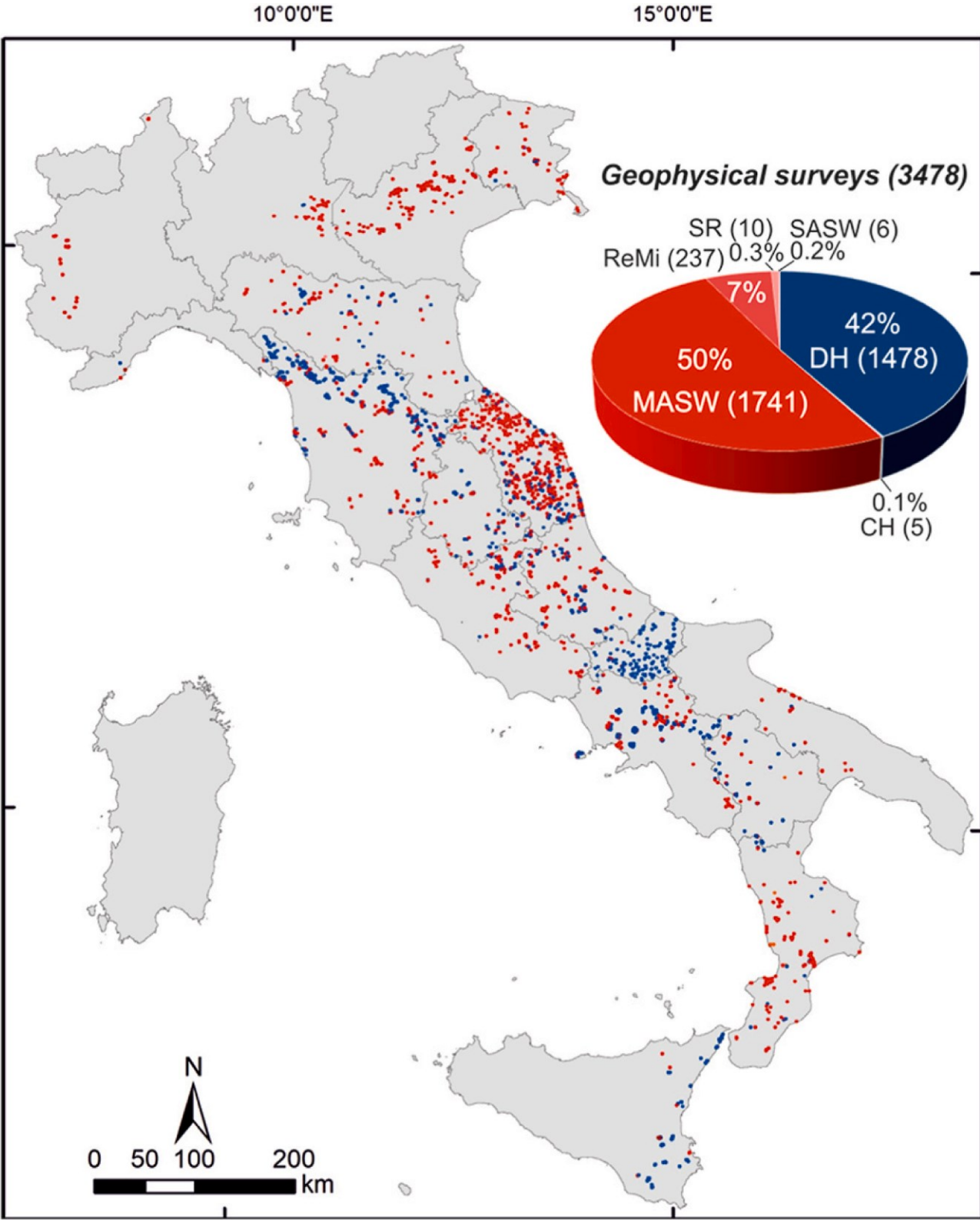
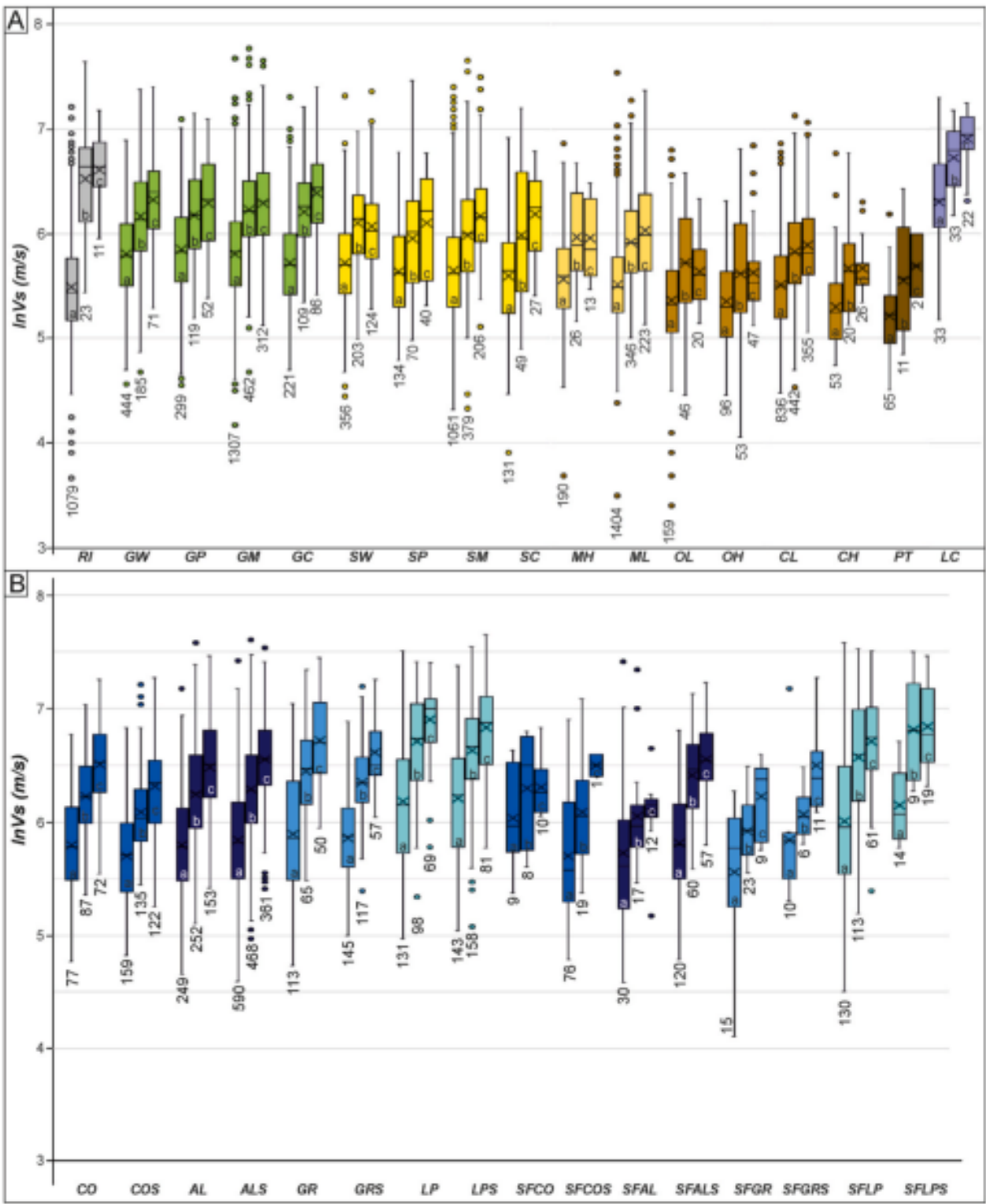
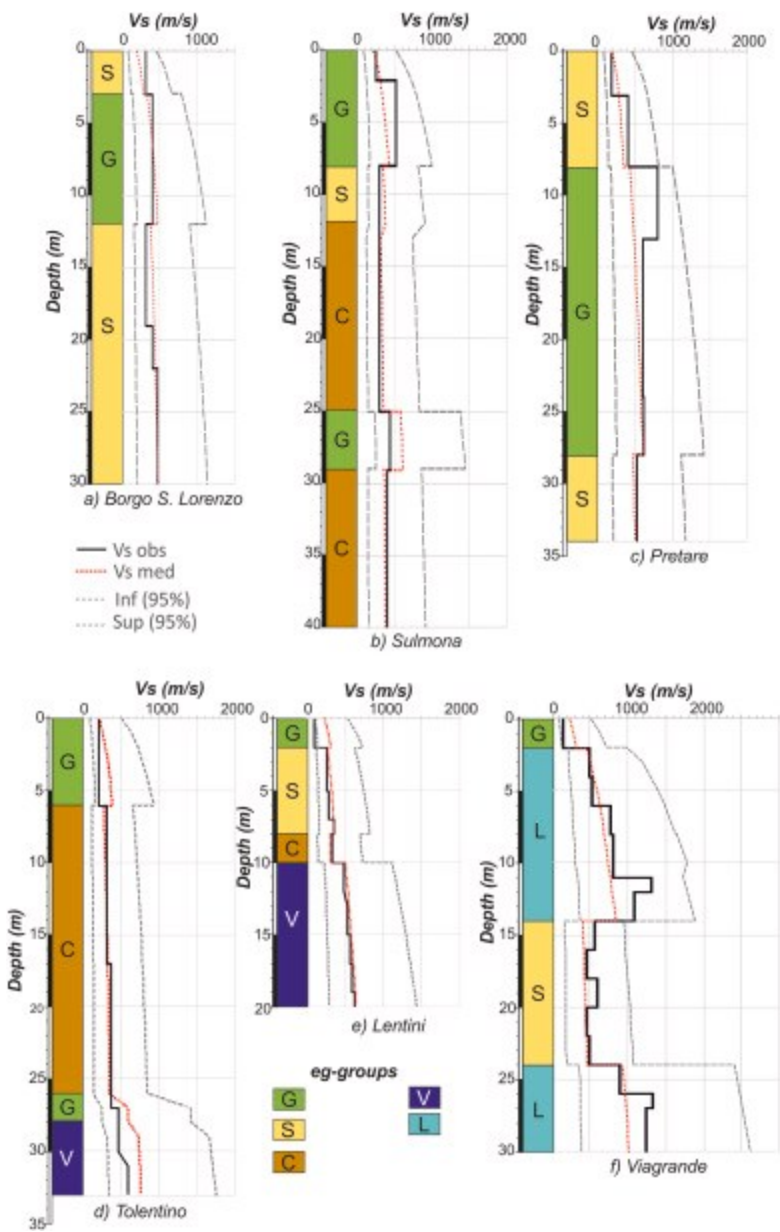


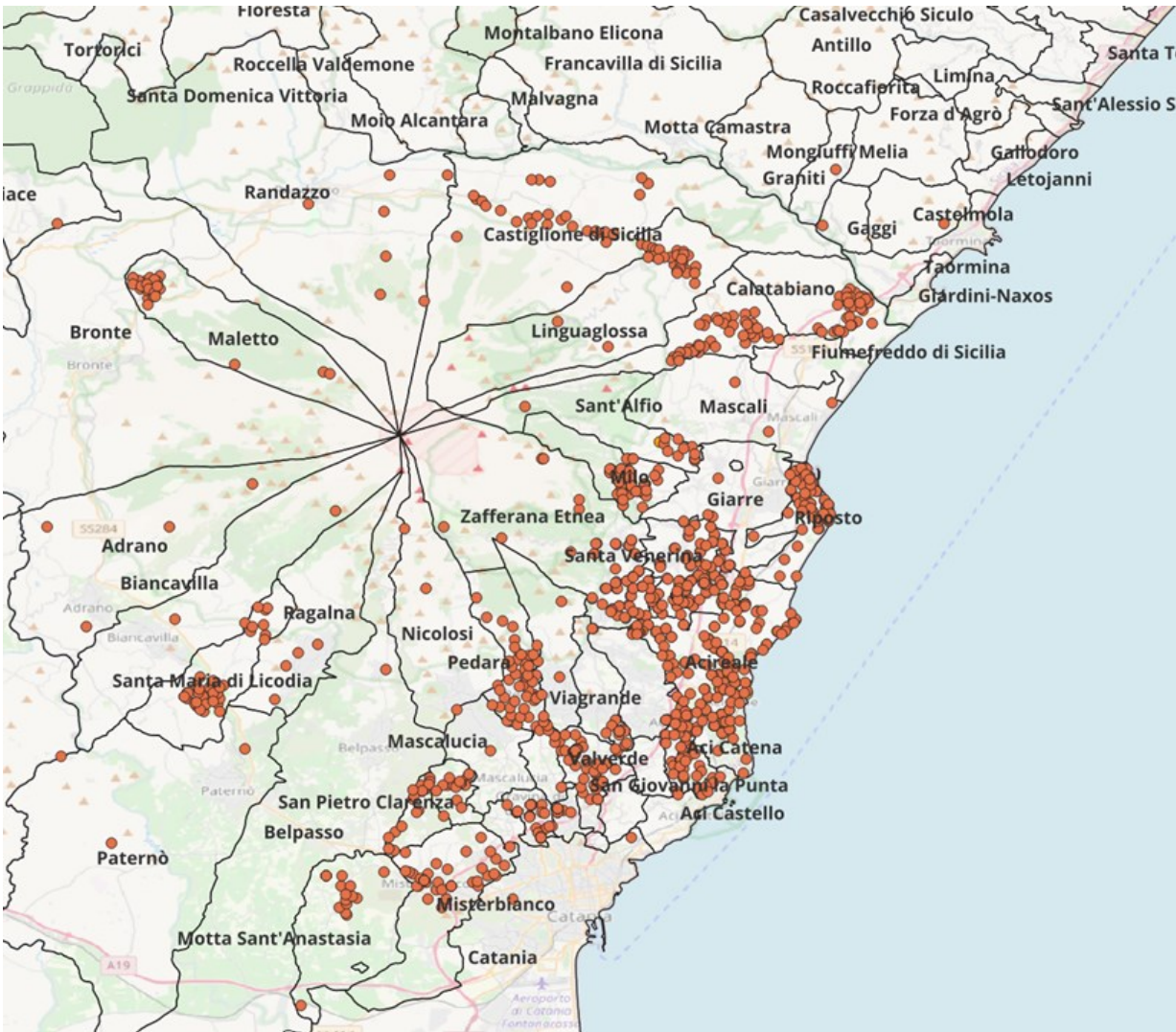
Fig. 8. Vertical profiles of the shear wave velocity measured (Vs obs) at six sites representative of different geological settings, compared with the average velocities (Vs med) and the 95% confidence intervals (inf and sup 95%) calculated though the regression coefficients of each eg-group

orchia, A. Catalano S., Albarello D., Moscatelli M., (2022). Constraints for the Vs profiles from engineering-geological qualitative characterization of shallow subsoil in seismic microzonation studies, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2022.107347>.



## Dal/AI WEBMS: integrazione validata di dati (in formato digitale)

Il WEBMS può essere «integrato» con il recupero dei dati di campo degli studi MS pregressi e con i nuovi dati, ri/elaborazioni e inversioni



Research Unit	Number of measure	Type of measurements	Instruments
CNR IGAG	78	Single station measurements	SARA SL06 (6 channels and 24-bit) + SARA SS02 Velocity Sensor
CNR ISPC	157	Single station measurements	EchoTromo HVSR 3
GFZ	75	Single station measurements – TOMO ETNA (Ibanez, Jesus M.; Lühr, Birger ; Dahm, Torsten (2014): TOMO-ETNA. GFZ Data Services. Other/Seismic Network. <a href="https://doi.org/10.14470/6G7569676919">doi:10.14470/6G7569676919</a> ; <a href="https://geofon.gfz-potsdam.de/waveform/archive/network.php?ncode=1T&amp;year=2014">https://geofon.gfz-potsdam.de/waveform/archive/network.php?ncode=1T&amp;year=2014</a>	broadband-short-period
INGV	3 sites	Temporary Arrays	Seismic Nodes
ISPRA	98	Single station measurements	Tromino
OGS	30	Temporary stations	Reftek
UNICT	211	Single station measurements	Tromino
DPC Sicily Region (MS study Data)	307	Single station measurements	Tromino
UNICT – literature data (Panzera et al)	100	Single station measurements	Tromino

## La geofisica negli studi di Microzonazione Sismica: il futuro del WEBMS

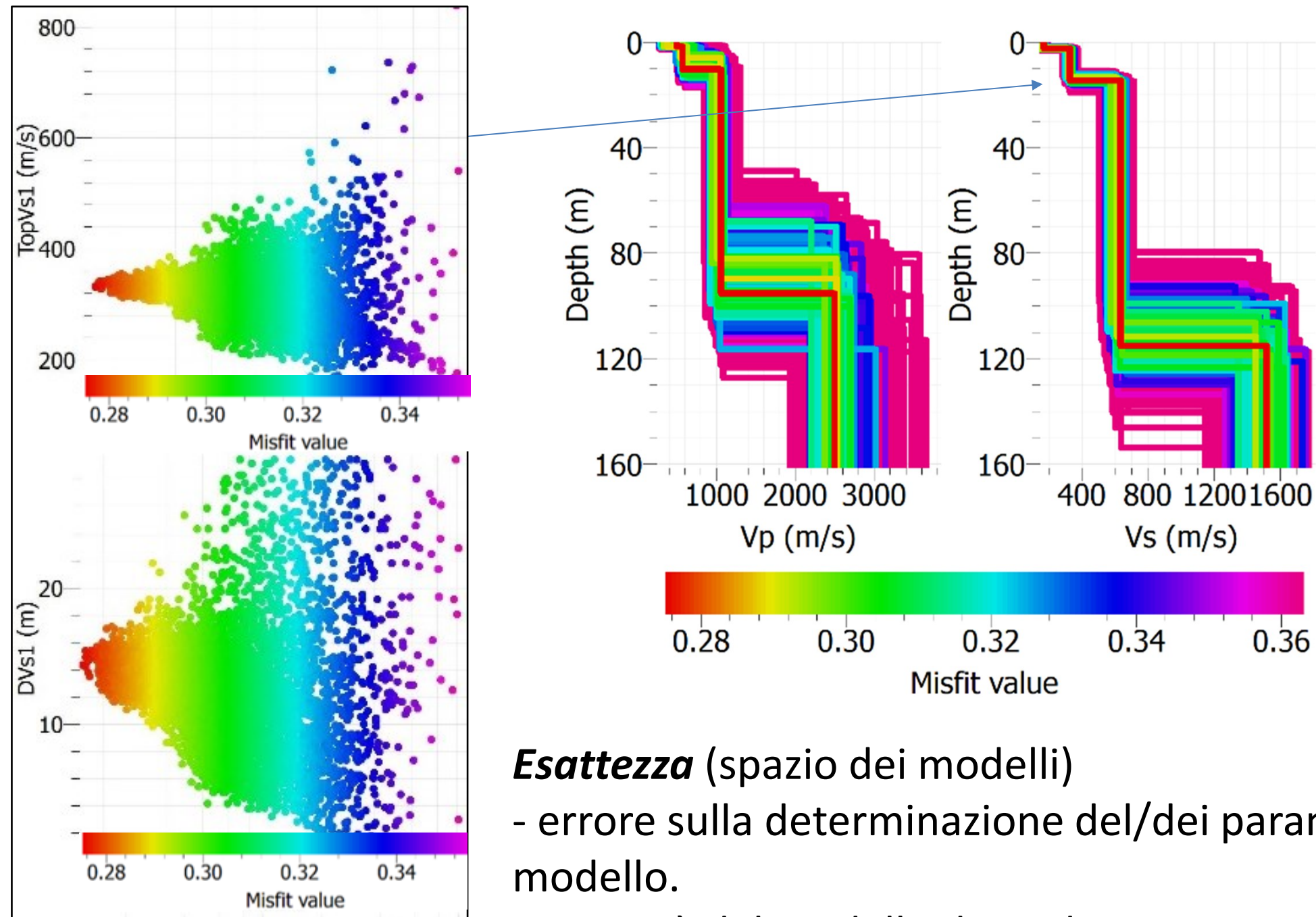
**Da archivio a infrastruttura:** WEBMS evolve da archivio di studi MS validati a piattaforma operativa per riuso scientifico, professionale e decisionale

- **Ciclo continuo del dato/modello:**  
Monitora → Analizza → Ottimizza → Aggiorna → Rilascia → Ricomincia
- **Conoscenza geofisica validata e riutilizzabile:** reinserimento controllato di elaborazioni, integrazioni e risultati di ricerca (e studi professionali) come dati derivati certificati (un «benchmark» riconosciuto)
- **Dati + metodo:** non solo dati, ma anche **processi di acquisizione, elaborazione, interpretazione e validazione**, a garanzia di qualità e replicabilità (Linee Guida, Cloud processing in cloud computing, AI [ML e DL])



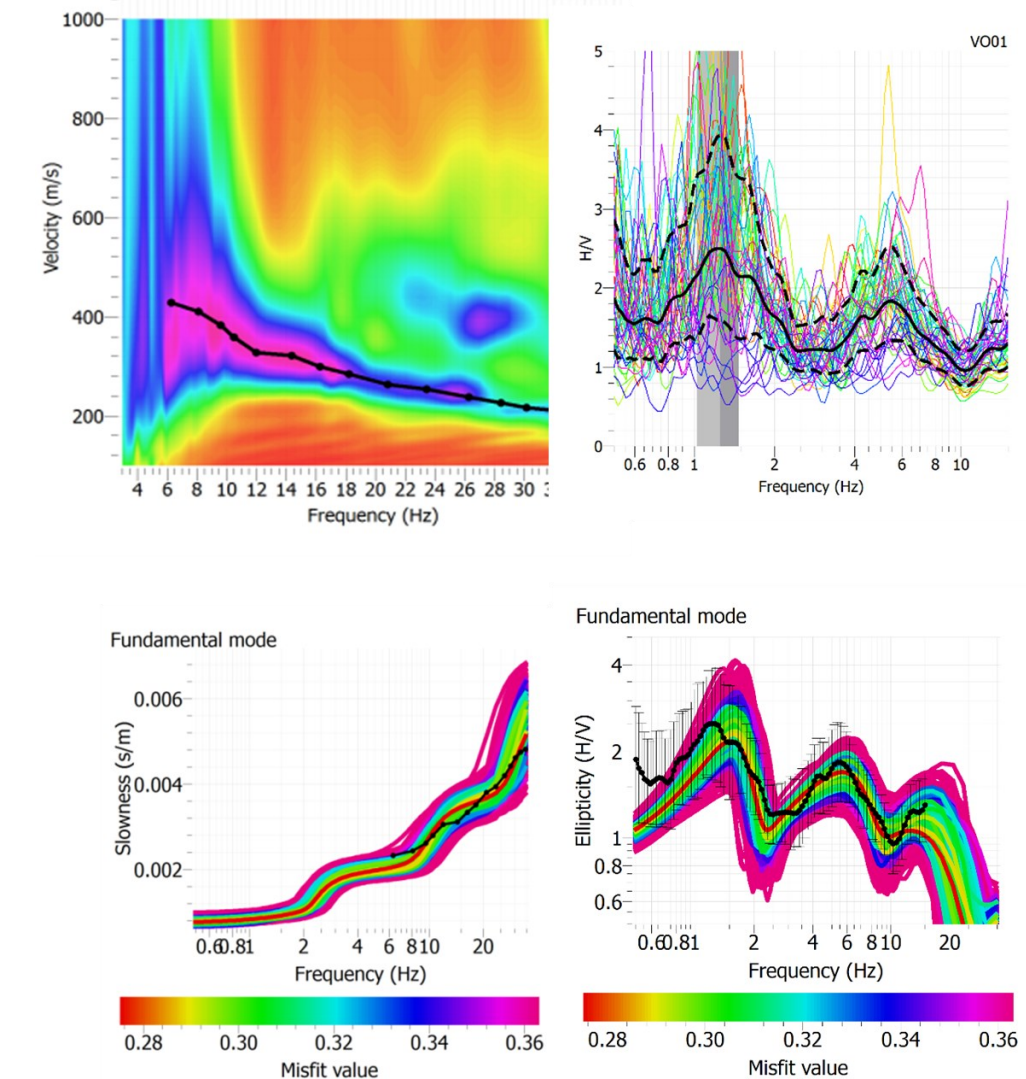
# Accuratezza del dato e del modello geofisico: un'informazione da non perdere

**L'accuratezza del modello geofisico** (insieme di parametri geometrici e geofisici) ottenuto attraverso un processo di inversione/interpretazione geofisica di dati acquisiti in campo con una tecnica geofisica è l'unione di esattezza e precisione.



**Esattezza** (spazio dei modelli)

- errore sulla determinazione del/dei parametri di modello.
- capacità del modello di predire i parametri con un errore minimo (rispetto al modello «reale»)



**Precisione** (spazio delle misure)

- errore di fit del dato osservazionale.
- capacità del modello di predire il dato osservato in campo



## Variabilità e Incertezza dell'informazione/modello geologico-fisico

Il modello geofisico «integrato» con informazioni geologiche e geotecniche, *il modello geologico-fisico*, costituisce l'input di una procedura di calcolo del FA/Risposta sismica

L'incertezza o la variabilità del modello geologico-fisico, nella MS e nel calcolo della risposta sismica locale è intesa:

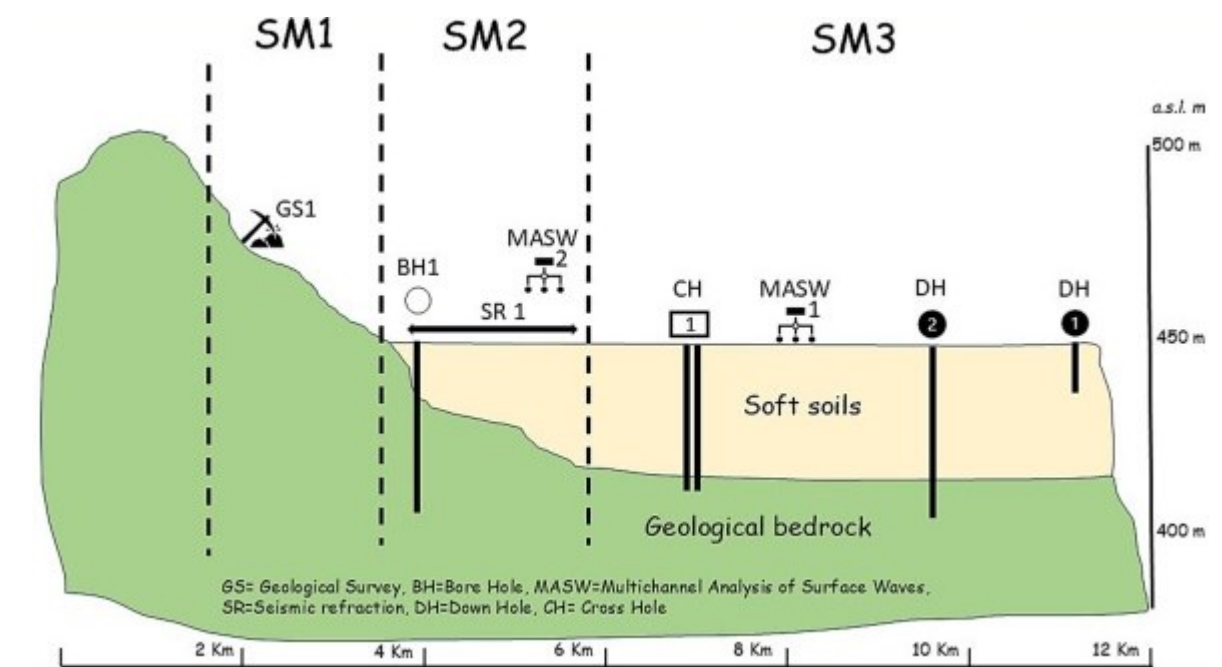
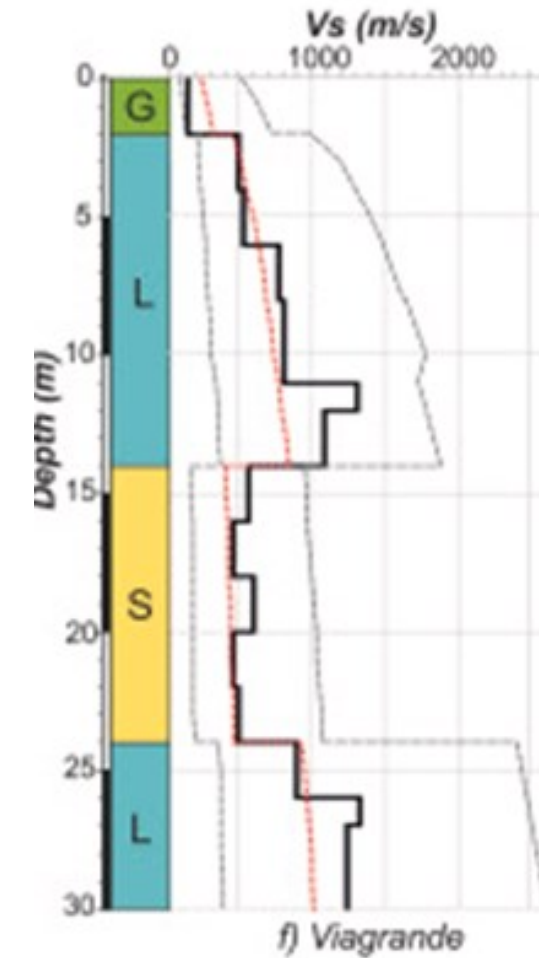
**-la variabilità statistica** dell'insieme dei modelli (parametri geofisici, geotecnici e geologici) che rappresentano le colonne sismo-stratigrafiche associabili ad una colonna geo-stratigrafica caratteristica della MOPS (Zona Omogenea in Prospettiva Sismica). Assumendo un distribuzione log-normale dei parametri possiamo assegnarli il valore

$$\sigma_{\ln V_s} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\ln(V_{si}) - \mu_{\ln V_s})^2}$$

Tale deviazione standard è la somma di almeno tre componenti:

$$\sigma_{total} = \sqrt{\sigma_{spatial}^2 + \sigma_{meas}^2 + \sigma_{model}^2}$$

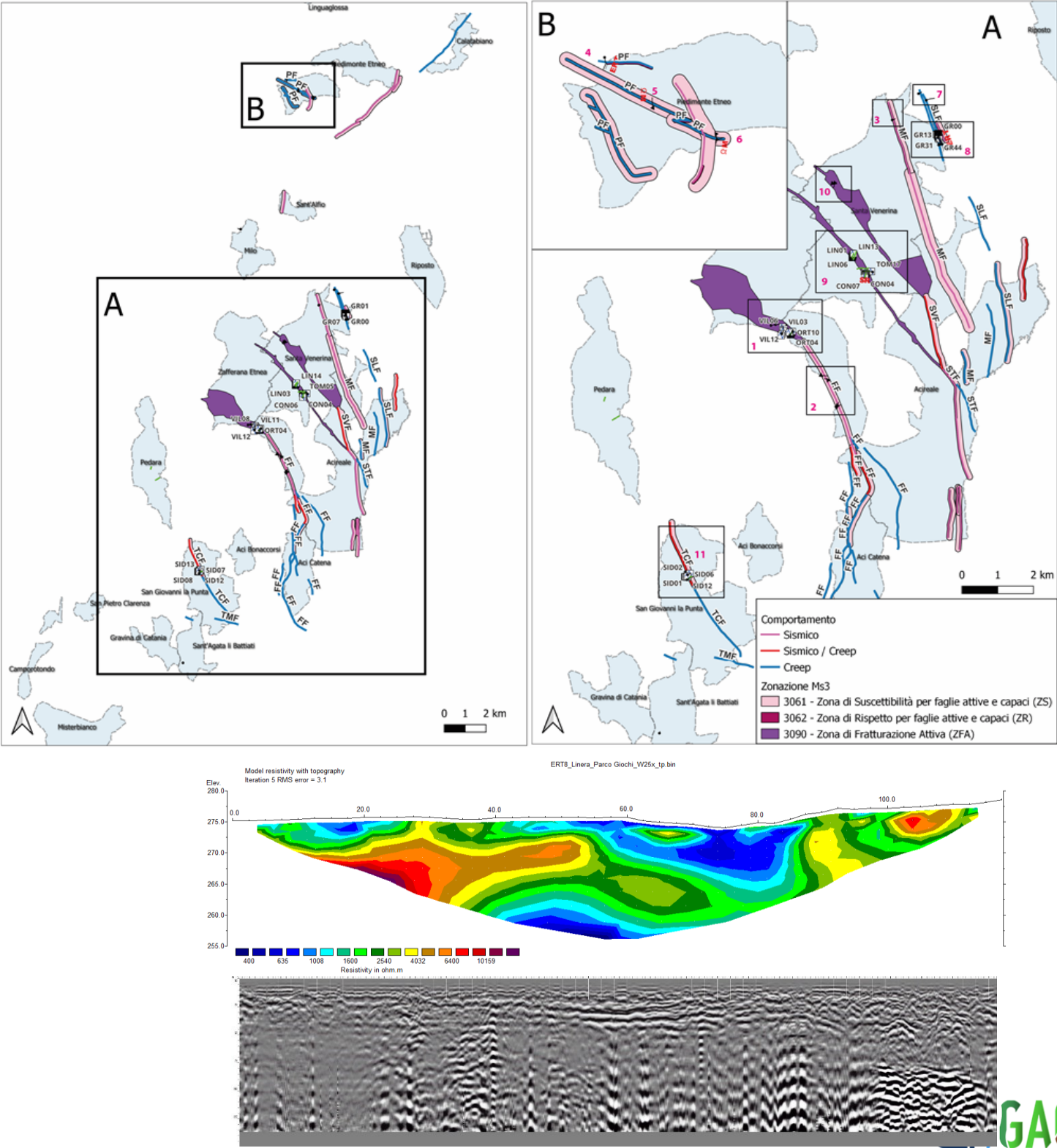
La spaziale legata alla variabilità stratigrafica laterale e verticale e le altre due rispettivamente alla tecnica geofisica e alle ipotesi utilizzate nell'inversione



# Il supporto geofisico alla MS di aree complesse: esempio MS-FAC ETNA

Le aree vulcaniche pongono una sfida alla MS che richiedono nuovi approcci operativi geofisici e definizione nuove linee guida

FAC Type	Geophysical Evidence
$FAC_E$ Exposed	<i>The main fault plane is recognizable from the surface to the maximum investigation depth. The feature is generally identified by high-gradient lateral variations or discontinuities displacing both shallow and deep layers. The surface expression of the feature is highly correlate with surface morphology.</i>
$FAC_{E\_S}$ Buried	<i>Evidence of a shallow cover layer (e.g., recent volcanics), with thickness by metric-to-decametric, superimposed on one or more layers showing a lateral variation of the geophysical attribute associated with the main fault plane. The upward projection to the surface can generally be correlated with morphological flexing.</i>
ZFA Active Fracturing	<i>Zones with lateral variations of the geophysical attribute not attributable to a single lineament, but to the presence of a fracture field and/or transfer zone (lower seismic velocities values, resistivity anomalies depending on saturation, anomalous reflectivity and signal scattering). The surface boundaries of the fracture zone identified at depth may not be correlated with morphological variations, but rather with phenomena of surface coseismic fracturing.</i>
$FAC_{E\_C}$ Aseismic Creep	<i>Evidence of a zone of deformed layers with relative lateral continuity, but with, metric-to-decametric, variation of geophysical attributes. Potential identification of sliding surfaces at depth. The boundaries of the deformation zone identified at depth may be correlated with morphological variations, together with surface fracturing phenomena and coseismic, as well as post-seismic deformation.</i>

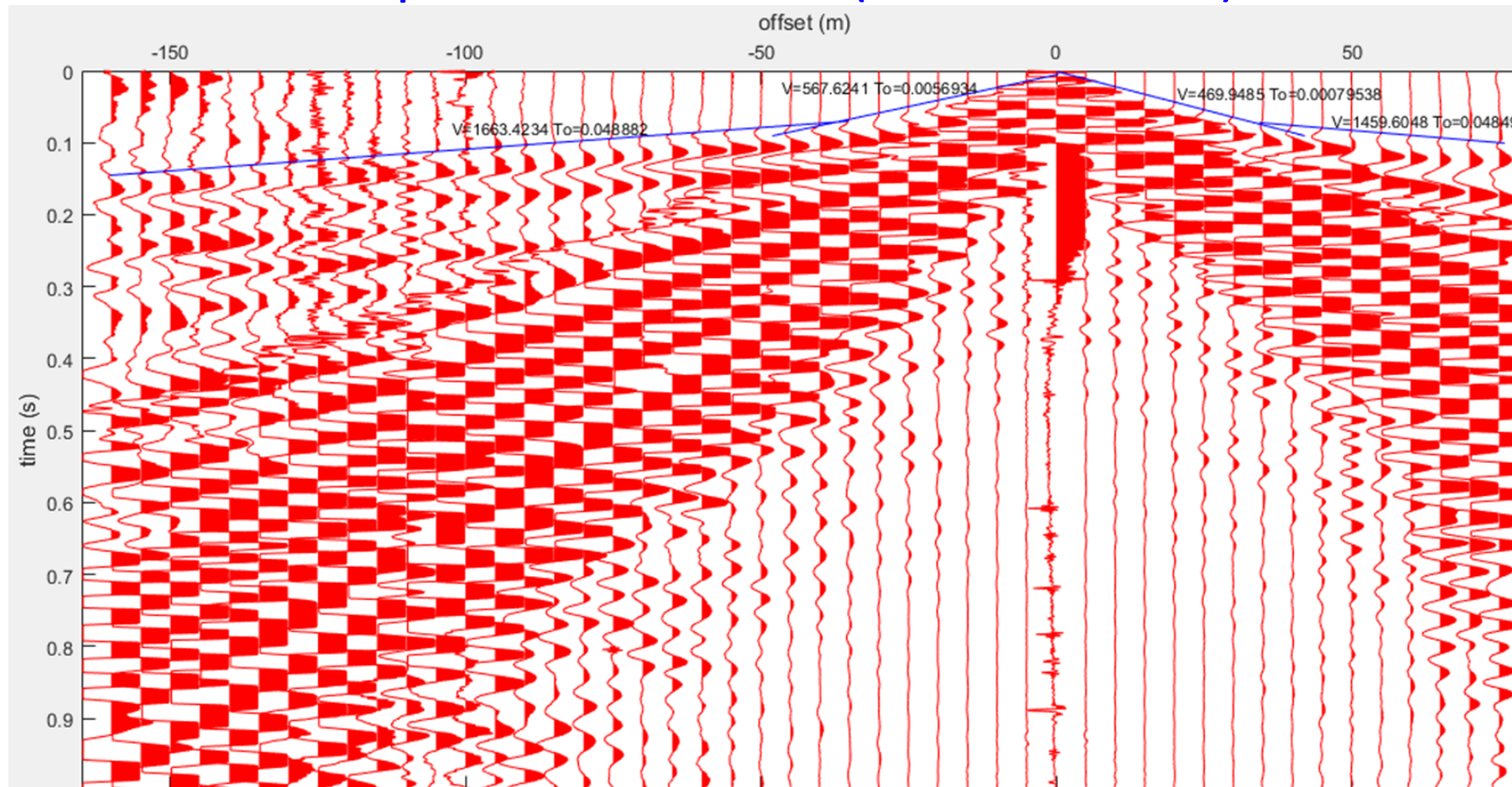




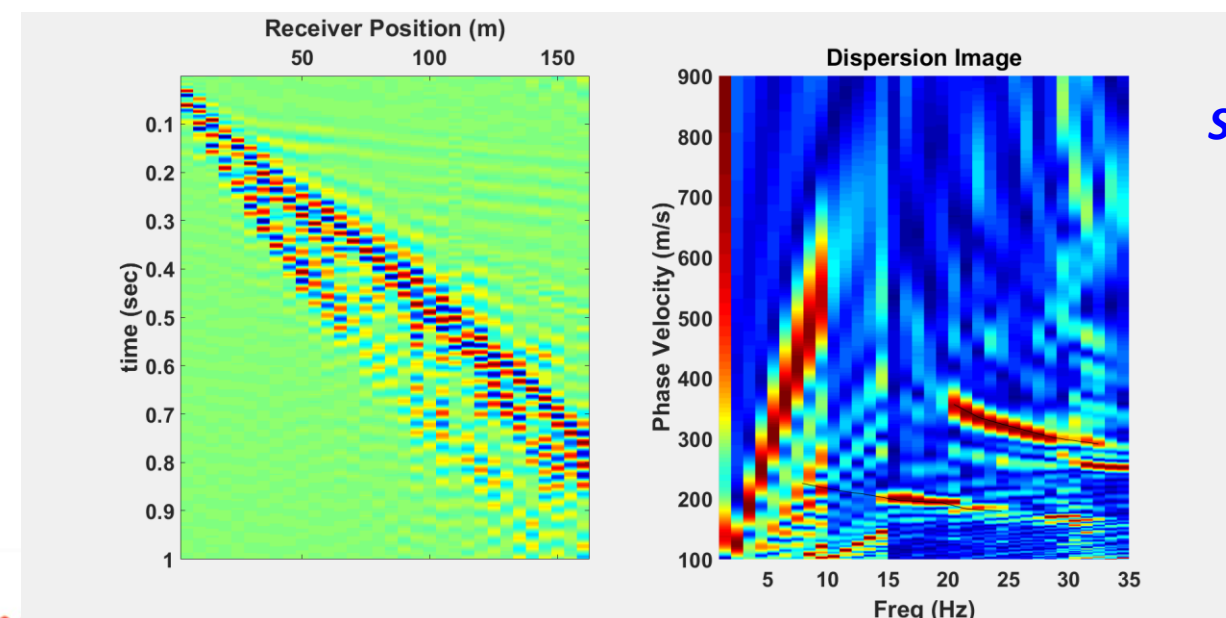
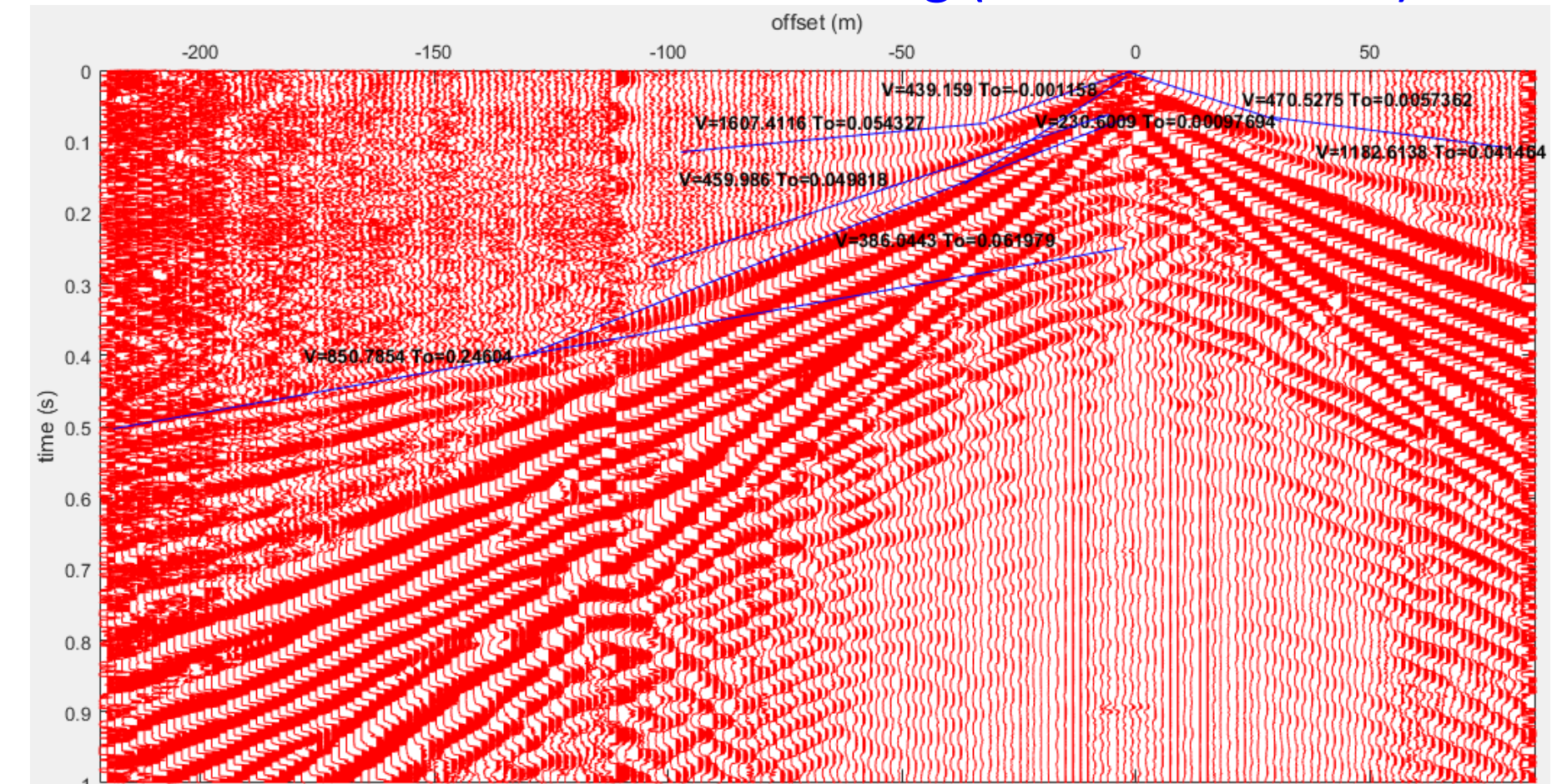
# Uso e standardizzazione nuove tecnologie e metodi geofisici per la MS: DAS

## Caso Studio Stradella

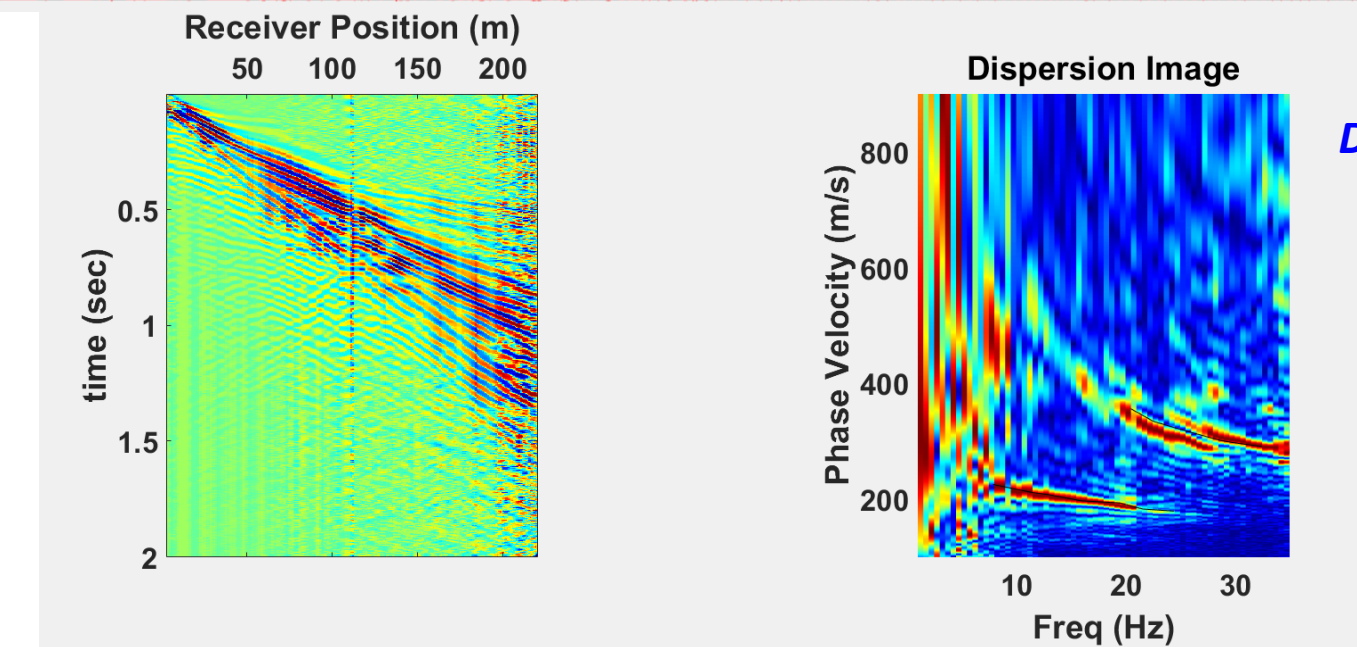
### Acquisizione Sismica (Vel Sens. Vert)



### Distributed Acoustic Sensing (Oriz. Strain Rate)



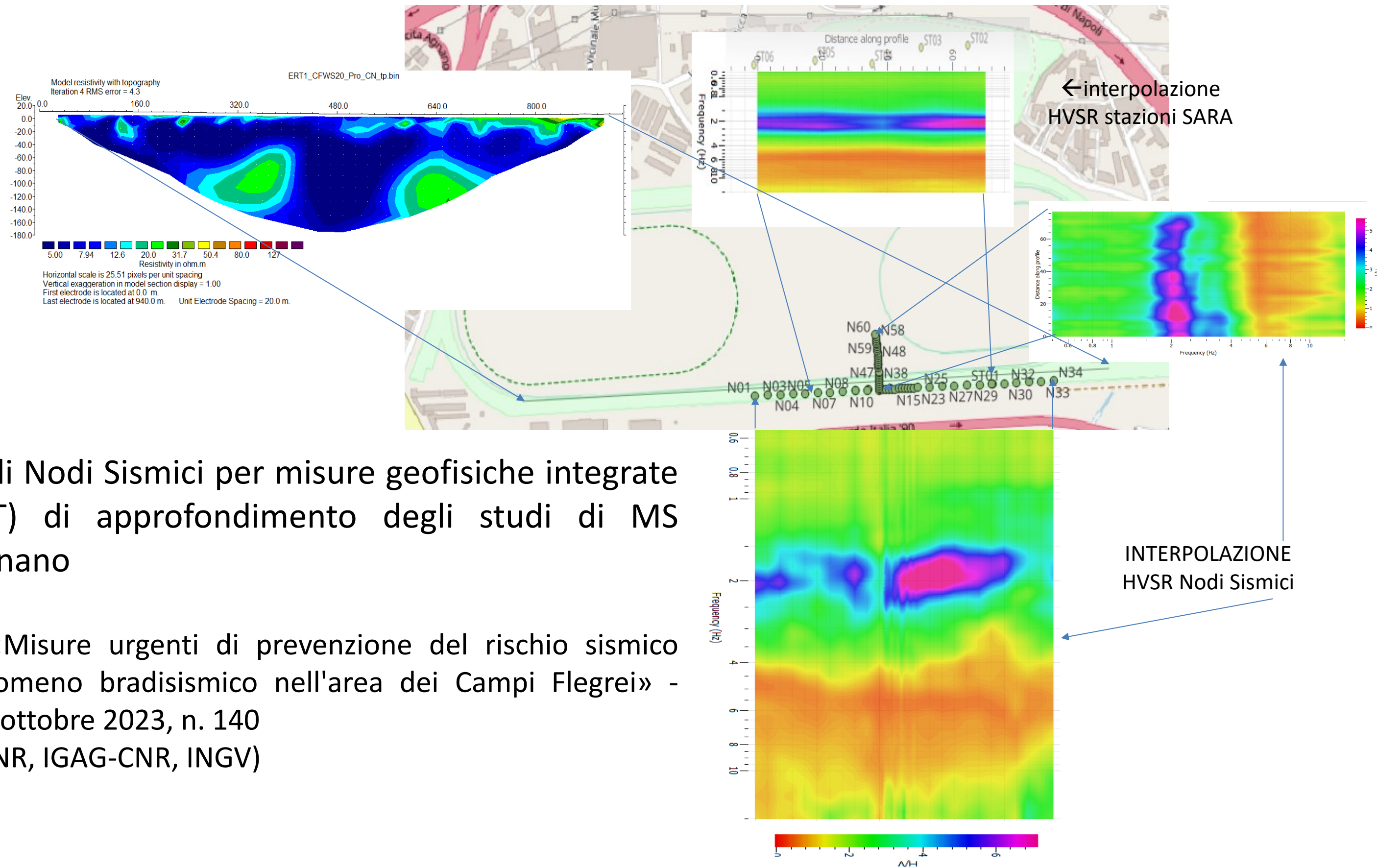
**Sismica**



**DAS**



# Uso e standardizzazione nuove tecnologie e metodi geofisici per la MS: Nodi sismici



Uso di Arrays di Nodi Sismici per misure geofisiche integrate (sismiche, ERT) di approfondimento degli studi di MS nell'area di Agnano

(nell'ambito di «Misure urgenti di prevenzione del rischio sismico connesso al fenomeno bradisismico nell'area dei Campi Flegrei» - decreto-legge 12 ottobre 2023, n. 140  
CREDITI: IMAA-CNR, IGAG-CNR, INGV)

## La geofisica negli studi di Microzonazione Sismica

### ***Dalla ricerca alla pratica: spunti per nuovi indirizzi e standard della MS***

Il contributo della geofisica va reso più omogeneo, utilizzabile, tracciabile e confrontabile:

- **Standard minimi** di acquisizione, elaborazione e inversione dei dati e per **deposito di metadati, dati e prodotti** (per garantire ulteriore qualità dei dati e del prodotto e il loro riuso)
- **Chiara Differenziazione** degli approcci geofisici e tipi di indagine secondo livelli di approfondimento e di tematica specifica di MS (Effetti di Amplificazione stratigrafica e topografica, effetti instabilità, Liquefazione, FAC, CLE).

**La MS di contesto territoriale (e la CLE)** richiede indagini geofisiche dedicate e un cambio di scala nelle pratiche operative.

**WEBMS può evolvere**, mantenendo la sua peculiarità di archivio «ufficiale degli studi MS validati», da archivio a **infrastruttura dati** per la MS per riuso scientifico, aggiornamento, e supporto professionale e decisionale.

**L'accuratezza dei modelli geofisici** deve diventare parte esplicita negli studi di MS, da non confondere con l'**incertezza e la variabilità** legata all'input (modello geologico-fisico) delle procedure di calcolo della risposta sismica locale.

**Innovazione e ricalibrazione dell'approccio geofisico alla MS di aree complesse** (es. aree vulcaniche), e **sviluppo e test di nuove tecnologie per standardizzarle** all'uso professionale e renderle applicabili in modo estensivo negli studi di MS (es. Nodi sismici, DAS, Geofisica con Droni).



# Thank you for your attention

Roberto de Franco

[roberto.defranco@cnr.it](mailto:roberto.defranco@cnr.it)

<sup>th</sup>  
**44<sup>th</sup> GNGTS National Conference**  
**Udine, 10-13 February 2026**

