

# Progetto SPIN

Test delle buone pratiche per lo **Studio** della **Potenziale Interazione**  
tra attività offshore e pericolosità naturali

## CARATTERIZZAZIONE DI FAGLIE POTENZIALMENTE SISMOGENICHE e SCENARI DI SCUOTIMENTO SISMICO



ISTITUTO NAZIONALE  
DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

Irene Molinari e Lorenzo Lipparini



3-4 maggio 2023 - Accademia delle scienze detta dei XL - Roma

# PERSONALE INGV COINVOLTO



Responsabili scientifici: Irene Molinari e Lorenzo Lipparini

**Team:** **Giovanni Diaferia** (dal 1 maggio, assegnista post-doc)  
**Sarah Carcano** (dal 1 maggio, assegnista professionalizzante)  
**Assegnista 3** (dal 1 giugno, assegnista professionalizzante)  
**Giulia Sgattoni**  
**Licia Faenza**  
**Andrea Morelli**

# OBIETTIVI

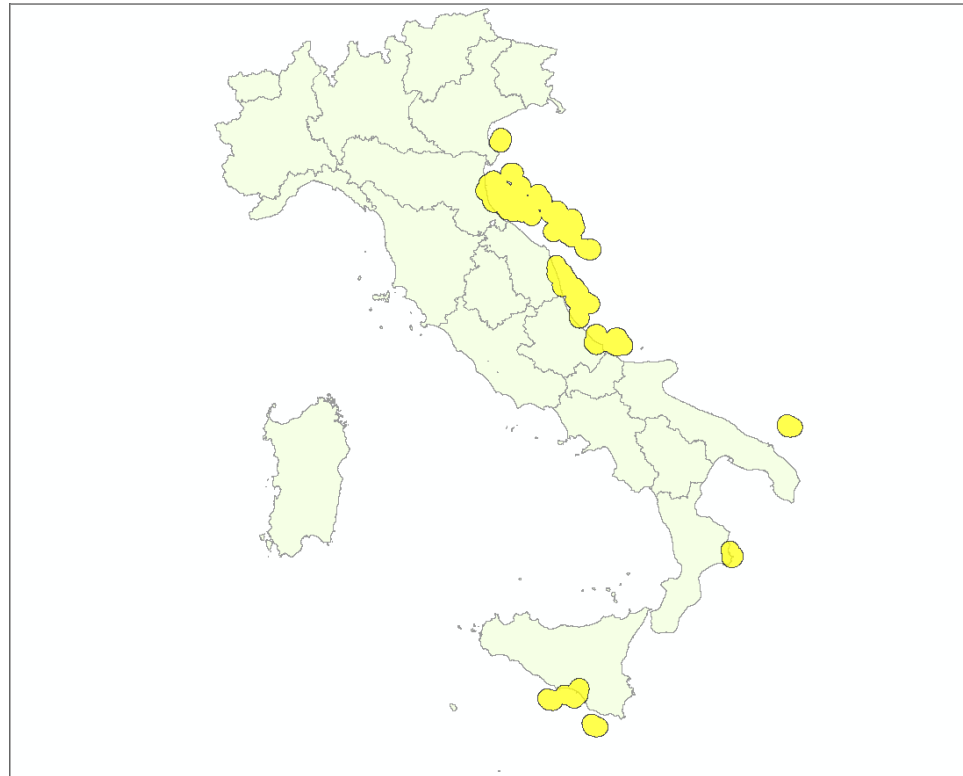
- ❑ **Estendere e testare il workflow e le metodologie sviluppate nell'ambito del progetto H&RA-Lacinia a nuove aree rappresentative dei contesti dell'off-shore italiano, introducendo allo stesso tempo elementi metodologici innovativi tramite lo sviluppo ad esempio di scenari sintetici.**
- ❑ **Delineare una metodologia che rappresenti un giusto punto di equilibrio tra la ricognizione alla scala nazionale del progetto SPOT e l'analisi di dettaglio del progetto H&RA Lacinia, tale da essere applicabile efficacemente come procedura di routine, ove necessario** *[dall'Accordo MASE-INGV 2022-2024].*

# Evoluzione dei progetti



# AREA DI STUDIO – Progetto SPOT

2016-2018  
SPOT



# AREA DI STUDIO – Progetto H&RA-Lacinia

2020-2022

H&RA-Lacinia

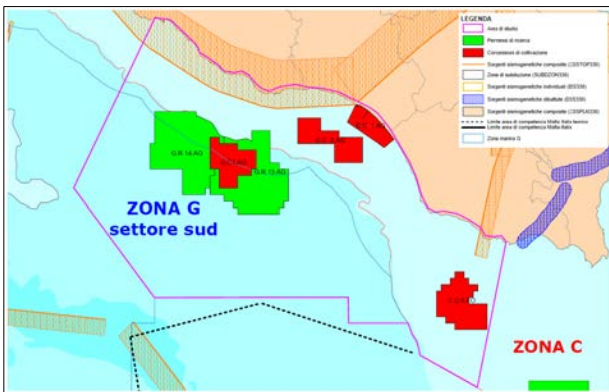
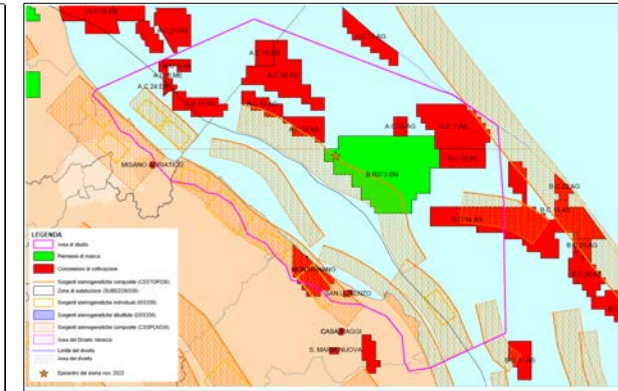


# AREA DI STUDIO – Progetto SPIN

## Indicazioni del MASE

2022-2024

SPIN

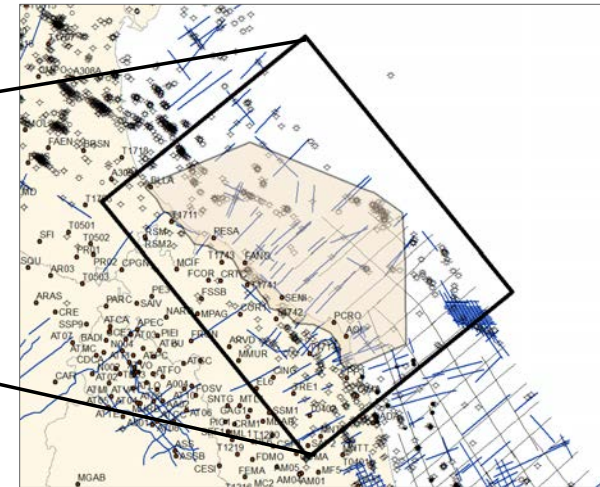
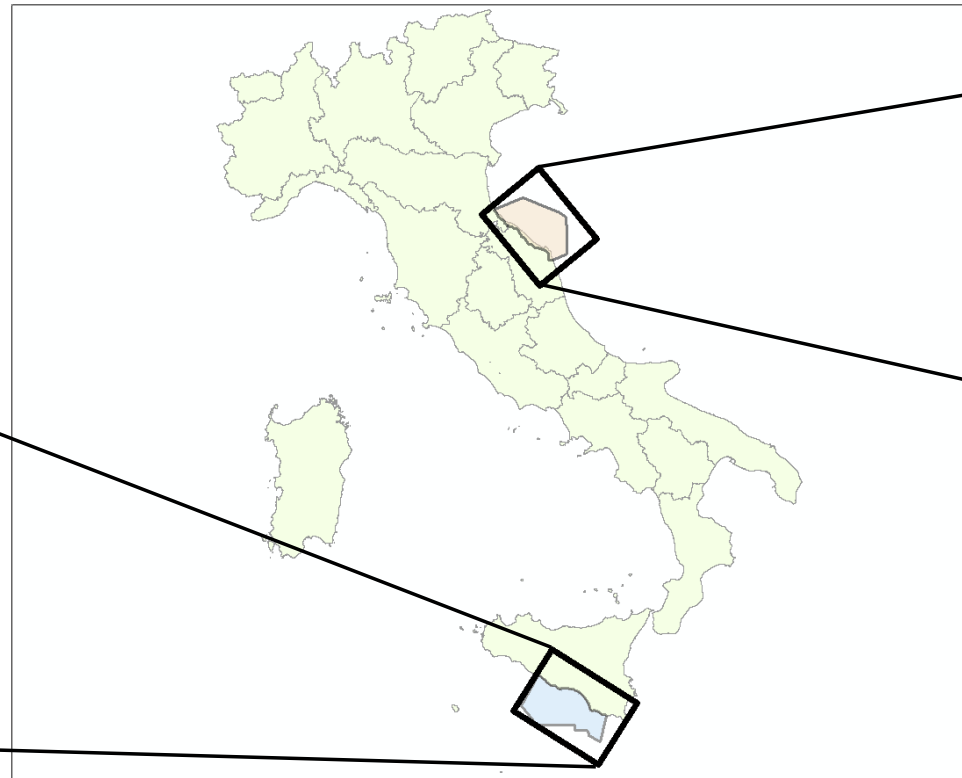
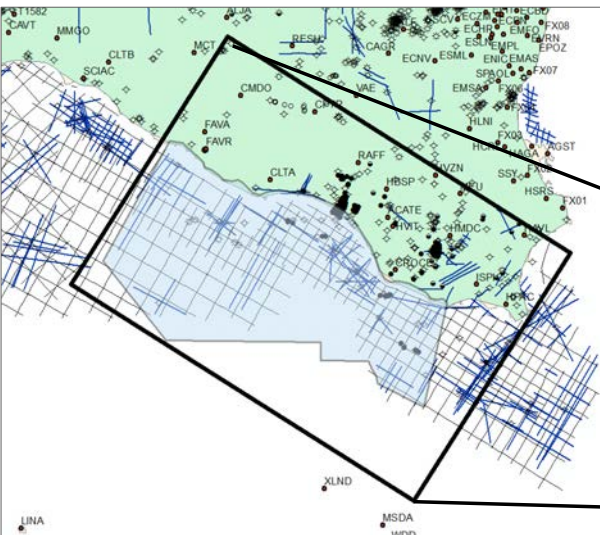


# AREA DI STUDIO – Progetto SPIN

## Proposta INGV

2022-2024

SPIN





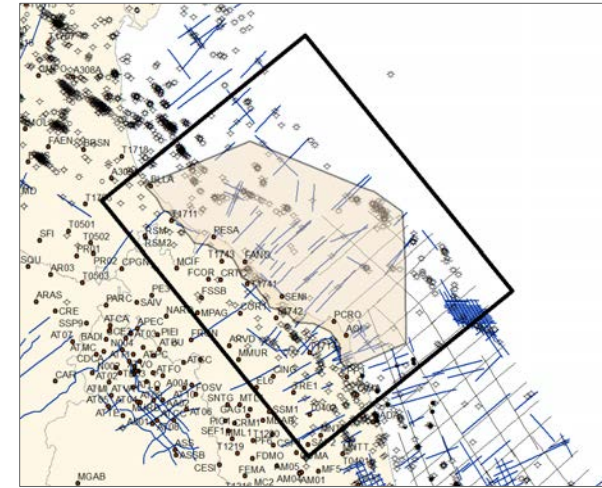
# AREA DI STUDIO – SPIN

## Criteri considerati

2022-2024

SPIN

- presenza di attività estrattiva off-shore e/o di futuri progetti di attività;
- disponibilità di dati di sismica a riflessione multicanale 2D e 3D;
- disponibilità di dati di perforazioni profonde;
- presenza di sistemi di faglie sismogeniche riconosciute da studi precedenti;
- dati e cataloghi di sismicità strumentale e storica.



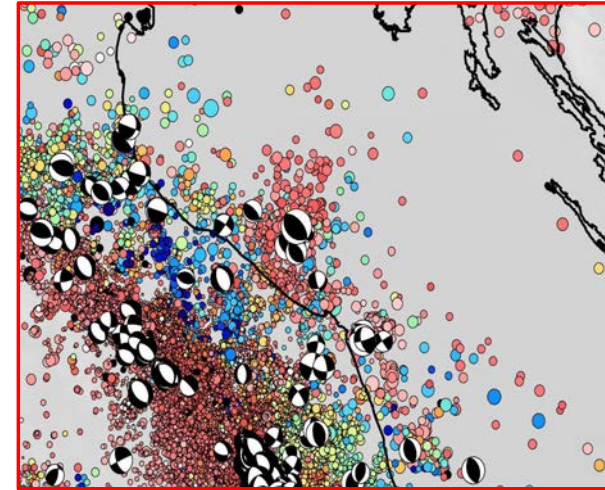
# AREA DI STUDIO – SPIN

## Criteri considerati

2022-2024

SPIN

- ❑ presenza di attività estrattiva off-shore e/o di futuri progetti di attività;
- ❑ disponibilità di dati di sismica a riflessione multicanale 2D e 3D;
- ❑ disponibilità di dati di perforazioni profonde;
- ❑ presenza di sistemi di faglie sismogeniche riconosciute da studi precedenti;
- ❑ **dati e cataloghi di sismicità strumentale e storica.**



# Progetto H&RA-Lacina

## WORKFLOW INGV

Creazione del dataset: dati geologici, geofisici e sismologici

Interpretazione geologico/geofisica e strutturale

Individuazione di faglie potenzialmente attive

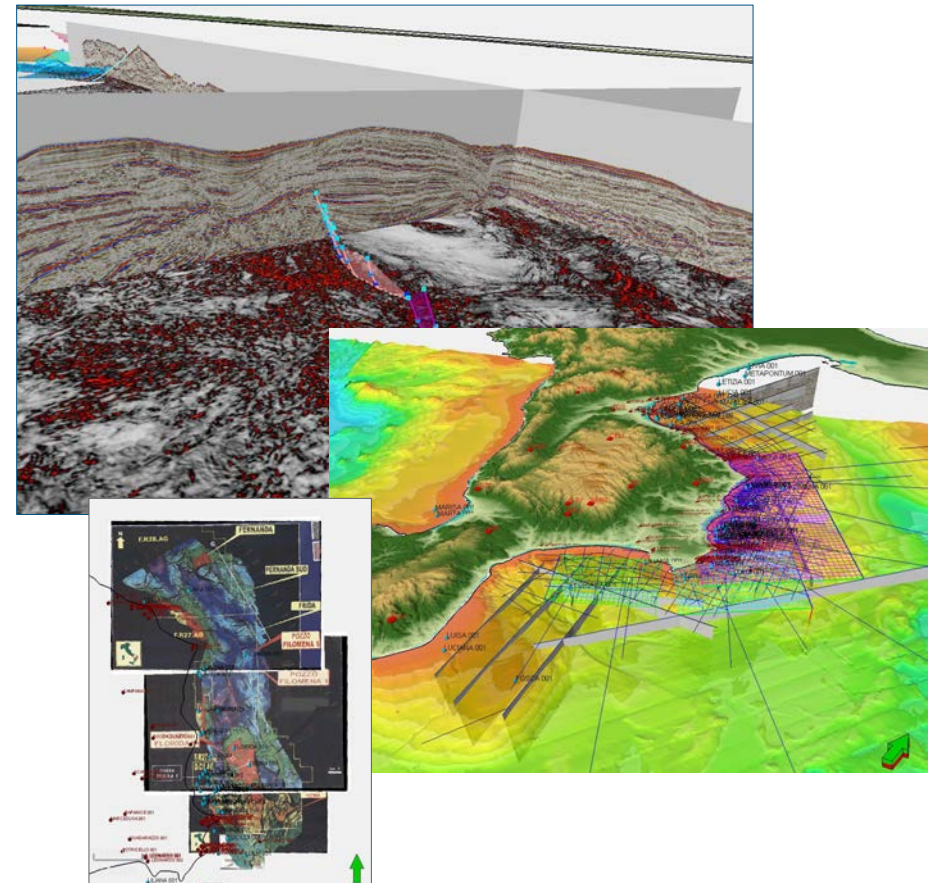
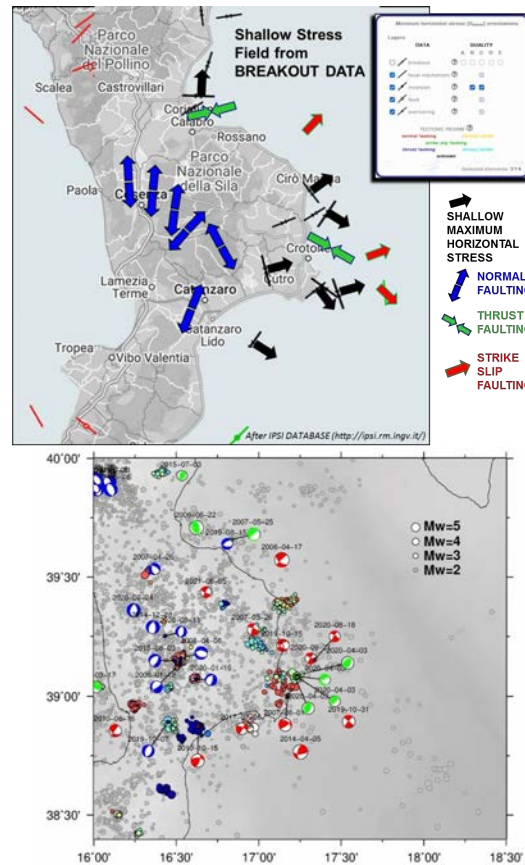
Modello geologico 3D

Simulazione di scenari di scuotimento sismico

# Progetto H&RA-Lacinia

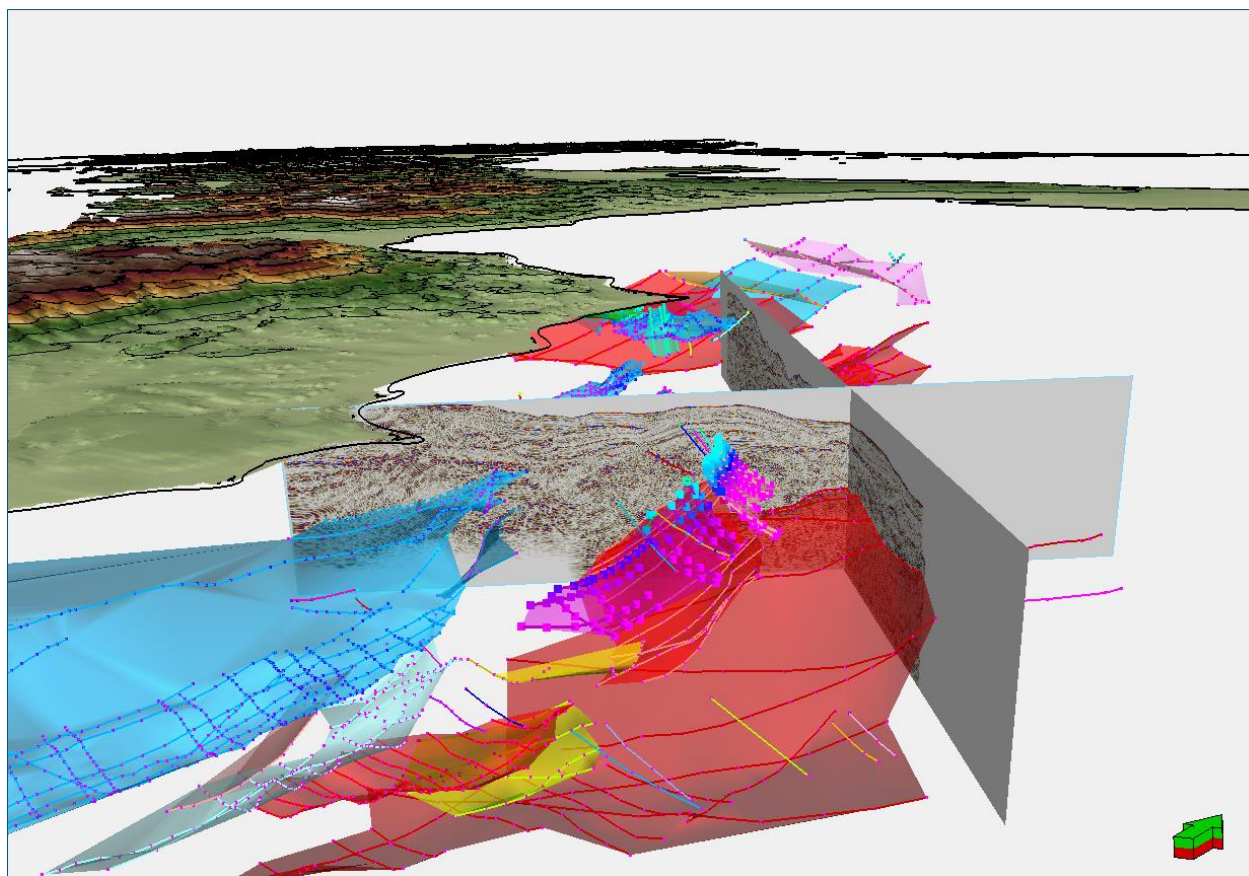
## DATASET

- ❑ Dati batimetrici, DEM
- ❑ Mappe geologiche
- ❑ Pozzi (VIDEPI e ENI)
- ❑ Sismica 2D riconoscitiva
- ❑ Sismica 2D e 3D (dataset ENI)
- ❑ Campo di stress
- ❑ Sismicità



Progetto H&RA-Lacina

# CARATTERIZZAZIONE DELLE FAGLIE POTENZIALMENTE SISMOGENICHE

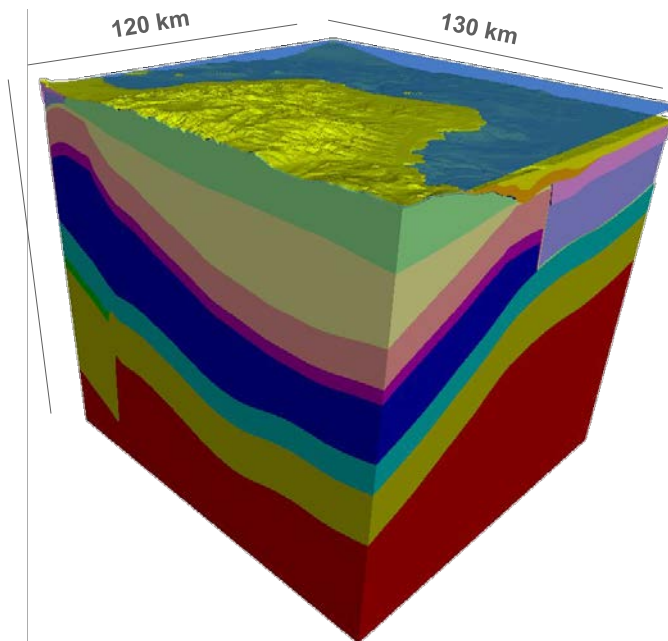


Dati sismici 3D forniti  
da Eni S.p.A.

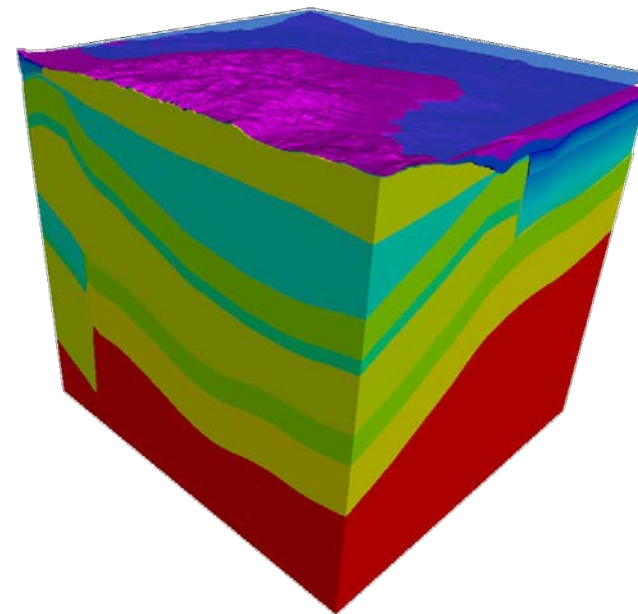


Progetto H&RA-Lacina  
**MODELLO 3D A SCALA REGIONALE**

**MODELLO GEOLOGICO**



**MODELLO DI VELOCITÀ**

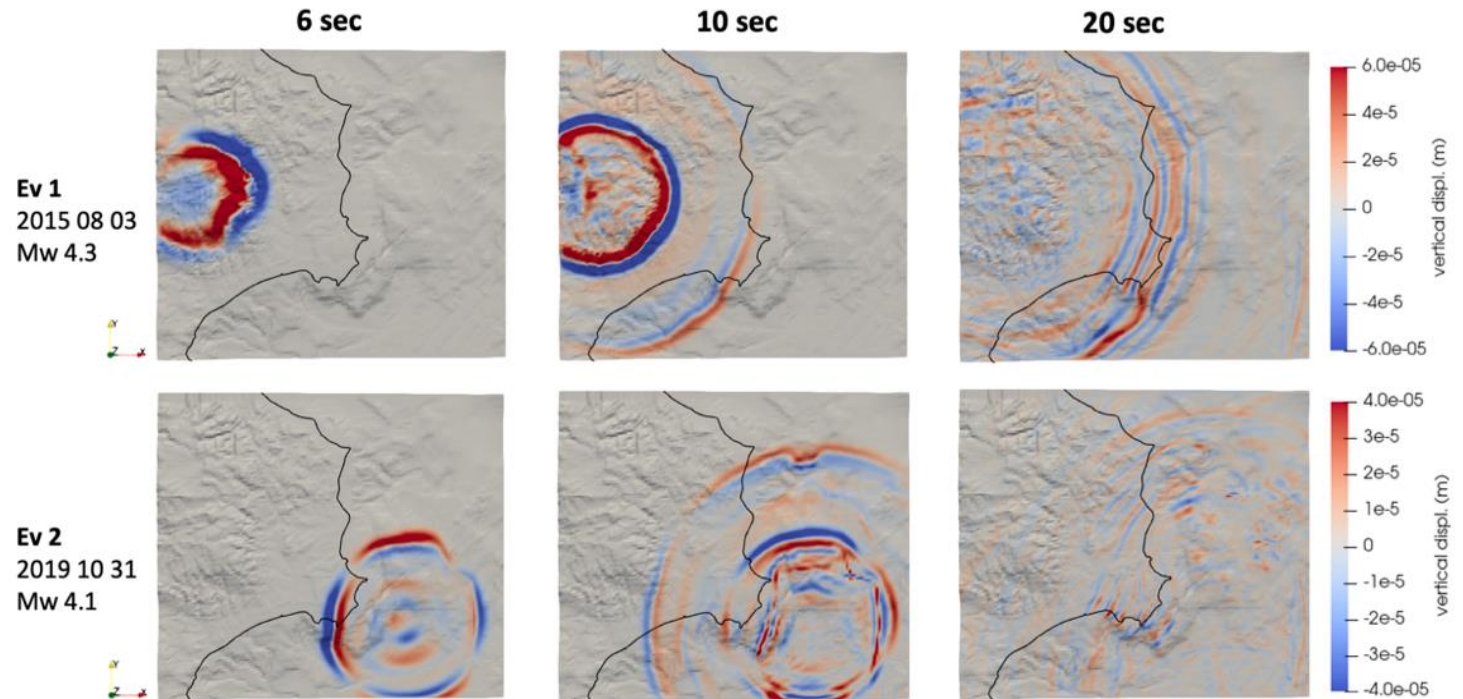


## Progetto H&RA-Lacinia

# SCENARI DI SCUOTIMENTO

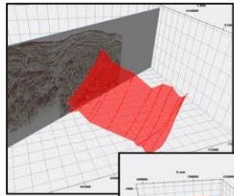
Calcolo dello scuotimento in superficie, causato dall'ipotetico scorrimento sismico di tutto il piano di faglia delle strutture individuate, applicando due metodologie:

- metodi empirici, codice ShakeMap (*Michelini et al., 2020*), Ground Motion Model adatti al sito;
- metodi numerici ibridi 3D broadband (e.g. *van Ede et al., 2020*) per simulazioni di scuotimento in modelli 3D di crosta

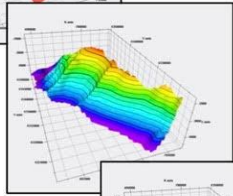


# Progetto H&RA-Lacinia

## SCENARI DI SCUOTIMENTO

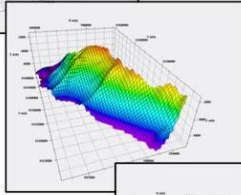


### 1. Faglia 3D interpretata dai dati di sismica attiva



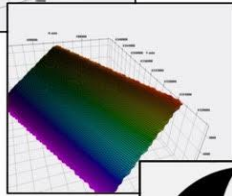
### 2. Superficie di faglia 3D

- *Contour lines*
- Nuvola di punti
- *Surface* in diversi formati



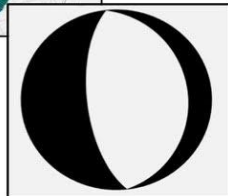
### 3. Mesh della superficie di faglia 3D

- *Patches* con strike e dip per ogni patch



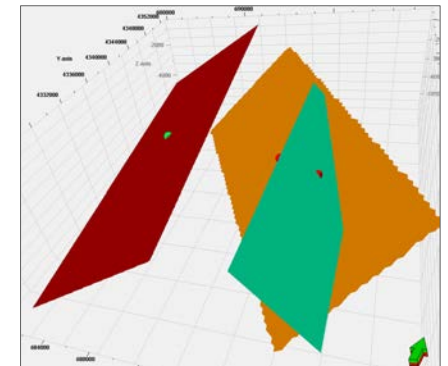
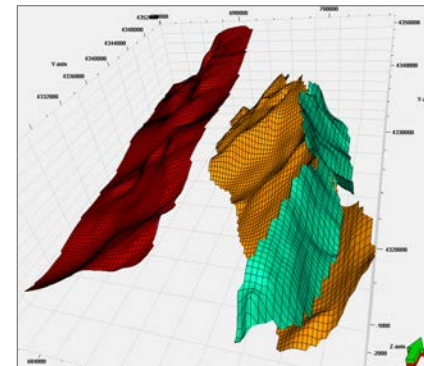
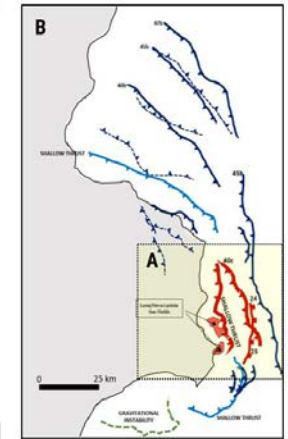
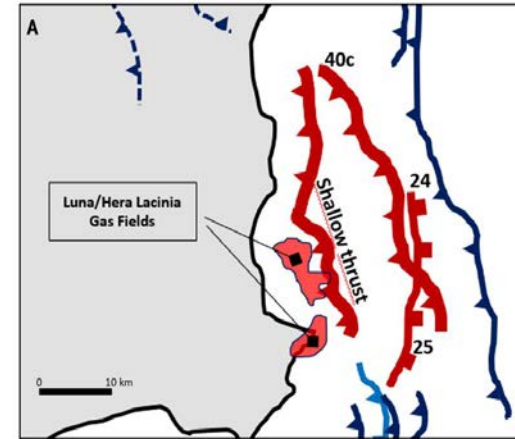
### 4. Piani di faglia

- *Coordinate dei vertici della faglia, dimensioni e magnitudo*



### 5. Meccanismo focale

- *Beachball*
- *CMTSOLUTION format*



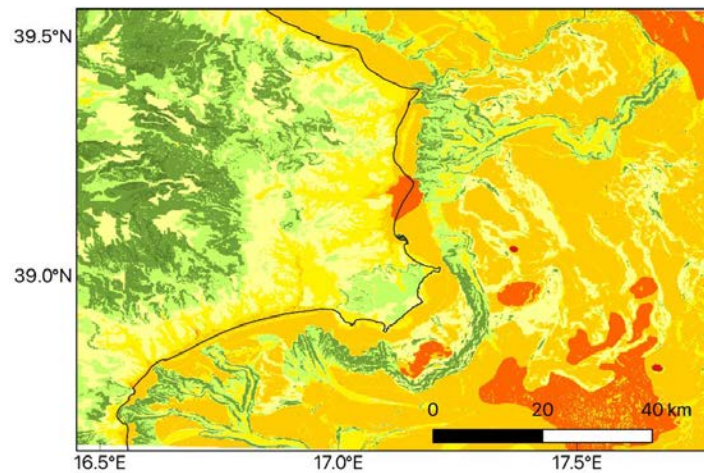


# Progetto H&RA-Lacinia

## SCENARI DI SCUOTIMENTO

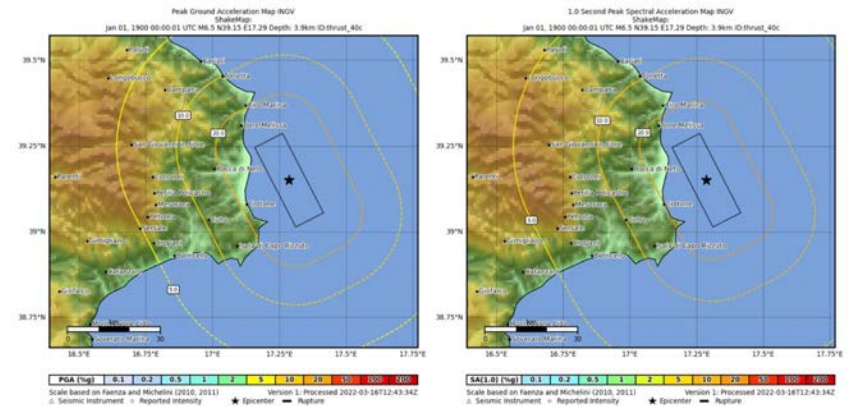
### SHAKEMAP – Metodo empirico

ShakeMap è un interpolatore che integra i dati reali di scuotimento (ove disponibili), la localizzazione e la magnitudo con le informazioni sismologiche disponibili nell'area di interesse, attraverso equazioni predittive del moto del suolo (GMPE).

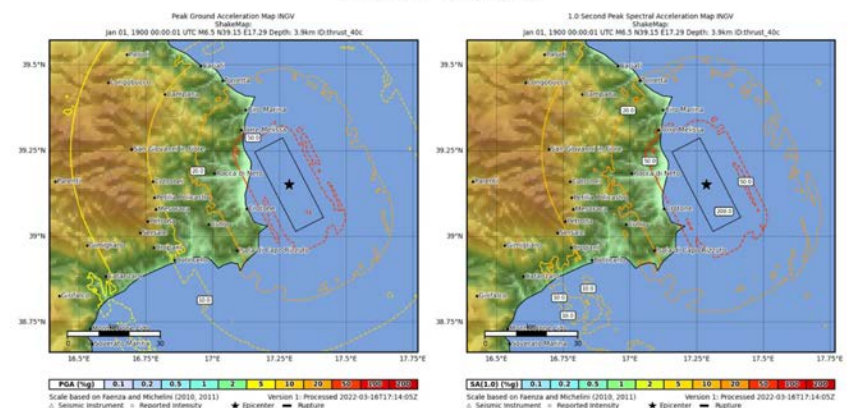


- Vs30 (m/s)  
vs\_30\_Mori\_Italia  
Band 1
- Other states not covered
  - Lakes and lagoons
  - Sea
  - <180
  - 180-240
  - 240-300
  - 300-360
  - 360-420
  - 420-480
  - 480-560
  - 560-640
  - 640-760
  - >760

SCEN01 – suolo rigido



SCEN01 – con Vs30

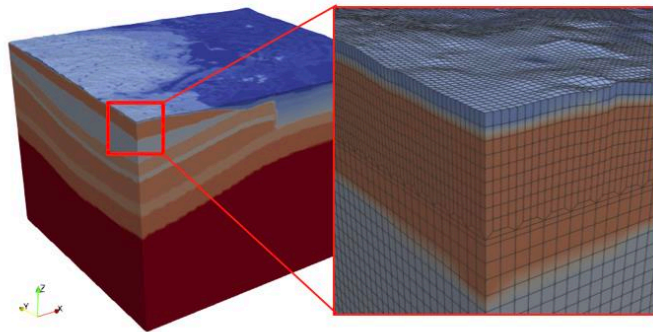


# Progetto H&RA-Lacinia

## SCENARI DI SCUOTIMENTO

### METODI NUMERICI IBRIDI BROADBAND

PHYSICS-BASED, 3D WAVE-PROPAGATION SIMULATION (SPECFEM3D\_Cartesian)



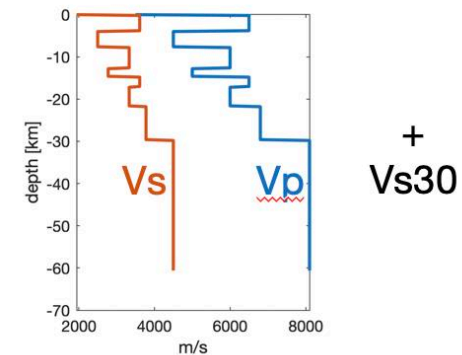
Sismogramma a bassa frequenza:  $\text{Freq} \leq 1\text{Hz}$



**Sismogramma broadband**  
(Graves and Pitarka, 2010)



STOCHASTIC SIMULATION (SCEC Broadband Platform)



Sismogramma ad alta frequenza  
 $\text{Freq} > 1\text{Hz}$

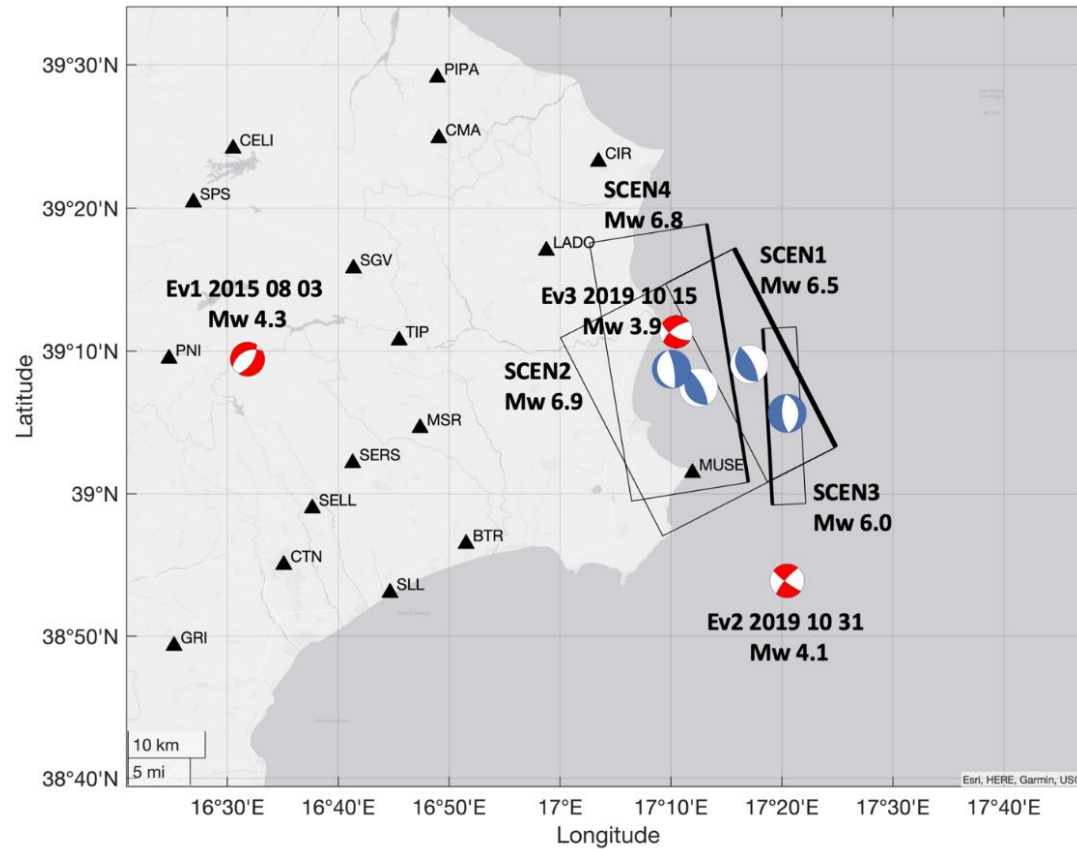


# Progetto H&RA-Lacina

## SCENARI DI SCUOTIMENTO

### METODI NUMERICI IBRIDI BROADBAND

#### SORGENTI SISMICHE



 **Eventi reali**

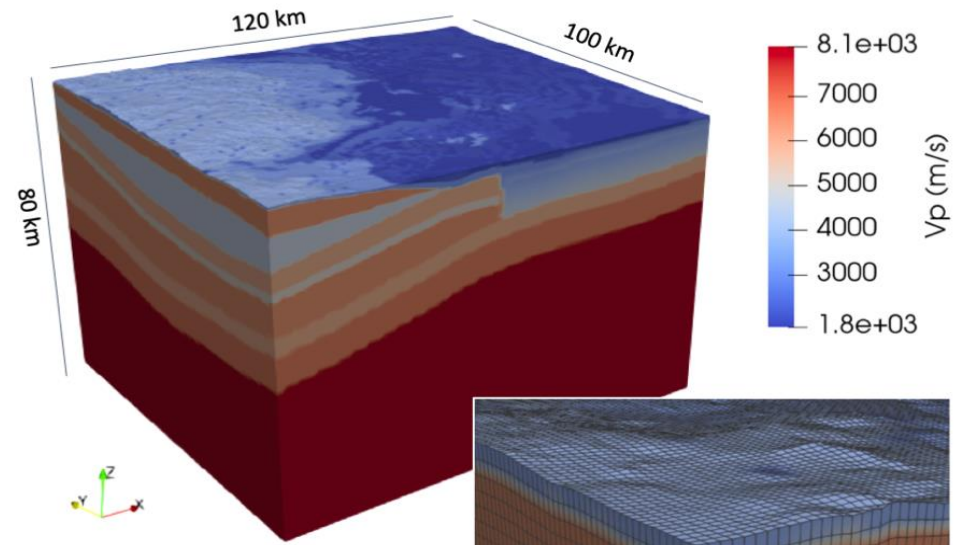
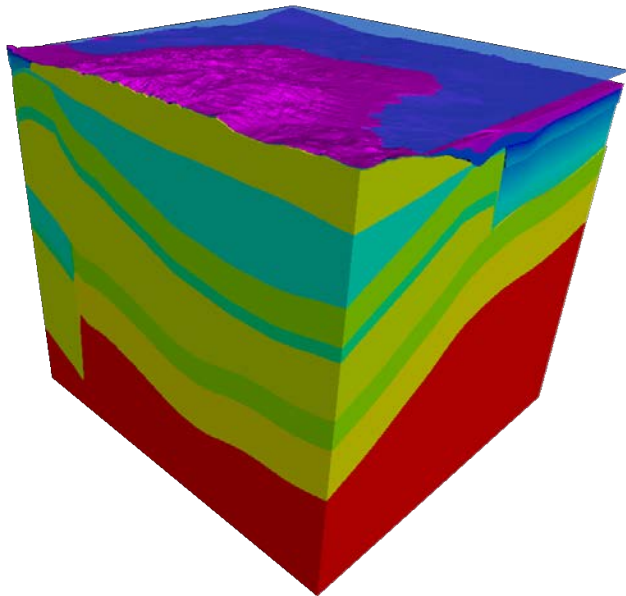
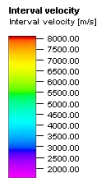
 **Scenari**

# Progetto H&RA-Lacinia

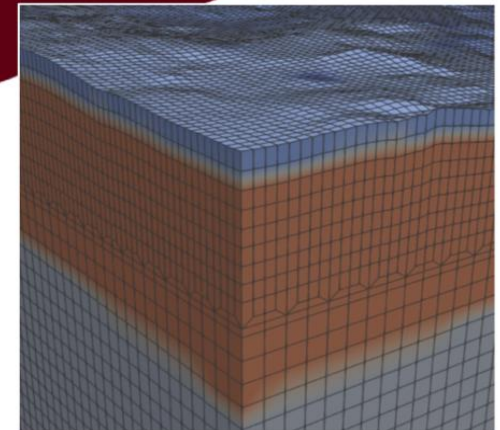
## SCENARI DI SCUOTIMENTO

### METODI NUMERICI IBRIDI BROADBAND

Modello regionale di velocità e densità implementato nella mesh di calcolo numerico



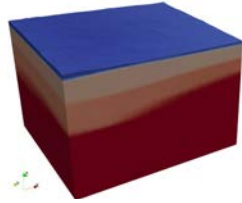
MESH  
Min elem size:  
0.3x0.3x0.2 km  
Max elem size:  
1.2x1.2x1.2 km



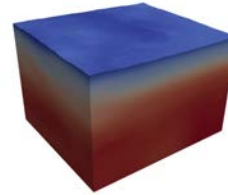
# Progetto H&RA-Lacinia

## SCENARI DI SCUOTIMENTO

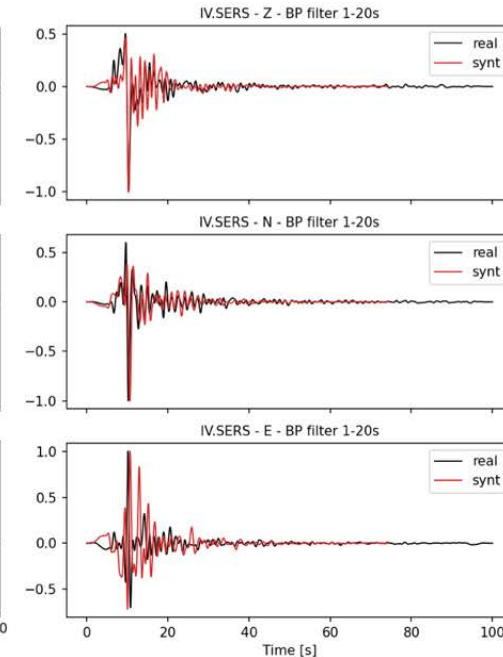
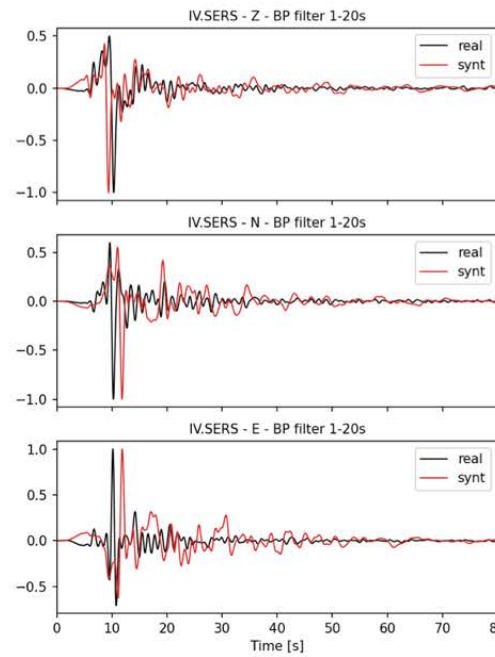
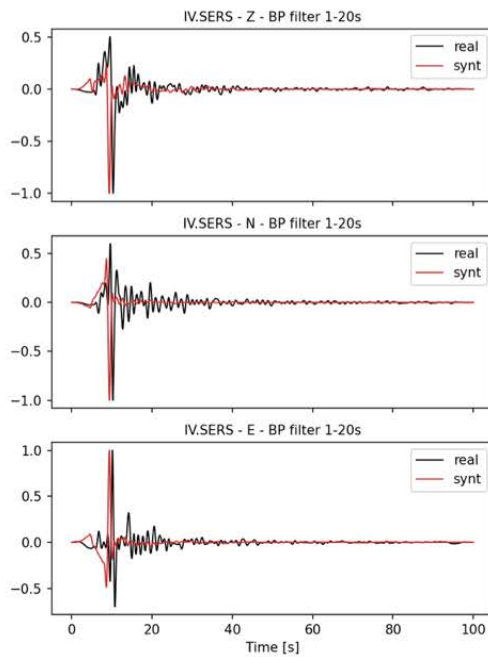
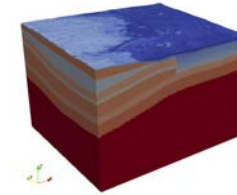
EPcrust  
(Molinari and Morelli, 2011)



Tomography model  
(Scarfi et al., 2020)



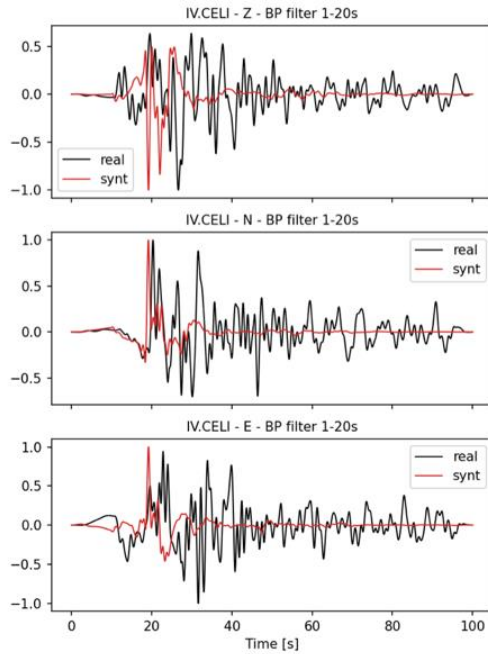
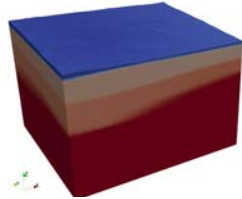
Modello geologico 3D



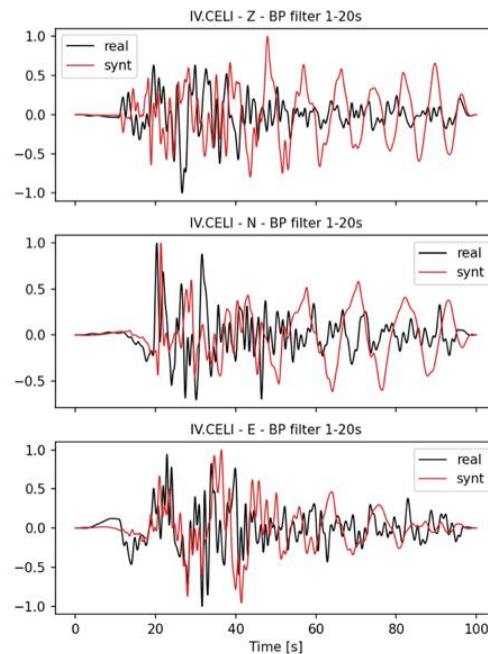
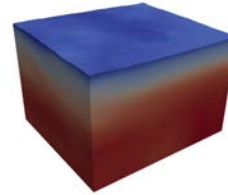
# Progetto H&RA-Lacinia

## SCENARI DI SCUOTIMENTO

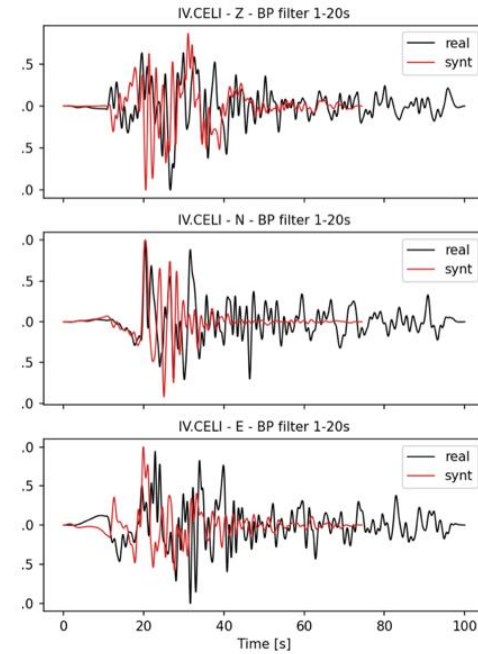
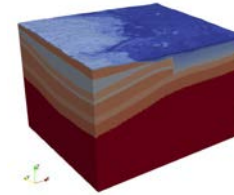
EPcrust  
(Molinari and Morelli, 2011)



Tomography model  
(Scarfi et al., 2020)



Modello geologico 3D

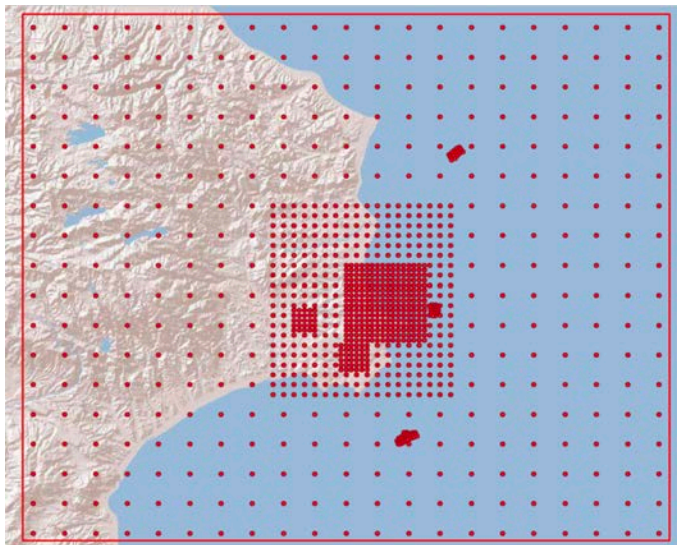


# Progetto H&RA-Lacinia

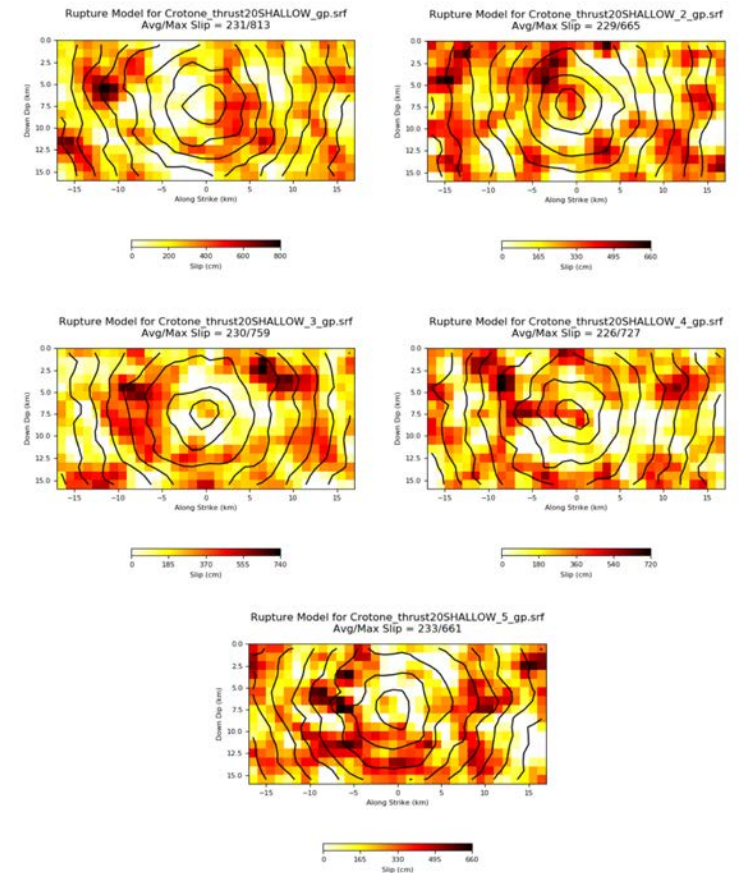
## SCENARI DI SCUOTIMENTO

### METODI NUMERICI IBRIDI BROADBAND

Griglia di output per gli scenari di scuotimento



- Modello a faglia finita con rottura bilaterale a velocità costante per le simulazioni a bassa frequenza
- Modelli di rottura stocastica per la parte ad alta frequenza

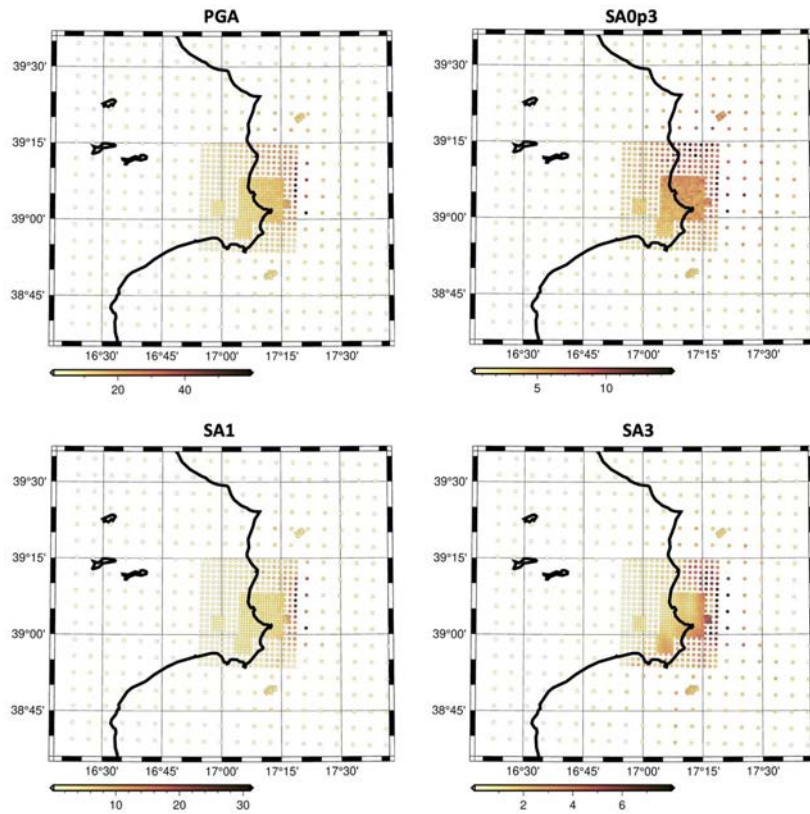


# Progetto H&RA-Lacinia

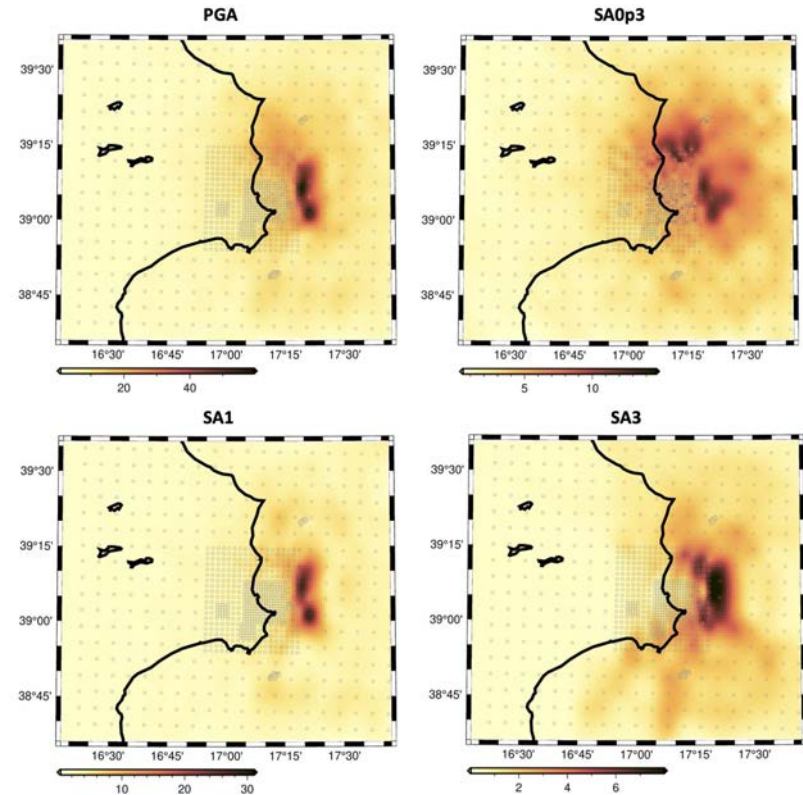
## SCENARI DI SCUOTIMENTO

### METODI NUMERICI IBRIDI BROADBAND

SCEN01 – con Vs30



SCEN01 – con Vs30 - INTERPOLATO



%g



## Progetto H&RA-Lacinia

# PRODOTTI

- Interpretazione geologico strutturale dell'area
- Riconoscimento delle principali strutture sismogeniche presenti
- Modello geologico e di velocità 3D a scala regionale
- Mappa di Vs30 (anche offshore)
- Test di modelli 3D attraverso il confronto con dati sismici reali
- Mappe di scuotimento predetto dagli scenari individuati nel progetto
  
- Contributo alla definizione di «Buone Pratiche»

## Progetto H&RA-Lacinia

# PRODOTTI SCIENTIFICI

I risultati scientifici derivanti dalle attività svolte durante il progetto, sono stati presentati a numerosi convegni nazionali ed internazionali.

### Di seguito un elenco delle presentazioni fatte:

- ❑ *Molinari, I. Lipparini, L., Sgattoni, G., Faenza L., Anselmi M. & Morelli A. (2021). H&RA Lacinia - Caratterizzazione di faglie potenzialmente sismogeniche e scenari di scuotimento sismico. Presentation given at Ecomondo 2021 (Rimini).*
- ❑ *Lipparini, L., Argnani, A., Sgattoni, G., Pellegrini, C., Rovere, M., & Molinari, I. (2022). Structural setting, active tectonics and seafloor morphology of the northeastern Calabria accretionary prism (Ionian Sea, Italy) (No. EGU22-932). Presentation given at EGU Copernicus Meetings in Wien (Austria).*
- ❑ *Sgattoni G., Molinari I., Lipparini L., Faenza L., Argnani A., 2022. Ground-motion simulation in the Calabrian accretionary prism (Southern Italy) using a 3D geologic-based velocity model, EGU General Assembly 2022, Vienna, Austria, 23–27 May 2022, Oral presentation, EGU22-2676, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-2676>, 2022*
- ❑ *Lipparini L., Chiacchieri D., Bencini R., Micallef A. (2022). Preserved fresh deep waters in the sea of Sicily (Italy): integrating the onshore and offshore data in a regional model. Presentation given at the International Workshop on Offshore Freshened Groundwater Research (Malta).*
- ❑ *Lipparini L., Argnani A., Pellegrini C., Sgattoni G., Rovere M., Molinari I. (2022). Morphological expression of active tectonics offshore Calabria accretionary prism (Ionian Sea-Italy). Presentation given at the International Conference on Seafloor Landforms, Processes and Evolution (Malta).*
- ❑ *Argnani A., Lipparini L., Pellegrini C., Rovere M. (2022). Morphological expression of fluid expulsion offshore Crotona (Calabrian accretionary prism). Presentation given at the International Conference on Seafloor Landforms, Processes and Evolution (Malta).*
- ❑ *Molinari I., L. Lipparini, G. Sgattoni, L. Faenza, A. Argnani, M. Rovere, A. Morelli, D. Di Bucci, I. Antoncecchi (2023). Structural setting, active tectonics, 3D crustal model and shaking scenarios in the Crotona offshore (Calabria, Southern Italy) within the H&RA-Lacinia project. Presentation at GNGTS, Bologna.*



# Progetto SPIN

## ATTIVITÀ

Le attività principali proposte prevedono:

- 1. Caratterizzazione delle faglie potenzialmente sismogeniche** nell'area concordata, della loro probabilità di attivazione e delle relative magnitudo attraverso all'analisi di profili sismici a riflessione, dati di pozzo, carotaggi, stratigrafie, analisi del fondo mare e dati di sismicità.
2. Ricostruzione di un **modello geologico strutturale crostale 3D** (crosta superficiale e profonda) dell'area e **modello 3D delle faglie**.
- 3. Analisi dei cataloghi dei terremoti** per la valutazione della sismicità naturale in corrispondenza delle strutture riconosciute.
- 4. Calcolo di scenari di scuotimento sismico** determinati dalle strutture sismogeniche eventualmente riconosciute nell'area, utilizzando (i) metodi classici (es. Shakemaps anche con faglia finita), e (ii) metodi numerici ibridi broadband per simulazioni di scuotimento in modelli tridimensionali di crosta e con modelli di faglia finita, ottenendo l'intera serie temporale dello scuotimento in un ampio spettro di frequenze (broadband).
- 5. Creazione di modelli sintetici di faglia** e associati scenari di scuotimento.
- 6. Contributo** alla costruzione di un **modello regionale geomeccanico**.

# Progetto SPIN CRONOPROGRAMMA

## Proposta iniziale

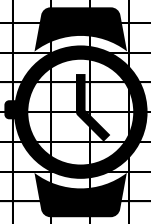
ATTIVITÀ	I ANNO 2023												II ANNO 2024													
	novembre	dicembre	gennaio	febbraio	marzo	aprile	maggio	giugno	luglio	agosto	settembre	ottobre	novembre	dicembre	gennaio	febbraio	marzo	aprile	maggio	giugno	luglio	agosto	settembre	ottobre	novembre	dicembre
<b>INGV - Interpretazione/Modello crostale/Scenari scuotimento sismico</b>																										
Stipula del contratto																										
Raccolta dati e costruzione Progetto Interpretativo regionale																										
Dataroom ENI																										
Analisi e interpretazione di dati di sottosuolo (sismica, pozzi, ecc.) - geologia profonda																										
Costruzione del modello geologico-strutturale crostale 3D e del modello di velocità																										
Caratterizzazione della faglia/e sismogenica/e (geometria, cinematica, ecc.)																										
Analisi dei cataloghi dei terremoti per la valutazione della sismicità naturale																										
Valutazione delle possibili interazioni tra instabilità a fondo mare e attivazione di faglia/e in accordo con ISMAR																										
Confronto su dati in input al modello di giacimento (faglie, superfici, ecc.) con ISMAR e RSE																										
Contributo al modello geomeccanico in collaborazione con RSE																										
Simulazioni numeriche degli scenari di scuotimento (shakemap e metodo ibrido con modelli 3D)																										
Consegna della/e faglia/e a UniBo																										
Creazione di modelli sintetici di faglia e simulazione scenari di scuotimento																										
Consegna dati di scuotimento a ReLUI, EUCENTRE e UniBo																										
Consegna rapporto preliminare																										
Consegna rapporti intermedi																										
Consegna rapporto finale di progetto																										

# Progetto SPIN

## CRONOPROGRAMMA

### Aggiornamento ad oggi

ATTIVITÀ	I ANNO 2023												II ANNO 2024													
	novembre	dicembre	gennaio	febbraio	marzo	aprile	maggio	giugno	luglio	agosto	settembre	ottobre	novembre	dicembre	gennaio	febbraio	marzo	aprile	maggio	giugno	luglio	agosto	settembre	ottobre	novembre	dicembre
<b>INGV - Interpretazione/Modello crostale/Scenari scuotimento sismico</b>																										
Stipula del contratto																										
Raccolta dati e costruzione Progetto Interpretativo regionale																										
Dataroom ENI																										
Analisi e interpretazione di dati di sottosuolo (sismica, pozzi, ecc.) - geologia profonda																										
Costruzione del modello geologico-strutturale crostale 3D e del modello di velocità																										
Caratterizzazione della faglia/e sismogenica/e (geometria, cinematica, ecc.)																										
Analisi dei cataloghi dei terremoti per la valutazione della sismicità naturale																										
Valutazione delle possibili interazioni tra instabilità a fondo mare e attivazione di faglia/e in accordo con ISMAR																										
Confronto su dati in input al modello di giacimento (faglie, superfici, ecc.) con ISMAR e RSE																										
Contributo al modello geomeccanico in collaborazione con RSE																										
Simulazioni numeriche degli scenari di scuotimento (shakemap e metodo ibrido con modelli 3D)																										
Consegna della/e faglia/e a UniBo																										
Creazione di modelli sintetici di faglia e simulazione scenari di scuotimento																										
Consegna dati di scuotimento a ReLUIS, EUCENTRE e UniBo																										
Consegna rapporto preliminare																										
Consegna rapporti intermedi																										
Consegna rapporto finale di progetto																										



# Progetto SPIN

## DATI

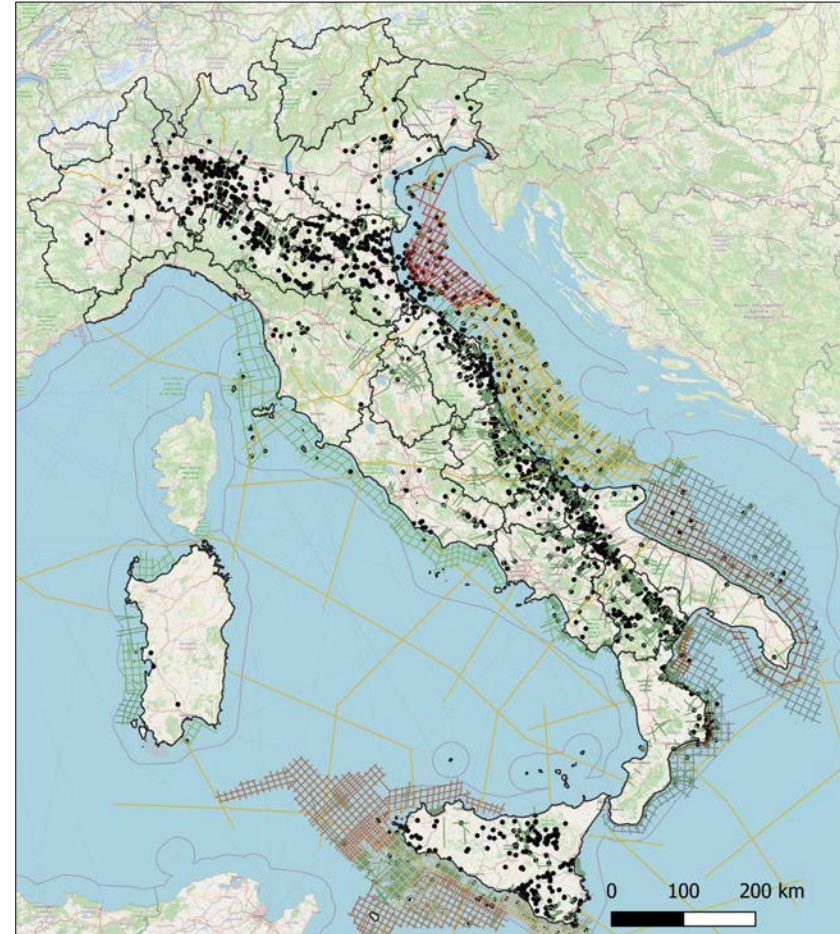
- Dati batimetrici
- Dati cartografici
- DEMs (Digital Elevation Models)
- Sezioni geologiche e sismiche in formato raster
- Composite logs dei pozzi disponibili nell'area di interesse
- Dati di velocità da pozzo
- Profili di sismica a riflessione (in formato .seg)

Tipologia DATI	Formato	Obiettivo primario
<b>REPORTS</b> (report geologici/geofisici sull'area; report di interpretazione e strutturali).	PDF	Acquisire conoscenze pregresse per rafforzare e velocizzare il lavoro
<b>Topografie di dettaglio</b>	Raster e/o Grids / vettoriali visualizzabili in ambiente GIS	Prima superficie utile per il lavoro di interpretazione
<b>DATI DI FONDO MARE</b>		
BATIMETRIE (Dati idroacustici) e Batimetria di dettaglio ove disponibili	ASCII, ESRI ArcGIS, NetCDF etc. a dati grezzi	Prima superficie utile per il lavoro di interpretazione
Report e dati di Well Site Survey	PDF	
<b>Dati di POZZO</b>		
Posizione, quota della tavola rotary, TD del pozzo, per i pozzi devianti "profilo di deviazione"	Tabelle excel o PDF	Dato fondamentale
Composite logs dei pozzi	PDF	Dato fondamentale
Dati di Velocità (Check shots, VSP, log sonici)	PDF o ASCII	Conversione tempi/profondità
Logs	digitali in formato LAS e/o cartacei	Dato utile per i lavori di interpretazione, per ricavare le funzioni di velocità, ecc.
Well tops	tabella in formato excel o ascii	Dato utile per i lavori di interpretazione
Report di pozzo	PDF	
<b>Dati SISMICI</b>		
Sismica 2D (Time)	Segy con navigazione (se già disponibili anche caricati su un progetto interpretativo Petrel e/o IHS-Kingdom)	Fondamentale per l'interpretazione geologico/strutturale
Sismica 3D (Time)		
Sismica 3D (Depth)		
Dati di Velocità Sismiche 2D e 3D (stacking, average o interval velocities)	SEGY o ASCII	Conversione tempi/profondità
<b>DATI DI GIACIMENTO</b>		
Modello statico di giacimento	progetto Petrel	
Report di sintesi del giacimento (in termini di interpretazione G&G, modello statico e modello dinamico)	PDF	
Dati di temperatura	Come tabelle Excel, ASCII o incluse in un progetto Petrel	
Mappe di isocrone/isobate/isopache dei principali livelli	in formato digitale o in formato .shp, o alternativamente come immagini	
Sezioni geologiche	Immagini / PDF	
Parametri petrofisici delle formazioni (porosità, permeabilità, densità, comprimibilità, net to gross e loro variabilità/eterogeneità).	Tabelle o PDF	

# Progetto SPIN

## DATI – Pozzi e Sismica

- Dati batimetrici
- Dati cartografici
- DEMs (Digital Elevation Models)
- Sezioni geologiche e sismiche in formato raster
- Composite logs dei pozzi disponibili nell'area di interesse
- Dati di velocità da pozzo
- Profili di sismica a riflessione**



# Progetto SPIN

## Status delle ATTIVITÀ INGV

### ATTIVITÀ AMMINISTRATIVE

- Sono stati **banditi tre assegni di ricerca** (un post-doc e due professionalizzanti).
- Sono stati **assegnati due assegni di ricerca con data di inizio al 1 maggio 2023, e un terzo verrà a breve assegnato con data di inizio presumibile al 1 di giugno**
- Si sta procedendo **all'acquisizione del necessario materiale informatico e delle licenze software** necessarie.

### ATTIVITÀ SCIENTIFICHE

- E' stata **avviata una prima indagine e raccolta dei dati pubblicamente disponibili sulle due aree di interesse (sismica, pozzi, ecc.), ma si è in attesa di poter ricevere i dati dagli operatori, in coordinamento e con il supporto dei colleghi e tecnici del MASE.**
- Prime fasi dell'analisi dei cataloghi dei terremoti per la valutazione della sismicità naturale





***Grazie dell'attenzione***

**Irene Molinari  
Lorenzo Lipparini**



**ISTITUTO NAZIONALE  
DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA**



3-4 maggio 2023 - Accademia delle scienze detta dei XL - Roma