



Risposta sismica locale in Bassa Valle del Sarca

Giovanna Laurenzano



Lo studio è stato realizzato nell'ambito del progetto

‘Studio riguardante la risposta sismica locale del tratto terminale della valle del fiume Sarca in prossimità del Lago di Garda’ cofinanziato dal Servizio Geologico della Provincia Autonoma di Trento

A cura di Giovanna Laurenzano, Marco Garbin e Stefano Parolai

Hanno contribuito:

Carla Barnaba

Luca Froner

Peter Klin

Sandro Onestinghel

Francesco Palmieri

Ilaria Primofiore

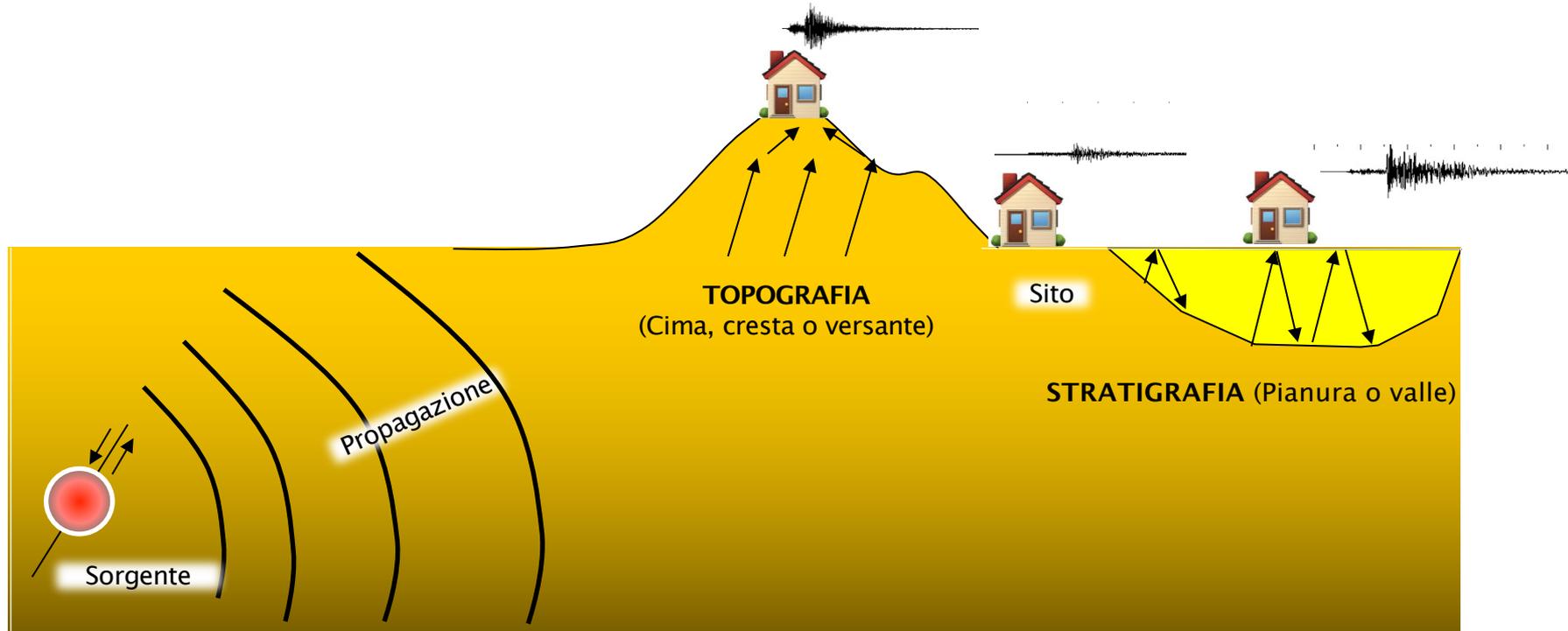
Marco Romanelli

Alfio Viganò

Luigi Sante Zampa

Risposta Sismica Locale:

influenza delle condizioni locali litostratigrafiche e/o morfologiche sullo scuotimento dovuto ad un terremoto



Parametri rappresentativi della risposta di sito

f_0 frequenza di risonanza

FA fattori di amplificazione (del PGA/PGV, spettrali, della durata)

→ Amplificazione dello scuotimento rispetto ad un sito rigido e pianeggiante

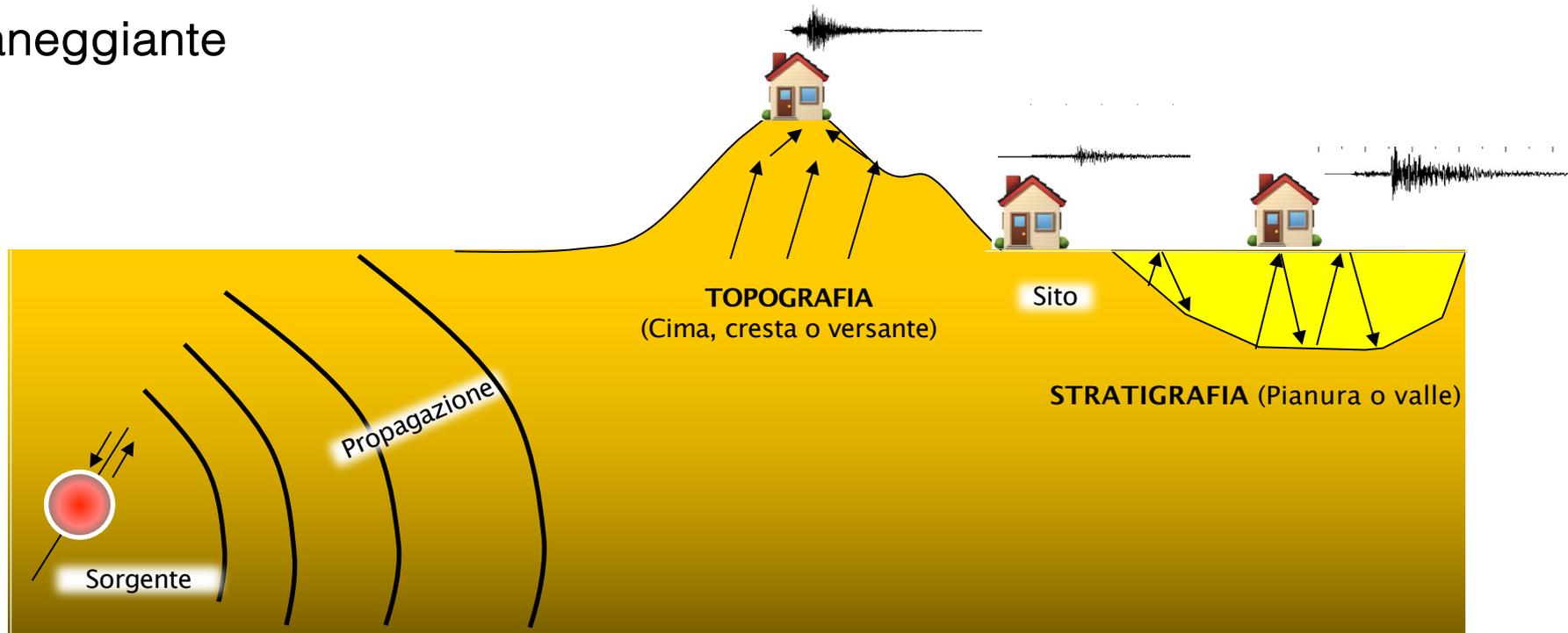
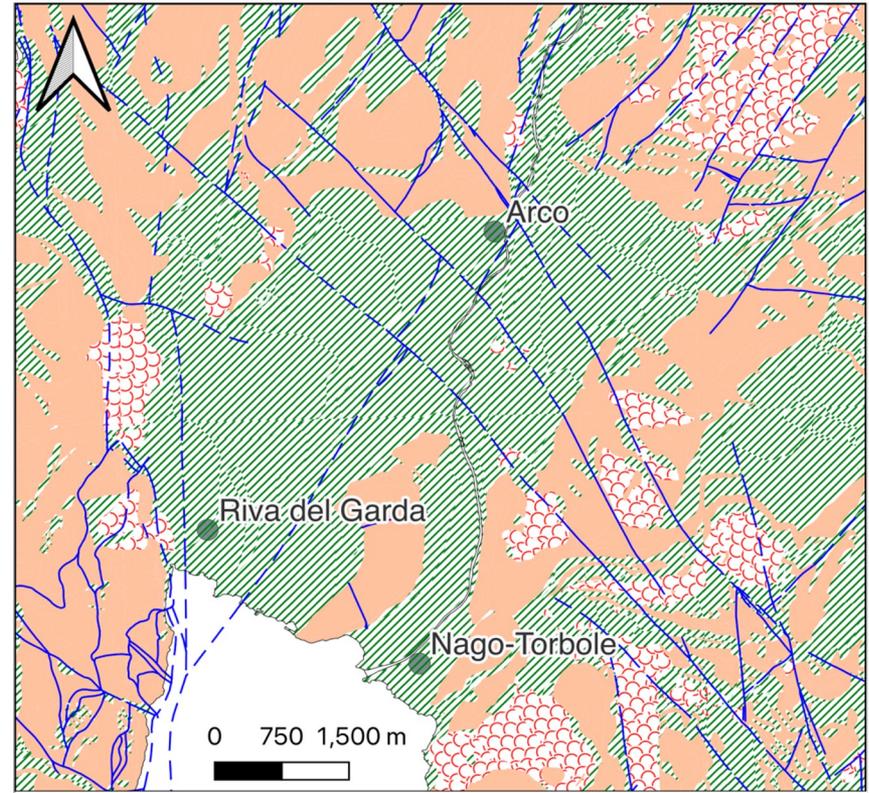




Image Landsat / Copernicus
Image © 2024 Airbus

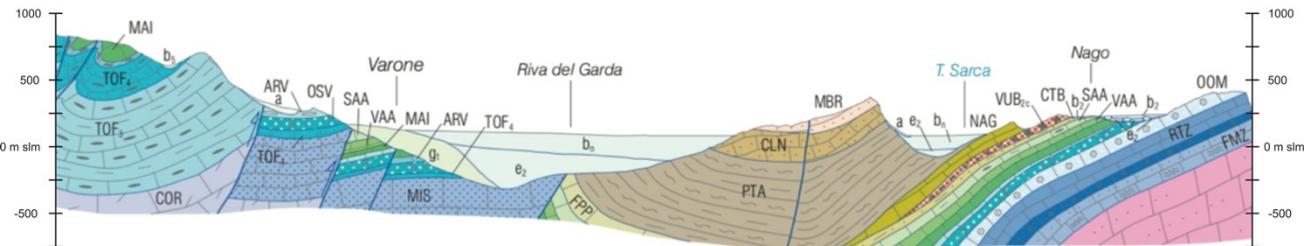
Google Earth

Inquadramento geografico e geologico



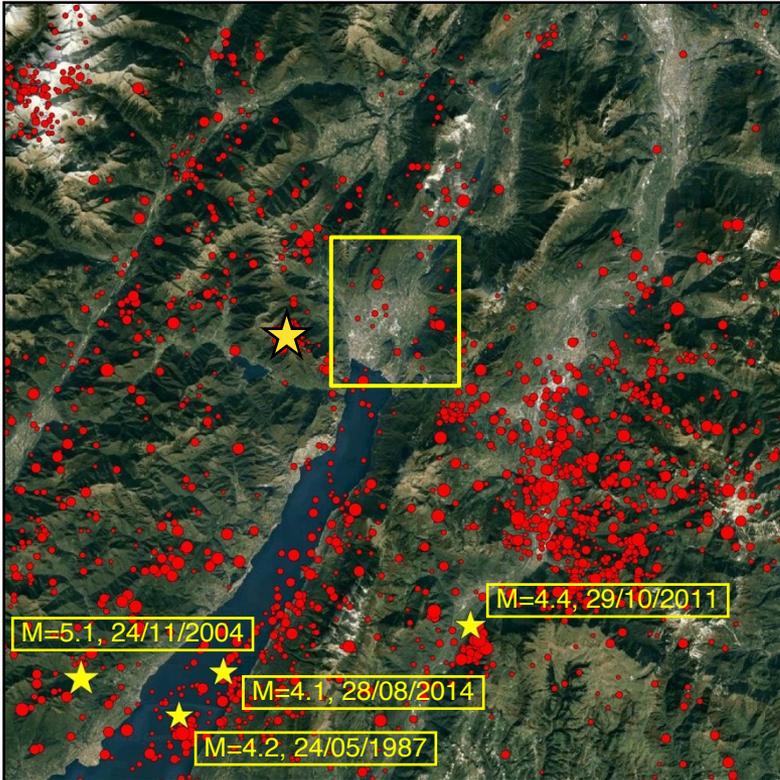
- Uncertain or buried faults
- Faults
- Landslide
- Quaternary deposits
- Sedimentary and volcanic rocks

Modificato da: Carta Geologica del Servizio Geologico della Provincia Autonoma di Trento (<https://www.provincia.tn.it/>)



Da: Carta Geologica d'Italia, Foglio 80 Riva del Garda

Inquadramento sismologico



Sismicità (dal 1977 al 2023)

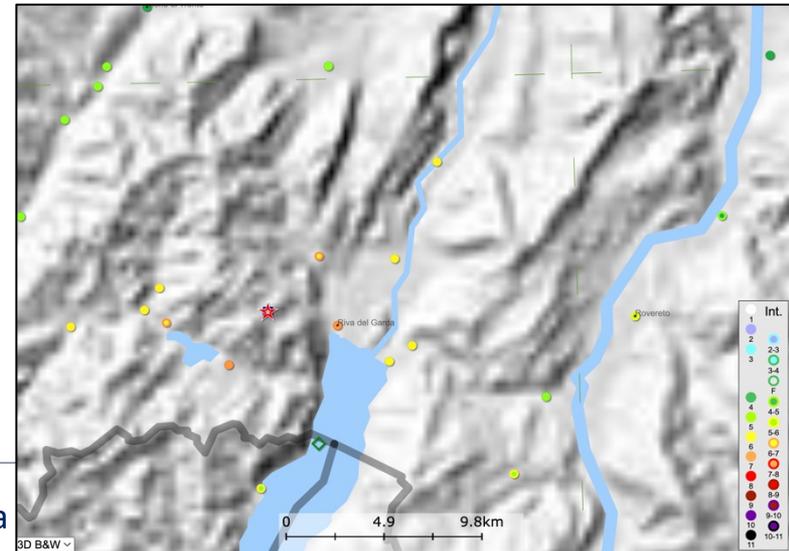
● $1.0 \leq M \leq 4.0$

★ $M > 4.0$

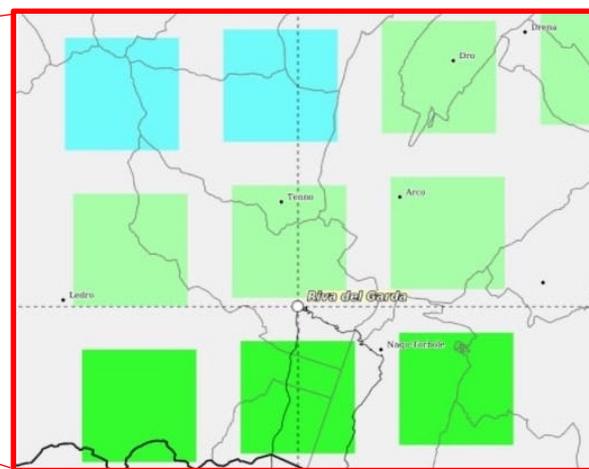
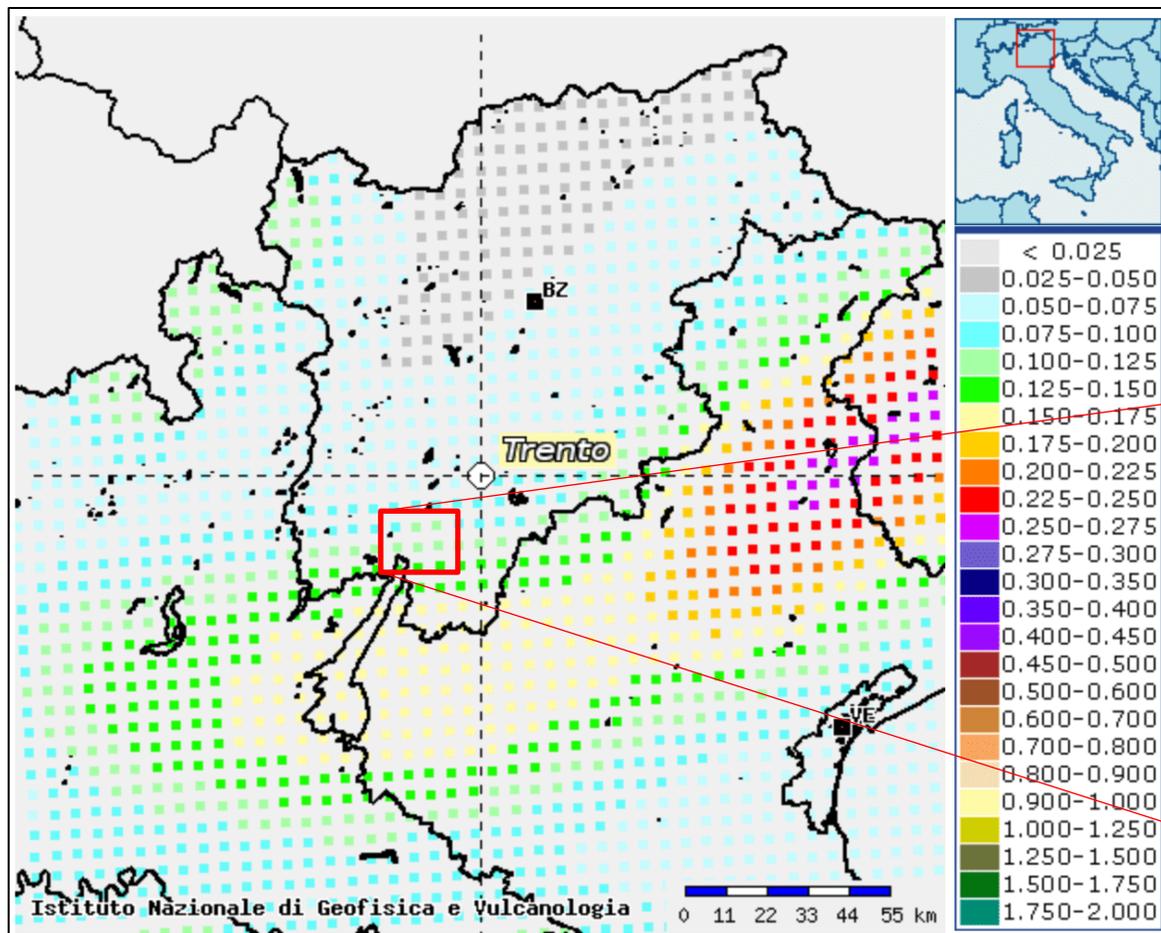
Da: <https://rts.crs.inogs.it/>



Il terremoto di Santa Lucia (valle di Ledro)
13 dicembre 1976, $M=4.6-4.9$
 $I_0 = 7$ a Riva del Garda



Inquadramento sismologico



Pericolosità sismica di base (su suolo rigido e pianeggiante)

Da: MPS04-S1

<https://esse1-gis.mi.ingv.it/>

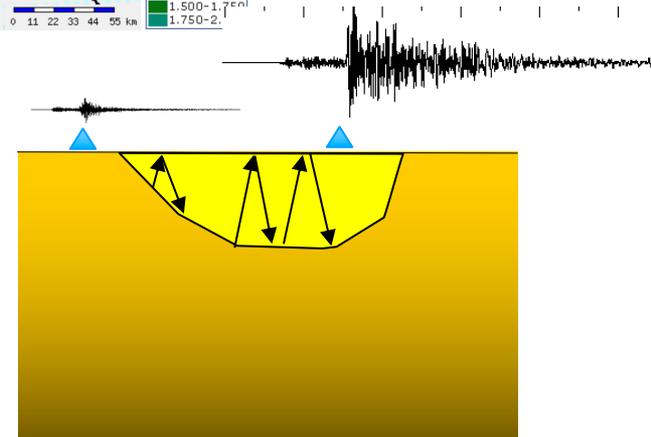
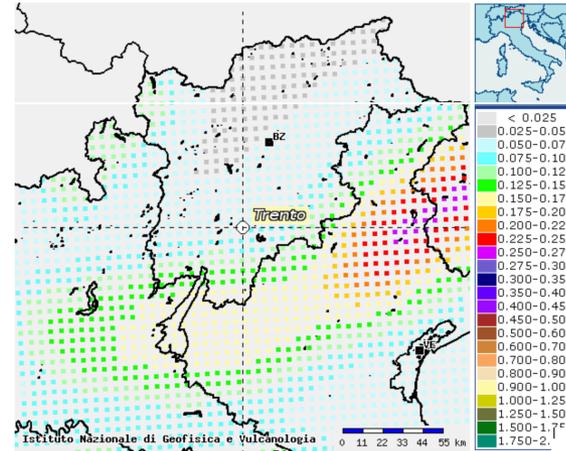
Finalità dello studio: fornire informazioni quantitative (amplificazione, frequenza di risonanza) sulla risposta del sito utilizzando metodi sperimentali

Pericolosità di base:

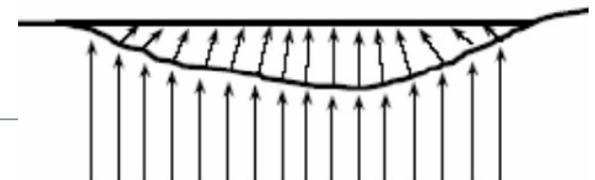
referita a terreno roccioso e pianeggiante

Sito: caratteristiche LOCALI del sottosuolo:

- topografia (pianura, zona di cresta..)
 - tipo di suolo (suolo, sedimenti..)
- Frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo f_0
- Amplificazione spettrale
- Allungamento della durata

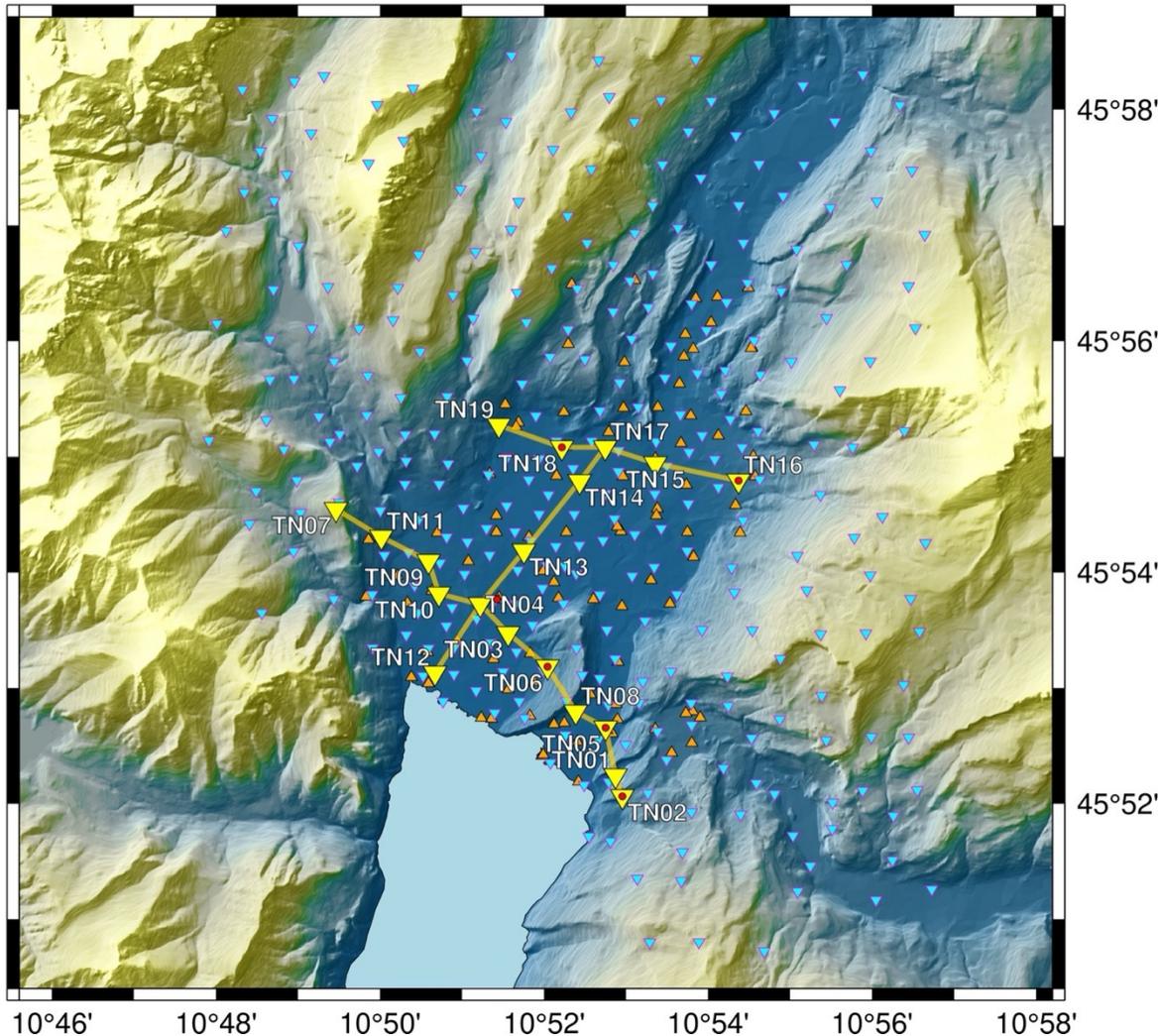


EFFETTI DI SITO



Misure eseguite:

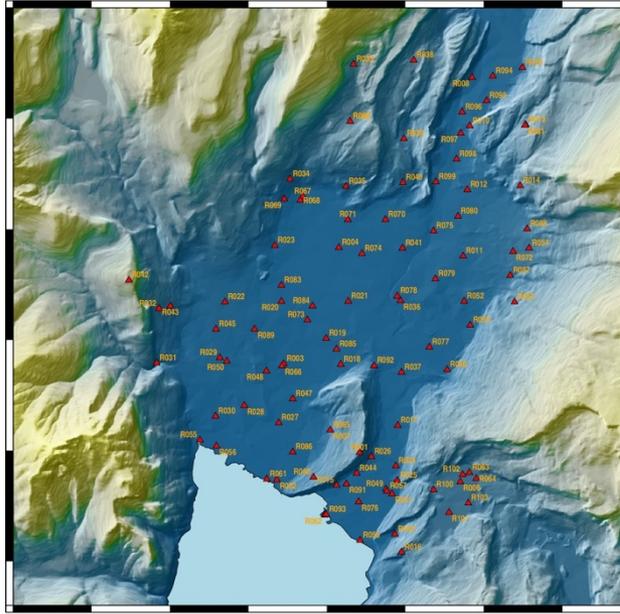
- ▲ 109 misure di rumore sismico
- ▼ 19 stazioni sismologiche temporanee
- ▼ 295 misure gravimetriche
- 6 MASW



HVSR (*Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio*) o metodo di

Nakamura (1989)

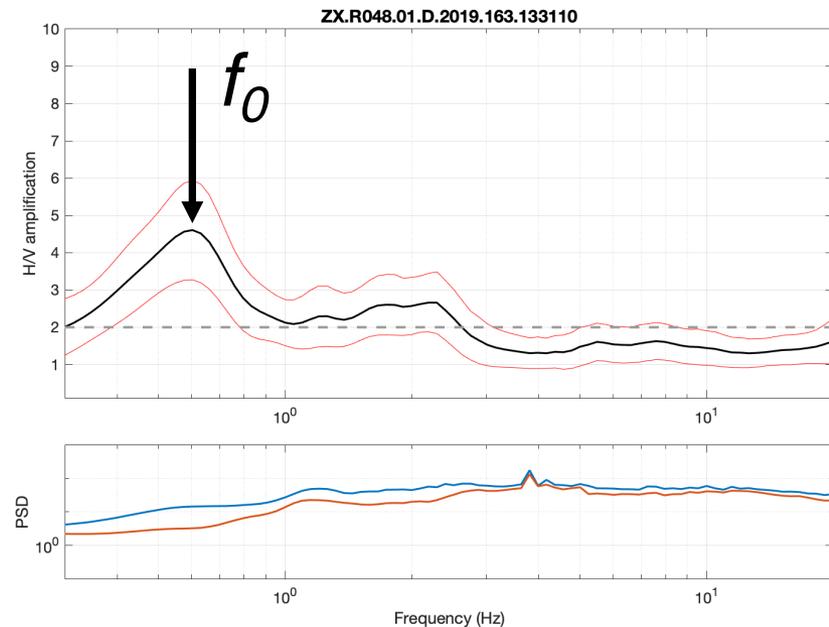
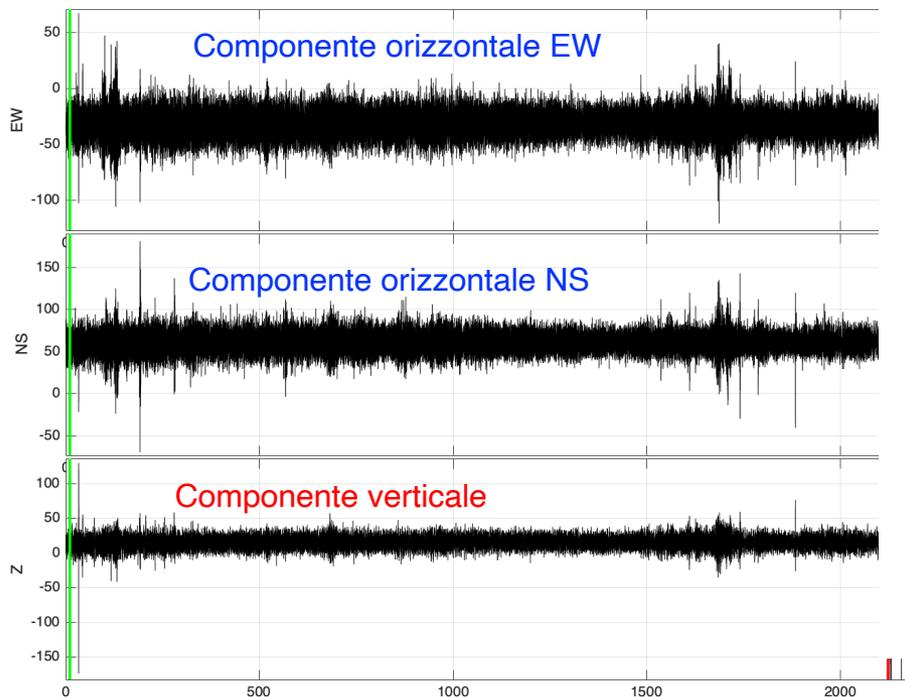
- 109 siti (DX \leq 1 Km)
- Strumentazione:
 - Sensore: LE-3Dlite
 - Acquisitore: RT130 (Reftek)
 - Batteria, GPS



HVSR (*Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio*) o metodo di

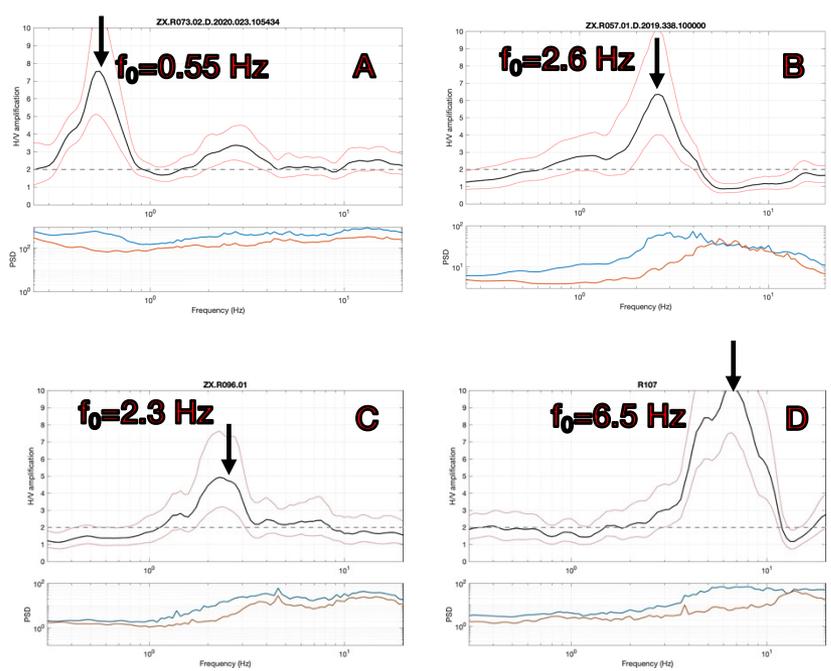
Nakamura (1989)

- Registrazione di circa 30 min di rumore ambientale
- Calcolo spettri di Fourier
- Rapporto Spettrale tra la componente orizzontale e verticale
- Estrazione della frequenza di risonanza f_0

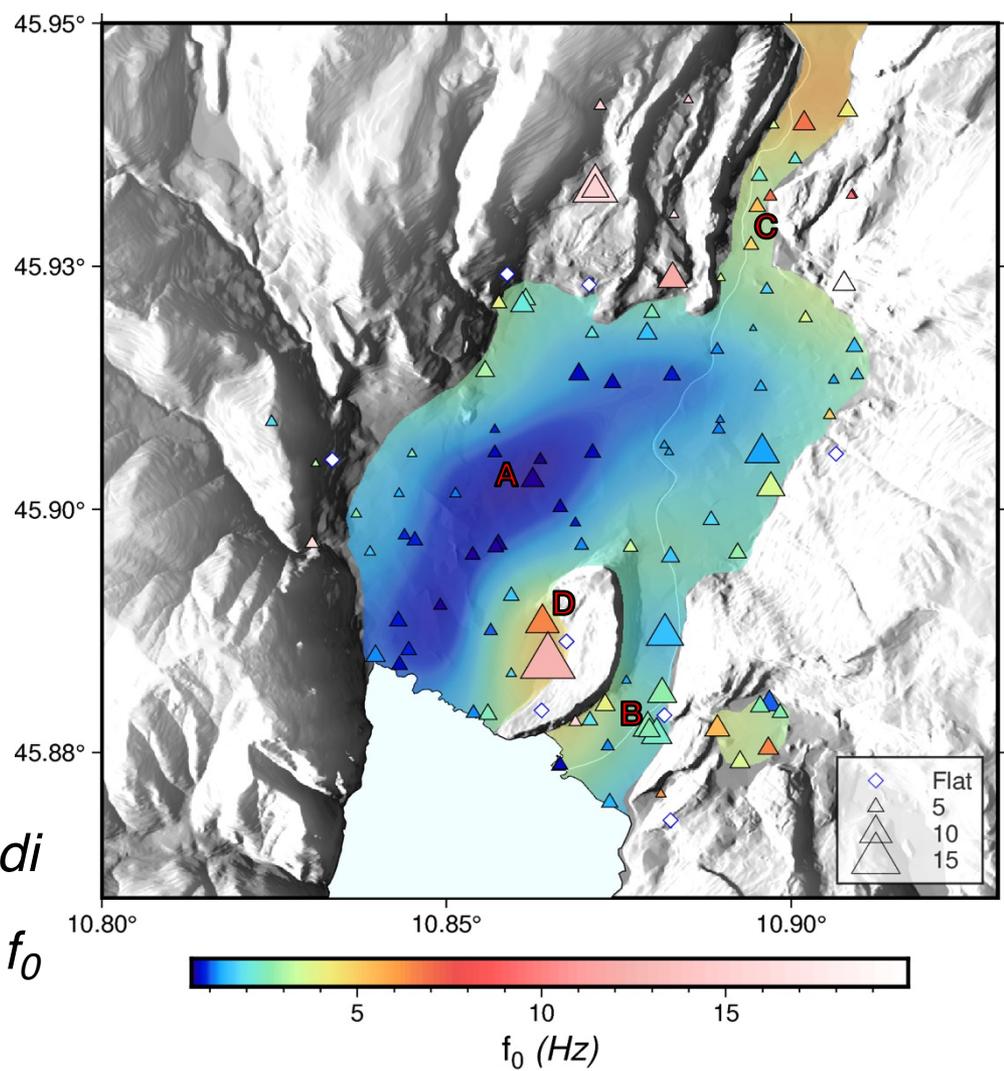


HVSR (Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio) o metodo di

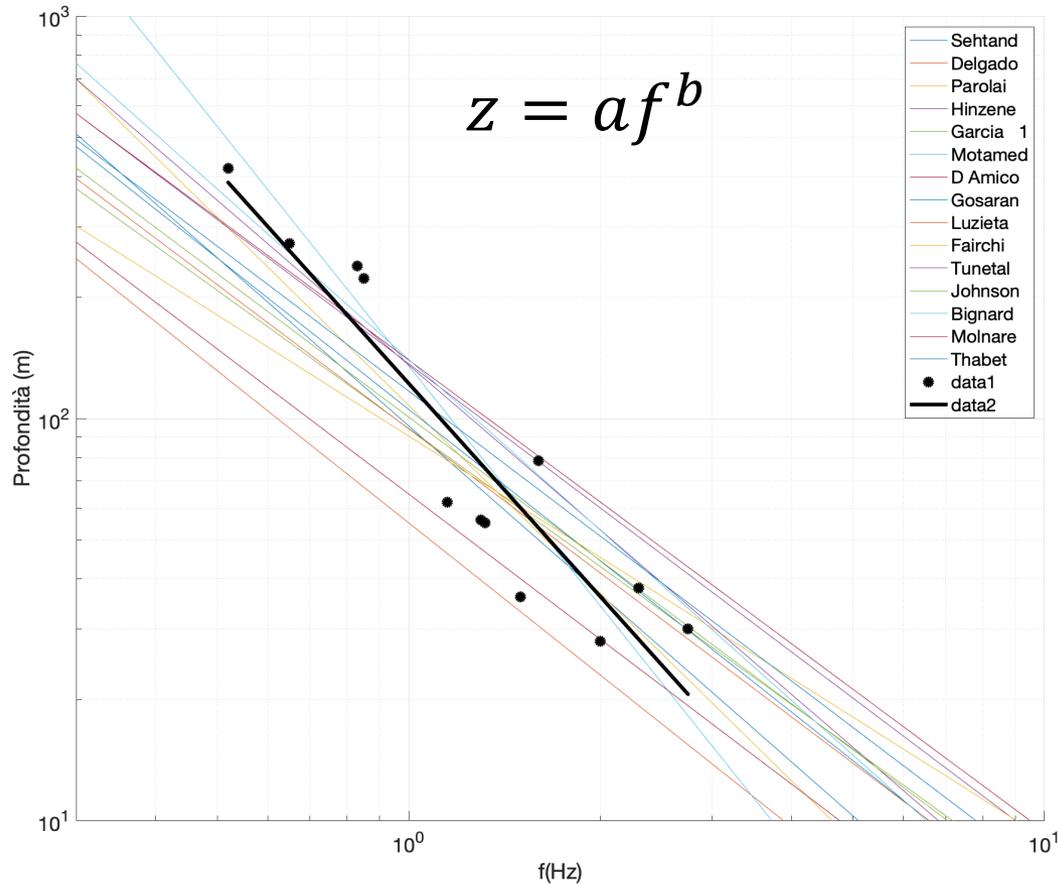
Nakamura (1989)



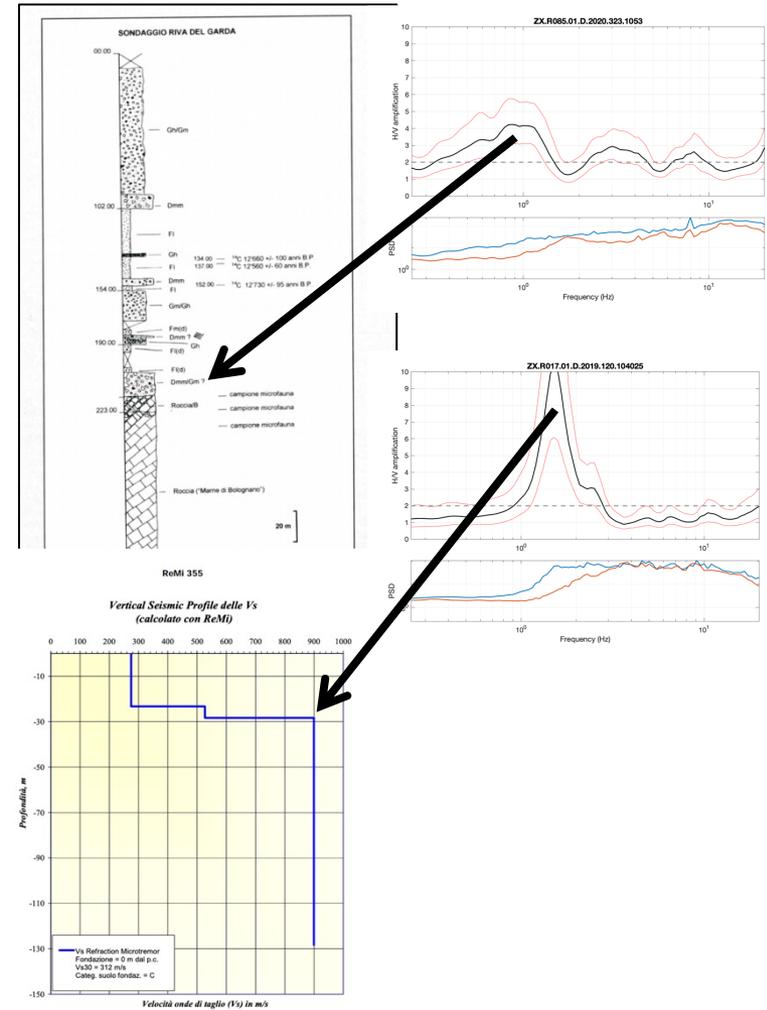
Distribuzione delle frequenze di risonanza f_0



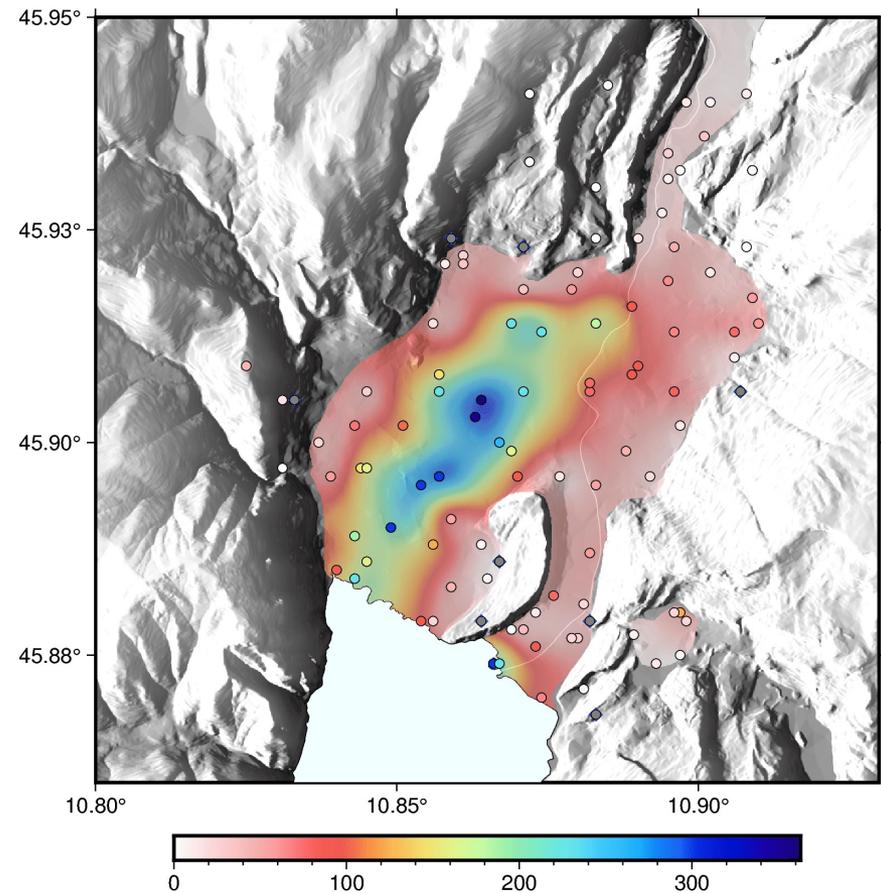
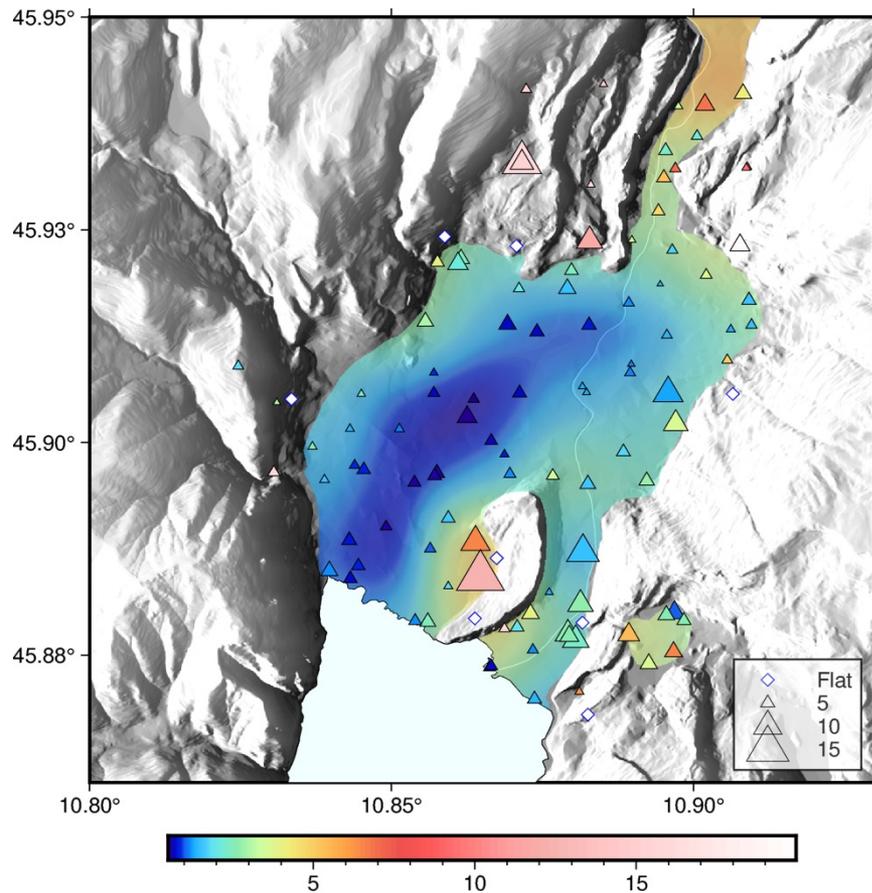
Relazione f_0 - profondità del bedrock



Ibs-von Seht e Wohlenberg, 1999



Relazione f_0 - profondità del bedrock



f_0 (Hz)



z (m)

Da f_0 otteniamo lo spessore dei sedimenti

GIT (Generalized Inversion Technique)

- 19 siti lungo 3 transetti
- Acquisizione in continuo (giugno 2019-luglio 2021)
- Sensori:
 - LE-3Dlite
 - LE-3D/5s (Lennartz)
- Acquisitori:
 - RT130 (Reftek)
 - CENTAUR (Nanometrics)
- Batteria, GPS
- Pannello solare/alimentazione

*Rete temporanea di stazioni
sismologiche*





TN12 Palazzo San Francesco

TN04 Cimitero

TN09 via Ballino

TN06 Sant'Alessandro

Riva Del Garda

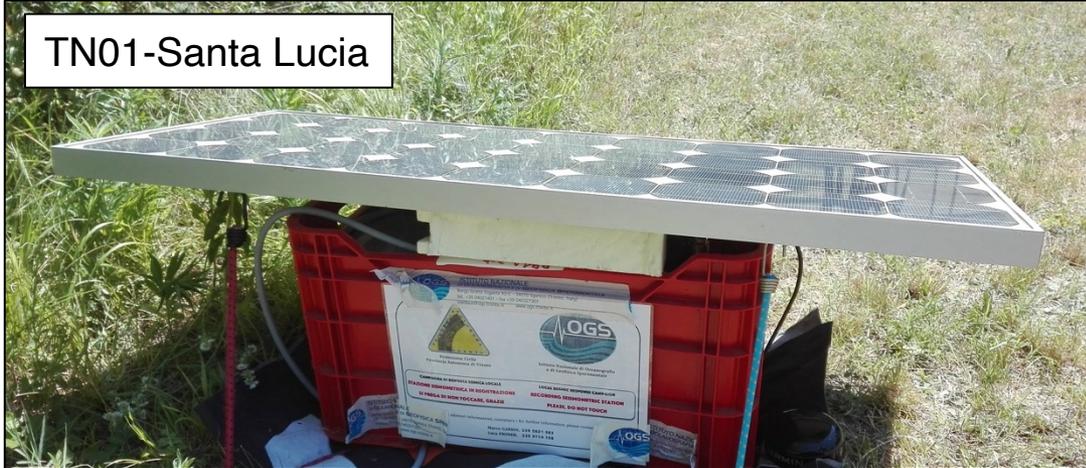
TN07 M.te Tombio

TN03 via Miorelli

TN11 Deva

TN10 via Ginestre

TN01-Santa Lucia



Nago-Torbole

TN05-Eden garni



TN02-Busatte



TN08 Porto Arco



TN13 Cantiere comunale



TN14 studio legale



TN17 casa di riposo



Arco

TN15 bici-grill



TN16 Nelson



TN18 Nigrizia

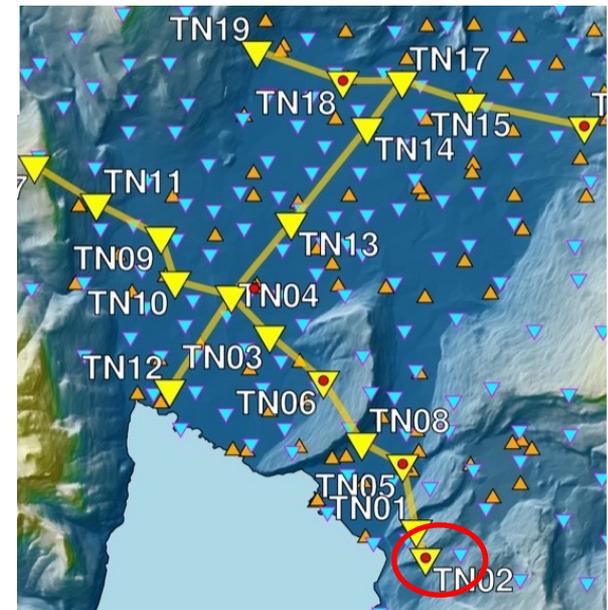
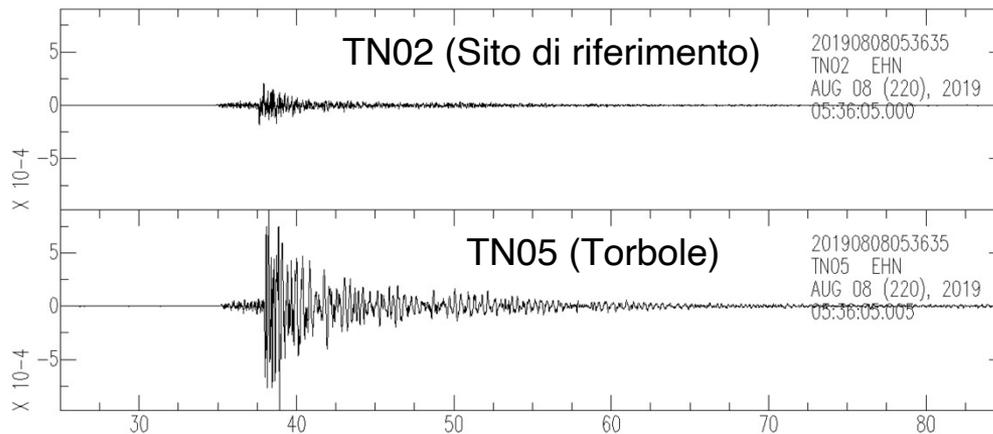


TN19 Doss di Varignano

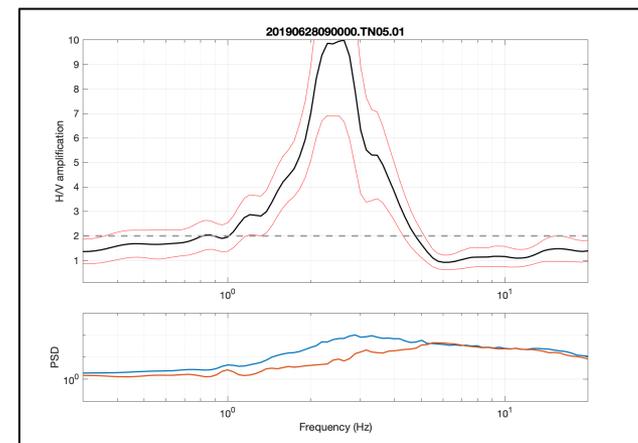
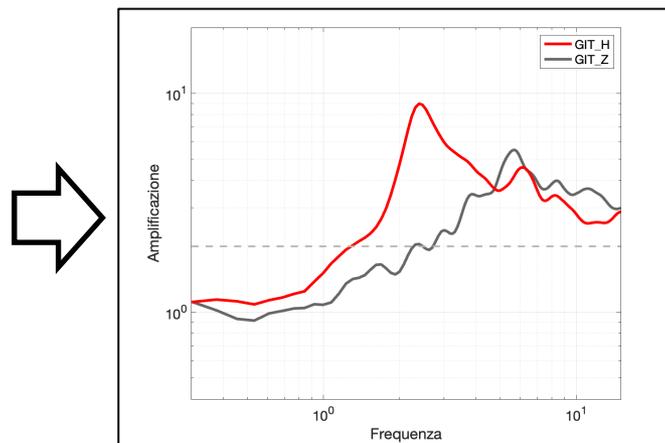


GIT (Generalized Inversion Technique)

- Registrazione di terremoti
- Calcolo spettri di Fourier
- Rapporto spettrale rispetto ad un sito di riferimento

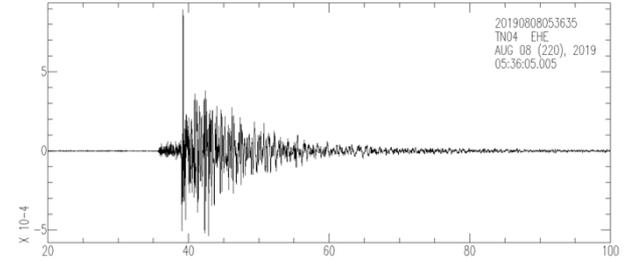


*GITANES - GIT ANALYSIS of Earthquake Spectra
Klin et al. 2017, SRL disponibile su richiesta*



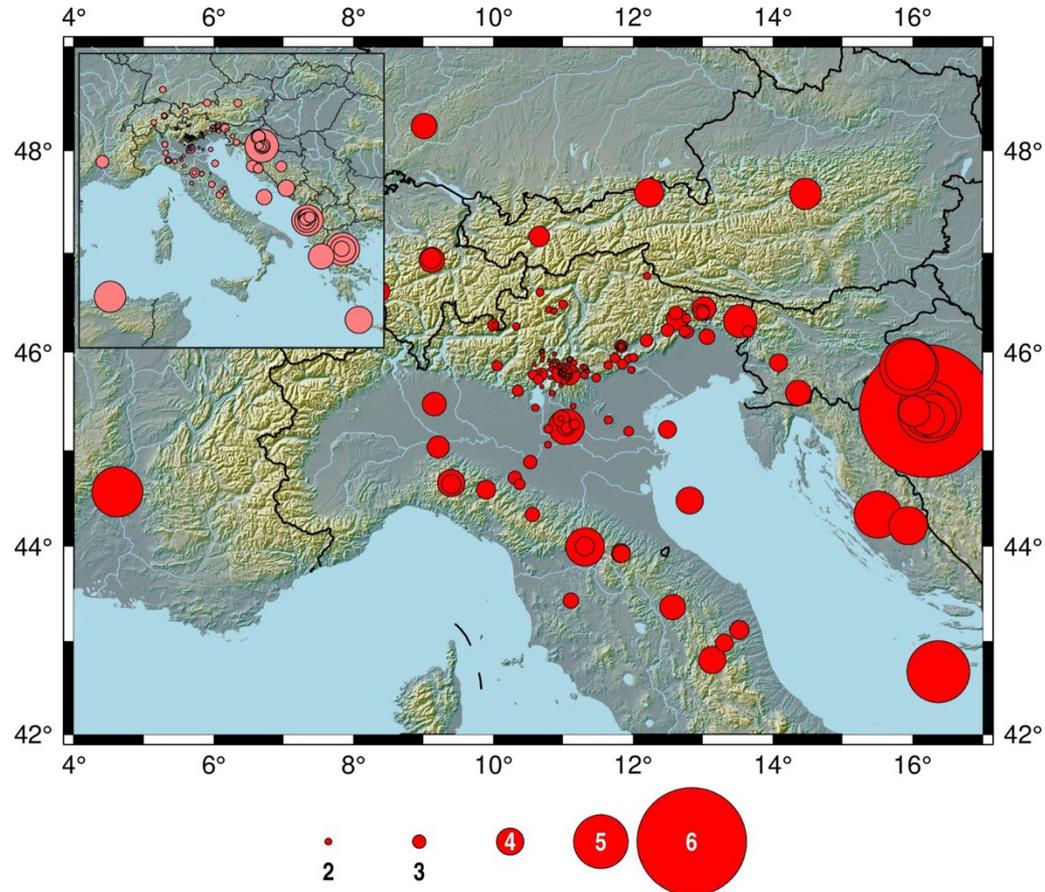
GIT (amplificazione) ↔ HVSR (frequenza di risonanza)

Registrazione di terremoti

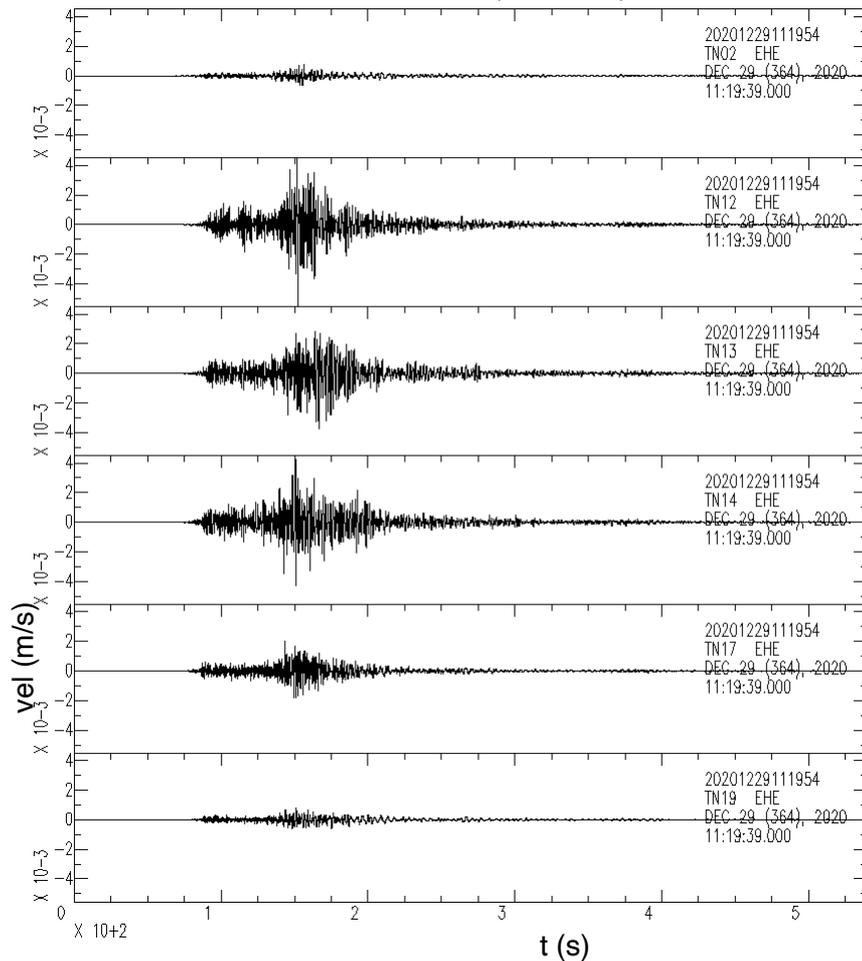


- 172 Eventi (06/2019-07/2021)
- $0.8 \leq M \leq 6.3$
- Circa 5000 sismogrammi

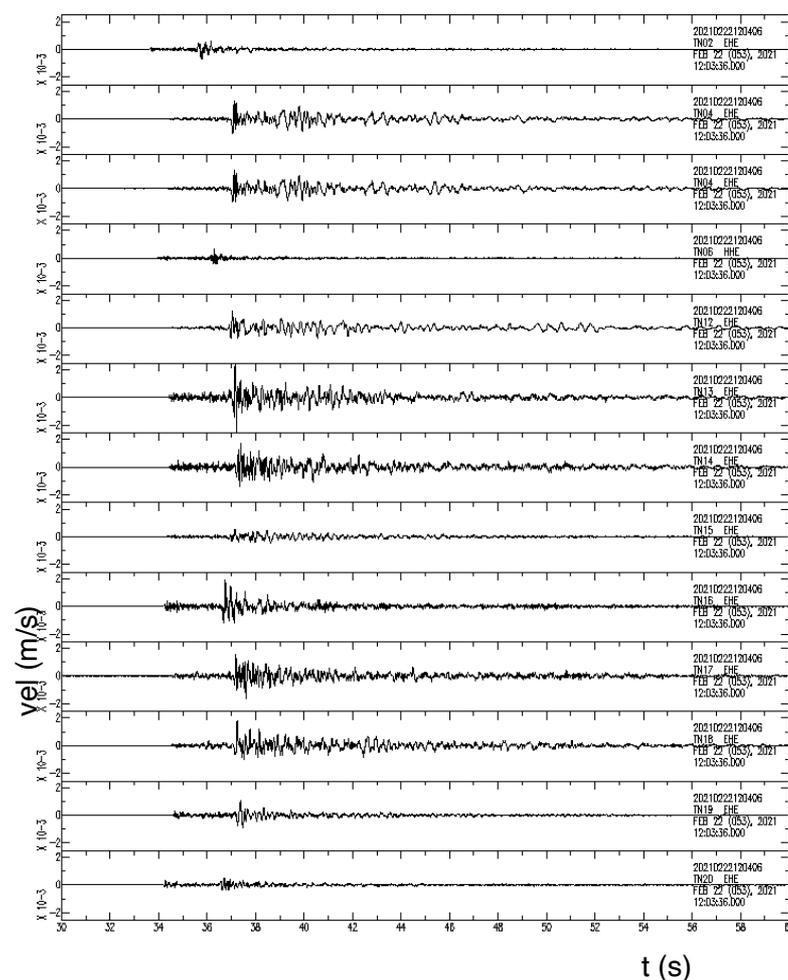
- 2019/11/11, M=4.9 Francia
- 2019/11/26, M=6.2 Albania
- 2019/11/27, M=6.0 Grecia
- 2020/12/29, M=6.3 Croazia
- 2021/03/18, M=6.2 Algeria
- 2021/03/03, M=6.3 Epiro



2020/12/29 11:19:54, M=6.3 (Croazia), dist=400 km

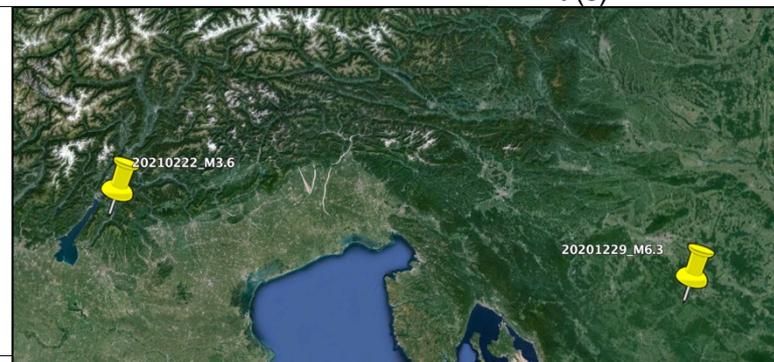


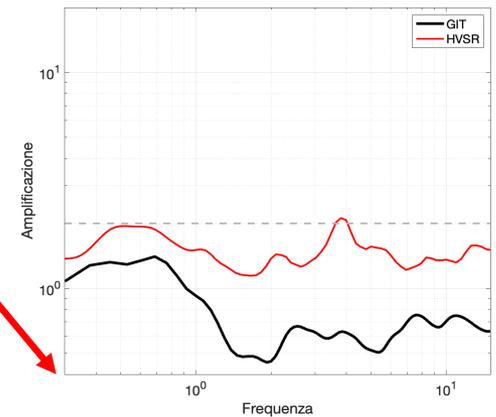
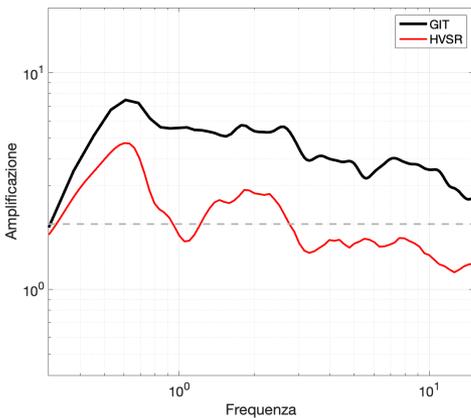
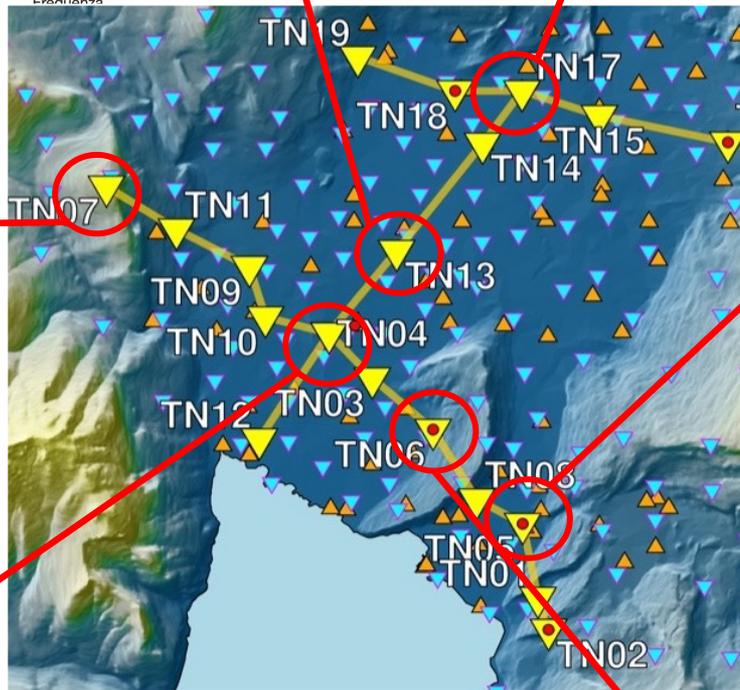
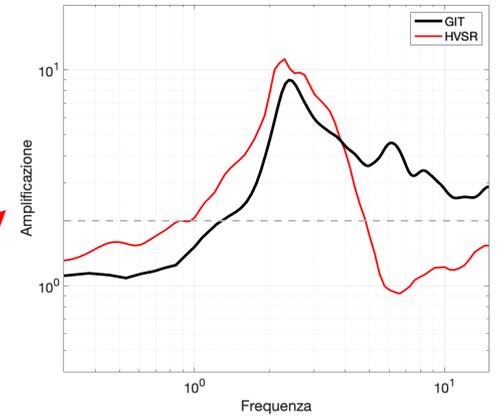
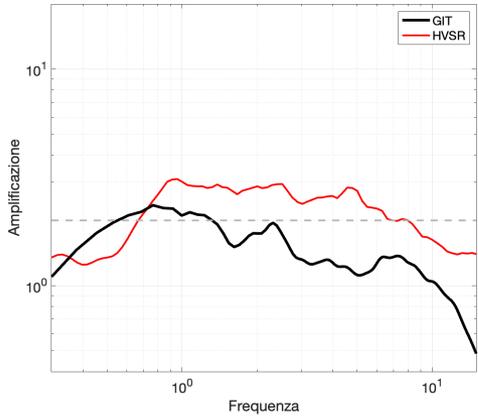
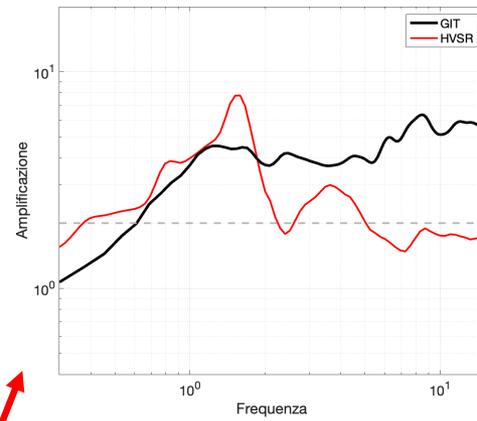
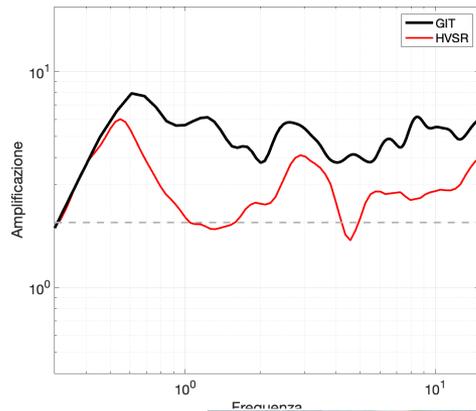
2021/02/22 12:04:06, M=3.6 (Ala), dist=15 km



Diversi:

- ✓ Contenuto in frequenza
- ✓ Ampiezza (amplificazione)
- ✓ Durata



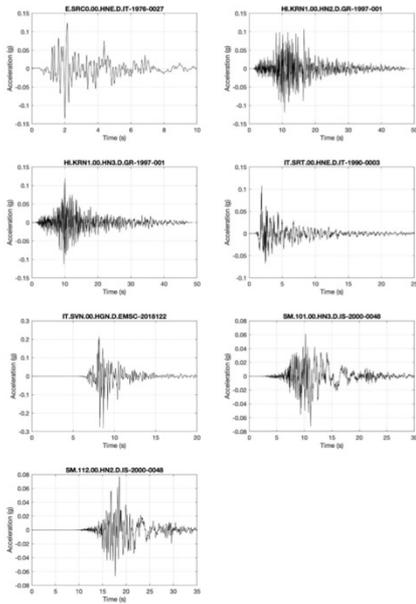


- ✓ Contenuto in frequenza
- ✓ Ampiezza (amplificazione)

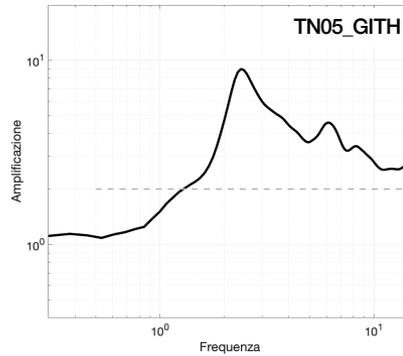
Curve di amplificazione



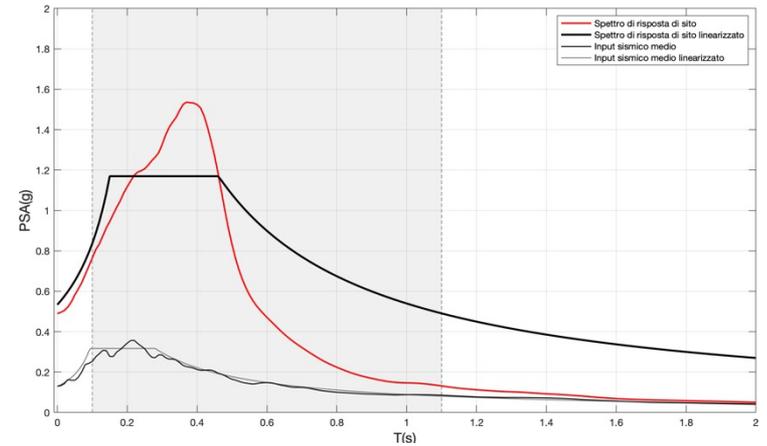
Fattori di amplificazione



*

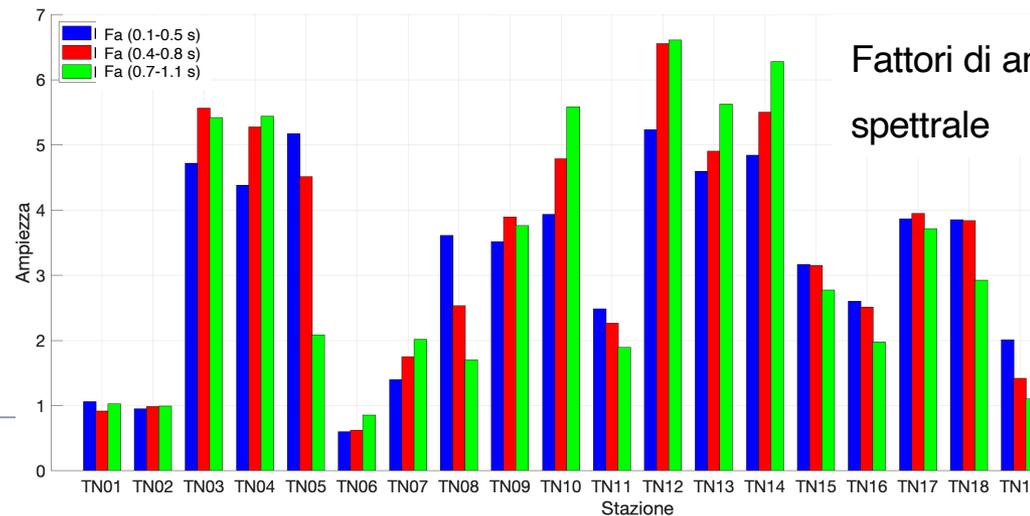


Curva di amplificazione
spettrale (GIT)



Spettro di risposta specifico di sito e
spettro regolarizzato

Azione sismica di
riferimento

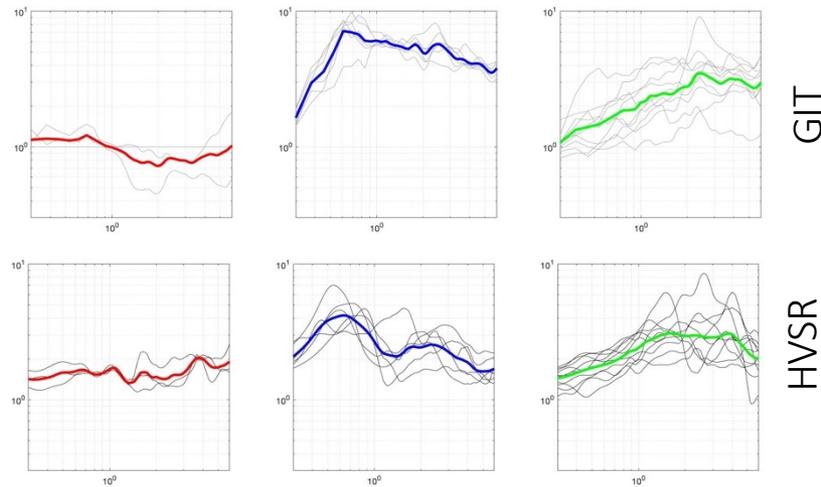
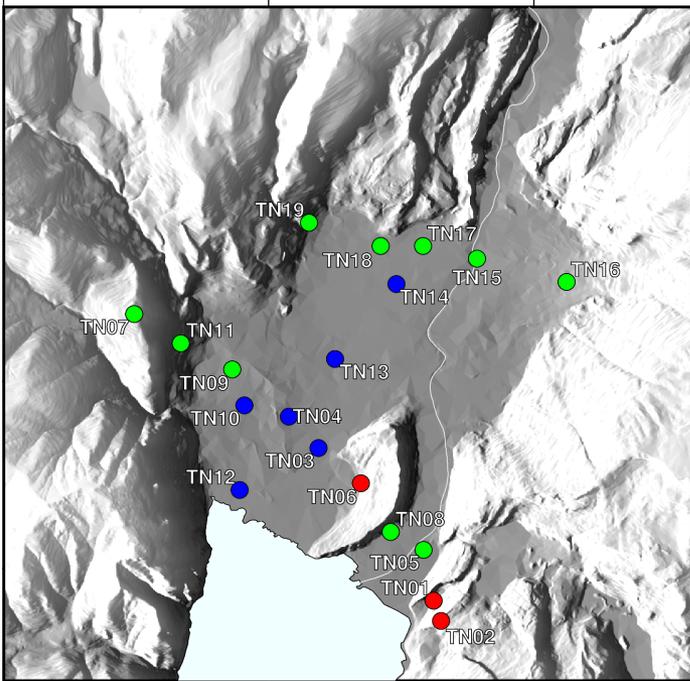


Fattori di amplificazione
spettrale

Zonazione della risposta di sito

1) Analisi dei cluster applicata alle curve HVSR e GIT presso i 19 siti delle stazioni sismometriche

Ogni cluster è rappresentato dal suo centroide (media delle curve)



I siti che presentano curve GIT simili, presentano anche curve HVSR simili → curve HVSR 'proxy' per GIT

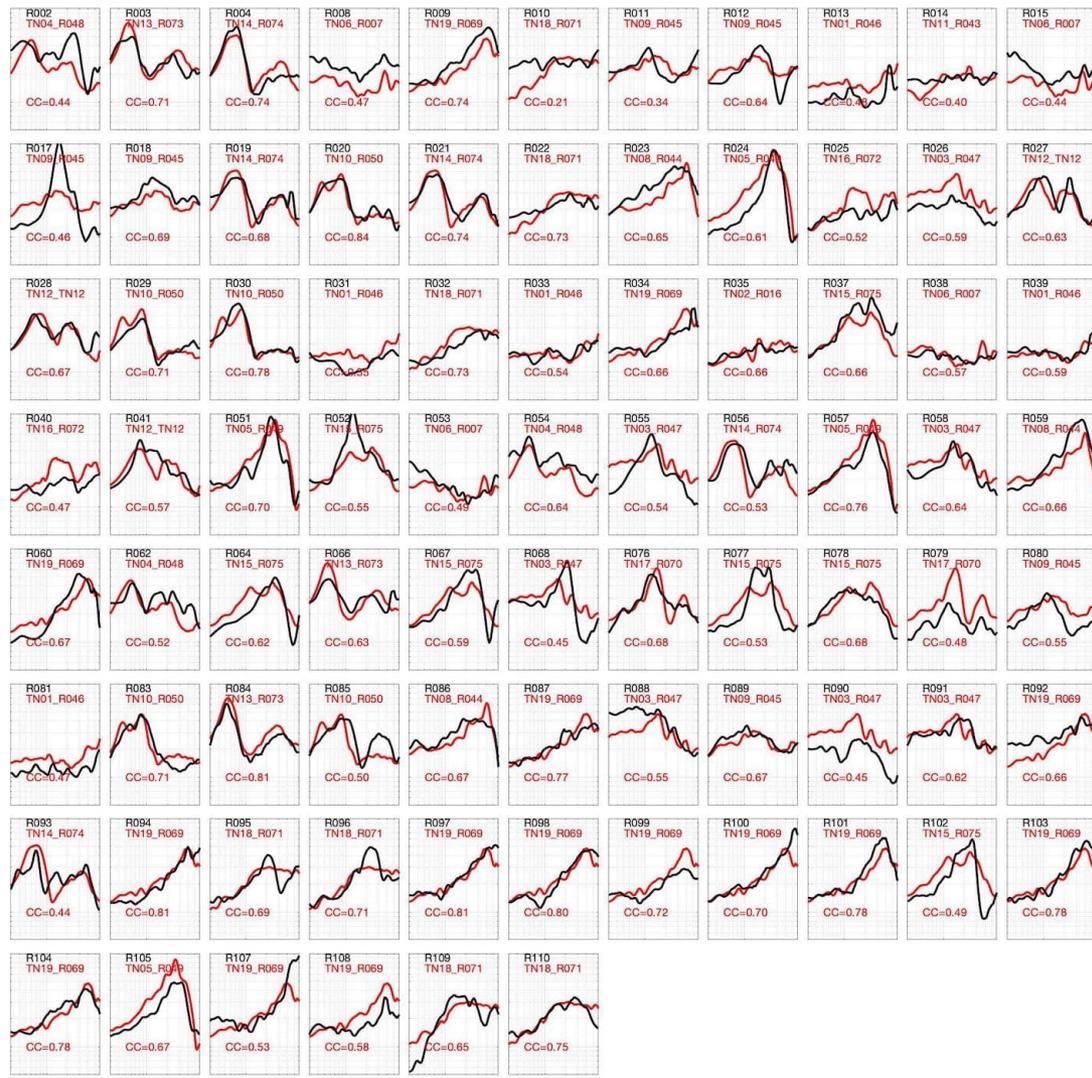
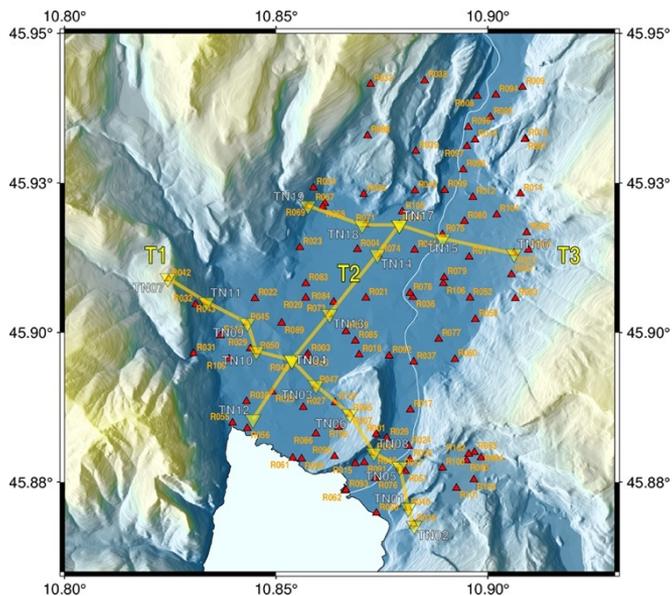
Strollo et al., 2012 e Ullah et al., 2013

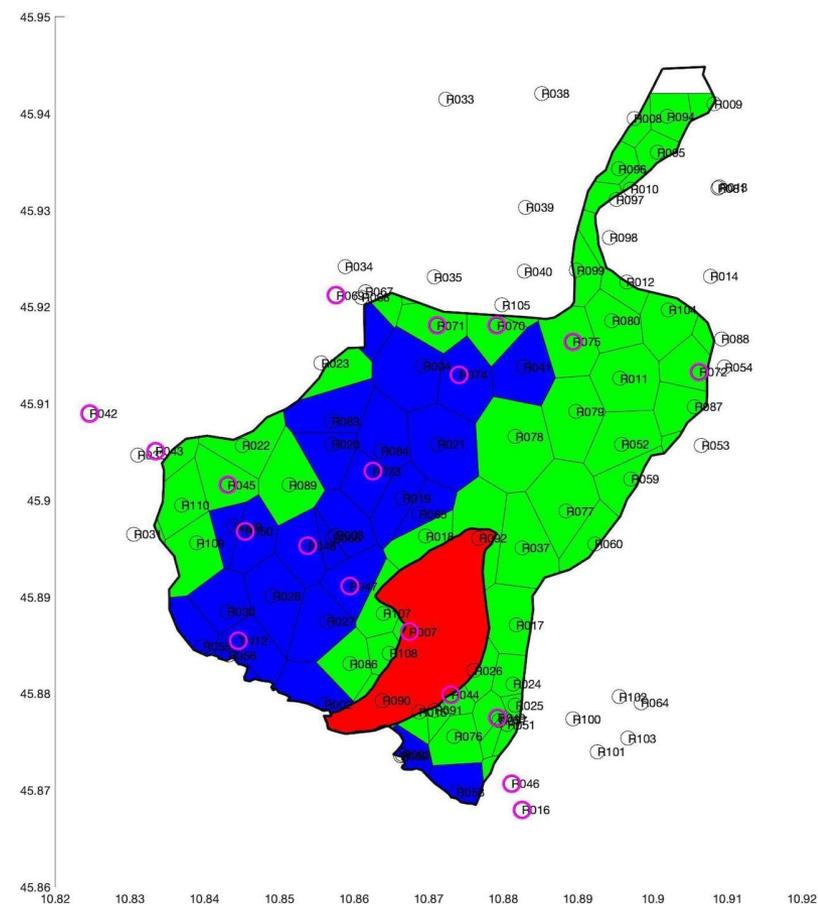
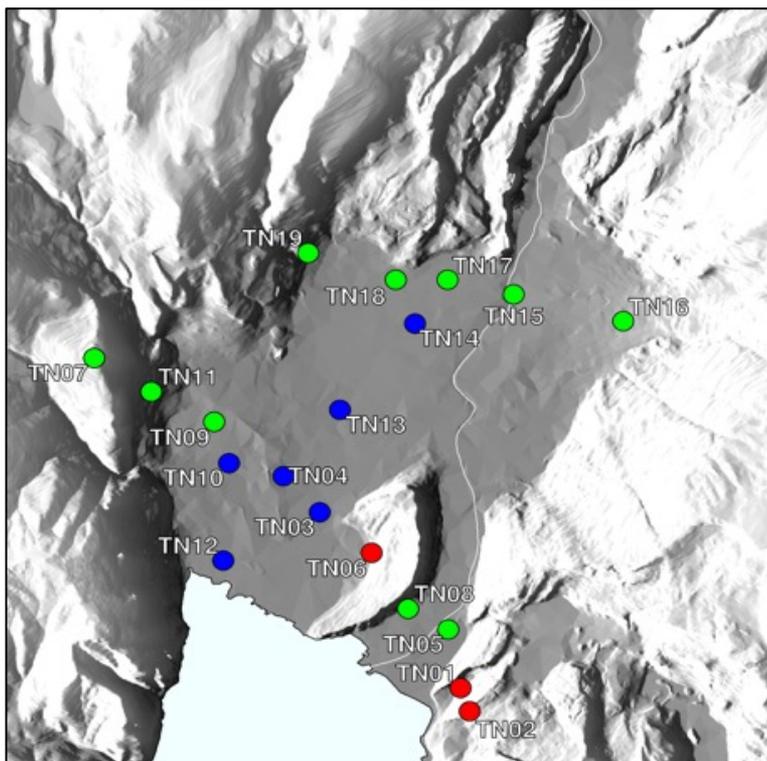
2) Analisi di correlazione tra curve

HVSR ottenute presso:

83 siti di registrazione del rumore —————

19 stazioni sismometriche —————

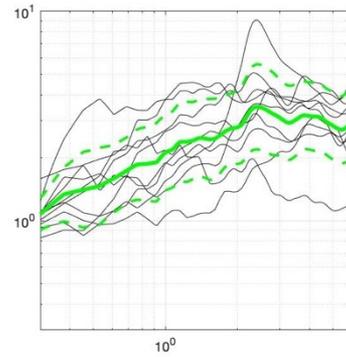
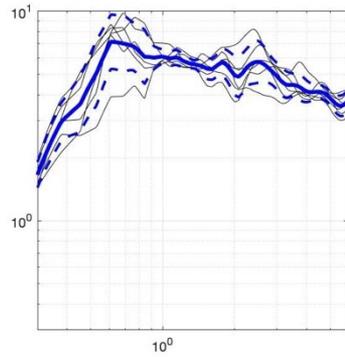
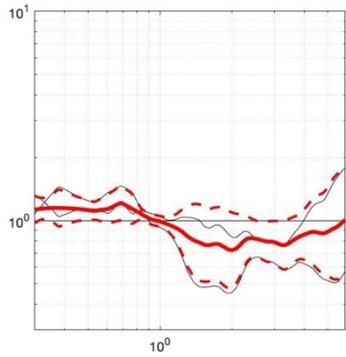




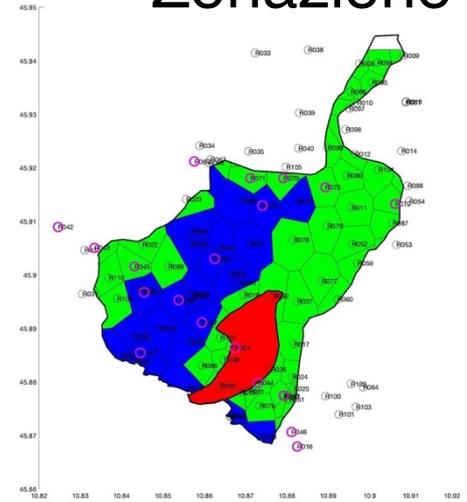
Zonazione iniziale

Zonazione finale

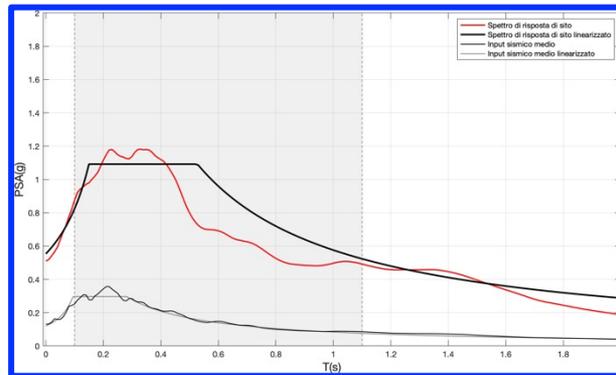
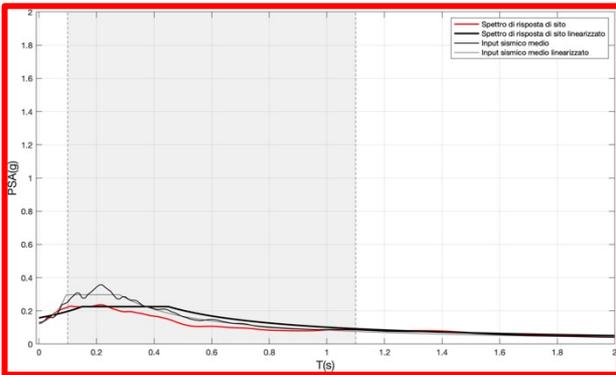
Curve GIT



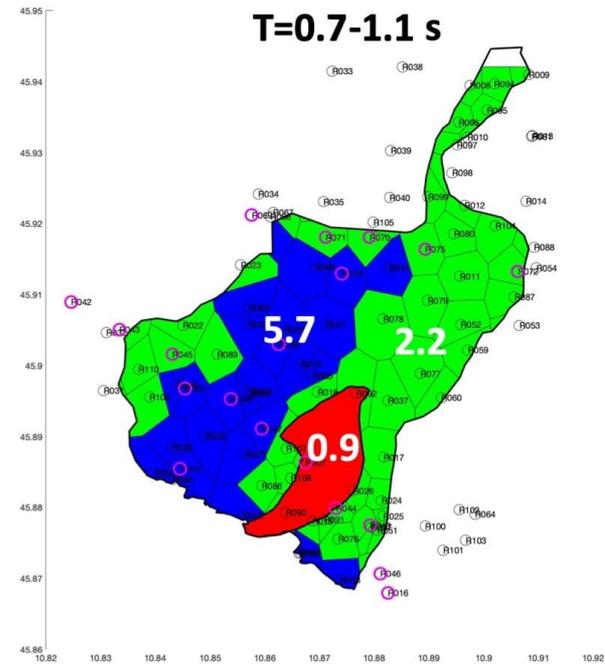
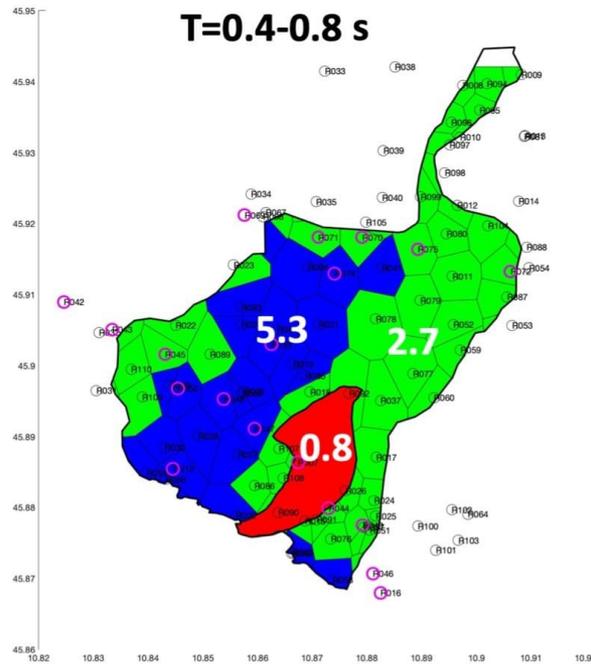
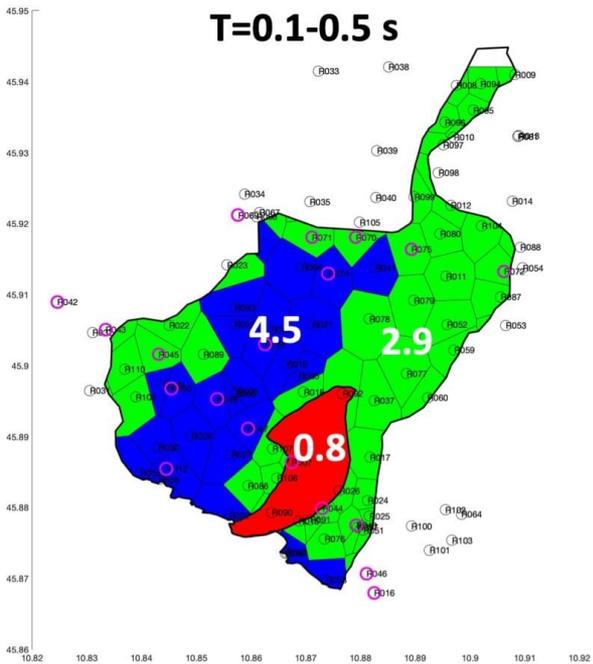
Zonazione



Spettri di risposta



Zonazione dei fattori di amplificazione



Costruzione del modello del substrato geologico

Dati disponibili:

✓ DEM (10 m)

✓ Batimetria del lago di *Garda*

(Fonte: Progetto Green Lake - Fondazione Cariplo/Università Cattolica del Sacro Cuore)

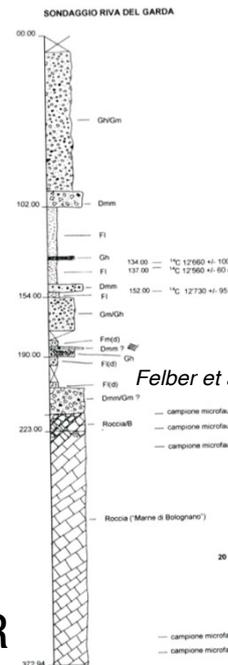
✓ Carte e sezioni geologiche

✓ Profondità del bedrock da HVSR

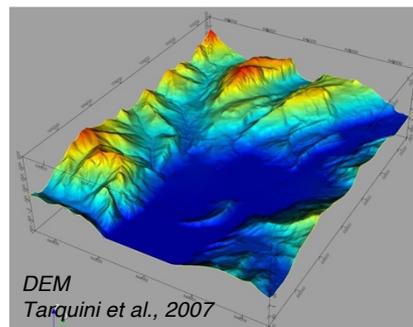
✓ Altre indagini pregresse:

profilo sismico, pozzi, profili

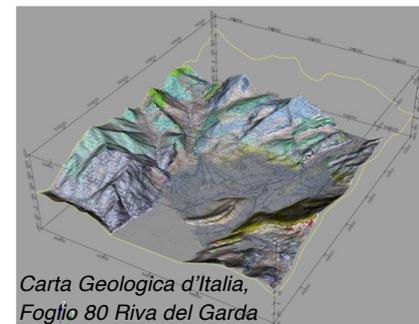
di Vs, etc.



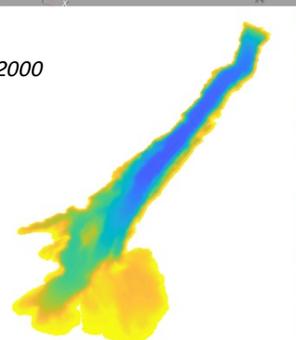
Felber et al, 2000



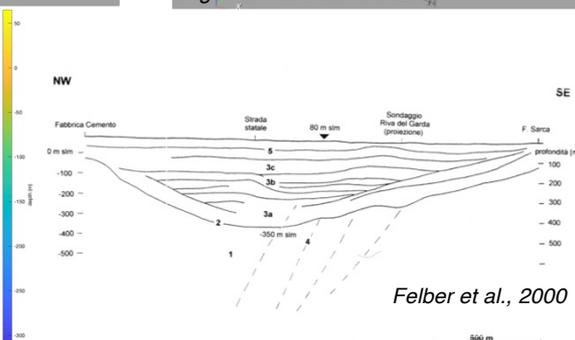
DEM Tarquini et al., 2007



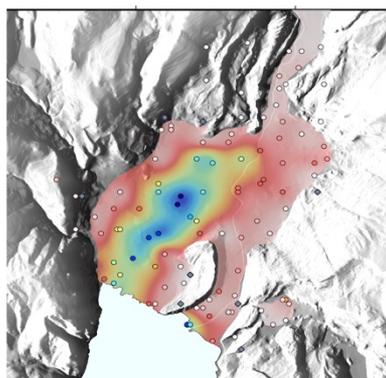
Carta Geologica d'Italia, Foglio 80 Riva del Garda



Progetto Green Lake - Fondazione Cariplo/Università Cattolica del Sacro Cuore



Felber et al., 2000



10.85° 10.90°
0 100 200 300
profondità (m)



Carta Geologica d'Italia, Foglio 80 Riva del Garda

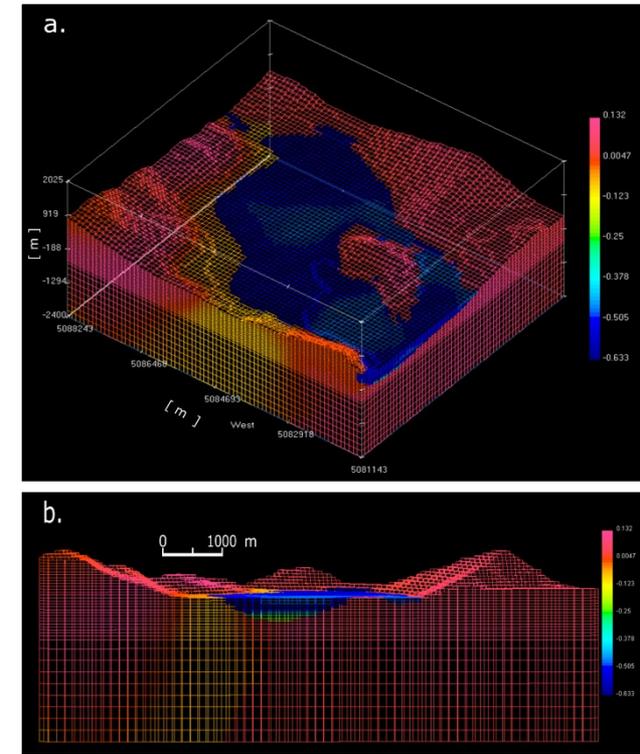
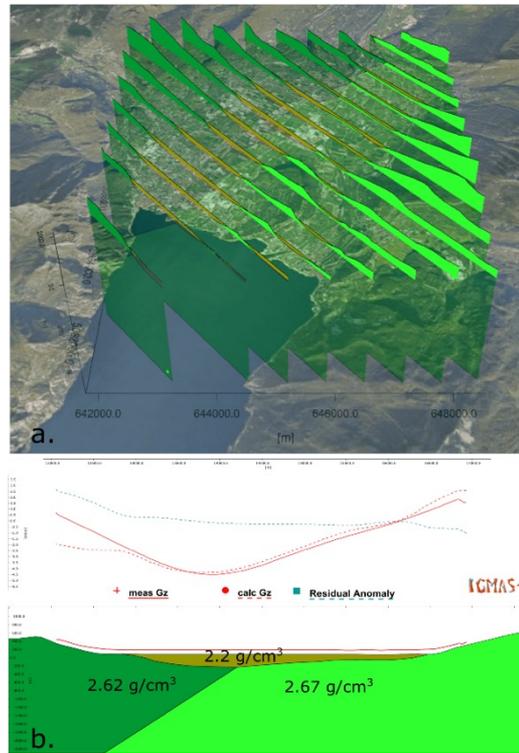
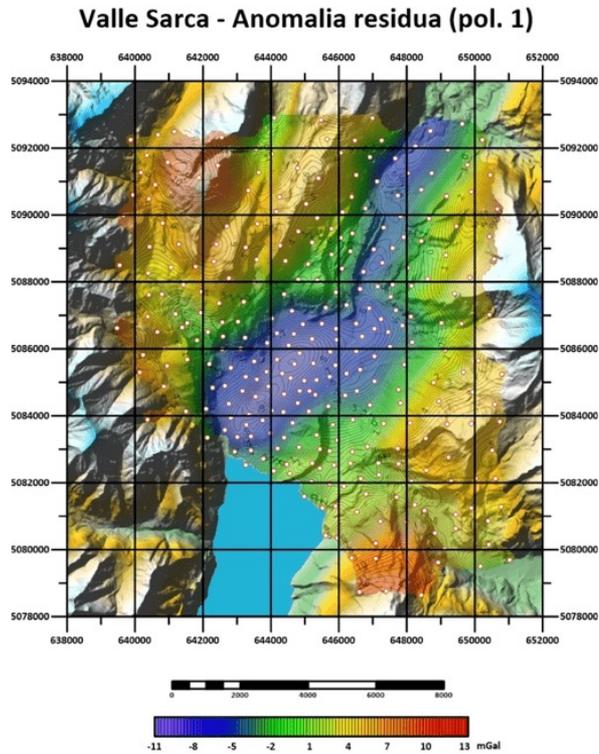
GeoModeller

(<https://www.intrepid-geophysics.com>)

Indagine gravimetrica

→ distribuzione di densità nel sottosuolo,

→ vincolo su morfologia del bedrock sotto la valle



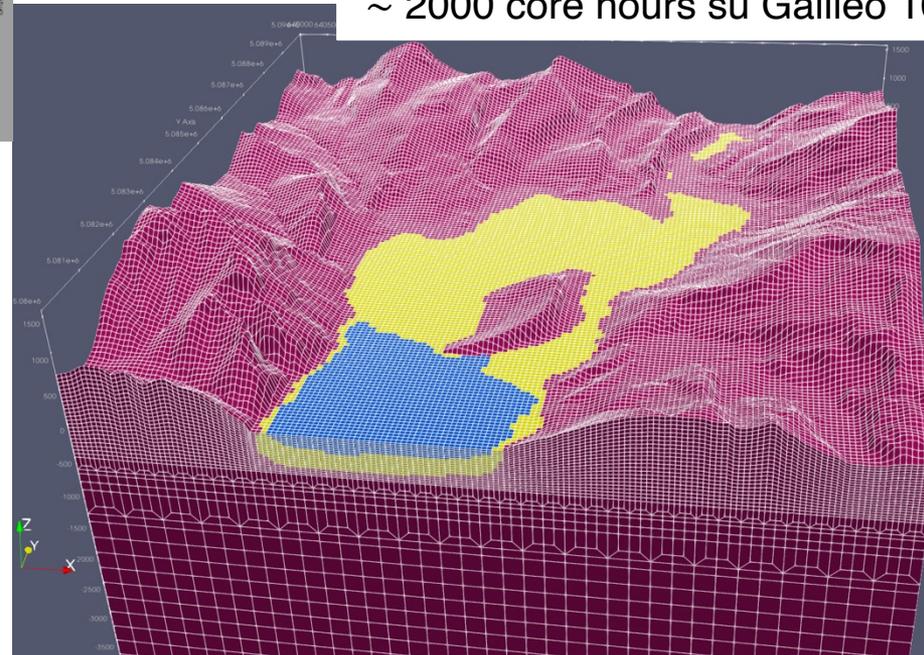
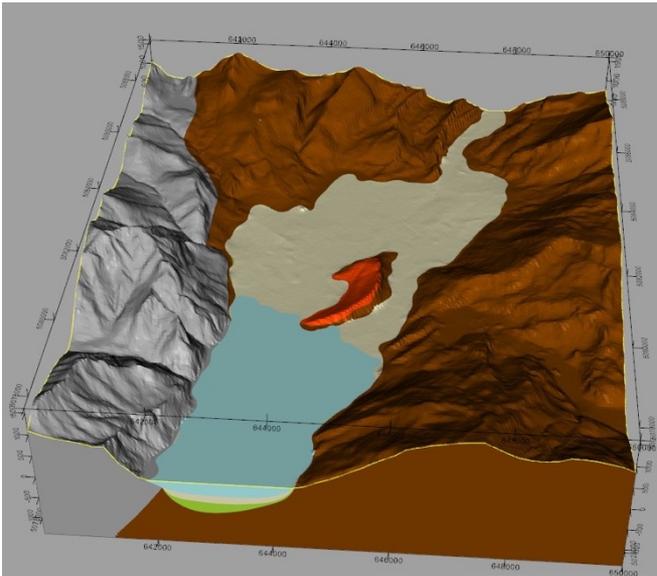
Modellazioni numeriche del moto del suolo in un modello 3-D

SPECFEM 3D (*Peter et al., 2011*)

- Validazione del modello
- Stime predittive del moto del suolo

~8.000.000 elementi esaedrici

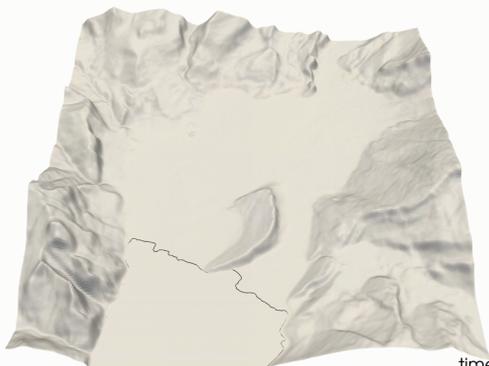
~ 2000 core hours su Galileo 100 (CINECA-BO)



Modello 3D

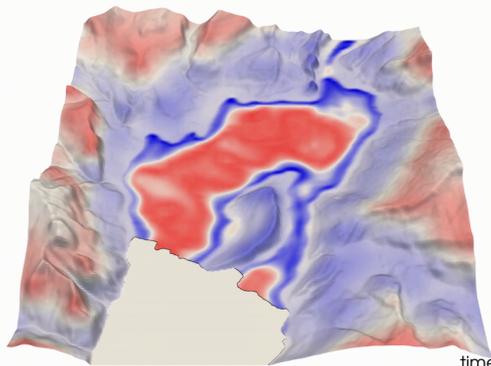
-  Depositi recenti
-  Depositi antichi
-  Calcari di mare profondo
-  Calcari di piattaforma
-  Arenarie di Monte Brione

Propagazione onde sismiche nella Bassa Valle del Sarca



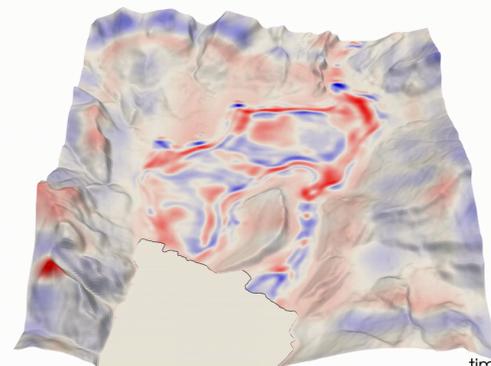
time: 0.50 s

Propagazione onde sismiche nella Bassa Valle del Sarca



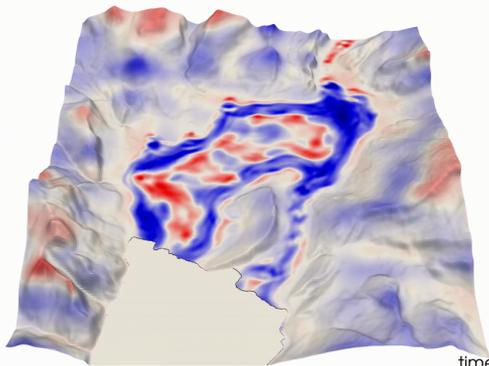
time: 1.00 s

Propagazione onde sismiche nella Bassa Valle del Sarca



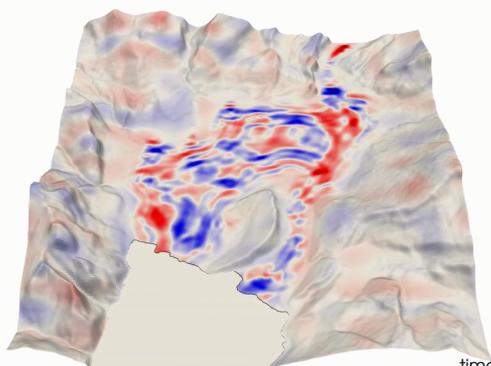
time: 1.50 s

Propagazione onde sismiche nella Bassa Valle del Sarca



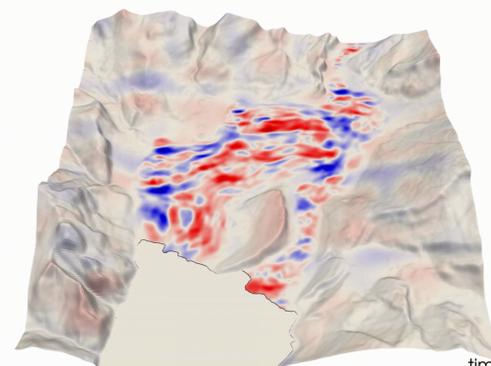
time: 2.00 s

Propagazione onde sismiche nella Bassa Valle del Sarca



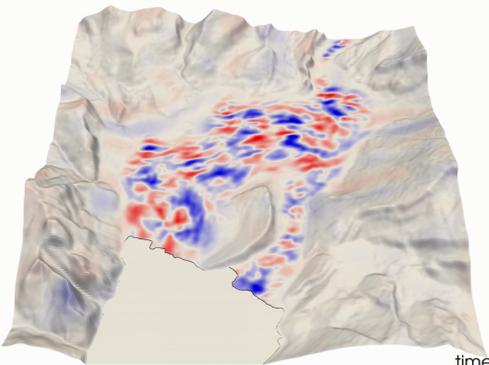
time: 2.50 s

Propagazione onde sismiche nella Bassa Valle del Sarca



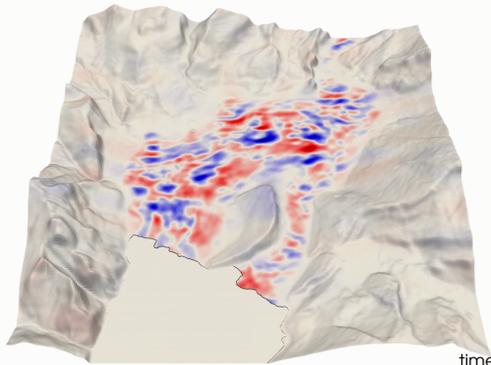
time: 3.00 s

Propagazione onde sismiche nella Bassa Valle del Sarca



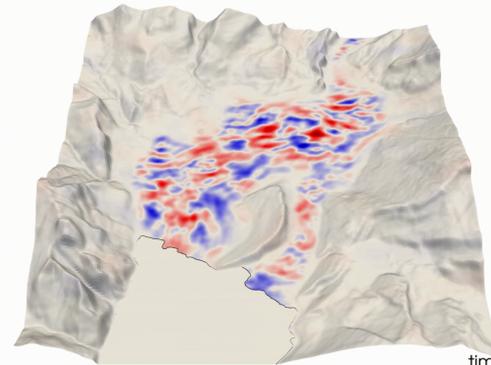
time: 3.50 s

Propagazione onde sismiche nella Bassa Valle del Sarca

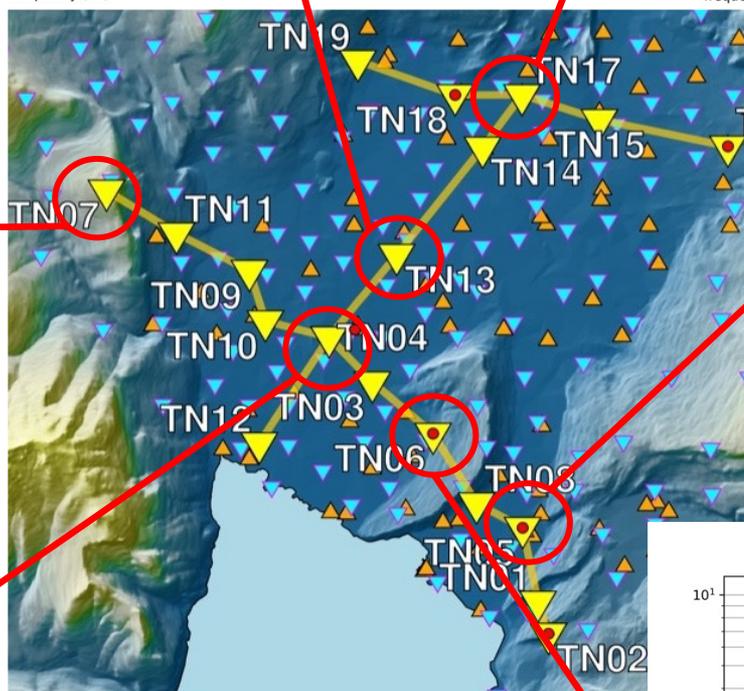
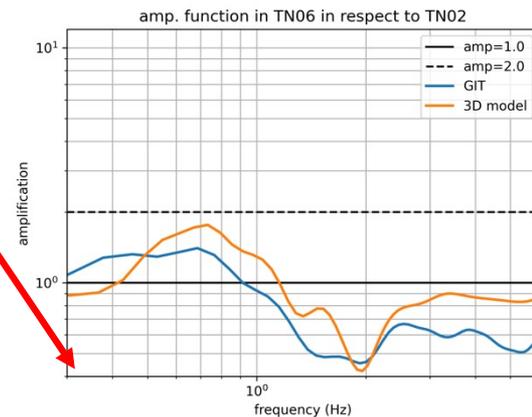
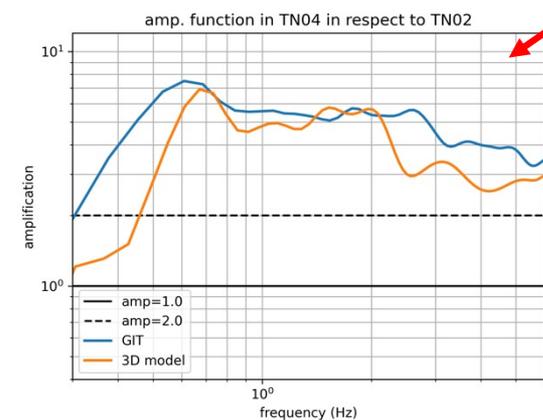
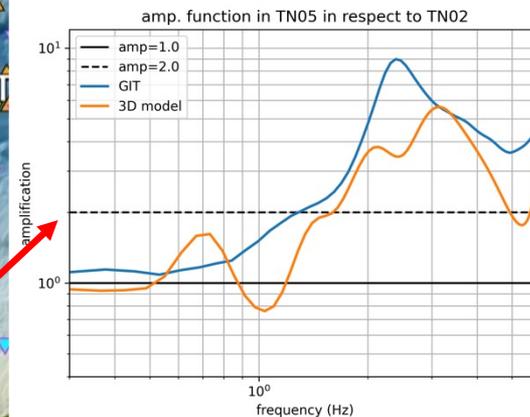
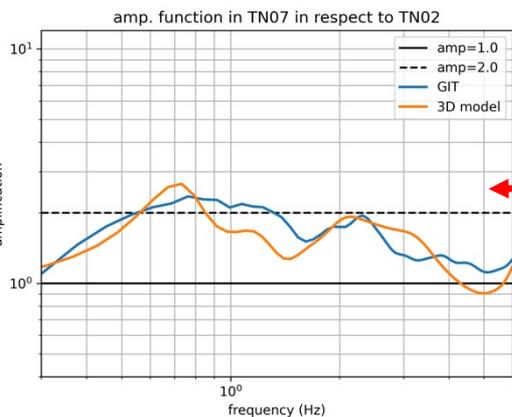
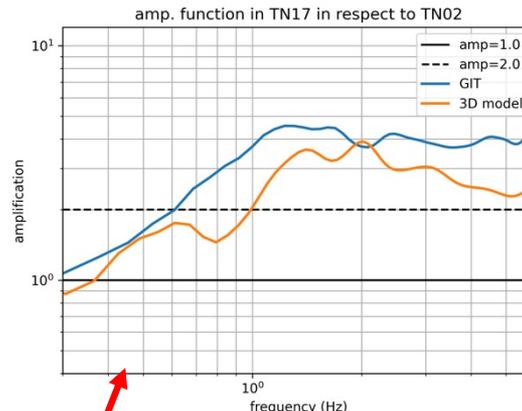
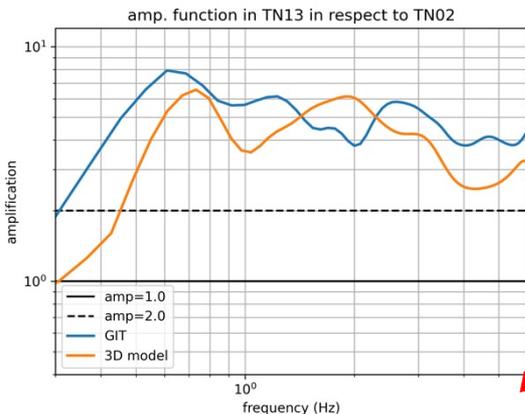


time: 4.00 s

Propagazione onde sismiche nella Bassa Valle del Sarca



time: 4.50 s



ca locale in Bassa Valle del Sarca

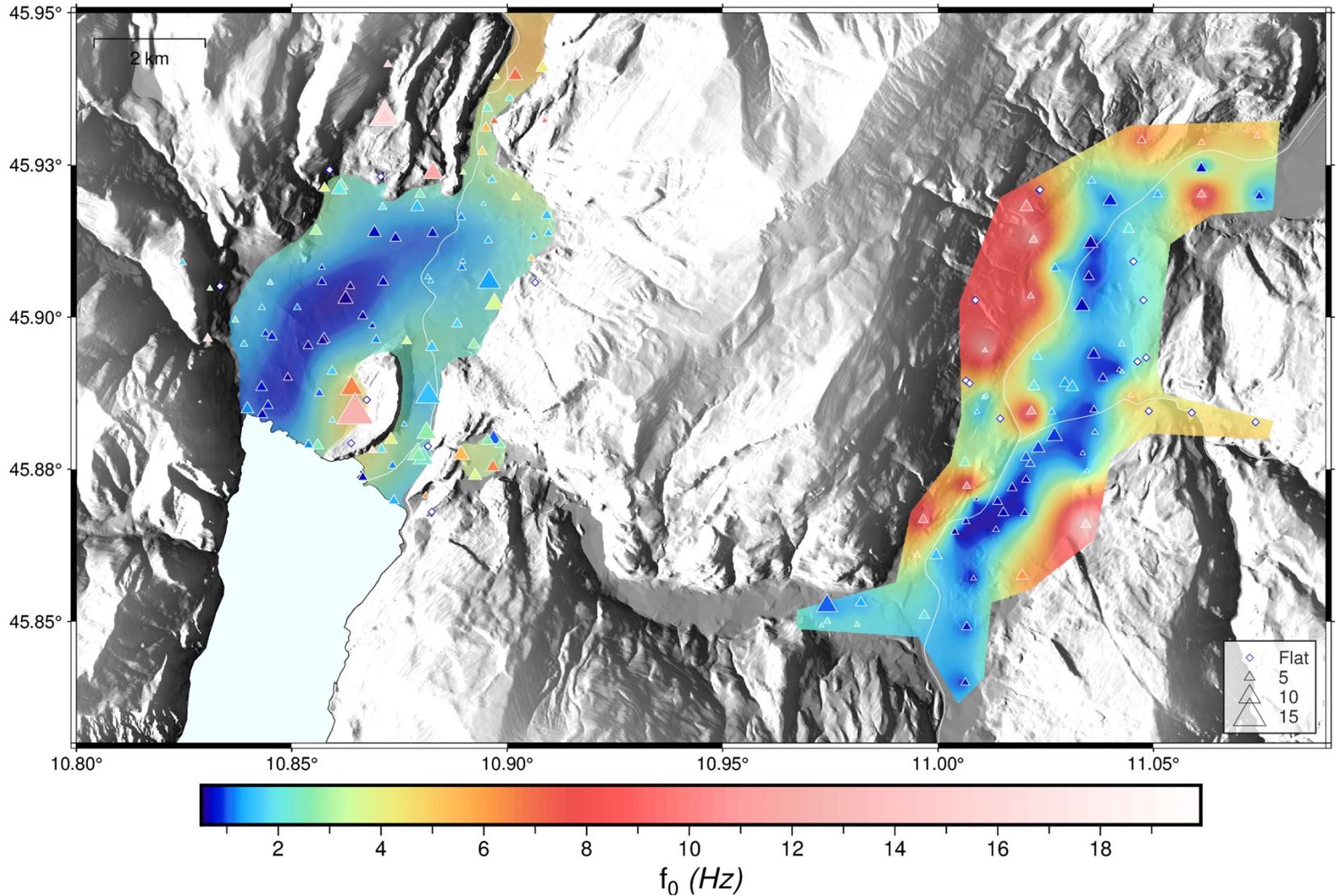
Conclusioni

- ✓ La bassa Valle del Sarca è caratterizzata da **valori elevati di amplificazione sismica** nel range di frequenze di interesse ingegneristico
- ✓ L'analisi di cluster-correlazione ha individuato 3 zone
- ✓ La modellazione numerica 3D permette di interpretare i risultati ottenuti
- ✓ I risultati permettono di definire con maggior accuratezza la pericolosità sismica dell'area

Studio riguardante la risposta sismica locale nell'area di Rovereto (2023-2026)



Studio riguardante la risposta sismica locale nell'area di Rovereto (2023-2026)





Grazie per l'attenzione