



Gruppo Nazionale di Geofisica della Terra Solida

39° CONVEGNO NAZIONALE

22 - 24 GIUGNO 2021



OGS
Istituto Nazionale
di Oceanografia
e di Geofisica
Sperimentale



Consiglio Nazionale
delle Ricerche



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile



ISTITUTO NAZIONALE DI
GEOFISICA E VULCANOLOGIA



Sessione 2.1:

Pericolosità sismica da terremoti e maremoti

Determinazione del bedrock sismico in bacini alluvionali profondi. L'esempio della pianura emiliano-romagnola

Luca Martelli

Per la valutazione dello scuotimento sismico in superficie è fondamentale conoscere lo spessore dei terreni di copertura, o profondità del tetto del substrato rigido (bedrock sismico, BS), e la profondità delle varie discontinuità sismo-stratigrafiche.

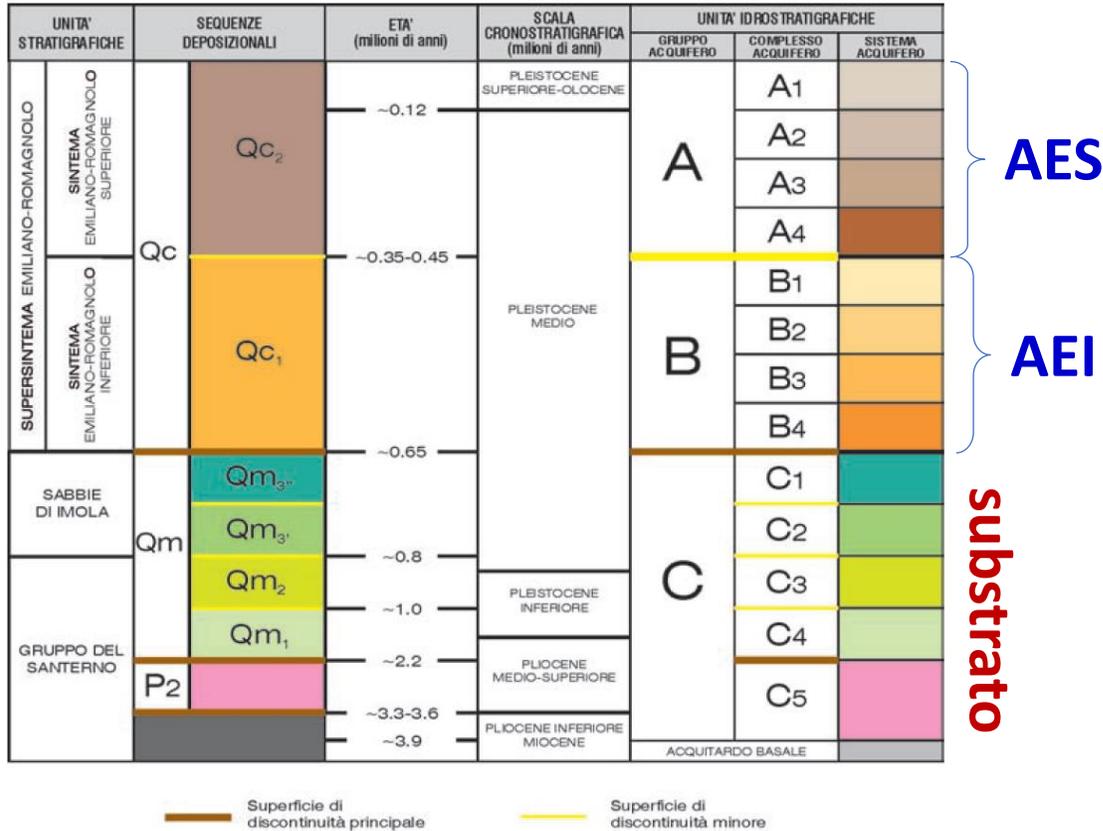
In caso di spessore elevato della copertura la misura diretta di V_S spesso non è possibile, tenuto conto che di solito (per risorse e tecniche disponibili) con le indagini si riesce a caratterizzare il sottosuolo fino a profondità di 30÷50 m.

In assenza di misure dirette di V_S fino al bedrock, la procedura migliore per determinare la profondità del BS e di altre eventuali discontinuità è l'associazione di misure delle vibrazioni ambientali e dati stratigrafici, utilizzando la nota relazione:

$$F_n = \frac{\bar{V}_S}{4H}$$

che lega la frequenza di risonanza del terreno, F_n , lo spessore della copertura (H) e la V_S media dello spessore H .

Perché per la caratterizzazione sismostratigrafica del sottosuolo padano è di particolare importanza il confronto tra frequenze naturali del terreno e dati litostratigrafici?



I primi 500÷600 m del sottosuolo padano sono costituiti da sedimenti alluvionali e di transizione marino-continentale, risultato dell'attività deposizionale del Po e dei suoi affluenti e delle dinamiche costiere degli ultimi 0,8-0,65 Ma, in un **contesto tettonicamente attivo**. In questa successione è riconoscibile una ciclicità sedimentaria di vario ordine controllata dalla tettonica e dalle variazioni glacio-eustatiche.

La successione è organizzata in due cicli sedimentari principali: il **Sistema E-R Inferiore (AEI, 0,8/0,65-0,4 Ma)** e il **Sistema E-R Superiore (AES, 0,4 Ma-Attuale)**, a loro volta organizzati in subsistemi, costituiti da alternanze di sedimenti grossolani (ghiaie e sabbie) e fini (limi e argille) (RER & ENI-AGIP, 1998; v. fogli CARG 50.000 n. 223 «Ravenna» e n. 256 «Rimini»).

Ogni sottounità è limitata da superfici di discontinuità. Il grado di deformazione diminuisce verso l'alto. Nelle aree pedemontane e di alto strutturale i limiti delle sottounità più antiche sono marcati da discordanze angolari.

La complessa storia evolutiva ha conferito alle varie sottounità un diverso grado di compattazione e rigidità dei sedimenti, via via maggiori verso il basso. Le superfici di discontinuità stratigrafica della successione padana possono quindi essere anche superfici di discontinuità di propagazione delle onde sismiche (V_s).

Purtroppo negli studi di MS e nelle relazioni a supporto della progettazione nella pianura emiliano-romagnola spesso la stima della profondità del bedrock sismico è basata quasi esclusivamente sul solo valore di F_n , senza considerare opportunamente i profili di V_s e i dati litostratigrafici, anche se facilmente reperibili.

fogli CARG 50.000 con schemi, note e sezioni geologiche: <https://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/emilia.html>

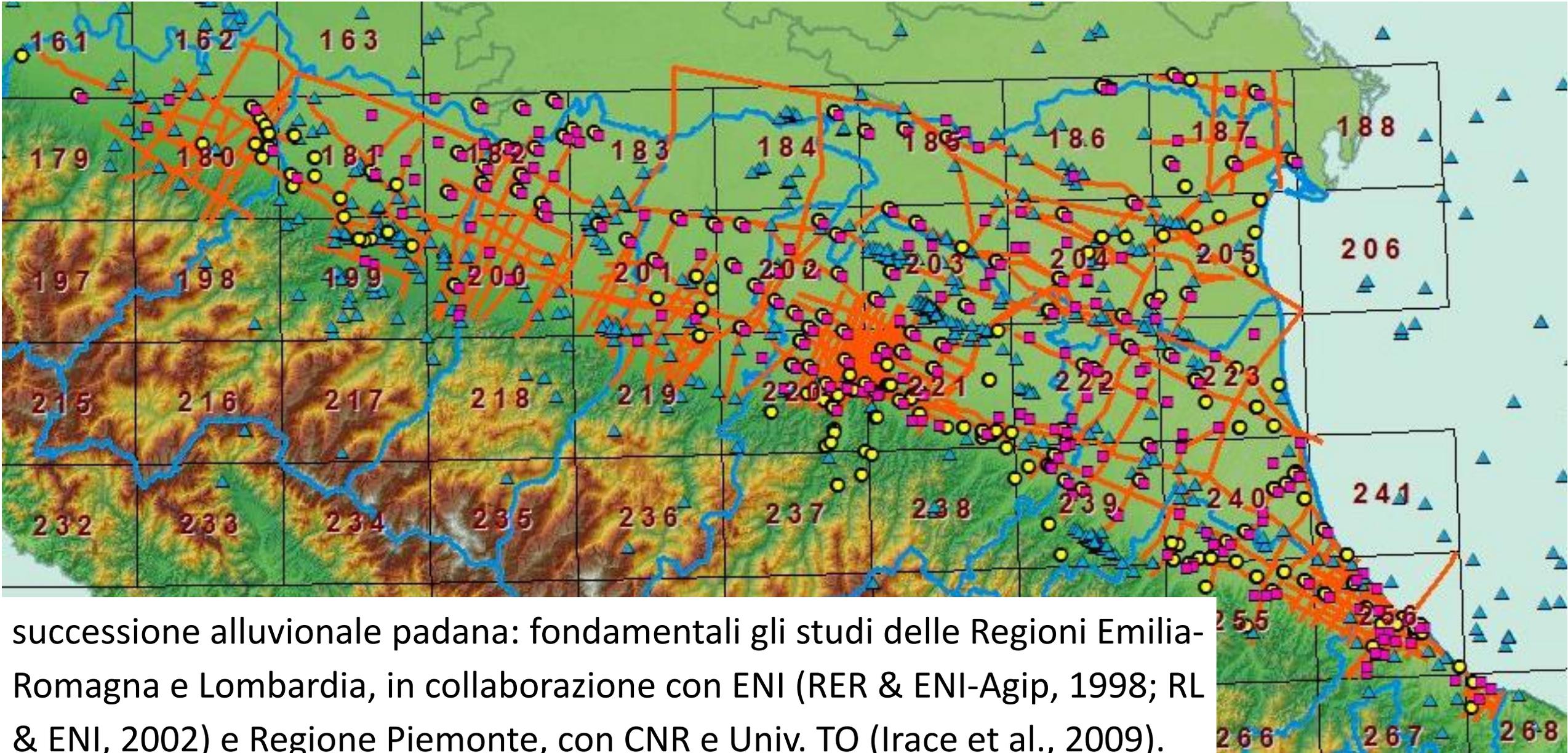
fogli con cartografia dedicata alla rappresentazione dei dati di sottosuolo

🟡 : sottosuolo
🟢 : note illustrative



- 🟡 🟢 180 - Salsomaggiore Terme
- 🟡 🟢 181 - Parma Nord
- 🟡 🟢 182 - Guastalla
- 🟡 🟢 187 - Codigoro
- 🟡 🟢 199 - Parma Sud
- 🟡 🟢 200 - Reggio nell'Emilia
- 🟡 🟢 201 - Modena
- 🟡 🟢 202 - S. Giovanni in Persiceto
- 🟡 🟢 203 - Poggio Renatico
- 🟡 🟢 204 - Portomaggiore
- 🟡 🟢 205 - Comacchio
- 🟡 🟢 219 - Sassuolo
- 🟡 🟢 220 - Casalecchio di Reno
- 🟡 🟢 221 - Bologna
- 🟡 🟢 222 - Lugo
- 🟡 🟢 223 - Ravenna
- 🟡 🟢 239 - Faenza
- 🟡 🟢 240 - Forlì
- 🟡 🟢 241 - Cervia
- 🟡 🟢 255 - Cesena
- 🟡 🟢 256 - Rimini

Sezioni geologiche e sondaggi della pianura emiliano-romagnola sono disponibili in https://geo.regione.emilia-romagna.it/cartografia_sgss/user/viewer.jsp?service=sezioni_geo.

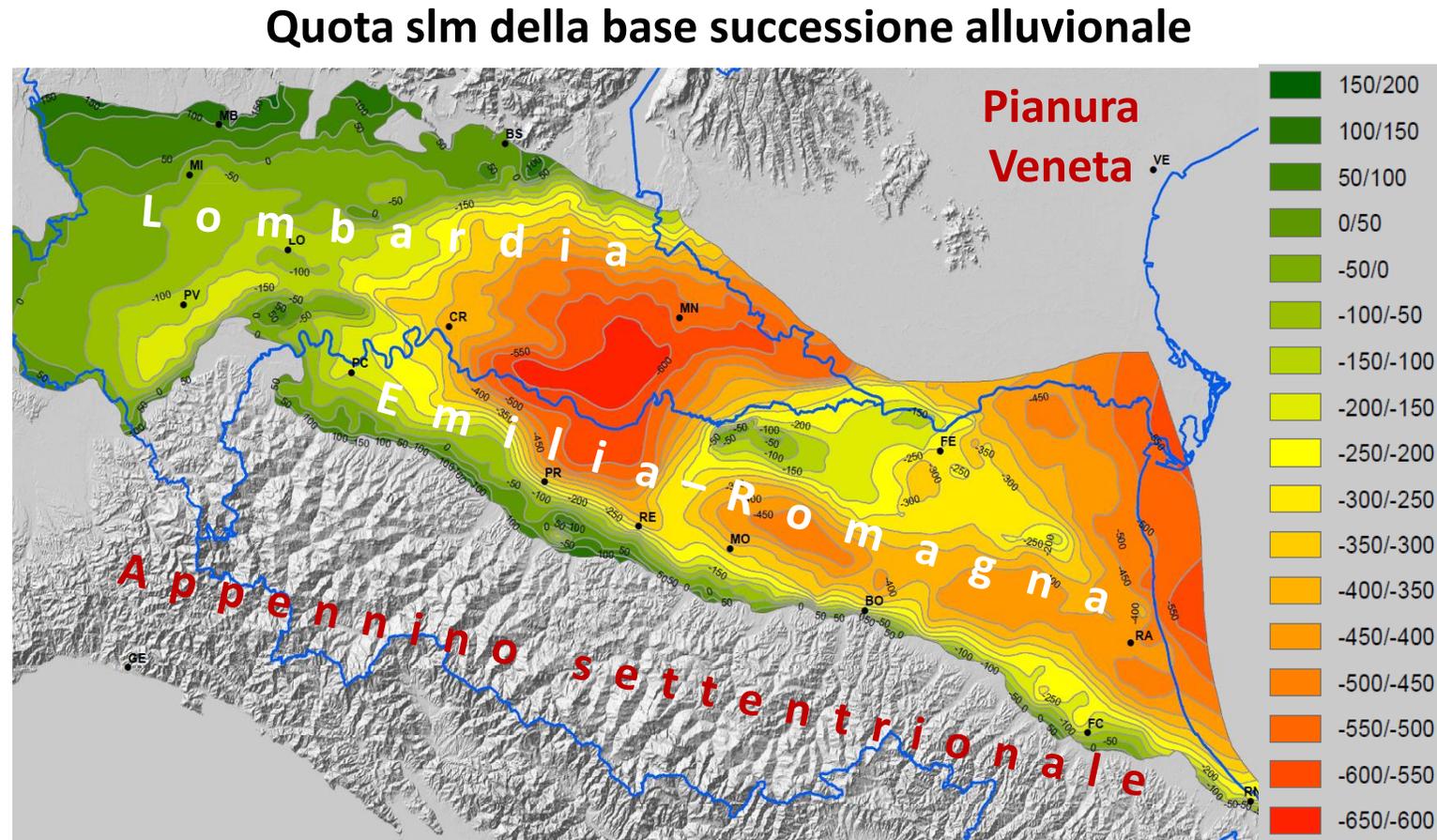


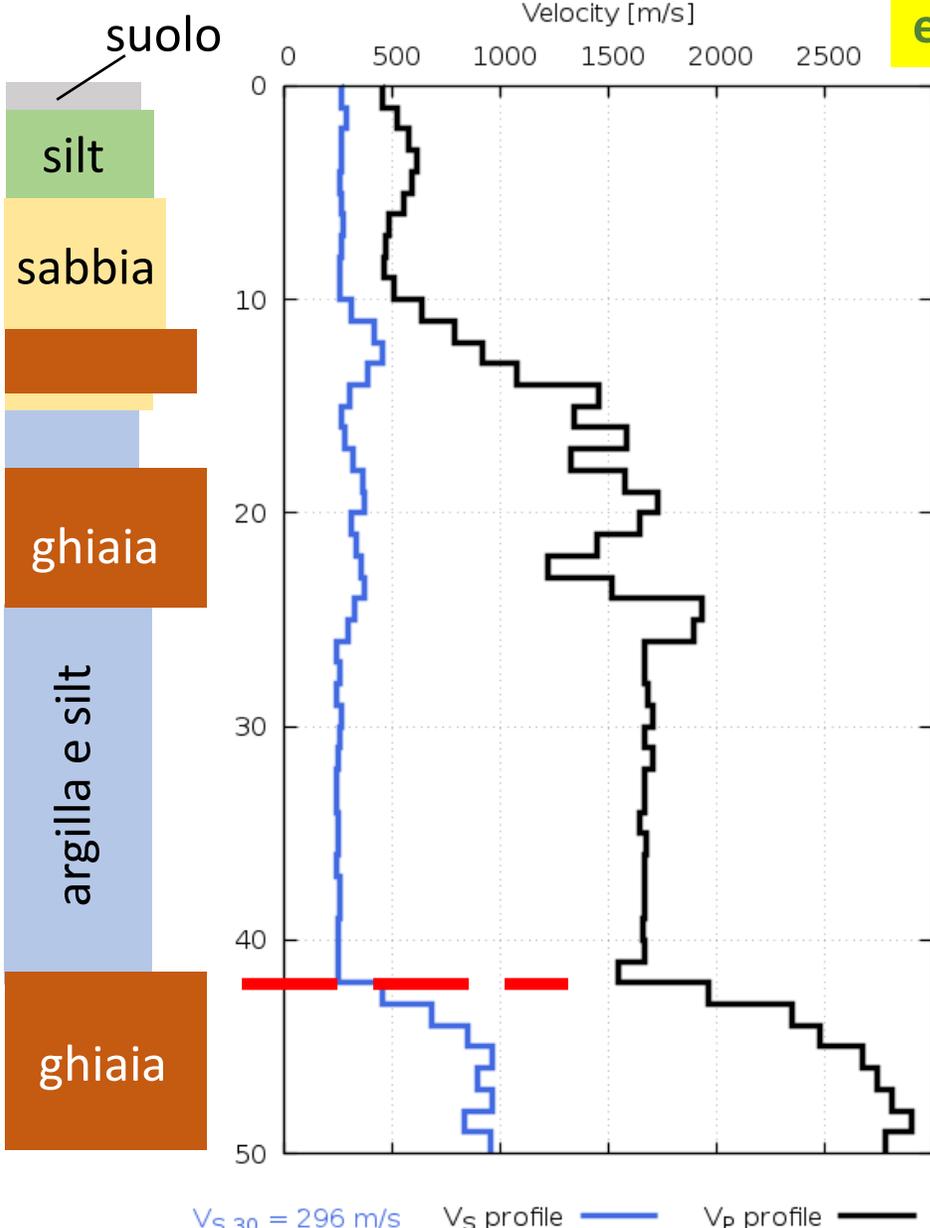
successione alluvionale padana: fondamentali gli studi delle Regioni Emilia-Romagna e Lombardia, in collaborazione con ENI (RER & ENI-Agip, 1998; RL & ENI, 2002) e Regione Piemonte, con CNR e Univ. TO (Irace et al., 2009).

La procedura indicata è stata testata in varie zone della pianura emiliano-romagnola.

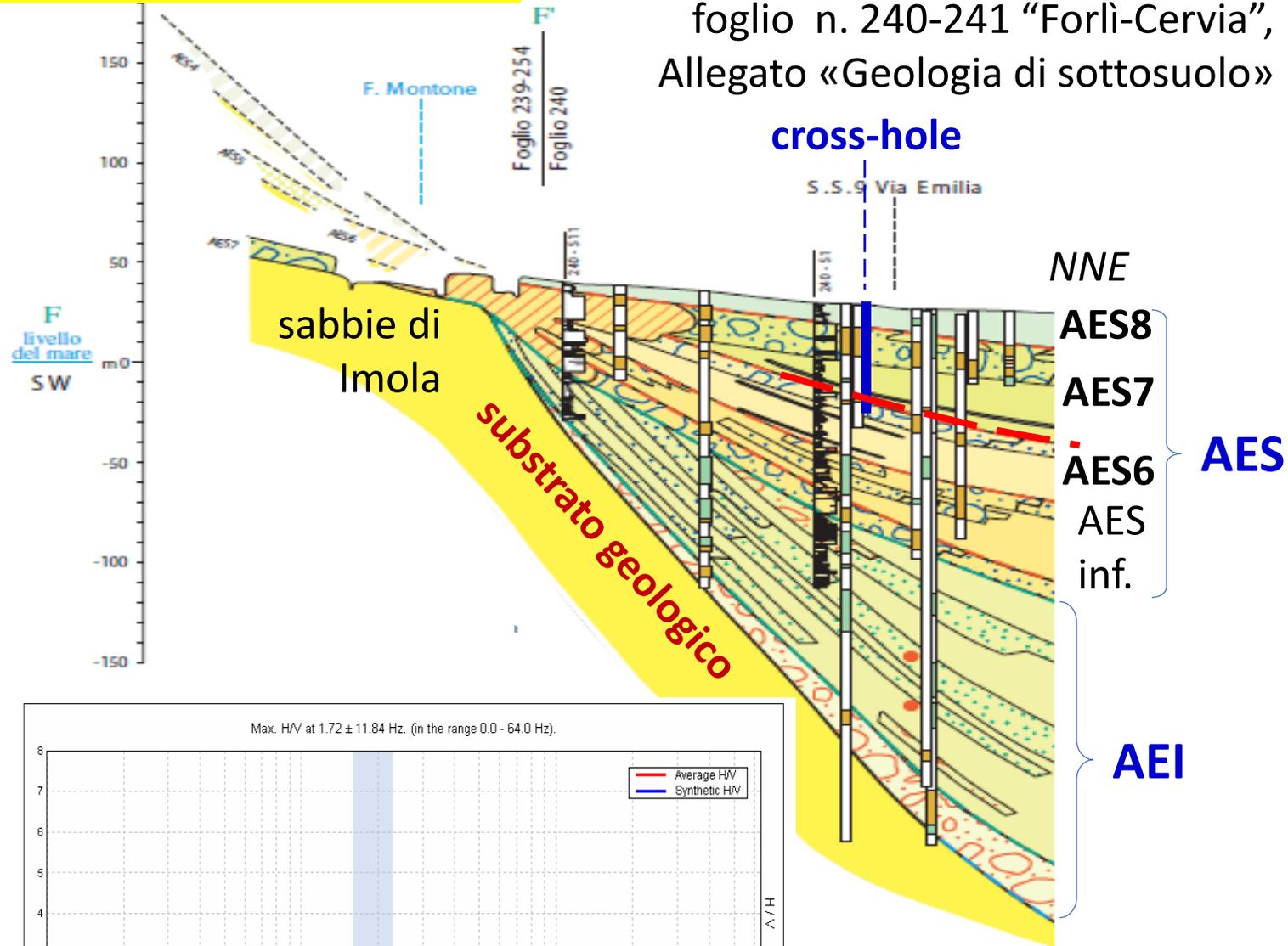
La pianura emiliano-romagnola, in base allo spessore e litologia della successione alluvionale può essere suddivisa nelle seguenti zone:

- **zona pedemontana**, caratterizzata da orizzonti di ghiaie, talora amalgamati, di spessore decametrico, che verso valle si intercalano a sabbie e limi;
- **zone distali**, costituite da alternanze di argille, limi e sabbie, che, sulla base della geometria e profondità del substrato, possono essere distinte in:
 - **zone di alto strutturale** (sommità delle anticlinali più elevate),
 - **altre zone** (sinclinali, fianchi delle anticlinali, anticlinali meno elevate).

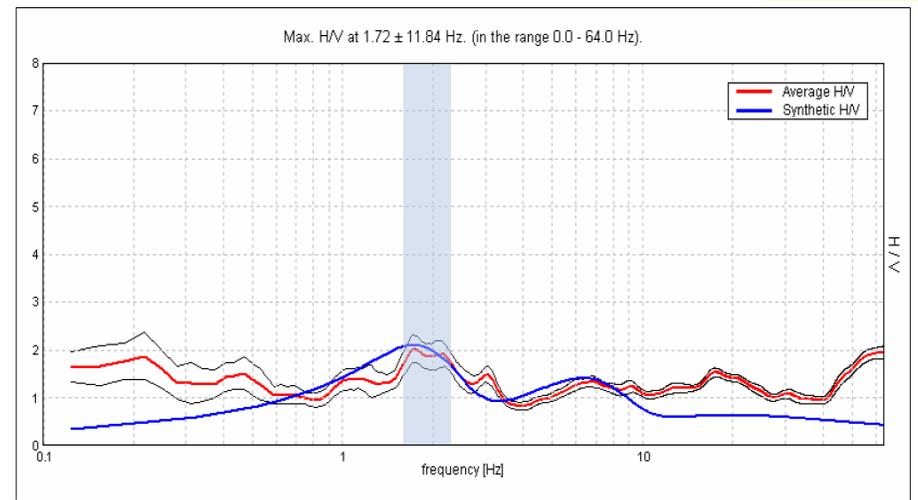




esempio in area pedemontana



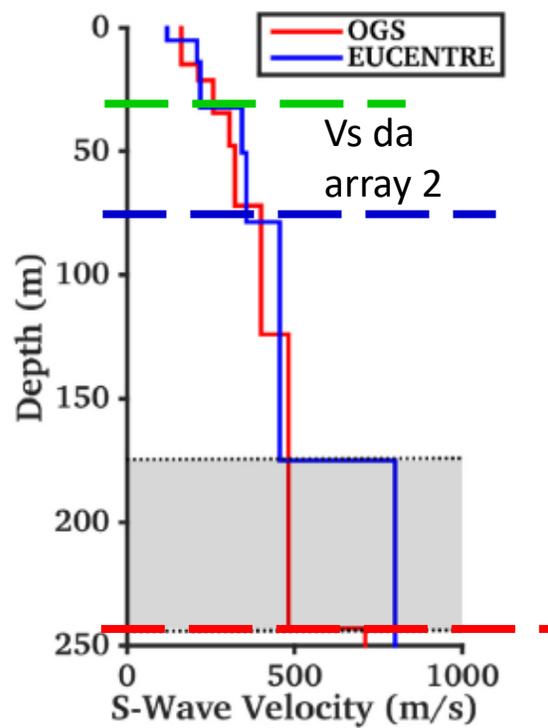
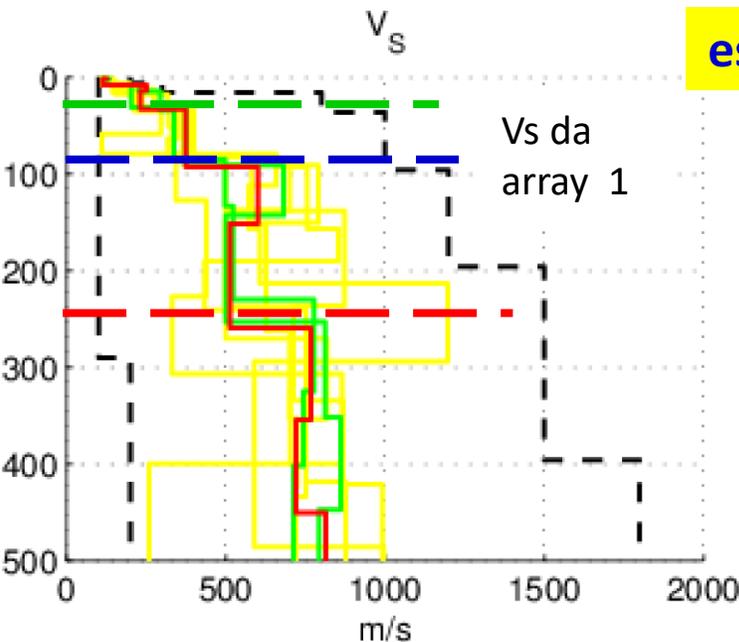
sezione geologica da CARG 1:50.000 foglio n. 240-241 "Forlì-Cervia", Allegato «Geologia di sottosuolo»



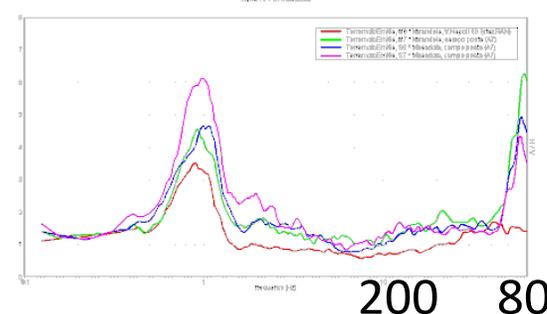
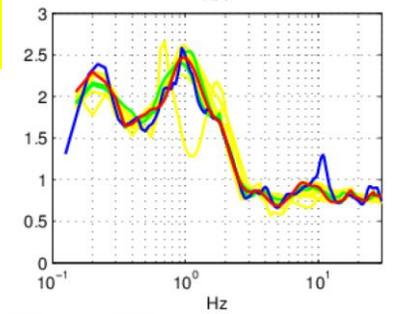
rapporto spettrale H/V da MS Forlì

log stratigrafico e profilo di V_s da http://itaca.mi.ingv.it/ItacaNet_30/#/station/IT/FOR

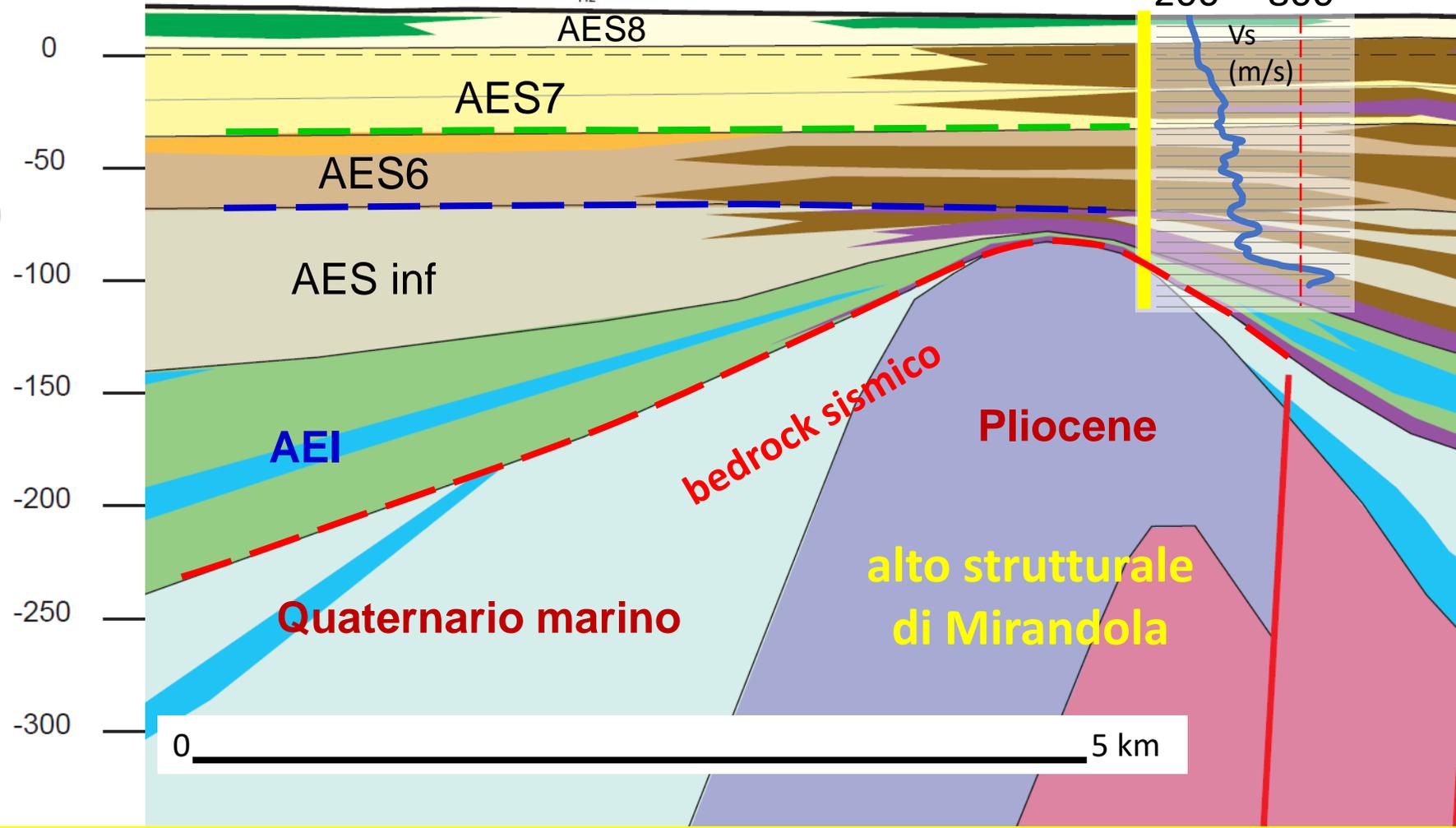
esempio in area distale



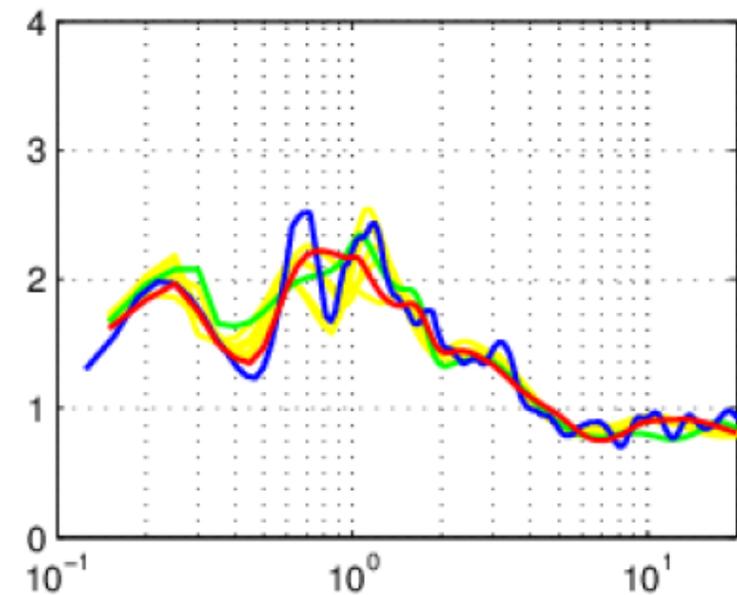
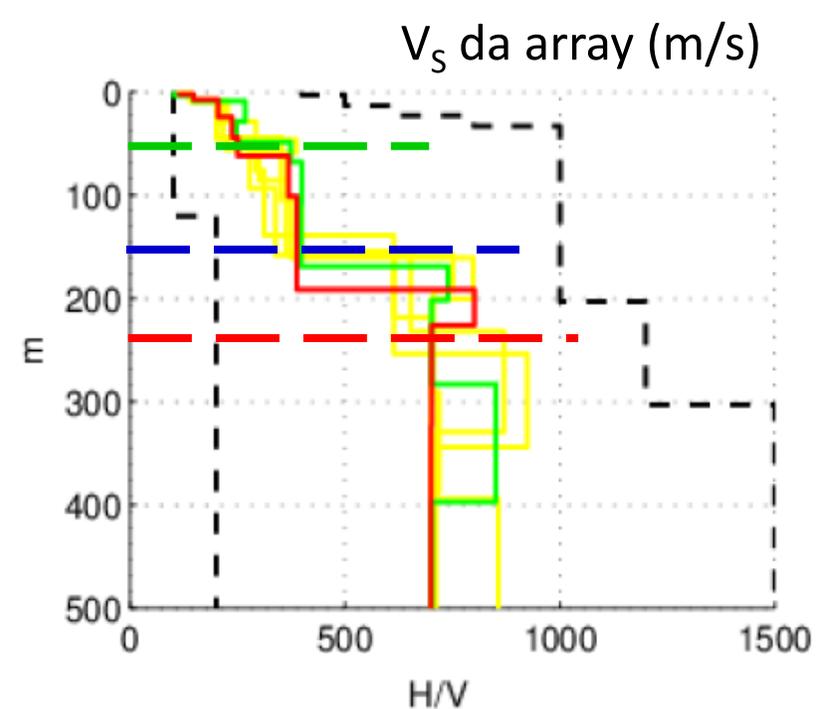
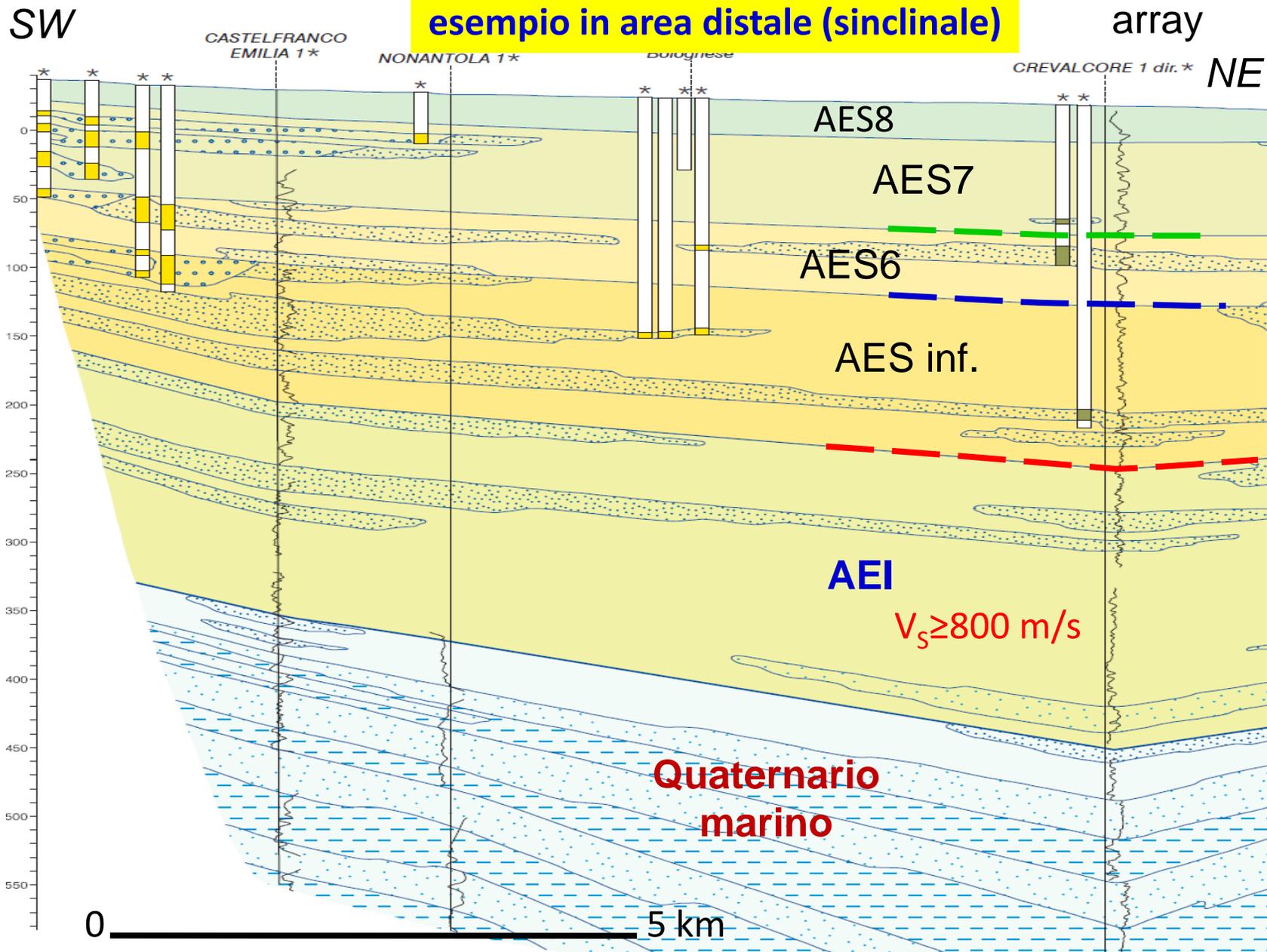
CAVEZZO
array 1 e 2



**MIRAN
DOLA**

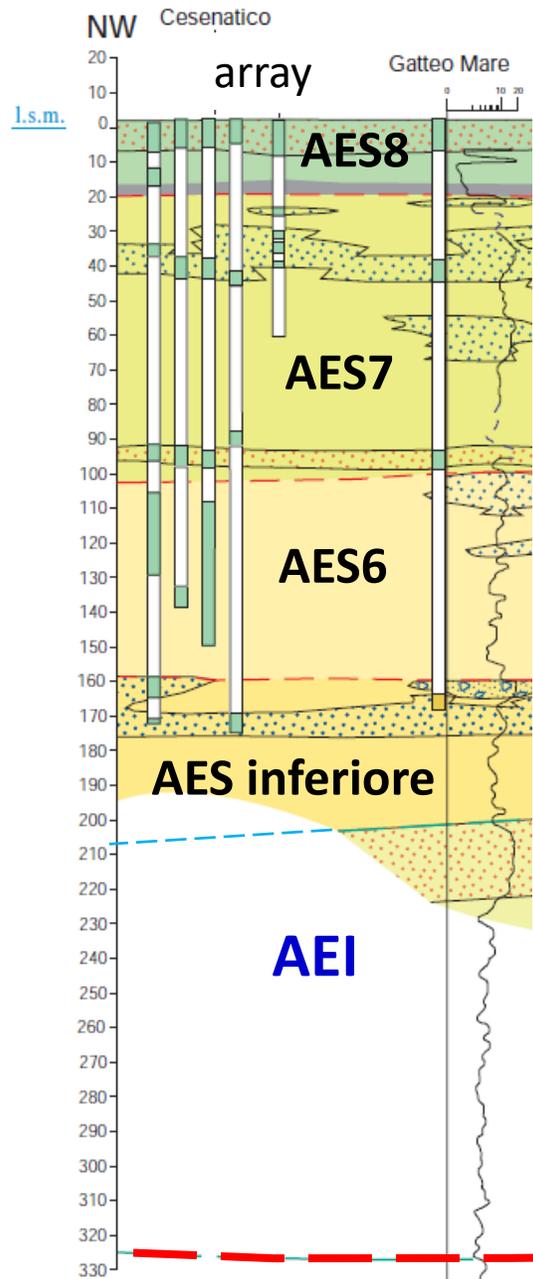


dati da studi MS di Cavezzo e Mirandola: <https://geo.regione.emilia-romagna.it/schede/pnsrs/>

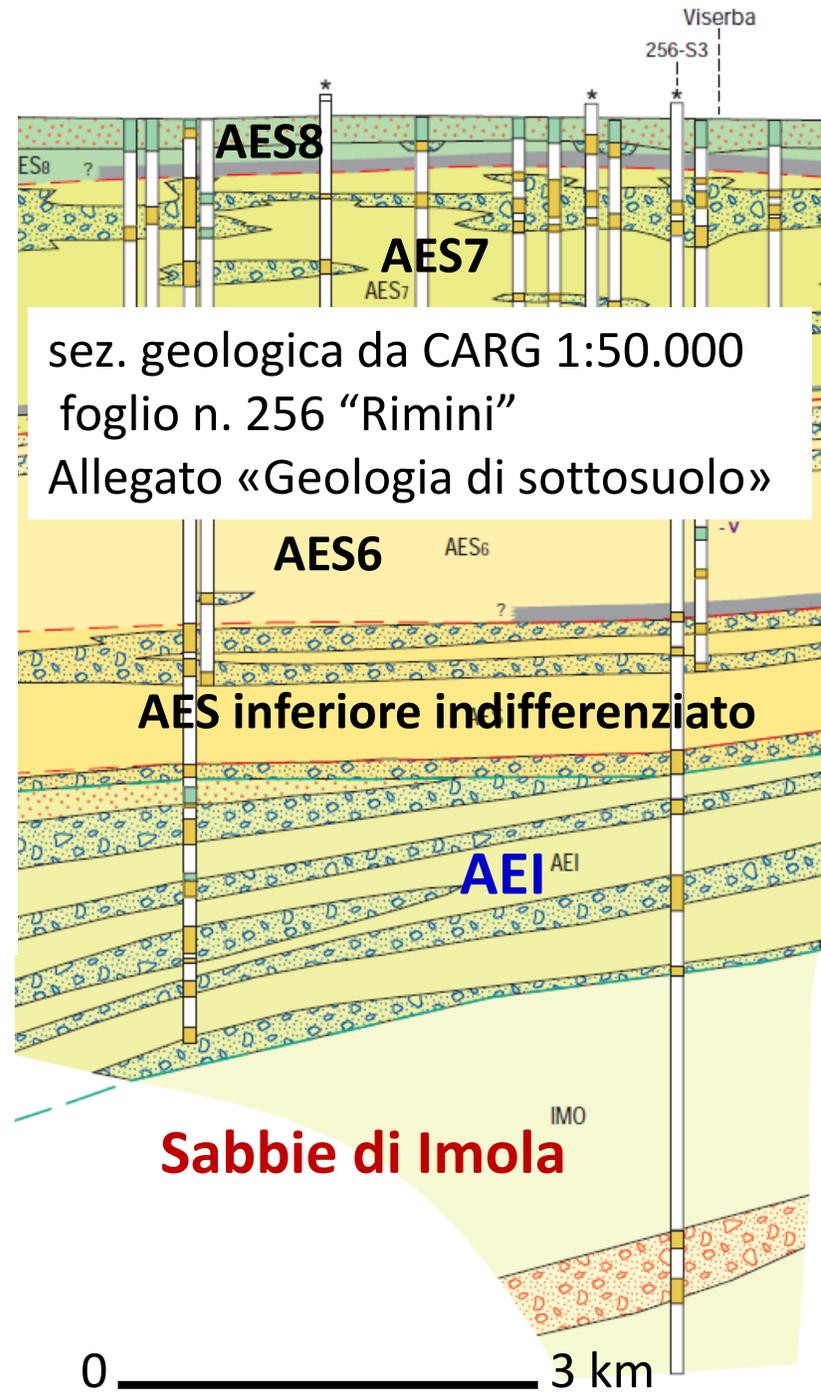
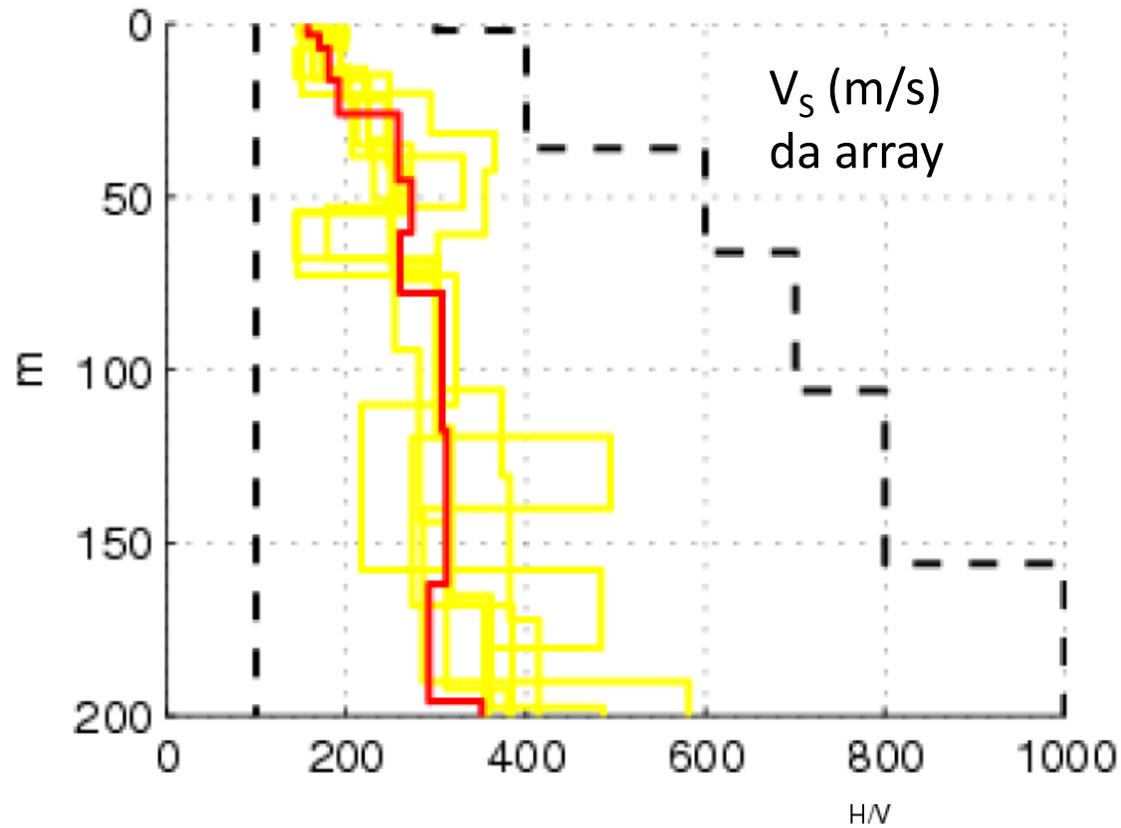


sezione geologica da CARG 1:50.000 foglio n. 202 "S. Giovanni in Persiceto",
Allegato «Geologia di sottosuolo»

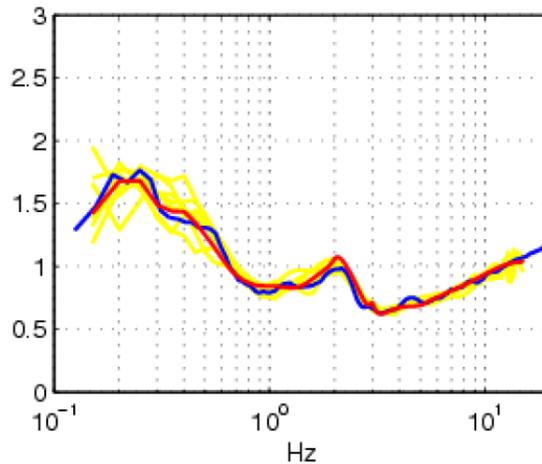
Dati H/V e V_s da
MS Crevalcore OC 70/2012



esempio in area distale (costa)



bedrock sismico? substrato geologico



Considerazioni conclusive 1

Nelle aree con elevati spessori di copertura la profondità del BS, e di altre eventuali discontinuità di V_S , in assenza di misure dirette, può essere determinata con misure di vibrazioni ambientali e il confronto con i dati stratigrafici.

- I dati stratigrafici sono di particolare importanza per la determinazione del modello sismo-stratigrafico in bacini tettonicamente attivi, come la Pianura Padana, poiché anche i depositi recenti hanno risentito delle deformazioni tettoniche e **le unità stratigrafiche sono delimitate da *unconformities* che corrispondono anche a discontinuità di V_S .**
- L'applicazione di questa procedura nella pianura emiliano-romagnola ha permesso di riconoscere **4 macroaree in base a stratigrafia, profondità del BS e profili di V_S :**
 - 1) fascia pedemontana: il tetto delle ghiaie costituisce una superficie di impedenza importante e non di rado le ghiaie hanno V_S elevata, talora ≥ 800 m/s; il BS è difficilmente individuabile: nelle aree più prossimali è spesso costituito da un orizzonte ghiaioso potente, profondo anche poche decine di metri, nelle aree più esterne è a profondità > 100 m; in ogni caso, il BS è quasi sempre più superficiale del substrato geologico;

Considerazioni conclusive 2

- 2) zone di alto strutturale: $H < 150$ m, BS facilmente individuabile, coincidente con il substrato geologico;
- 3) zone di sinclinale o alto strutturale minore: $H > 150$ m, almeno due contrasti di V_s , quasi sempre associabili ad *unconformities* basali delle unità alluvionali; BS spesso associabile al substrato geologico;
- 4) delta del Po e costa a nord di Rimini: $H > 300$ m, assenza di contrasti significativi di V_s ; V_s generalmente non elevata in tutta la sequenza AES; BS a profondità > 300 m (AEI o substrato geologico).

Questi dati sono in buon accordo con la mappa del BS di Mascandola et al. (2019). Varie indagini hanno evidenziato che la profondità indicata come tetto del BS corrisponde senz'altro alla profondità del maggiore contrasto di V_s ma non sempre al tetto del bedrock «ingegneristico» ovvero alla superficie al di sotto della quale $V_s > 800$ m/s. In ogni caso, la mappa di Mascandola et al. (2019) rimane, al momento, il miglior riferimento in Pianura Padana per la stima della profondità del BS, inteso come unità a comportamento rigido che determina la principale discontinuità di V_s .



Gruppo Nazionale di Geofisica della Terra Solida

39° CONVEGNO NAZIONALE

22 - 24 GIUGNO 2021



OGS
Istituto Nazionale
di Oceanografia
e di Geofisica
Sperimentale



Consiglio Nazionale
delle Ricerche



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile



ISTITUTO NAZIONALE DI
GEOFISICA E VULCANOLOGIA



Sessione 2.1:

Pericolosità sismica da terremoti e maremoti

Grazie per l'attenzione

luca.martelli@regione.emilia-romagna.it