

# Substrato geologico e bedrock sismico

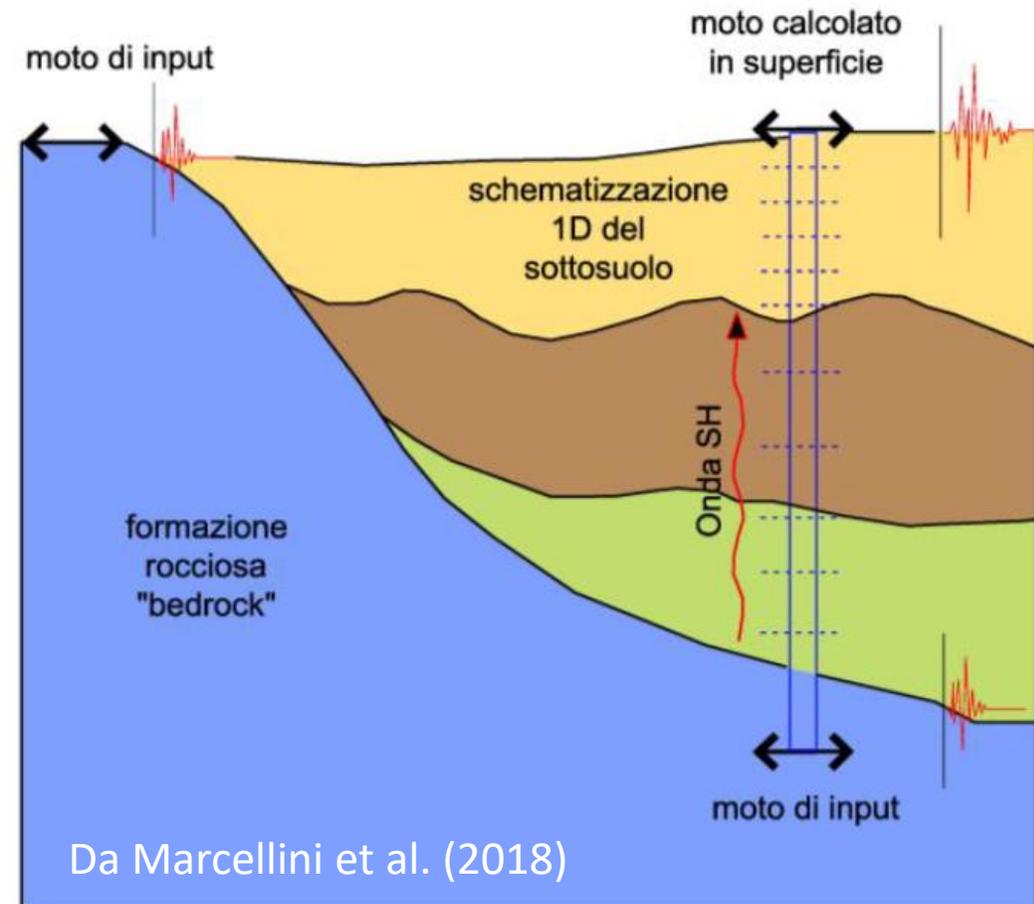
**Luca Martelli**

### Perché un seminario su substrato geologico e bedrock sismico?

Uno degli aspetti più importanti, e al tempo stesso difficili da determinare, per la corretta valutazione dello scuotimento sismico atteso in superficie è la profondità del “bedrock sismico”, ovvero la profondità al di sotto della quale il terreno ha comportamento rigido.

Questa problematica si pone sia per la zonazione sismica del territorio nella pianificazione urbanistica (microzonazione sismica) sia per la stima puntuale dell'azione sismica per la progettazione di opere.

L'individuazione del bedrock sismico è senz'altro più difficile laddove gli spessori dei sedimenti non rigidi sono elevati (varie decine o centinaia di m) e perciò difficilmente indagabili con le usuali tecniche di indagine, tenuto conto che le risorse solitamente a disposizione permettono di indagare i primi 30÷50 m, di sottosuolo



## Substrato geologico e bedrock sismico

**Inoltre, nelle definizioni delle classi B, C e D di sottosuolo delle NTC 2018 non è considerata la profondità bedrock.**

Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

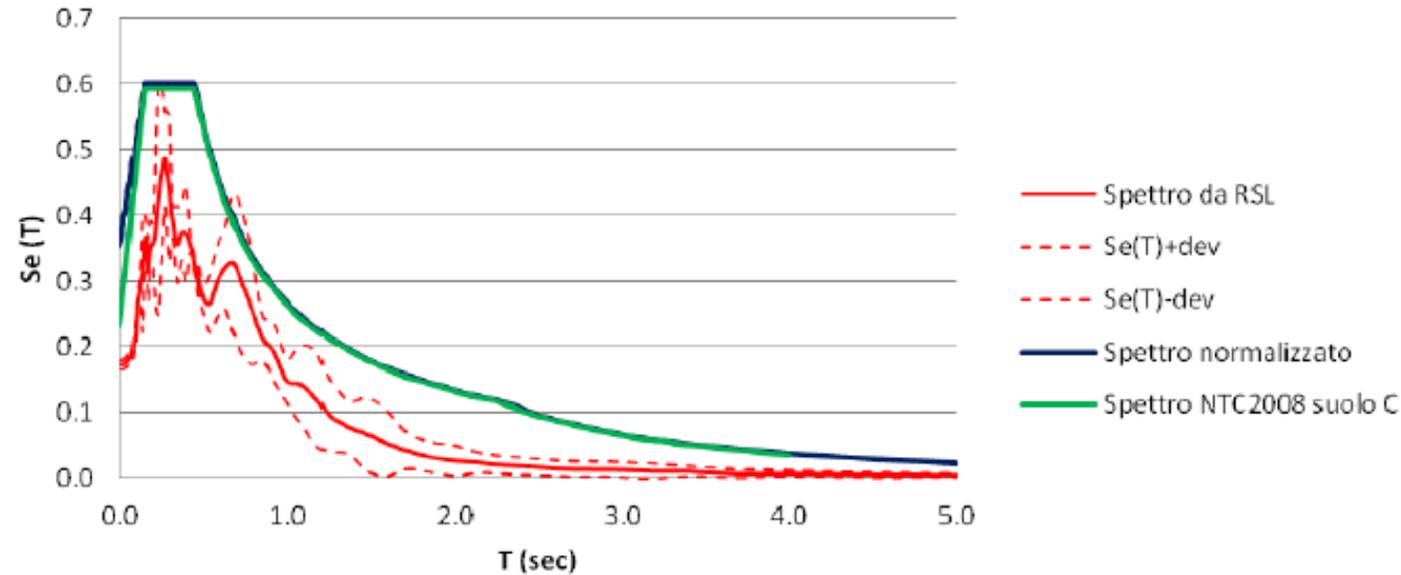
**Questione: a parità di classe di sottosuolo e  $a_g$ , la RSL sarà uguale se il bedrock è a profondità di 35 m, 100 m o maggiore di 300 m?**

**Secondo l'approccio semplificato: si**

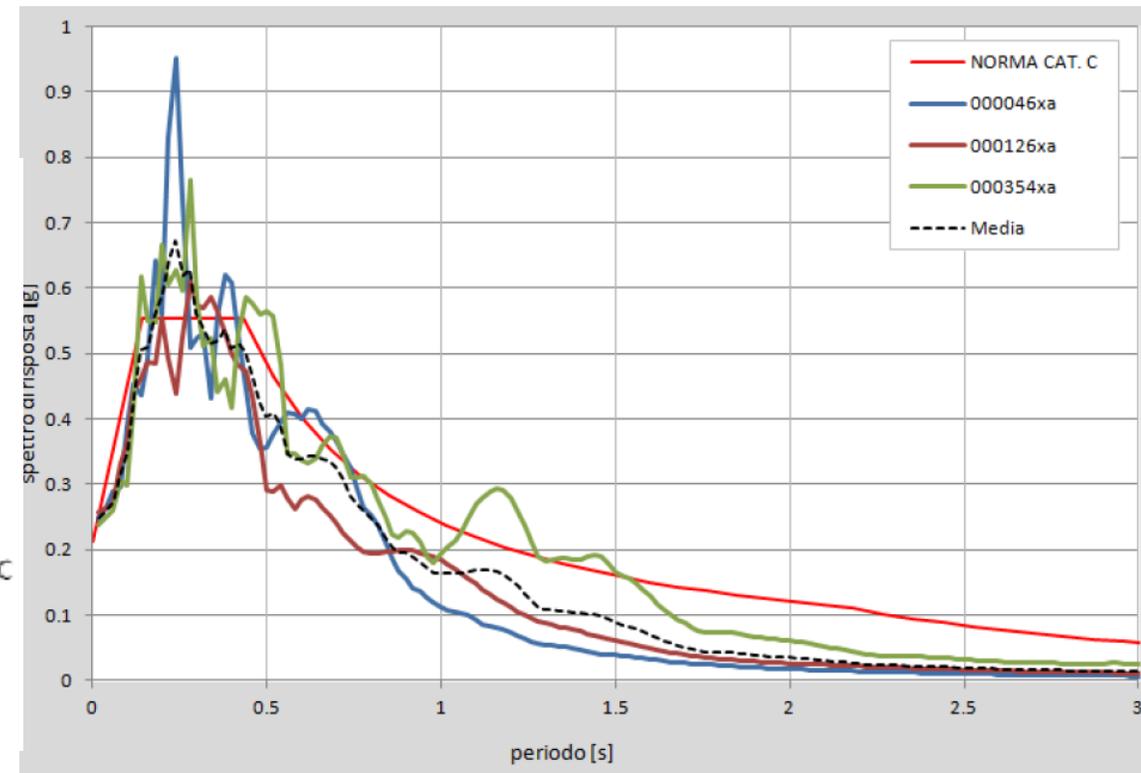
## Substrato geologico e bedrock sismico

**Confronto di spettri da RSL per terreni classe C ( $T_R = 475$  anni),  
pericolosità di base confrontabile  
ma bedrock a profondità diverse**

$a_g=0,146g$ , bedrock a – 350 m da p.c.

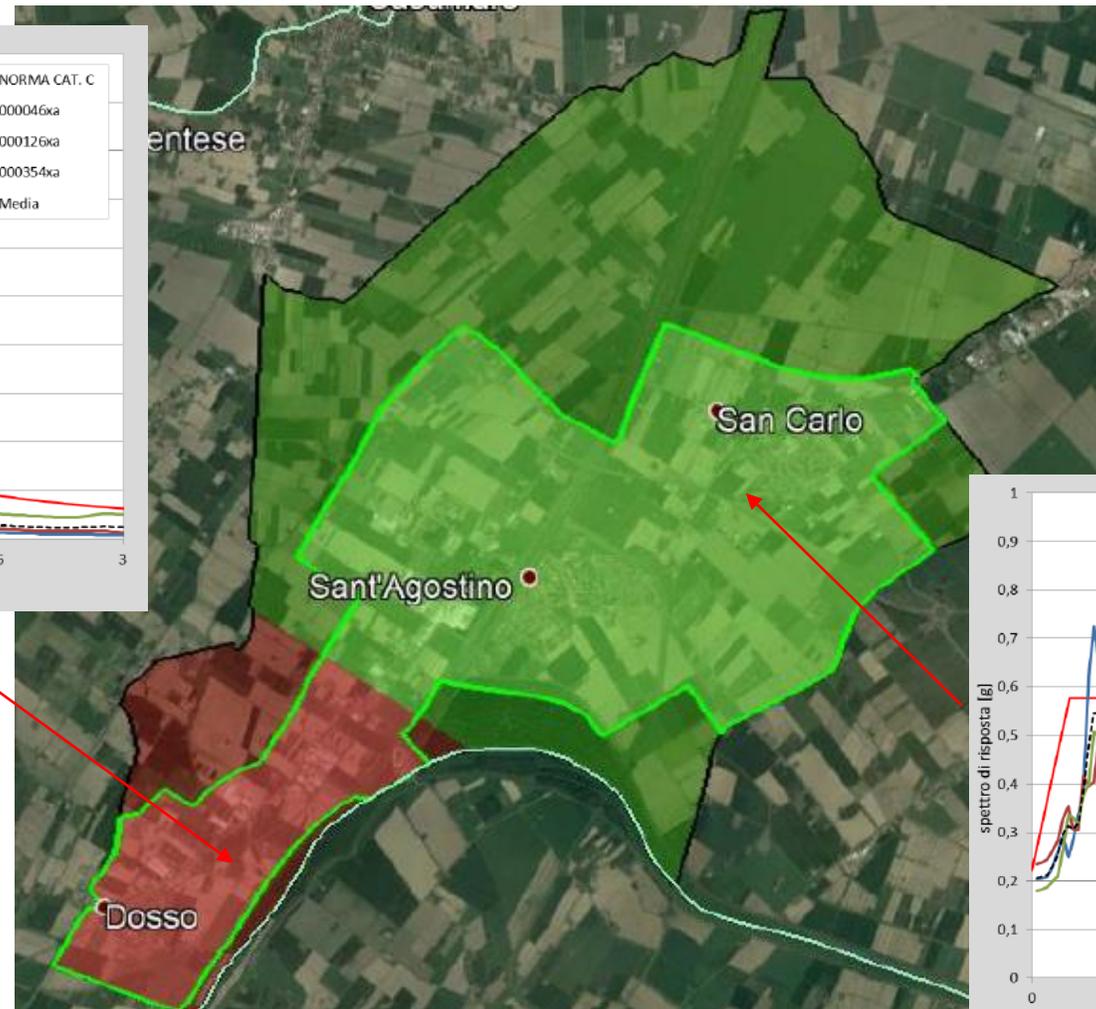
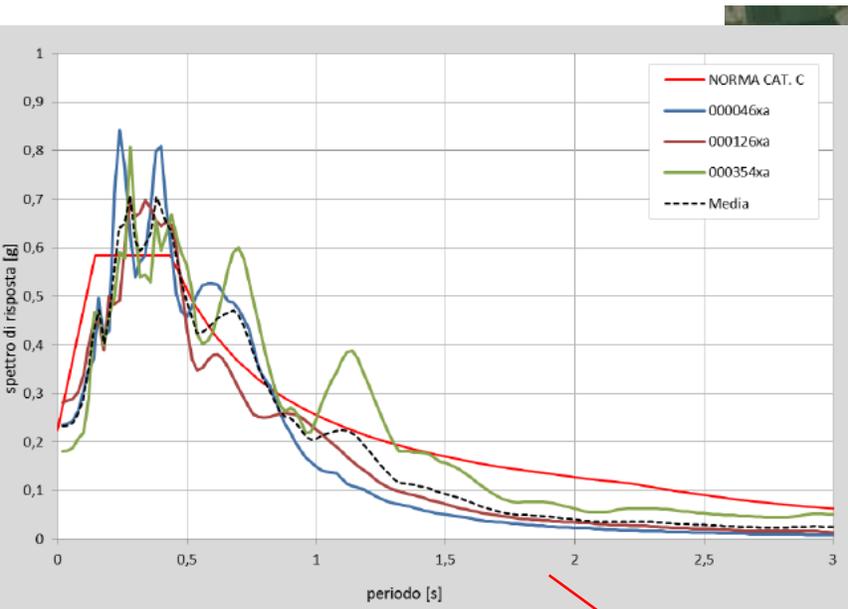


$a_g=0,145g$  bedrock a – 117 m da p.c.

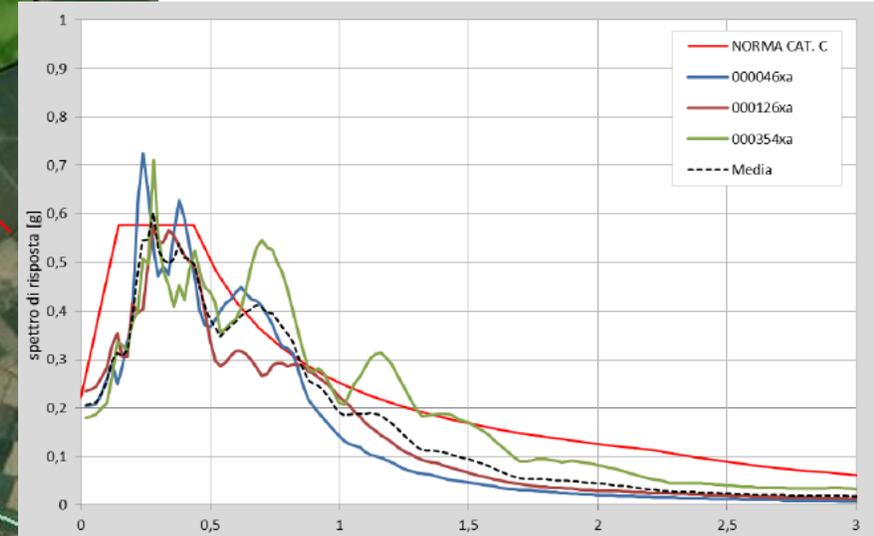


## Substrato geologico e bedrock sismico

**Confronto di spettri da RSL per terreni classe C ( $T_R = 475$  anni), pericolosità di base confrontabile ma bedrock a profondità diverse**



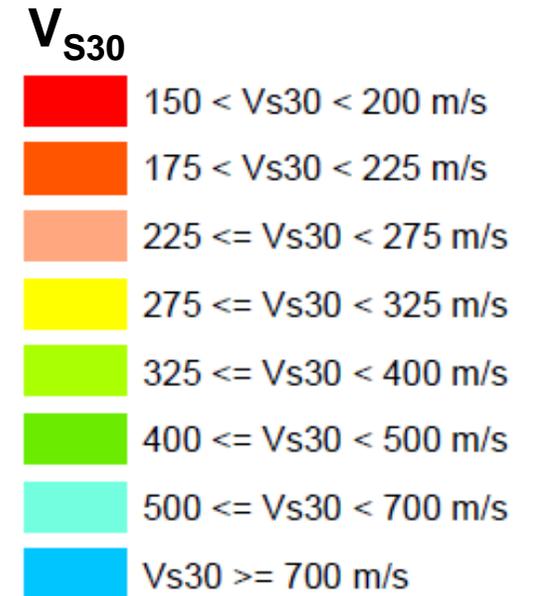
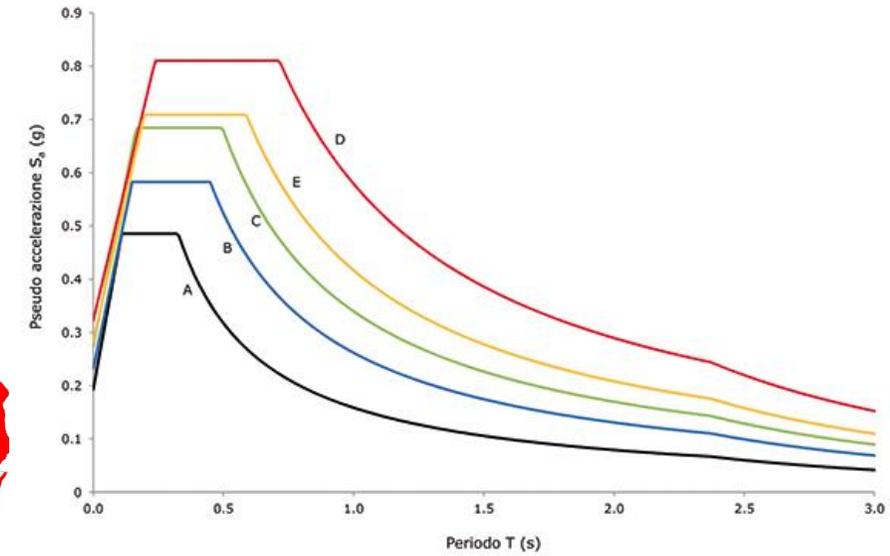
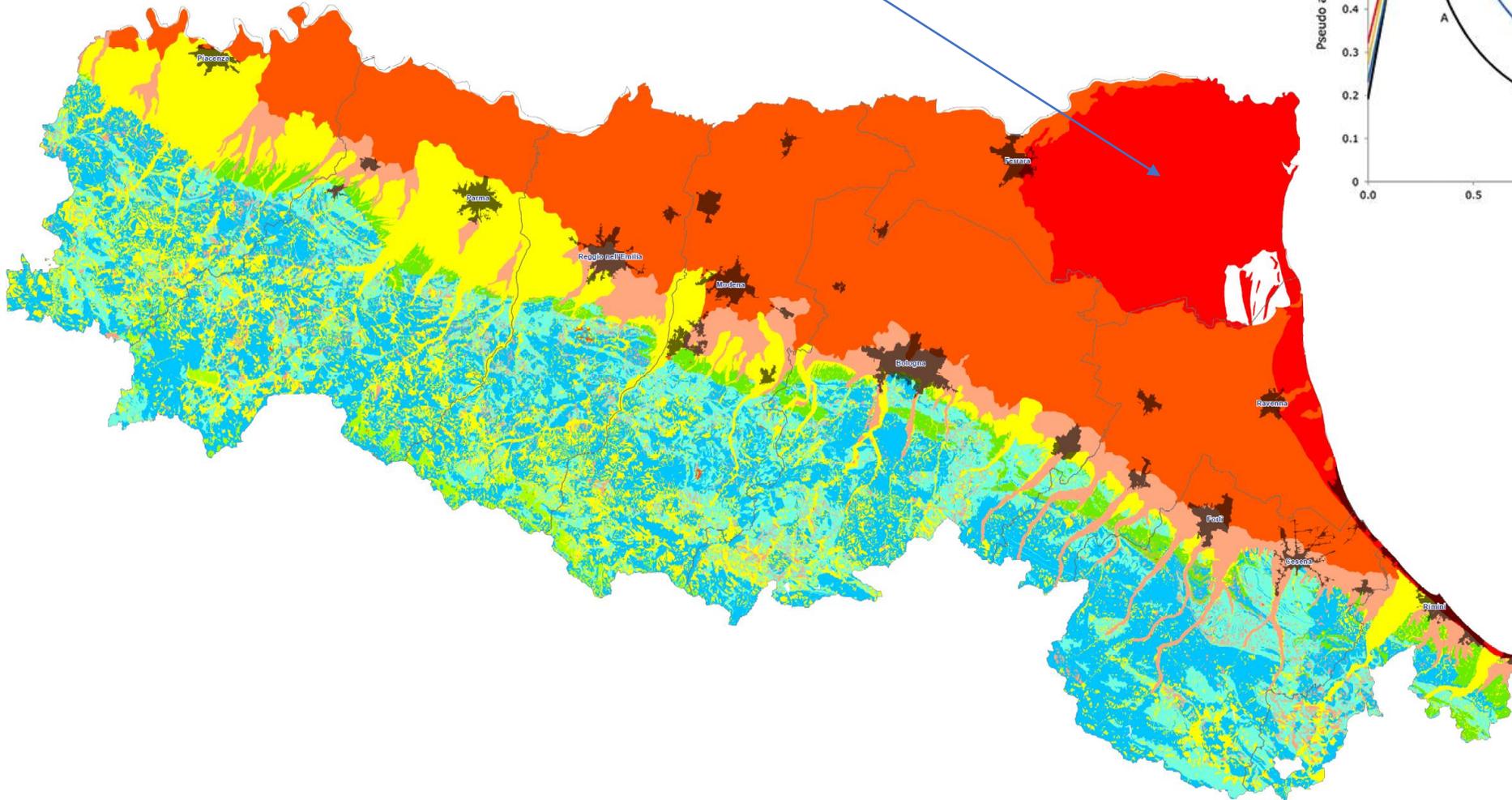
$V_S=1200$  m/s da 700 m



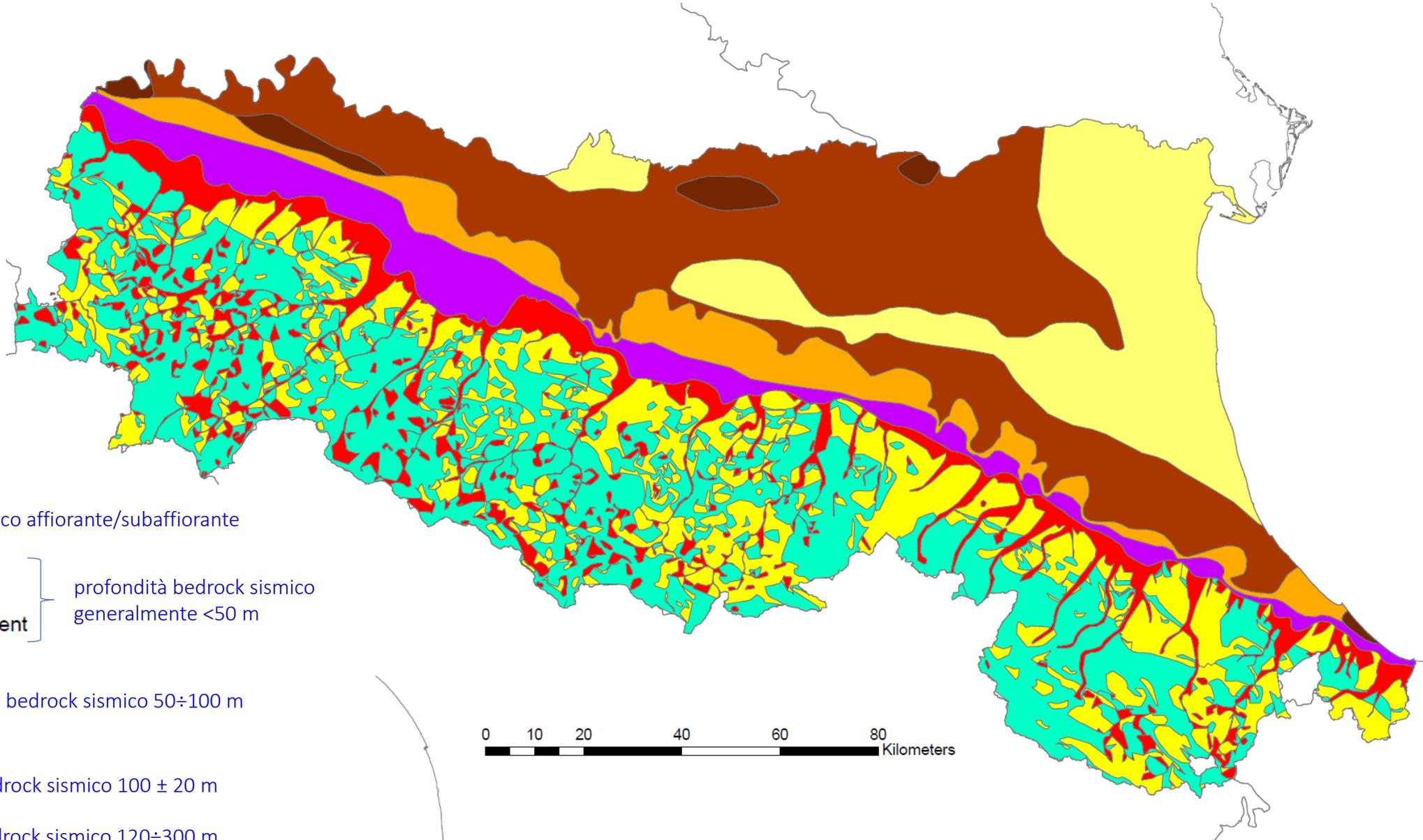
$V_S=1200$  m/s da 275 m

## Substrato geologico e bedrock sismico

Nel delta del Po, nelle Valli di Comacchio e lungo la costa ravennate la  $V_{S30}$  è spesso  $< 200$  m/s; secondo la classificazione di sottosuolo delle NTC, la maggioranza dei terreni è quindi di tipo D, talora C, e perciò in queste aree è attesa la massima amplificazione



# Substrato geologico e bedrock sismico

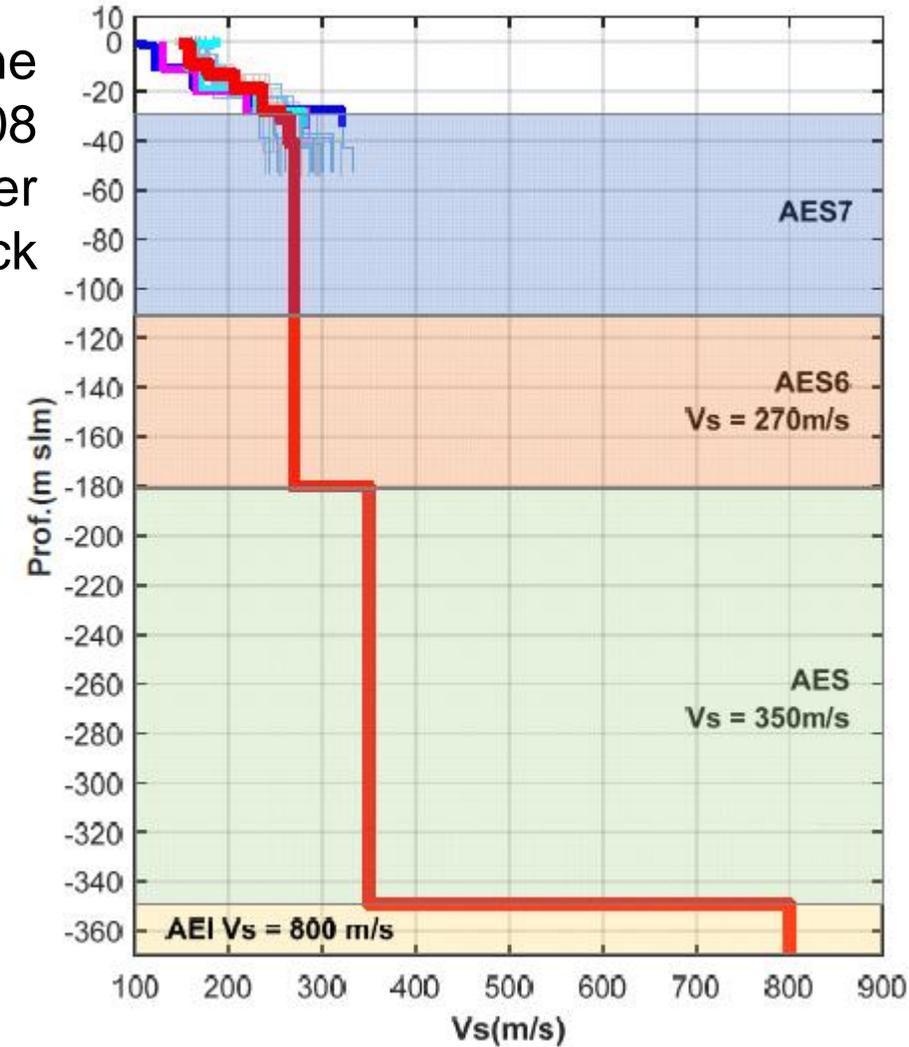
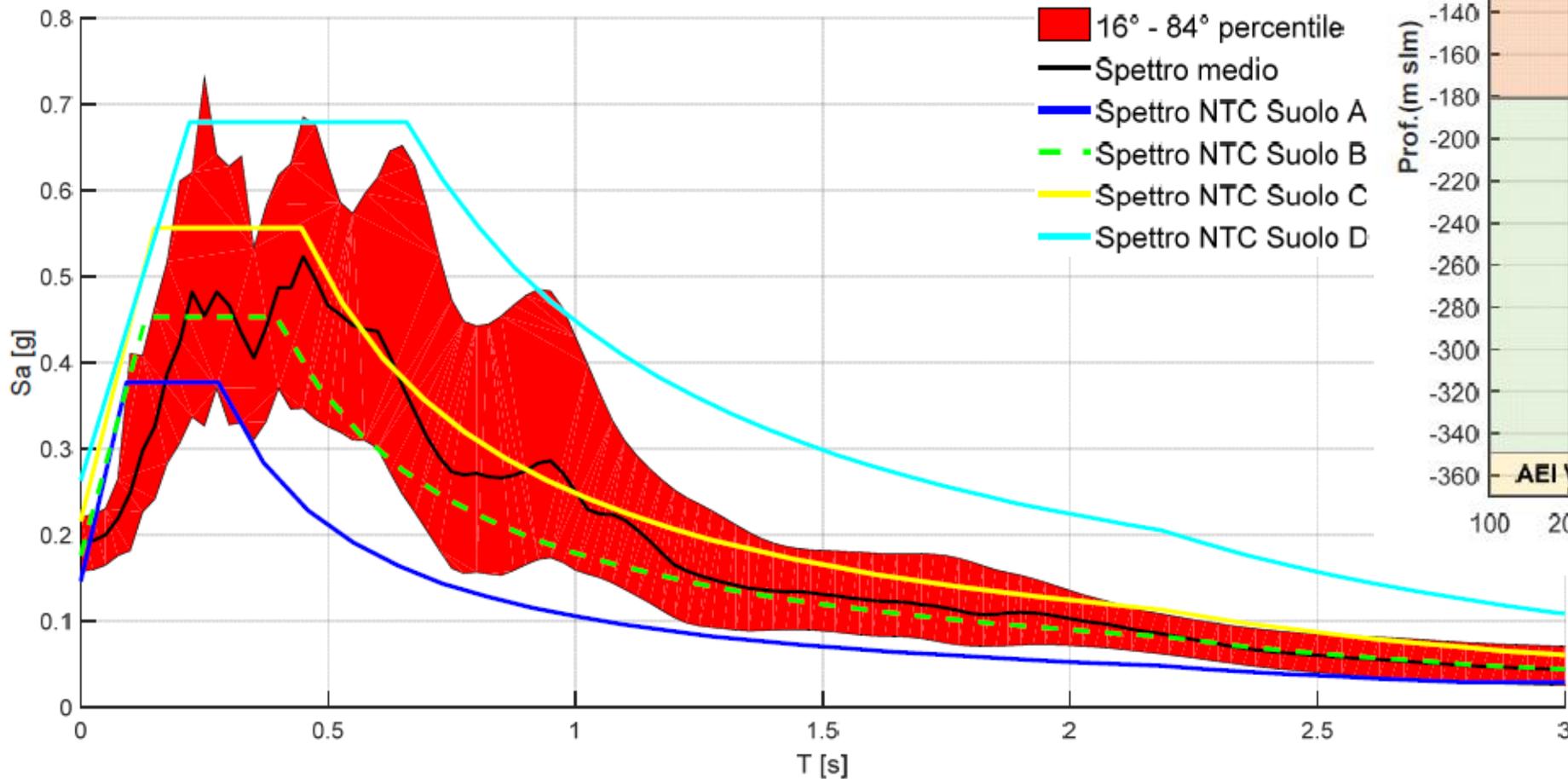


- rigid rock    bedrock sismico affiorante/subaffiorante
  - no rigid rock
  - slope and alluvial sediment
  - A margin
  - B margin
  - plain 1
  - plain 2
  - plain 3
- } profondità bedrock sismico generalmente <50 m
- } profondità bedrock sismico 50÷100 m
- } profondità bedrock sismico 100 ± 20 m
- } profondità bedrock sismico 120÷300 m
- } profondità bedrock sismico >300 m



## Substrato geologico e bedrock sismico

Confronto tra gli spettri di risposta elastici in accelerazione (componente orizzontale) secondo l'approccio semplificato NTC08 e lo spettro medio ottenuto da analisi di risposta sismica locale per un'area della pianura romagnola suolo categoria D e bedrock profondo (350 m), per  $T_R = 475$  anni.



**Per una corretta valutazione del moto atteso, in superficie o alla base delle fondazioni, è quindi necessario stimare con attenzione, oltre alle proprietà meccaniche dei terreni, lo spessore dei terreni che amplificano, ovvero determinare la profondità del tetto del bedrock sismico**

**Le definizioni che seguono si riferiscono al contesto appenninico-padano**

**Terreni di copertura: successione litostratigrafica costituita da sedimenti sciolti o poco addensati, quali detriti di versante non cementati, alluvioni recenti (es. < 1 M.a.), ... e/o rocce alterate; generalmente questi terreni sono caratterizzati da  $V_s < 400$  m/s.**

## Substrato geologico e bedrock sismico

**Substrato geologico:** successione litostratigrafica generalmente costituita da rocce compatte (diagenizzate/consolidate) non alterate, che costituisce la base dei terreni di copertura; può essere affiorante o subaffiorante (spessore di copertura  $< 3$  m).

Nel contesto appenninico-padano il substrato geologico è costituito da sedimenti marini consolidati o sedimenti continentali antichi consolidati/cementati

**Bedrock sismico:** successione litostratigrafica caratterizzata da comportamento rigido, ovvero da valori di  $V_s$  significativamente maggiori di quelli delle coperture localmente presenti.

Nella letteratura tecnica e scientifica internazionale il bedrock sismico è generalmente considerato una roccia con  $V_s \geq 800$  m/s.

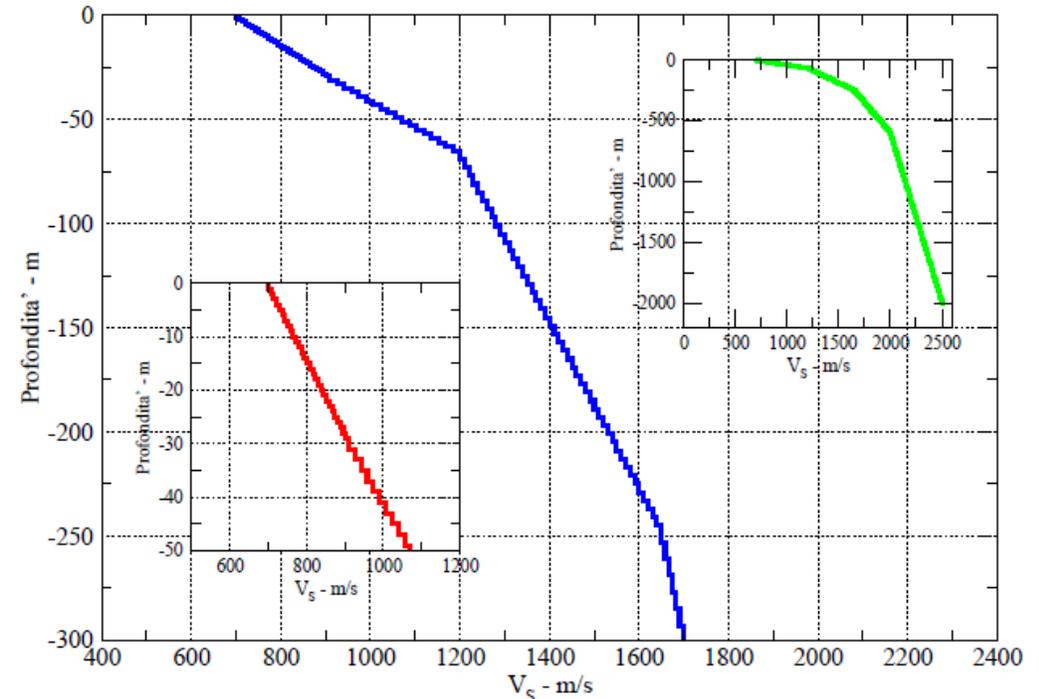
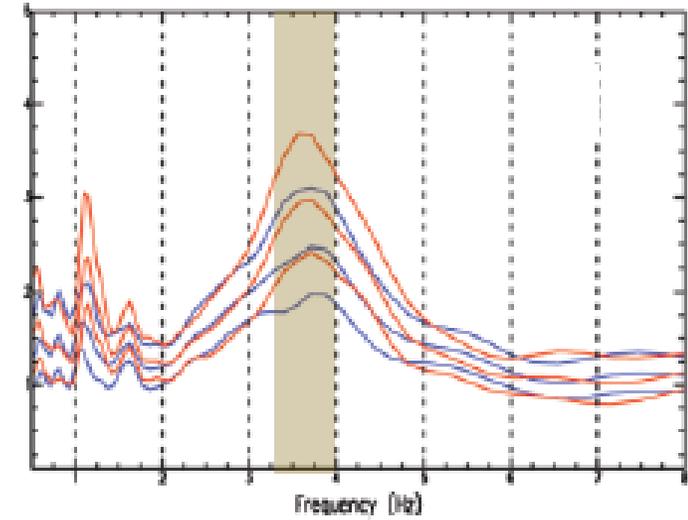
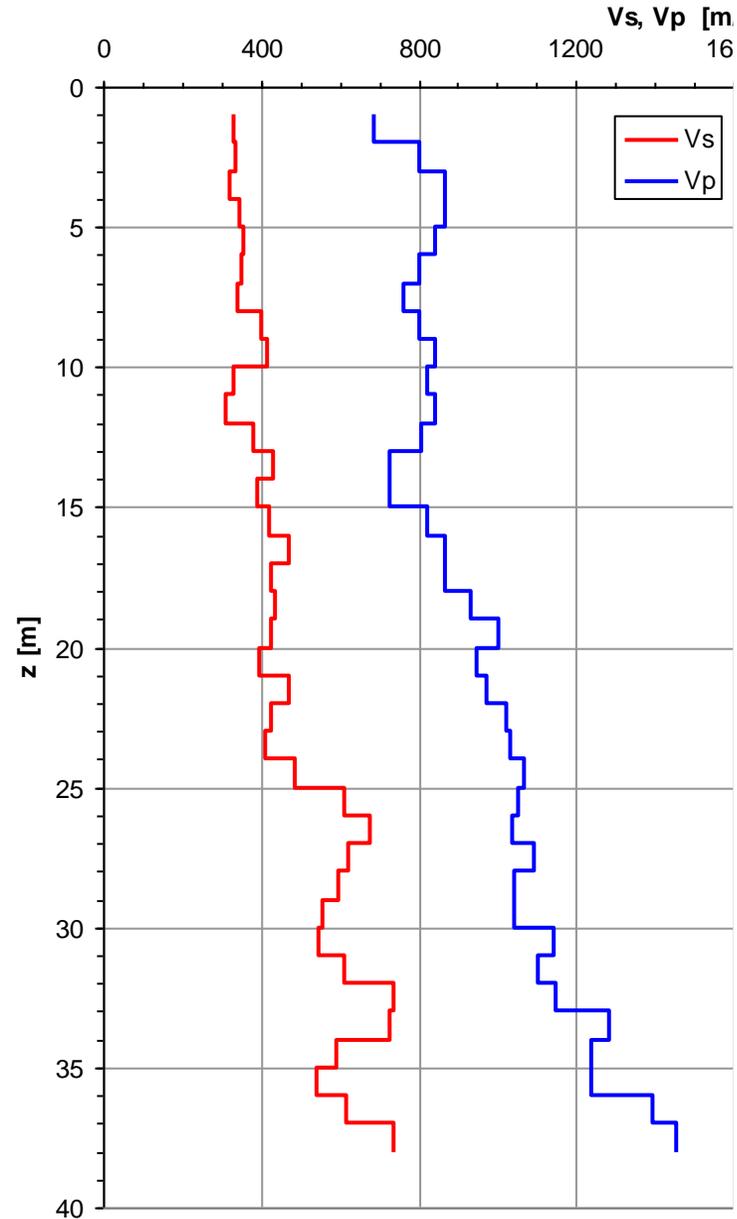


Figura 1: Profilo di riferimento relativo al suolo A

da Tendo et al. (2015)

# Substrato geologico e bedrock sismico

**Il substrato geologico può manifestare comportamento da bedrock sismico anche in caso di  $V_s < 800$  m/s, purché il contrasto di impedenza sismica substrato/copertura sia significativo ( $>2$ )**

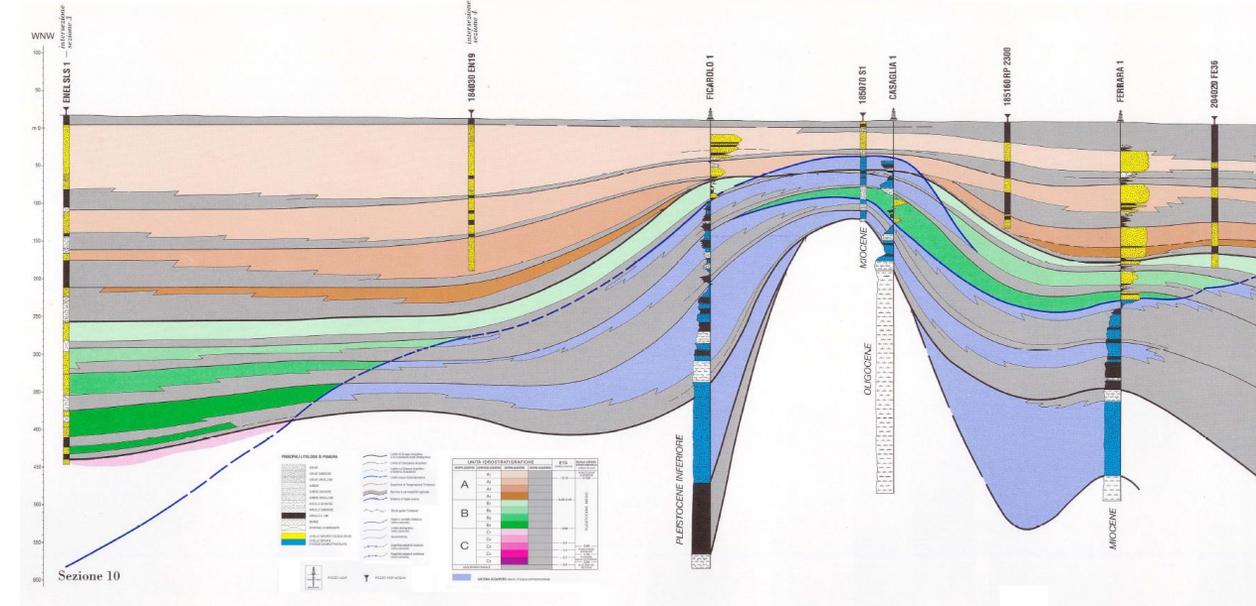
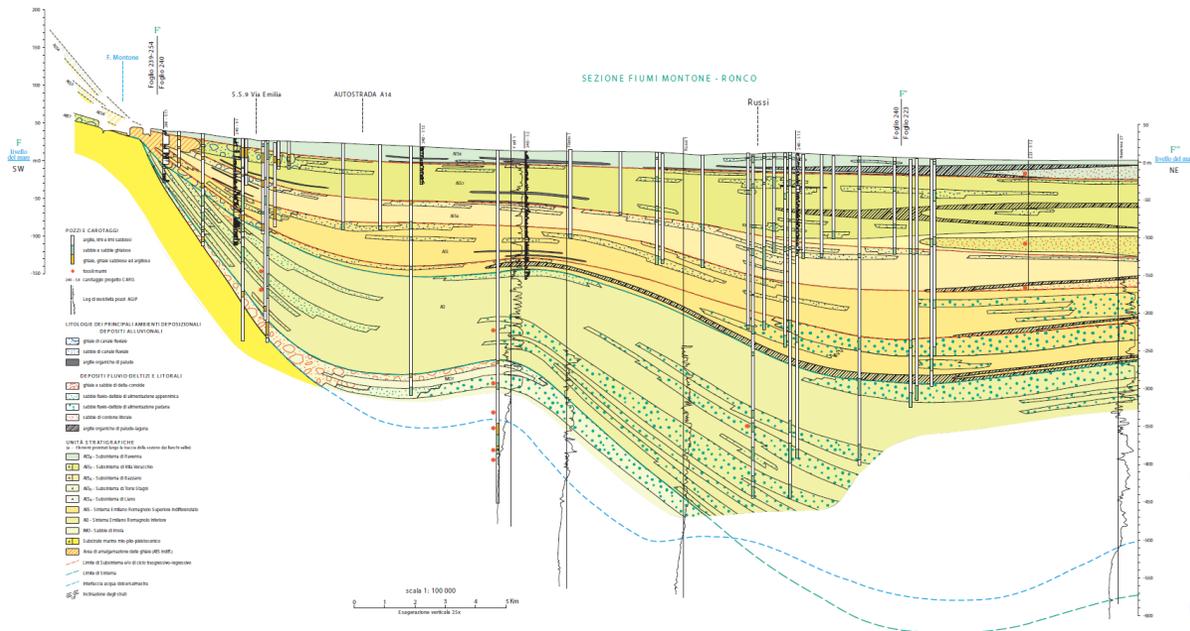


$f = 3,5 \div 4$  Hz

## Substrato geologico e bedrock sismico

Per determinare la profondità dell'interfaccia copertura/substrato sono di grande utilità le carte geologiche, in particolare se corredate da sezioni fino a profondità adeguate, e gli studi di microzonazione sismica.

Particolarmente utili lo studio “Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna” (RER- ENI, 1998) e i fogli di sottosuolo allegati ai fogli CARG 50.000



Esempio di sezione geologica profonda in pianura (da RER-ENI, 1998)

Gli studi di microzonazione sismica dell'Emilia Romagna adeguati agli standard regionali e DPC sono disponibili nel sito web

<http://geo.regione.emilia-romagna.it/schede/pnsrs/>

Esempio di sezione geologica profonda in pianura (da CARG 50.000)

# Substrato geologico e bedrock sismico

sito web delle sezioni geologiche e prove geognostiche della pianura emiliano-romagnola

[https://geo.regione.emilia-romagna.it/cartografia\\_sgss/user/viewer.jsp?service=sezioni\\_geo](https://geo.regione.emilia-romagna.it/cartografia_sgss/user/viewer.jsp?service=sezioni_geo)

servizio geologico  
sismico e dei suoli

## sezioni geologiche e prove geognostiche della pianura emiliano-romagnola

ER Regione Emilia-Romagna

SCEGLI CARTOGRAFIA Preferiti  
Sezioni Geologiche

POSIZIONA PER  
- scegli criterio -

LIVELLI CARTOGRAFICI Legenda

- Prove Geognostiche SGSS-RER
  - Sondaggi
  - Penetrometrie
  - Datazioni C14
- Pozzi Agip
  - Pozzi
- Sezioni Geologiche
  - Sezioni pubblicate
- Limiti amministrativi
- Quadri di unione
- Basi topografiche

Ridisegno  automatico

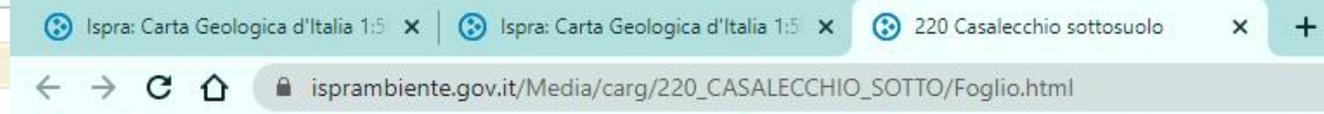
1 : 840.934

SEGNALA  
DISSERVIZIO

GIS Web Design Semenda

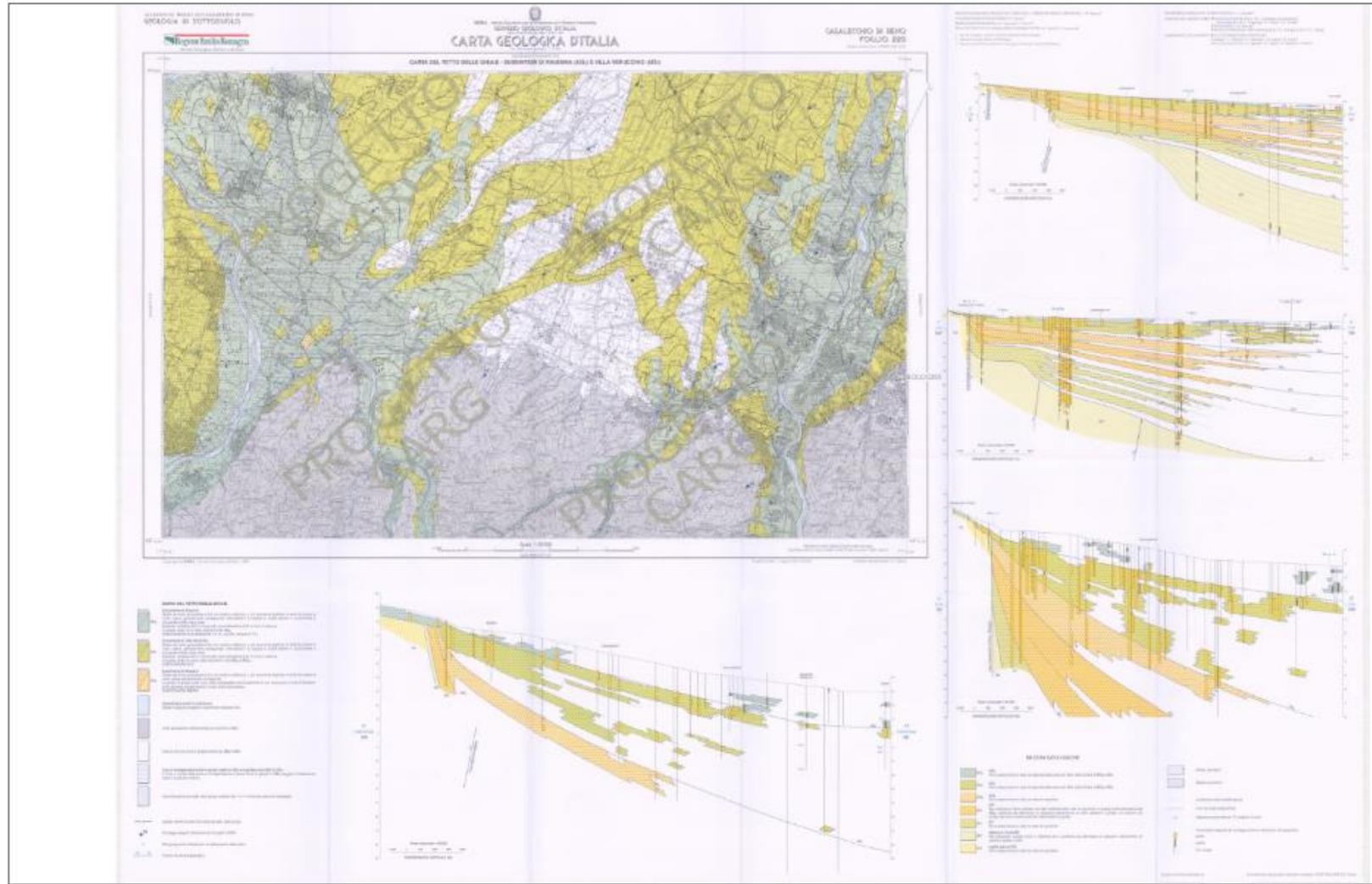
# Substrato geologico e bedrock sismico

<https://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/>



- Emilia Romagna
- 178 - Voghera
- 179 - Ponte dell'Olio
- 180 - Salsomaggiore Terme
- 181 - Parma Nord
- 182 - Guastalla
- 187 - Codigoro
- 196 - Cabella Ligure
- 197 - Bobbio
- 198 - Bardi
- 199 - Parma Sud
- 200 - Reggio nell'Emilia
- 201 - Modena
- 202 - S. Giovanni in Persiceto
- 203 - Poggio Renatico
- 204 - Portomaggiore
- 205 - Comacchio
- 214 - Bargagli
- 215 - Bedonia
- 216 - Borgo Val di Taro
- 217 - Neviano degli Arduini
- 218 - Castelnovo nei Monti
- 219 - Sassuolo
- 220 - Casalecchio di Reno
- 221 - Bologna
- 222 - Lugo
- 223 - Ravenna
- 232 - Sestri Levante
- 233 - Pontremoli
- 234 - Fivizzano

foglio di sottosuolo



**Esempi di  
profili di sottosuolo in Appennino  
con profili di Vs  
(da DH/CH, MASW/ReMi)**

# Substrato geologico e bedrock sismico

COMMITTENTE		REGIONE EMILIA-ROMAGNA							
DOWN HOLE		S1 0-149m							
Località		Galeata							
Data acquisizione		15/12/2011							
IN	Tempo	Vp	Vs	V	T	Radi	Colo	Kilo	
metri	sec	km/s	km/s	km/s	sec	km/s	km/s	km/s	
0	12.5	65.9	0.57	0.19	0.44	1.70	1700	624	4737
1	12.3	64.9	0.59	0.19	0.44	1.71	1841	639	5200
2	12.3	61.4	0.61	0.19	0.45	1.73	1939	654	5766
3	11.5	59.5	0.64	0.21	0.44	1.74	2301	800	6193
4	10.5	54.5	0.76	0.24	0.45	1.80	2973	1020	6077
5	9.3	55.1	1.09	0.39	0.46	1.93	4090	1708	20997
6	8.3	52.4	1.24	0.31	0.47	1.97	5513	1979	28172
7	8.9	52.0	1.25	0.34	0.46	1.98	6710	2299	26661
8	8.3	51.7	1.47	0.39	0.46	2.04	9019	3082	41011
9	8.9	52.0	3.04	0.41	0.49	2.34	11983	3979	21859
10	8.1	52.0	2.71	0.43	0.49	2.29	13878	4670	164857
11	8.9	52.5	2.74	0.45	0.49	2.30	14081	4737	165491
12	8.1	53.5	3.11	0.45	0.49	2.35	14753	4924	225214
13	8.7	54.7	3.16	0.45	0.49	2.36	14922	4966	237388
14	8.5	55.2	3.30	0.46	0.49	2.38	15023	5040	250002
15	9.5	56.3	3.75	0.46	0.49	2.43	15797	6280	397291
16	8.5	57.7	3.90	0.45	0.49	2.45	16337	6536	373127
17	8.9	59.2	3.71	0.49	0.49	2.43	17674	5526	333996
18	10.5	59.4	3.21	0.51	0.49	2.36	18429	6196	239054
19	11.3	61.6	2.94	0.55	0.48	2.33	21440	7236	169935
20	10.9	62.9	3.14	0.52	0.49	2.36	19320	6501	228426
21	10.7	63.9	3.59	0.56	0.49	2.41	23337	7812	305995
22	11.3	64.9	3.62	0.61	0.49	2.42	27265	9179	311050
23	11.7	65.6	3.40	0.60	0.48	2.39	34674	11728	266279
24	11.7	66.1	3.09	0.75	0.47	2.35	36998	13482	209781
25	12.2	67.4	2.87	0.79	0.46	2.32	42805	14926	175489
26	12.7	67.7	2.53	0.80	0.44	2.26	42280	14624	127790
27	13.3	68.5	2.16	0.81	0.42	2.19	41124	14488	84894
28	14.3	70.3	1.75	0.80	0.37	2.11	37891	13671	47075
29	14.5	71.1	1.68	0.76	0.37	2.09	33976	12205	43023
30	14.9	72.1	1.94	0.83	0.39	2.15	42332	15230	62984
31	15.3	73.0	2.29	0.87	0.42	2.22	45452	17119	95207
32	15.5	73.3	2.39	0.90	0.42	2.24	52109	18401	105104
33	16.2	74.0	2.31	0.92	0.41	2.22	53446	18992	95962
34	16.7	75.0	2.10	0.93	0.38	2.18	53026	19237	72963
35	17.1	76.0	2.06	0.96	0.36	2.17	55408	20088	66581
36	17.5	76.5	2.20	1.00	0.37	2.20	60911	22210	78936
37	17.8	78.2	2.27	1.03	0.37	2.21	66607	23632	84846
38	18.5	79.2	2.17	1.04	0.35	2.20	65952	24432	73120
39	19.1	80.2	2.11	1.10	0.31	2.18	70803	27011	62891
40	19.3	80.5	2.33	1.19	0.32	2.22	85131	32186	79930

Galeata

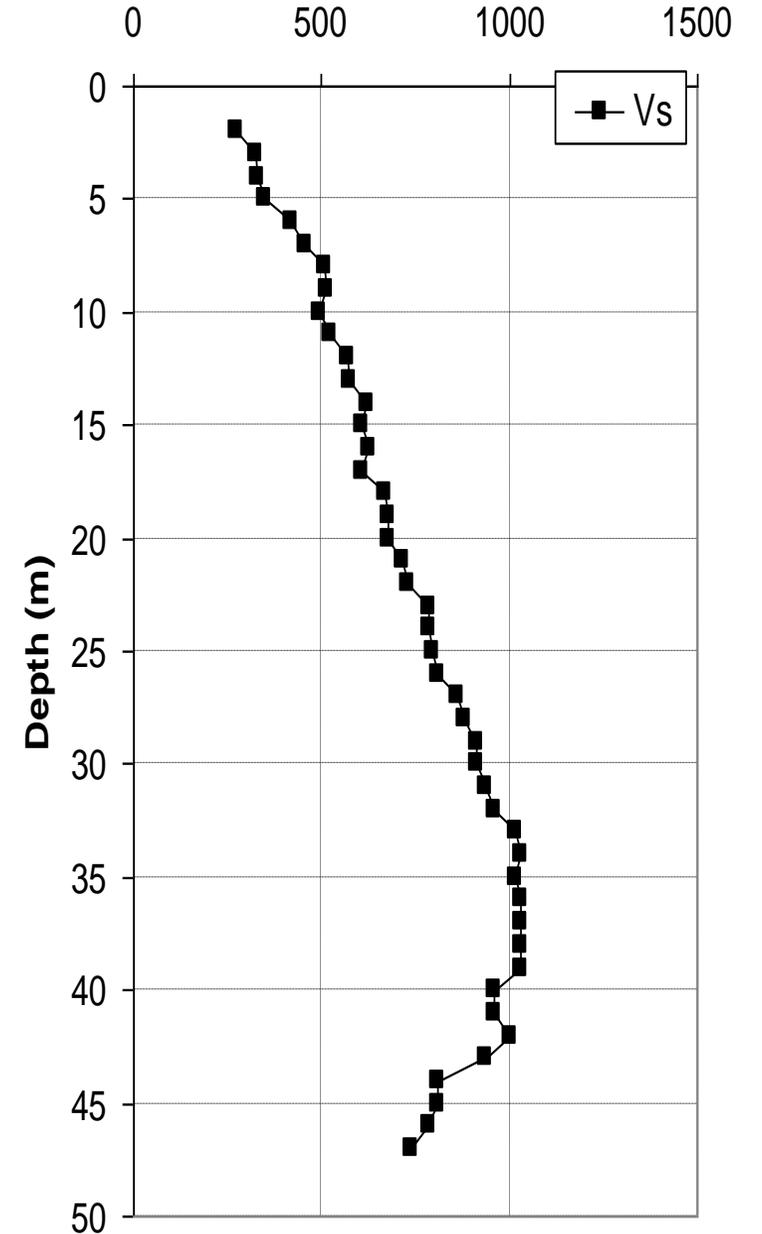
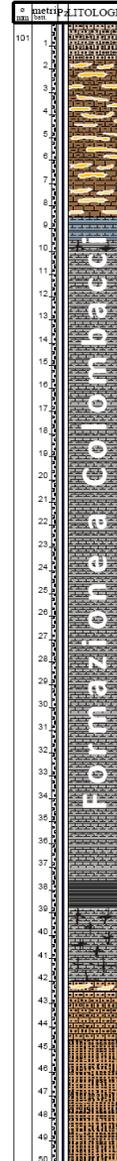
Terrazzo  
alluvionale

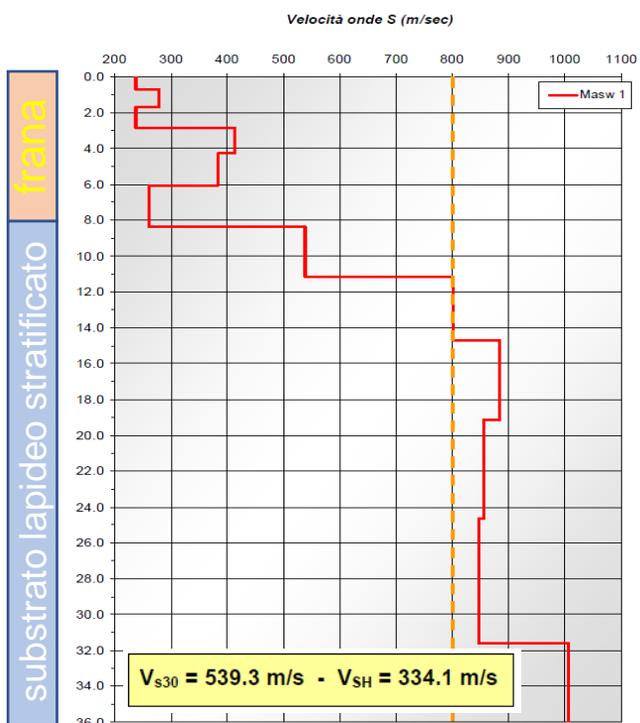
Formazione Marnoso-Arenacea



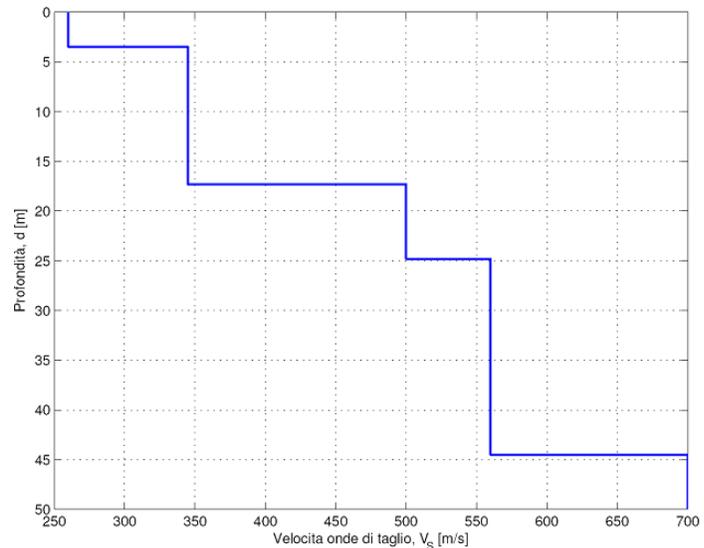
Rocca di Cesena

Vs (m/s)



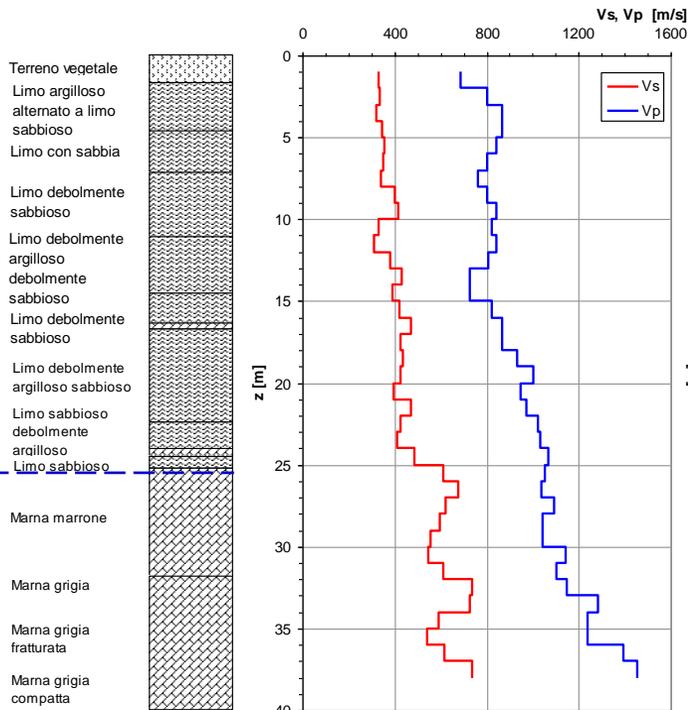


# Substrato geologico e bedrock sismico



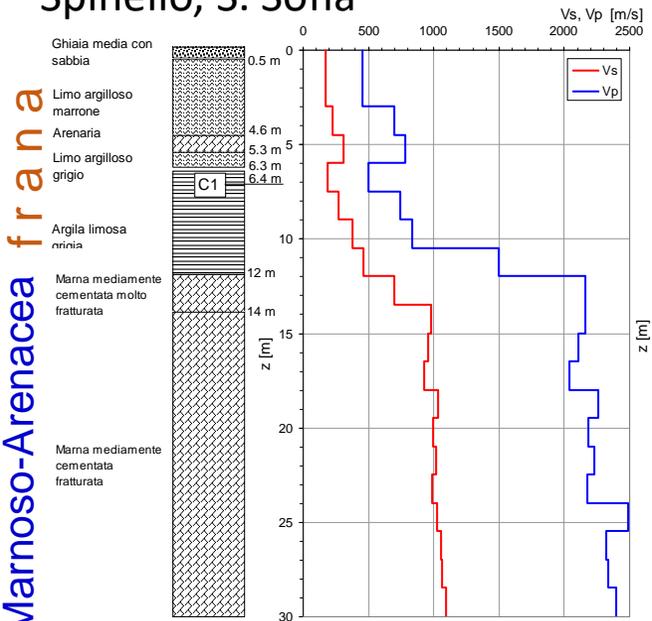
Scuola di Fiumana  
Profilo 2

frana



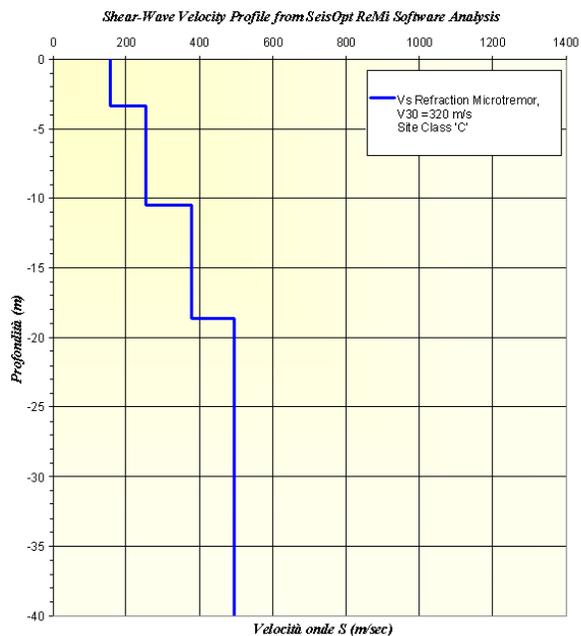
PROVA "DOWN-HOLE"

## Spinello, S. Sofia



Marnoso-Arenacea

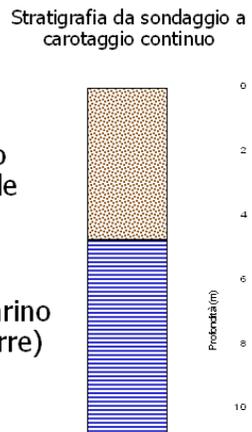
## Predappio



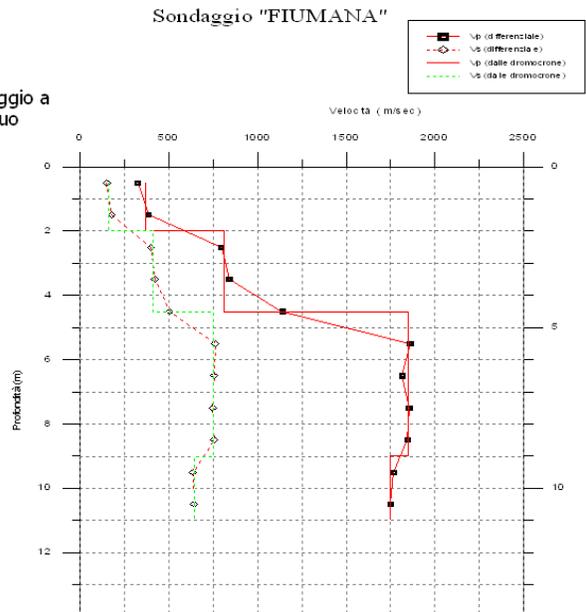
## Predappio

Deposito alluvionale

Substrato marino (Argille azzurre)

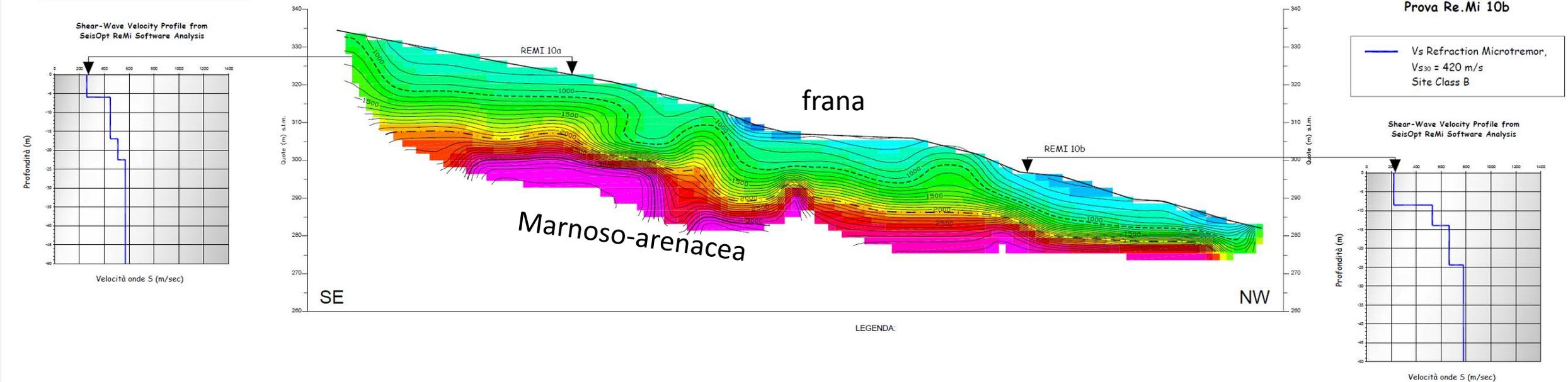
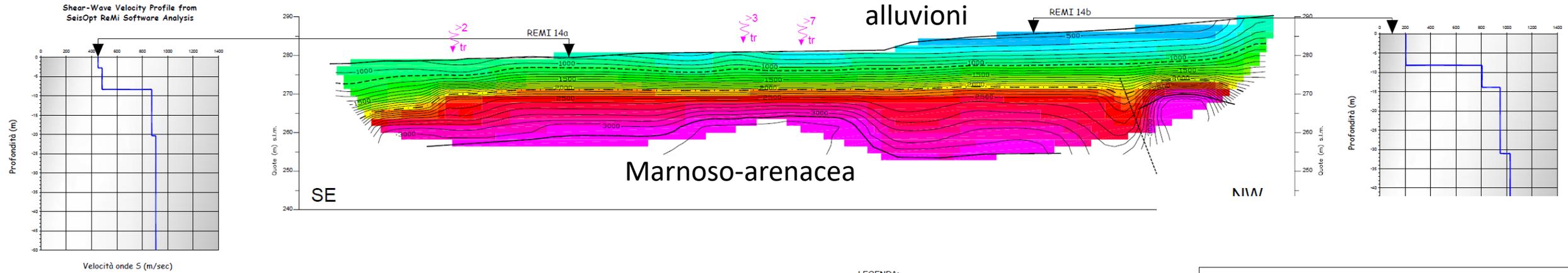


Stratigrafia da sondaggio a carotaggio continuo



# Substrato geologico e bedrock sismico

## S. Sofia (Appennino romagnolo)

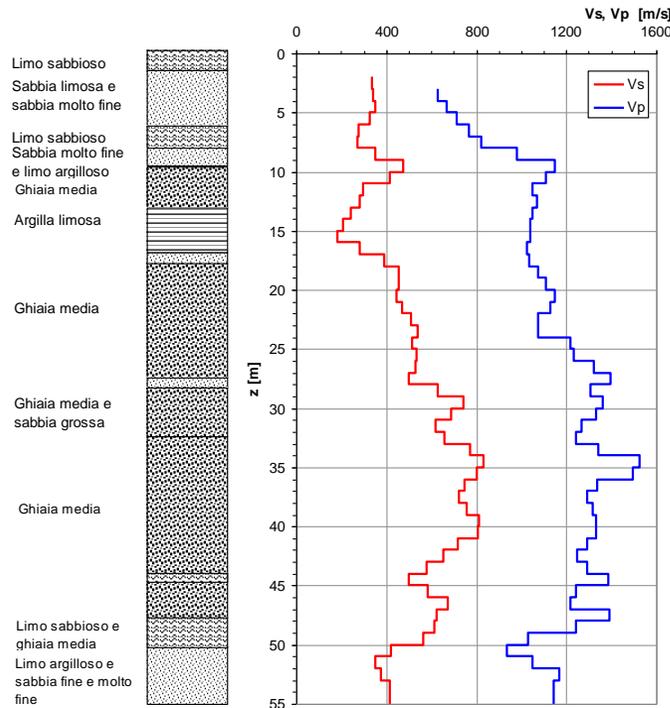


**Nel settore appenninico il bedrock sismico di solito è facilmente individuabile e spesso coincide con il substrato geologico, ad eccezione delle zone dove il substrato è alterato o intensamente fratturato o dove è costituito da argille e marne (es. Argille Azzurre)**

**Esempi di  
profili di sottosuolo in pianura  
con profili di Vs  
(da DH/CH, MASW/ReMi, ESAC/SPAC)**

# Substrato geologico e bedrock sismico

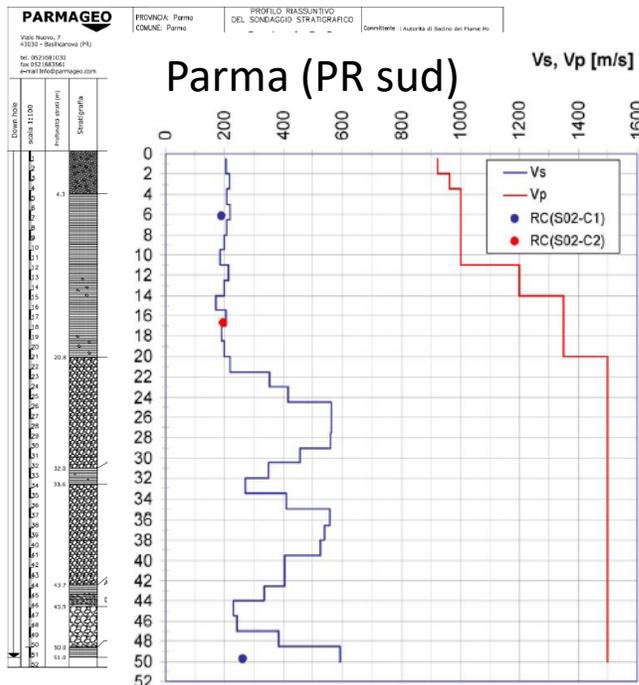
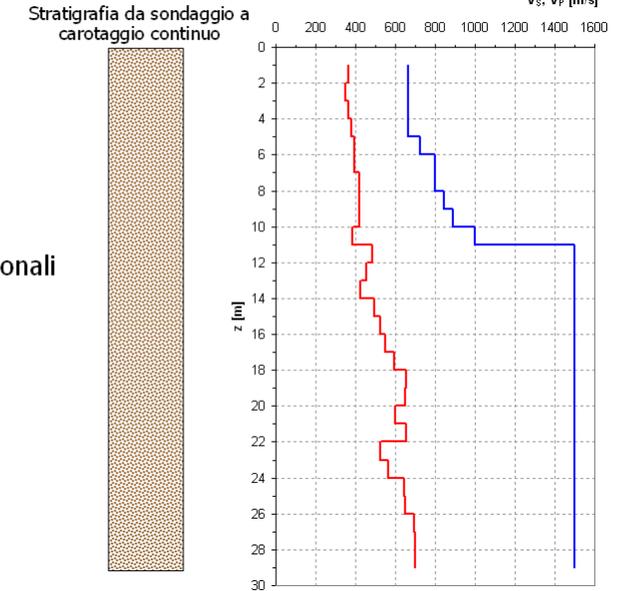
Marecchia, S. Martino dei Molini



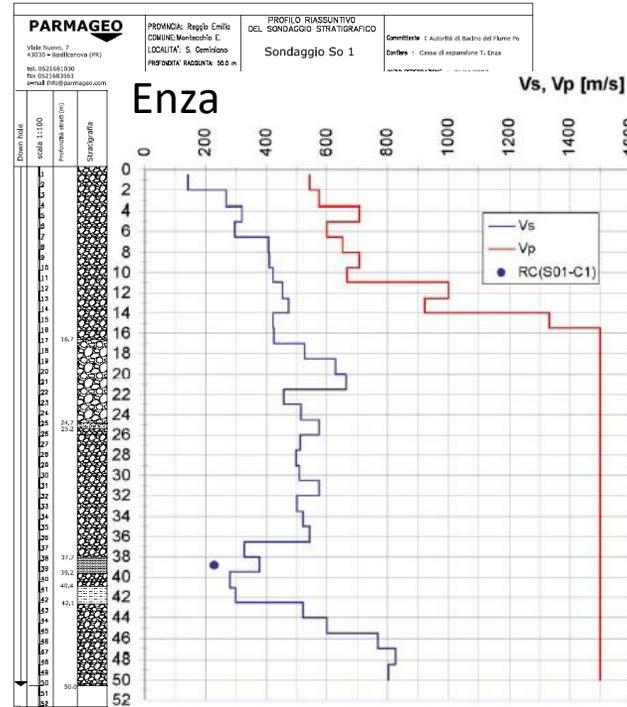
Lamone, Faenza sud

**zona pedemontana  
ambiente di conoidi alluvionali**

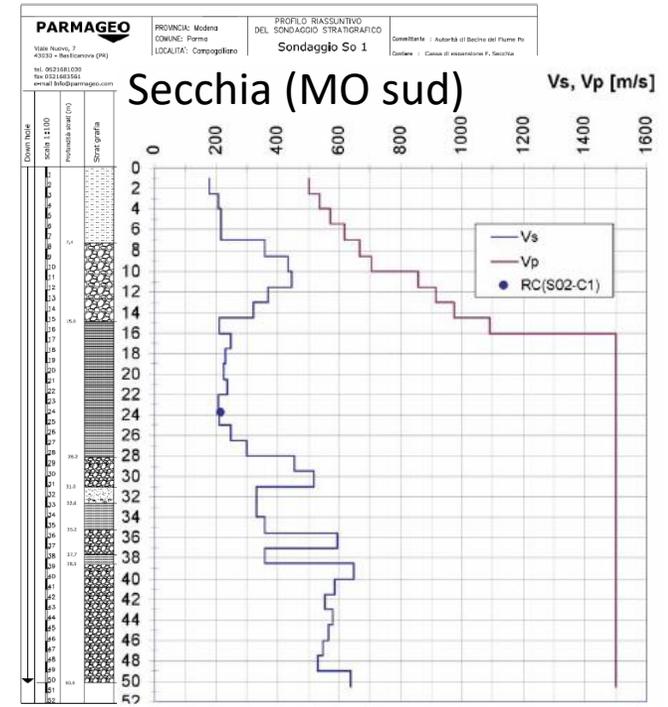
Ghiaie alluvionali



Parma (PR sud)

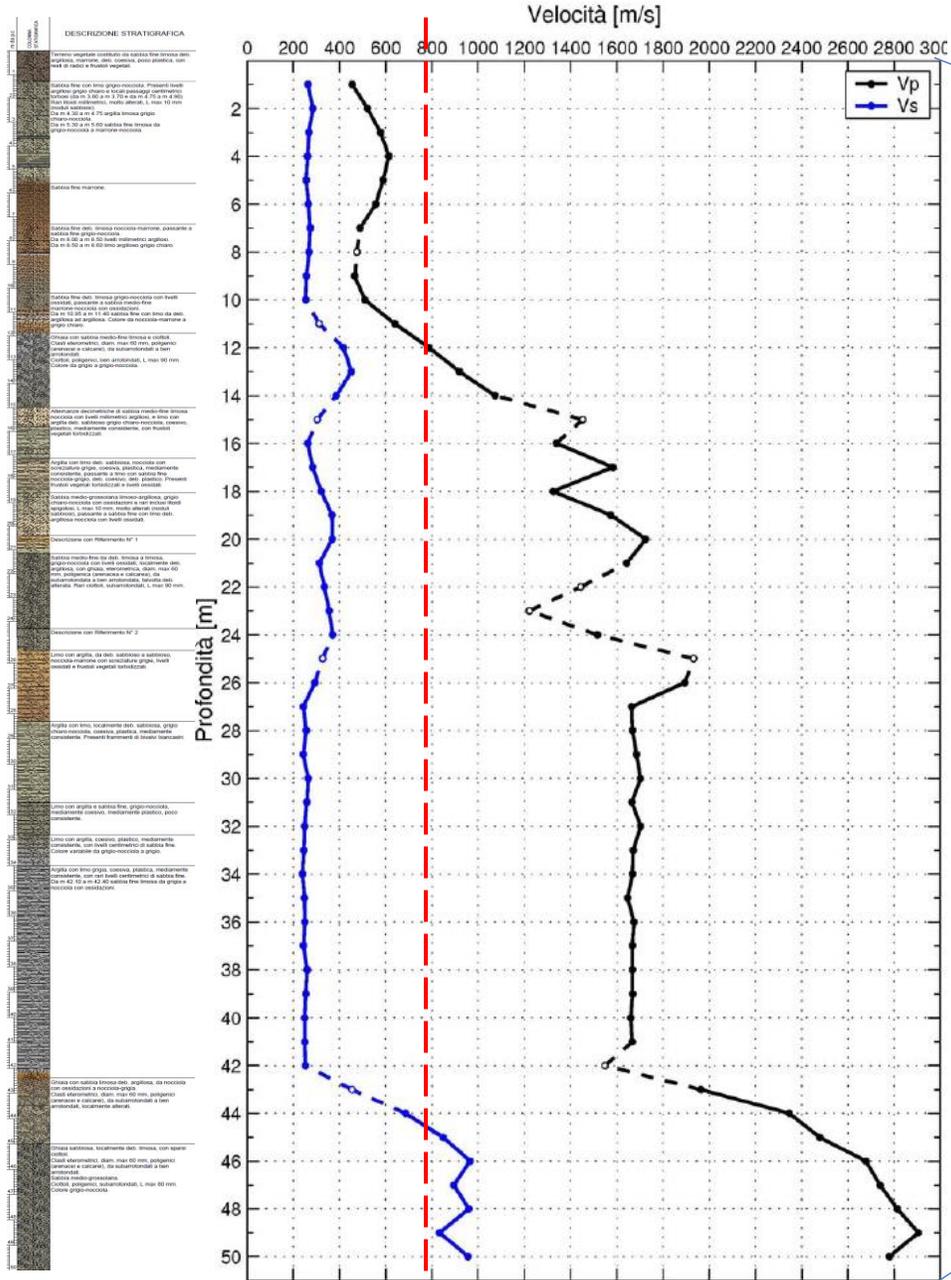


Enza

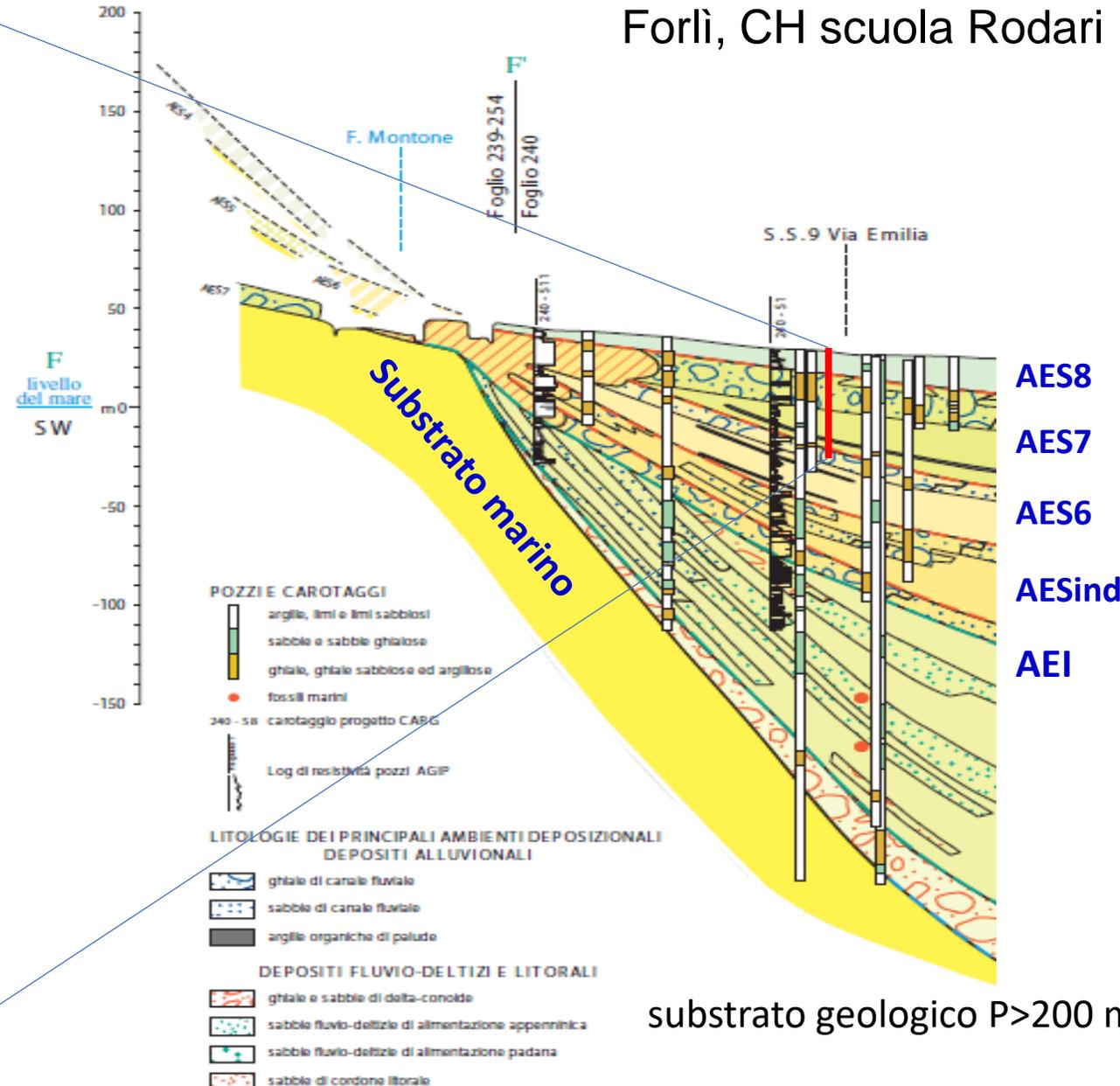


Secchia (MO sud)

# Substrato geologico e bedrock sismico

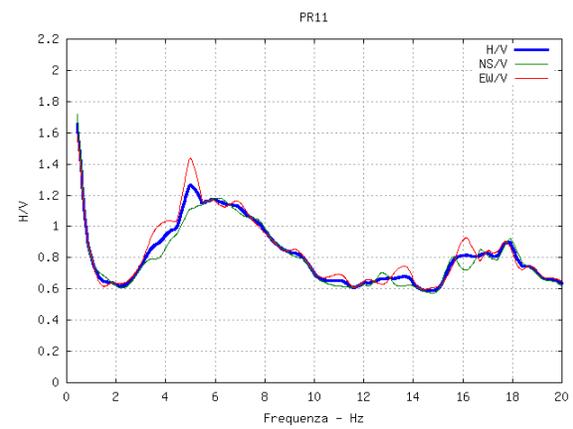
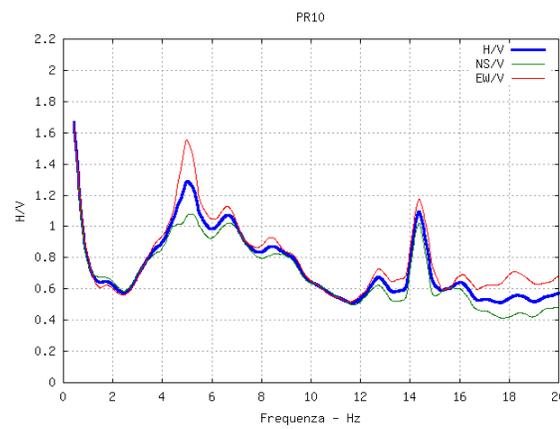
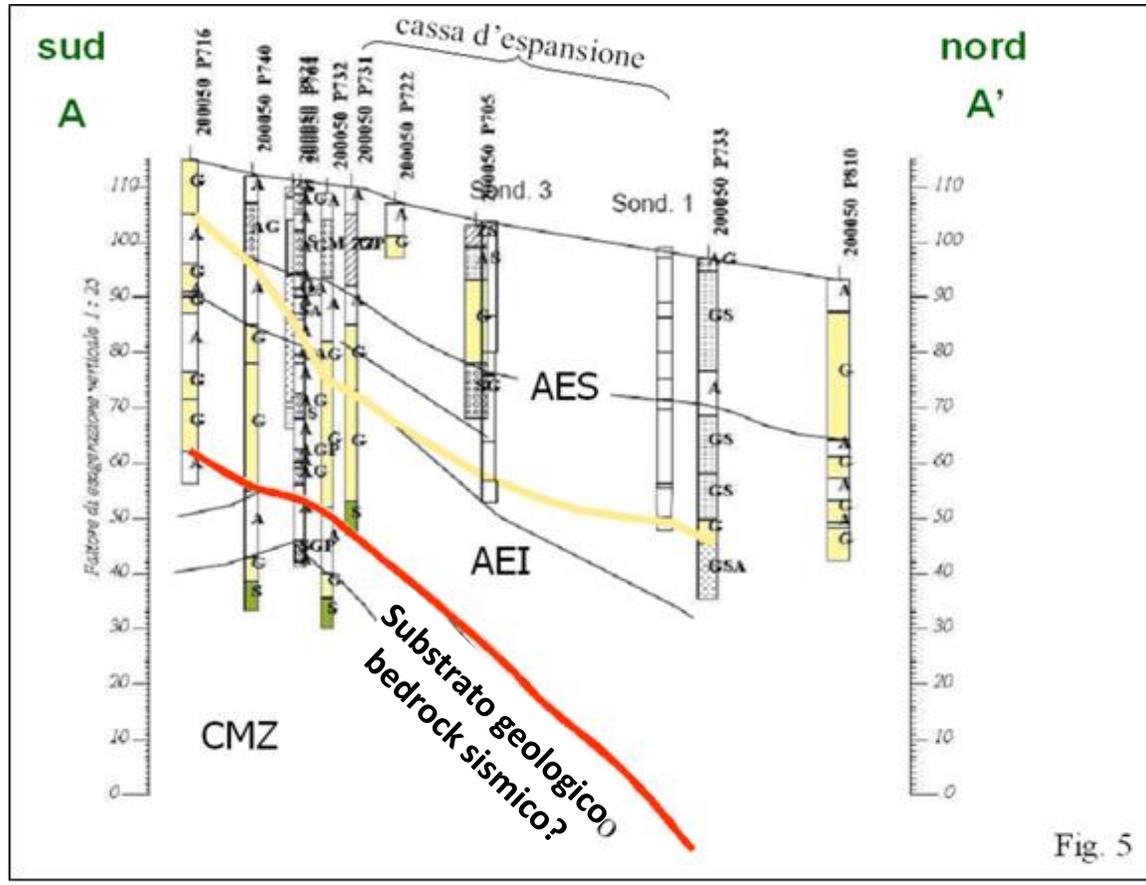
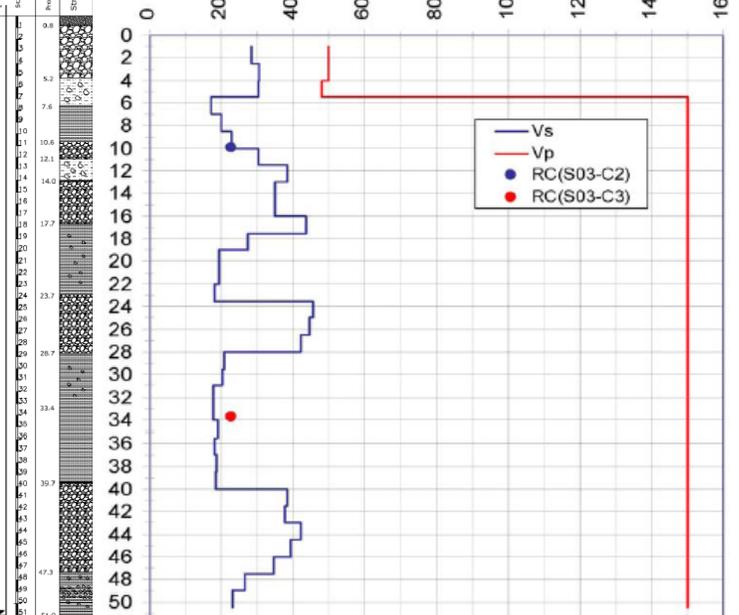
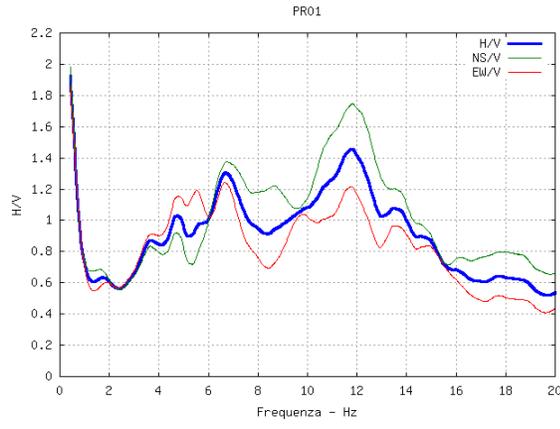
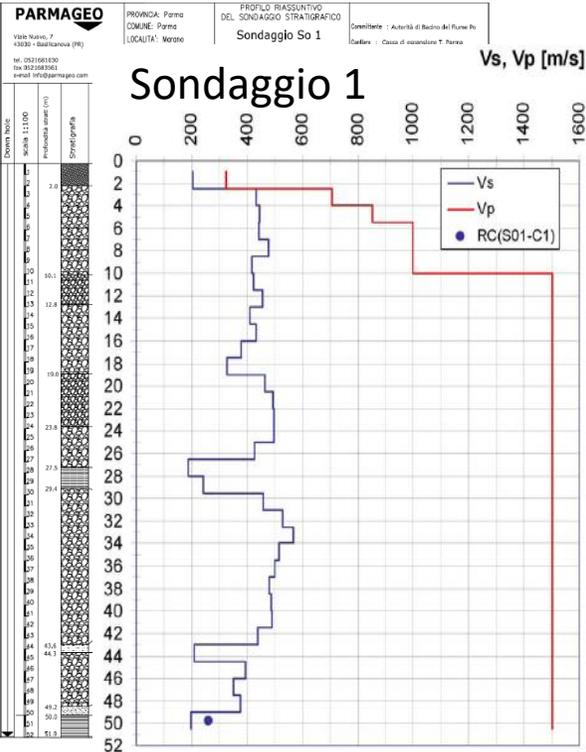


\*tratteggiate le misure incerte



substrato geologico P>200 m da p.c.

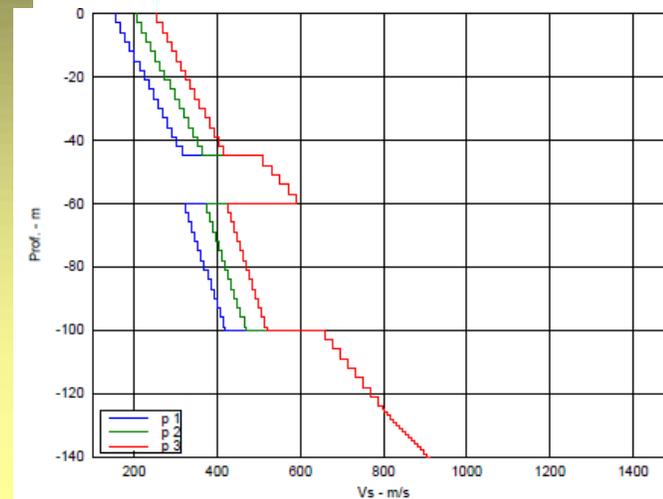
# Substrato geologico e bedrock sismico



**Parma,  
 cassa d'espansione**

### Conclusioni

- L'inversione produce un'amplificazione più piccola rispetto a quella del caso senza inversione, se è localizzata in profondità (al di sotto di 15-20 m), e più grande, se posta più in superficie (al di sopra di 15-20 m).
- L'inversione non può essere trascurata quando il rapporto  $V_{s,rig}/V_{s,sof} > 1.5$  oppure lo spessore dello strato soffice è maggiore di 3 m
- E' possibile trascurare l'inversione se dovuta ad uno strato rigido di spessore minore di 10-15 m.
- In tutti i casi non compresi nei limiti detti sopra è auspicabile uno studio di risposta sismica locale e non riferirsi ad abachi.



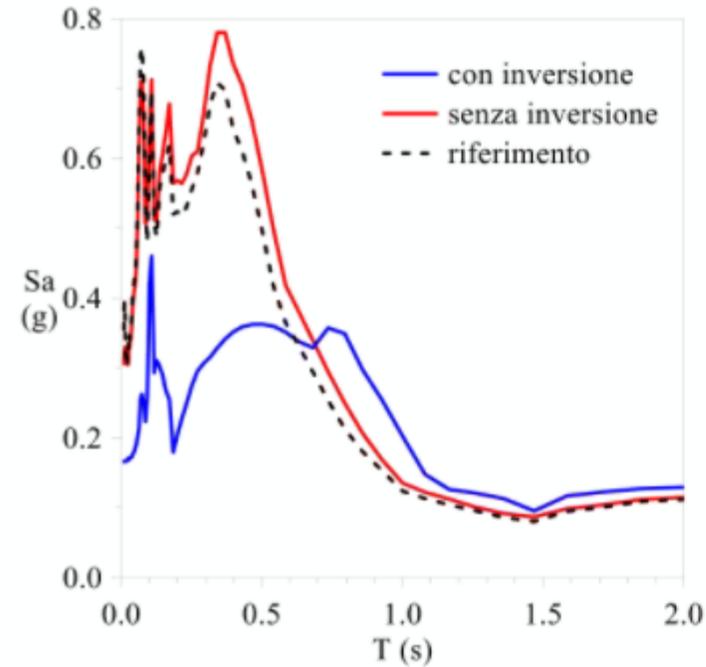
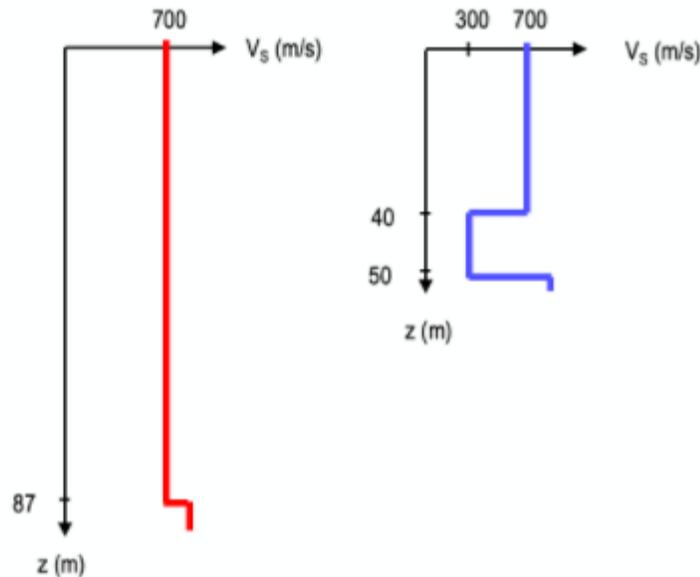
Nella costruzione dell'abaco «Margine B» (DGR 2193/2015), è stata inserita un'inversione di  $V_s$  nelle modellazioni RSL per il calcolo dei fattori di amplificazione; v. Tento et al. (2015).

## Inversioni singole del profilo di velocità

da Fabozzi et al., 15/12/2020  
webinar Reg. Campania, DPC, CNR-IGAG

### Condizione particolare: caso studio

La conoscenza parziale delle reali condizioni di sito (modello numerico senza inversione) determina, in termini di spettro di risposta, la sovrastima dello scuotimento in superficie per  $T < 0.6$  s e la sottostima per periodi maggiori di 0.6 s.

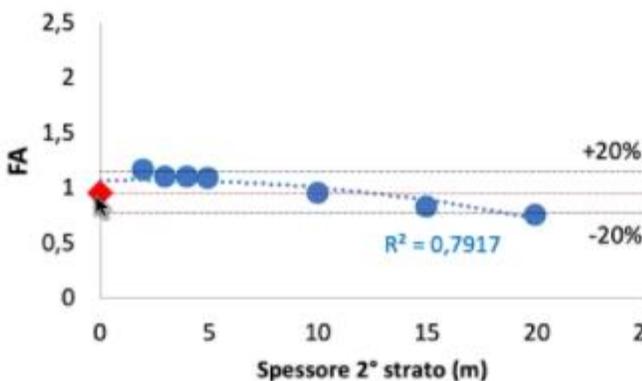
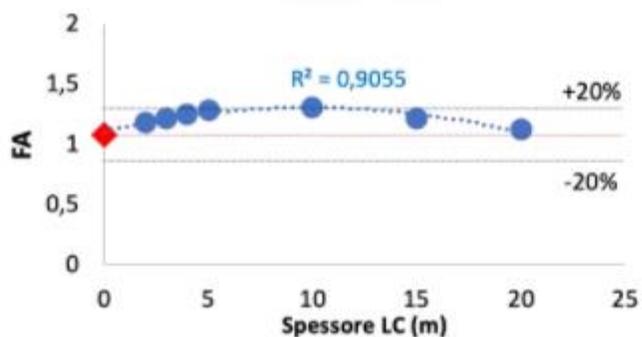
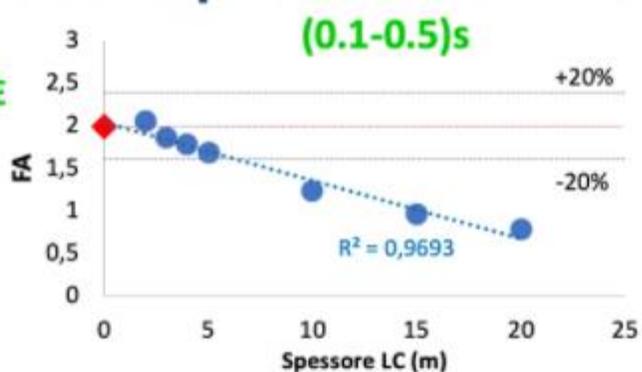


	AF1	AF2	AF3
Senza inversione	1.09	1.16	1.14
Con inversione	0.51	0.90	1.52

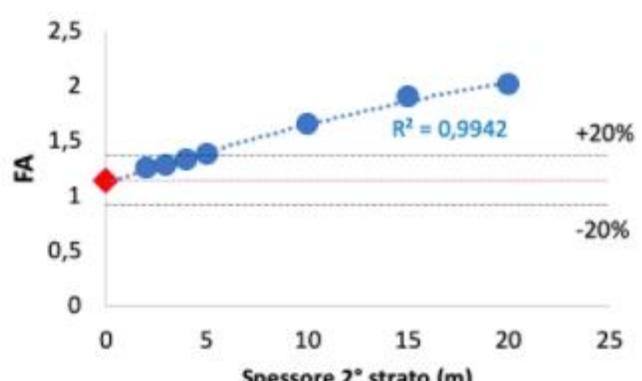
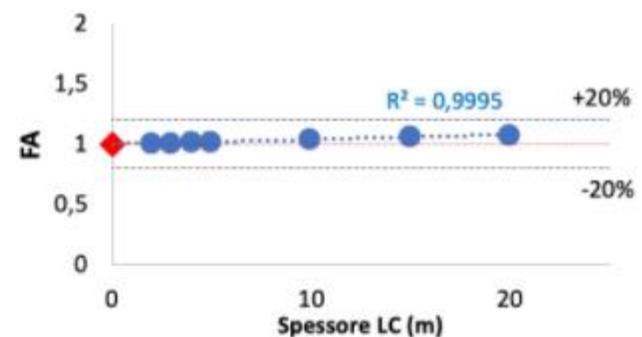
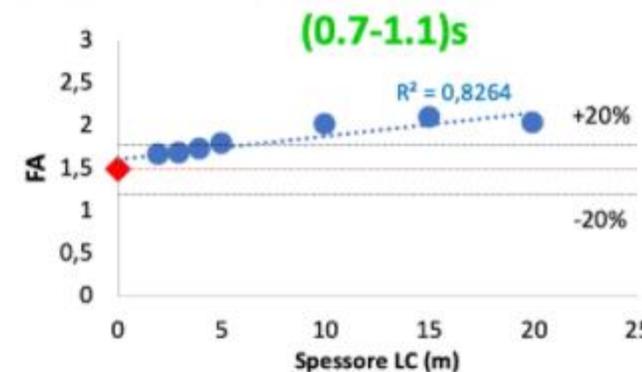
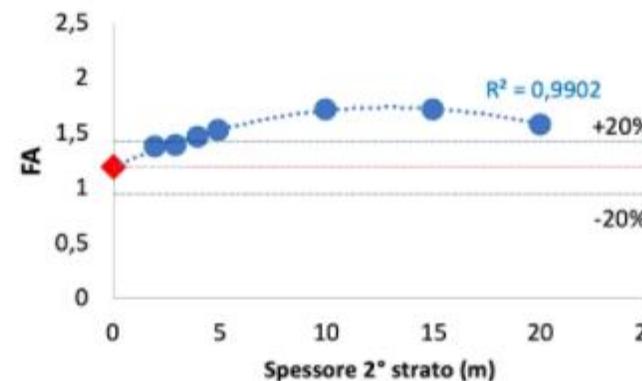
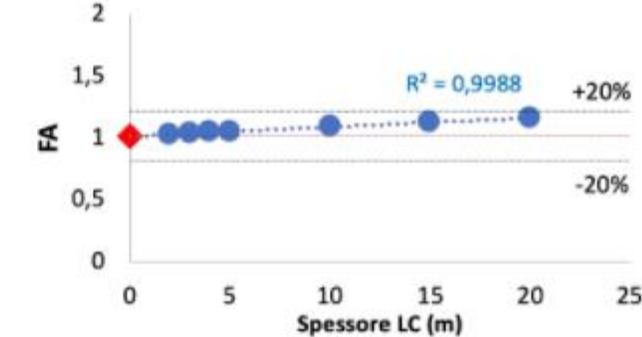
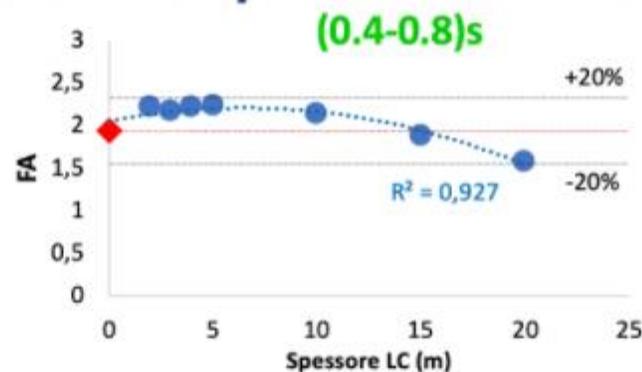
## Effetto della presenza di inversioni nel profilo Vs in AMBIENTI VULCANICI

FATTORI DI AMPLIFICAZIONE

COMBINAZIONE 1



COMBINAZIONE 2

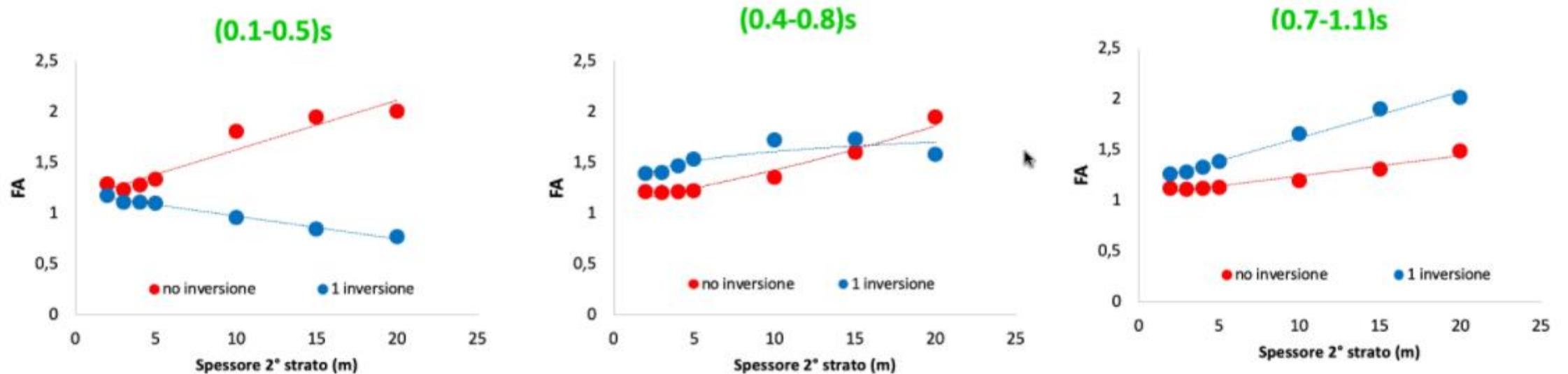


COMBINAZIONE 3



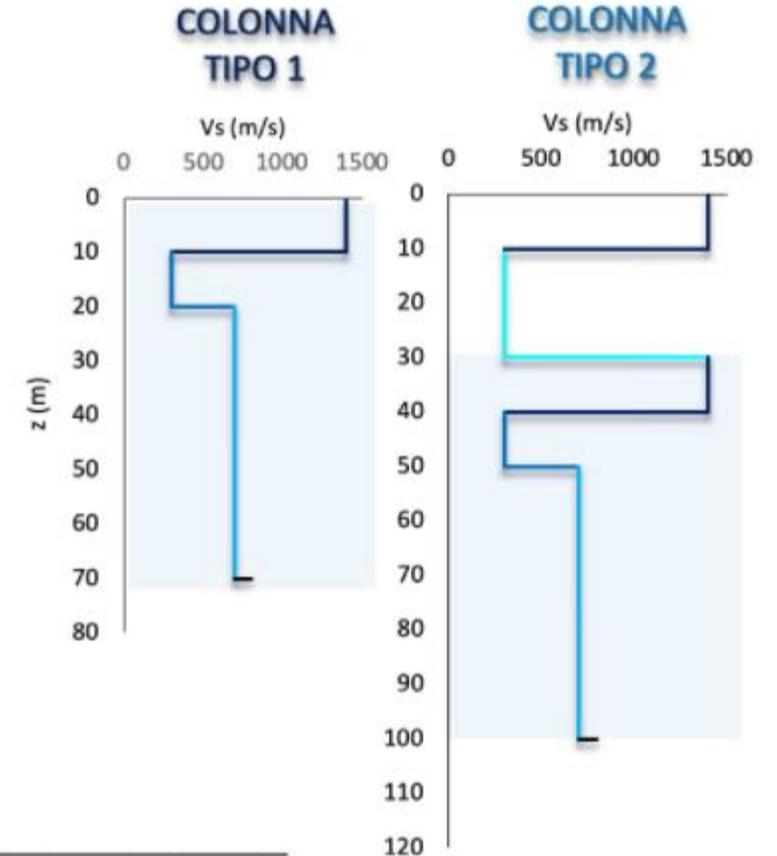
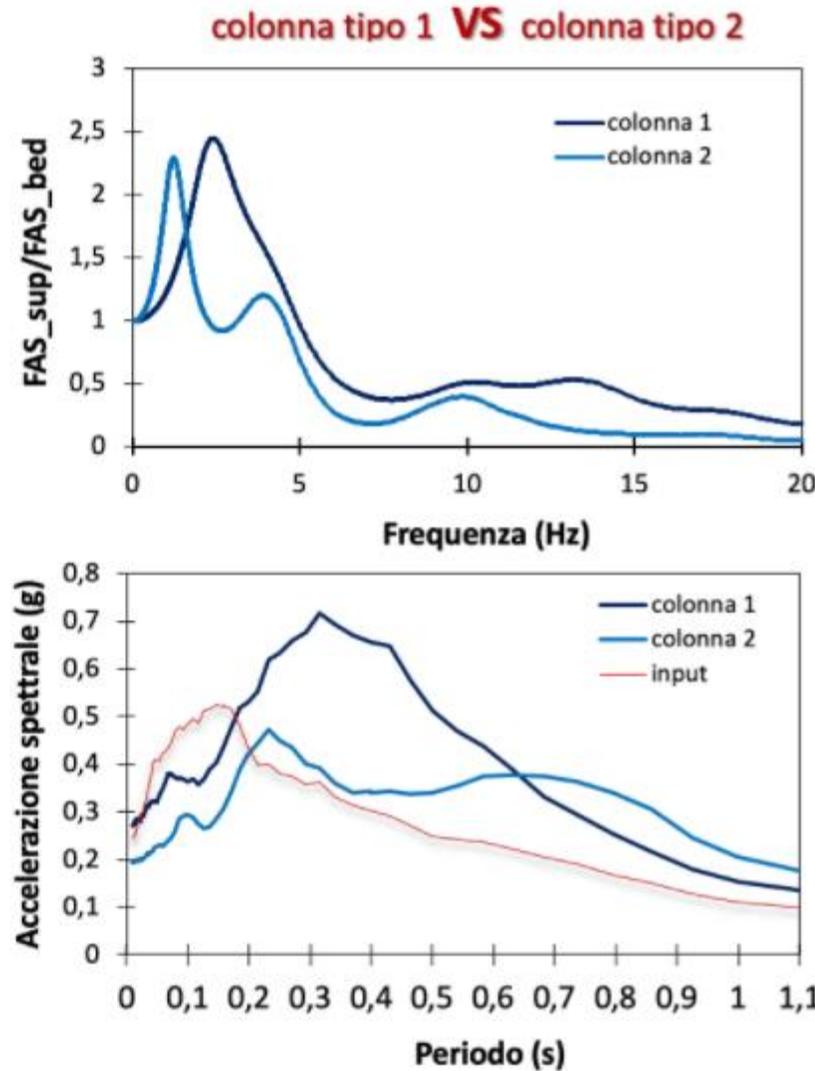
## Effetto della presenza di inversioni nel profilo Vs in AMBIENTI VULCANICI

COMBINAZIONE 3 (1 inversione) vs COMBINAZIONE 3 SENZA LC (no inversione)



da Fabozzi et al., 15/12/2020  
webinar Reg. Campania, DPC, CNR-IGAG

## Effetto della presenza di inversioni nel profilo Vs in AMBIENTI VULCANICI

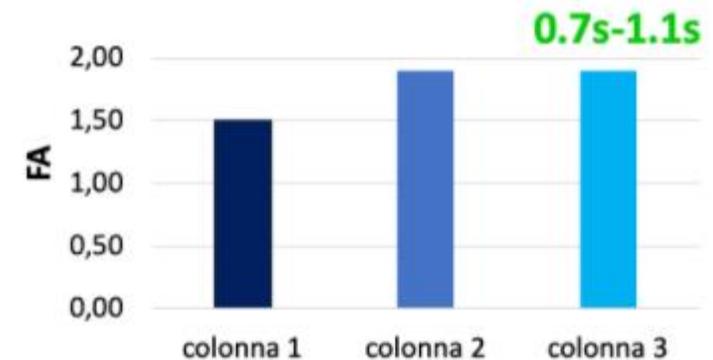
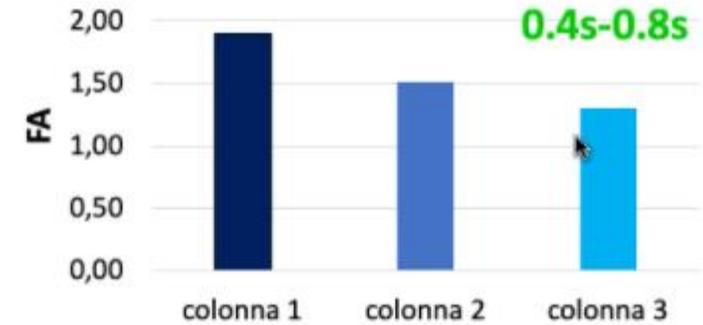
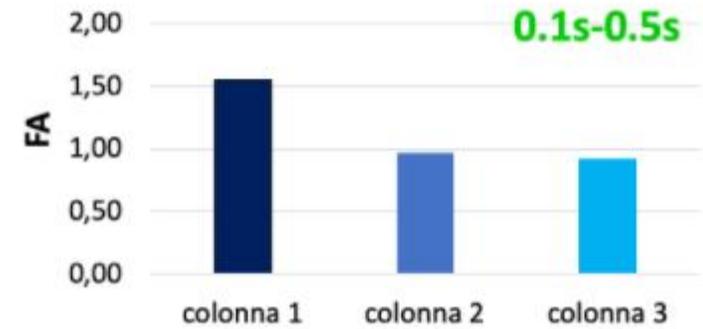
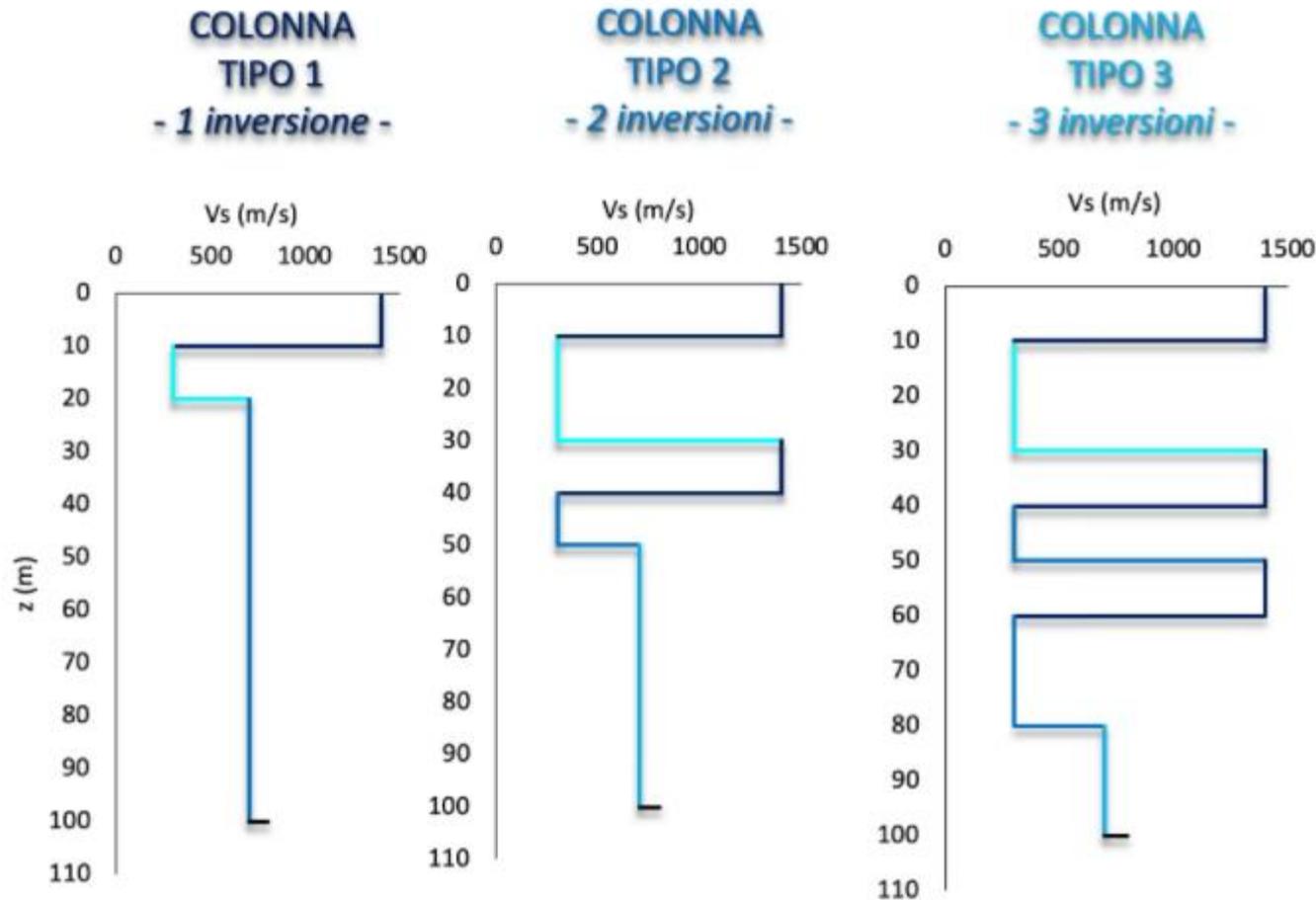


FS	(0.1-0.5)s	(0.4-0.8)s	(0.7-1.1)s
colonna 1	1.55	1.90	1.51
colonna 2	0.97	1.51	1.90

da Fabozzi et al., 15/12/2020  
webinar Reg. Campania, DPC, CNR-IGAG



## Effetto della presenza di inversioni nel profilo Vs in AMBIENTI VULCANICI



da Fabozzi et al., 15/12/2020

webinar Reg. Campania, DPC, CNR-IGAG

### Inversioni singole del profilo di velocità

da Fabozzi et al., 15/12/2020

webinar Reg. Campania, DPC, CNR-IGAG

#### Conclusioni

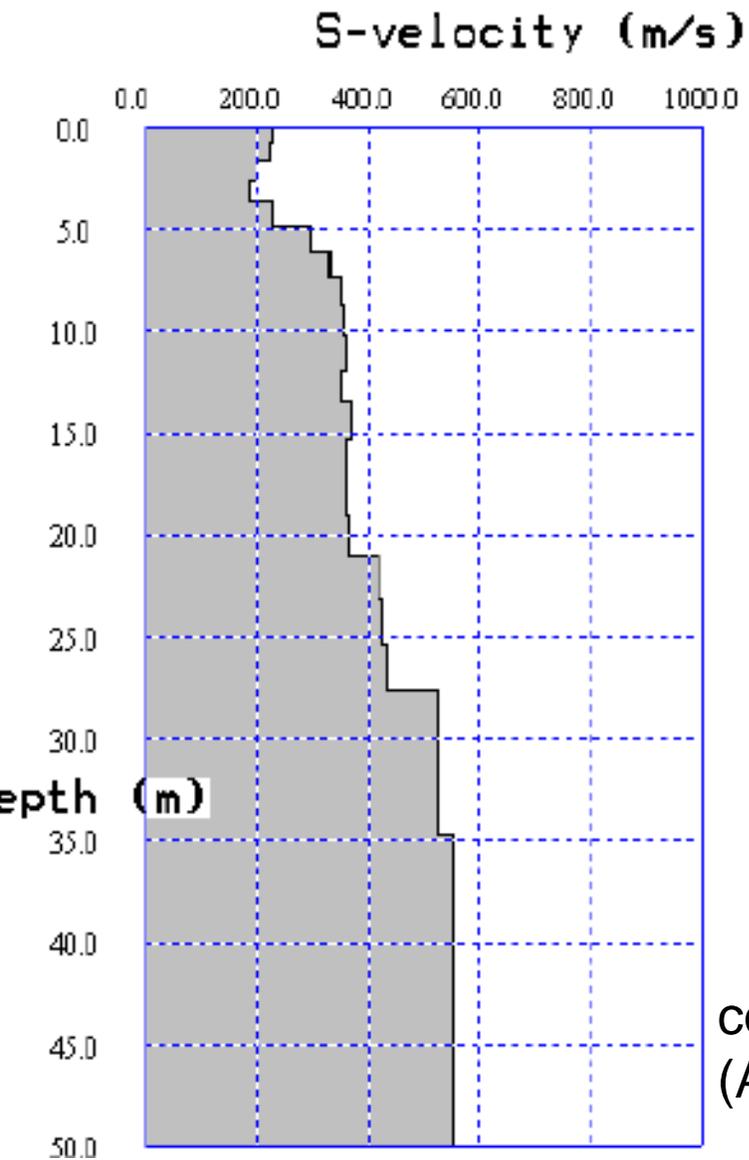
In generale, lo strato rigido esercita un'azione di confinamento sullo strato soffice che raggiunge un livello deformazione più elevato; lo strato soffice rappresenta quindi l'elemento di controllo della colonna 1D in queste complesse condizioni geologiche attraverso la variazione di  $V_{s,soft}$  e  $H_{soft}$

- c'è un **effetto di attenuazione** del moto sismico a periodi bassi e un effetto di amplificazione a periodi più alti;
- questo effetto di attenuazione del moto in superficie tende ad essere maggiormente enfatizzato quando  $H_{soft} > H_{stiff}$  e con l'aumentare di  $H_{soft}$ ;
- questa tendenza evidenzia l'influenza del contrasto di rigidità dovuto all'inversione del profilo  $V_s$  ( $V_{s,stiff}/V_{s,soft}$ ) sul comportamento sismico 1D della colonna;
- nel **caso di orizzonti rigidi vulcanici, l'effetto dell'inversione del profilo  $V_s$  è più evidente** rispetto rispettivamente al caso di orizzonti rigidi clastici, per il fatto che valori più alti del contrasto di impedenza e di  $H_{soft}$  sono attesi nel caso di orizzonti rigidi vulcanici;
- c'è anche un **effetto di non linearità** dovuto all'intensità del segnale in ingresso che controlla il livello di deformazione raggiunto nello strato più soffice.

**Gli effetti delle inversioni di velocità sulla stima del moto sismico in superficie sono ben controllabili con analisi RSL dettagliate (molta attenzione al modello geologico!). Gli abachi possono fornire valori di amplificazione cautelativi ai bassi periodi ( $T < 0,5s$ ) ma sottostimare l'amplificazione agli alti periodi ( $T > 5s$ ); in generale, in presenza di inversioni di velocità significative è meglio evitare approcci semplificati.**

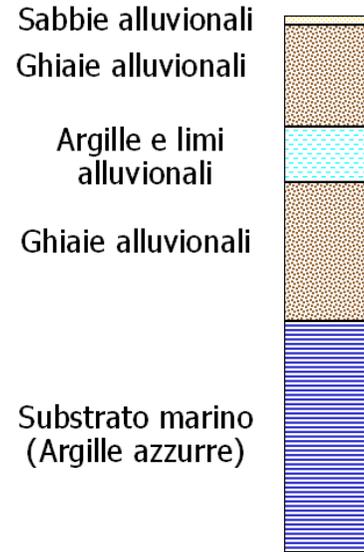
# Substrato geologico e bedrock sismico

## costa sud (Misano Adriatico)

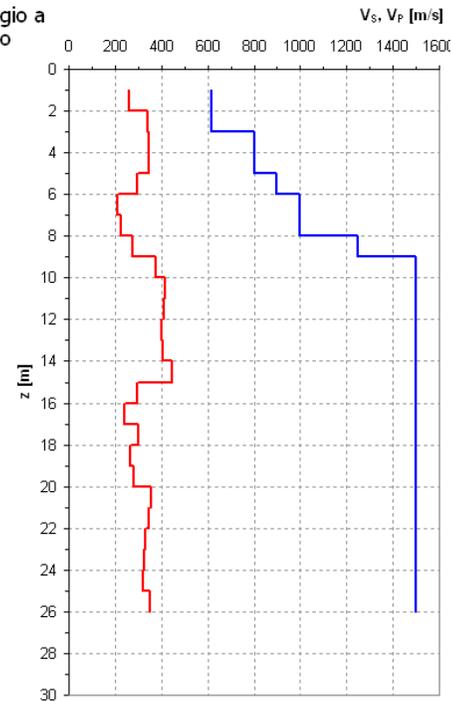


### S. Monica

Stratigrafia da sondaggio a carotaggio continuo



### Sondaggio S3

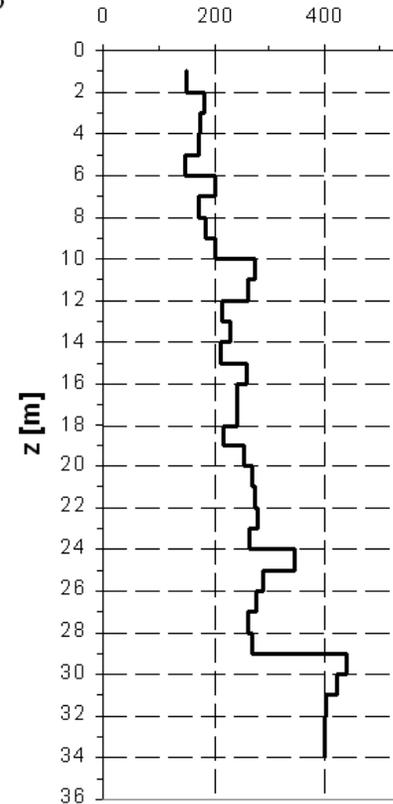


### costa

Stratigrafia da sondaggio a carotaggio continuo

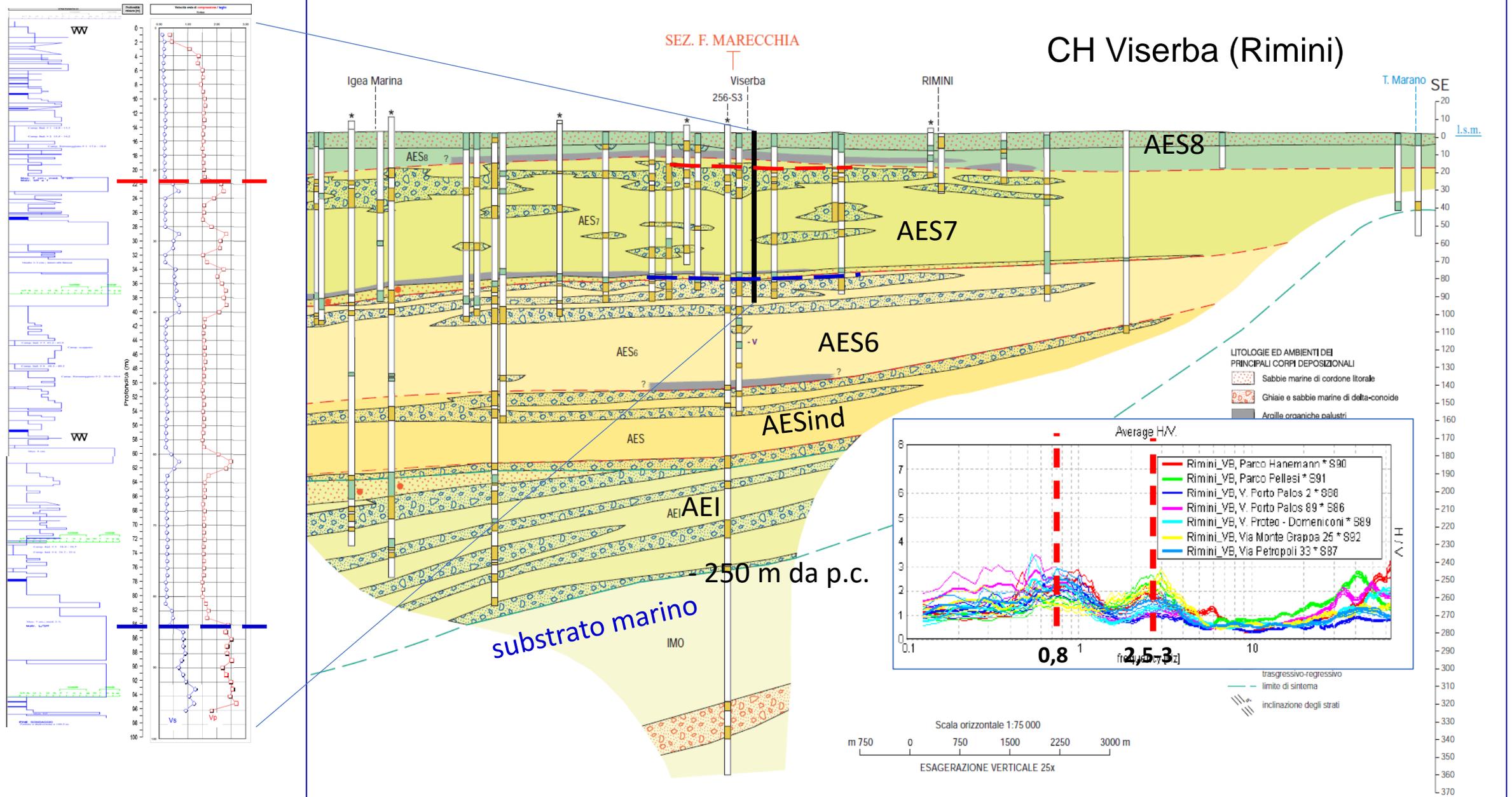


### Misano Adriatico



collina  
(Argille Azzurre affioranti)

# Substrato geologico e bedrock sismico



**Nella fascia pedemontana (alta pianura, costa meridionale), dove sono frequenti i depositi grossolani di conoide, il bedrock sismico è talora difficilmente individuabile.**

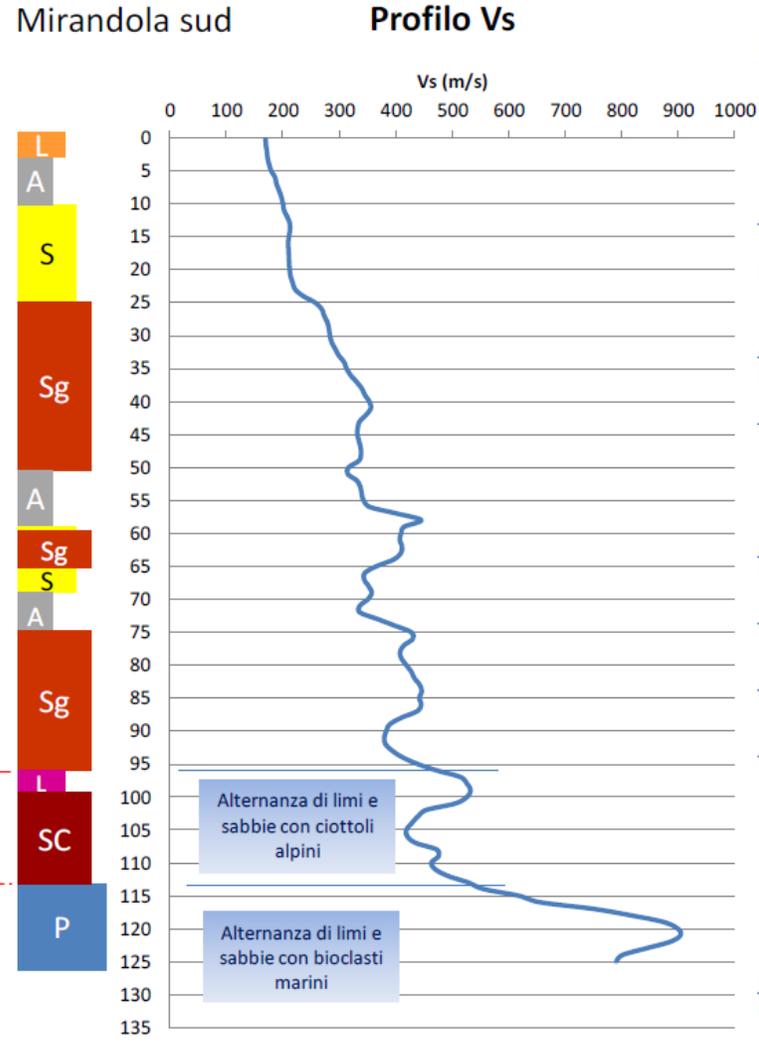
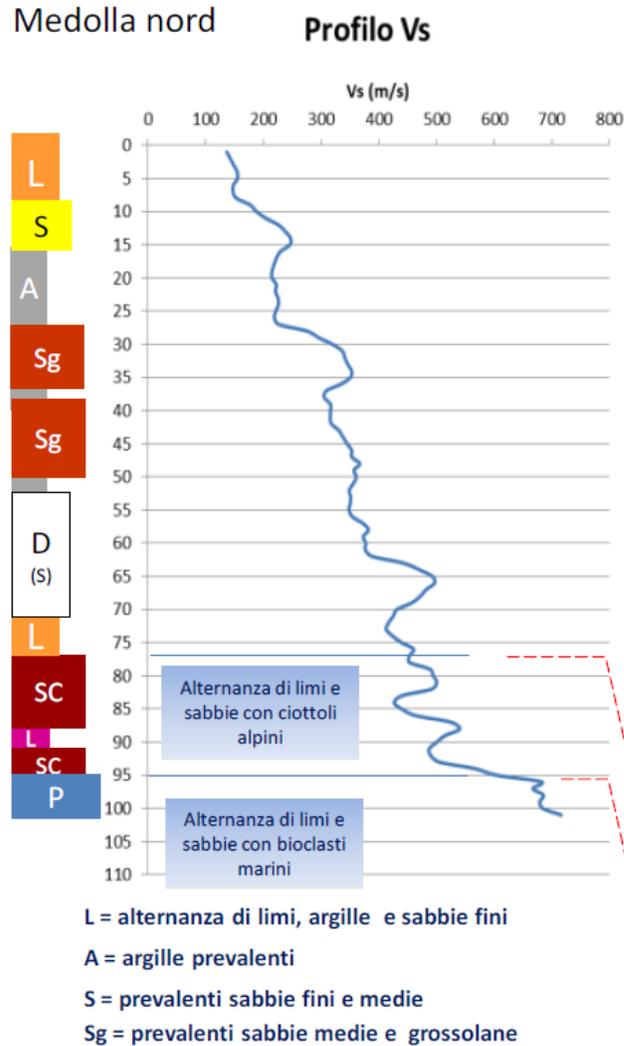
**Spesso il tetto degli orizzonti ghiaiosi pleistocenici costituisce una superficie di contrasto di velocità importante.**

**Non di rado le ghiaie hanno  $V_s$  maggiore di quella del substrato geologico (Qm e Argille Azzurre), talora anche  $\geq 800$  m/s**

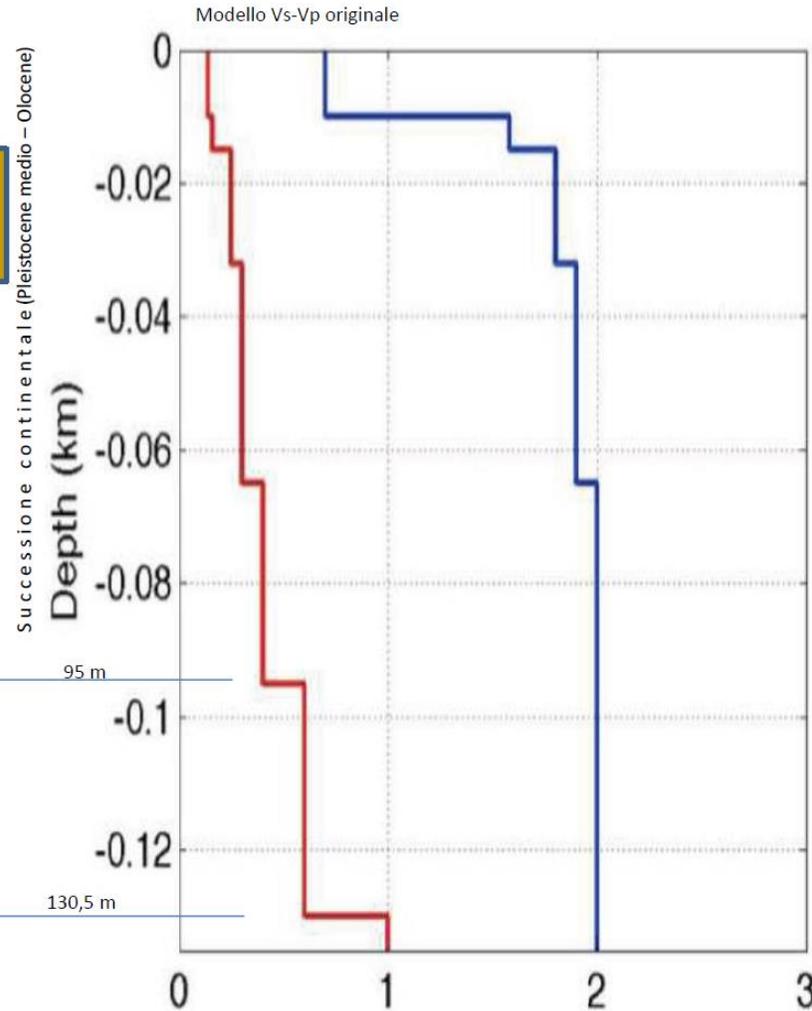
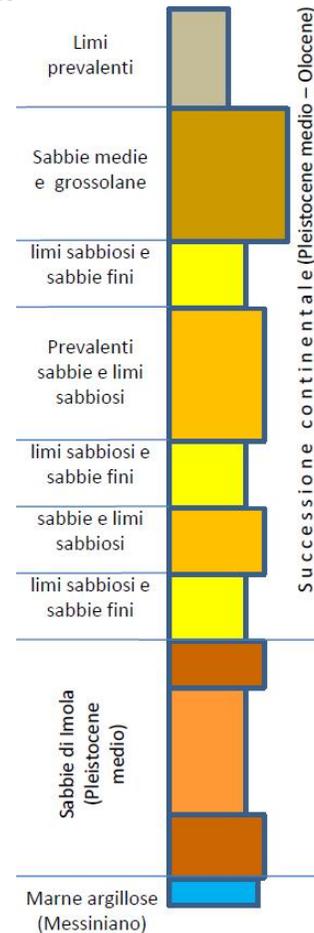
# Substrato geologico e bedrock sismico

## pianure alluvionali

Nelle **zone di alto strutturale**, sondaggi profondi 100÷150 m hanno permesso di raggiungere il substrato dei depositi alluvionali (sedimenti marini pre-Pleistocene medio). Prove CH hanno dimostrato che in questi casi il **bedrock sismico** è costituito dal substrato marino



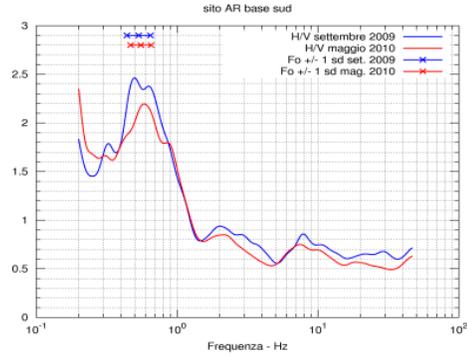
Sintesi stratigrafia Casaglia



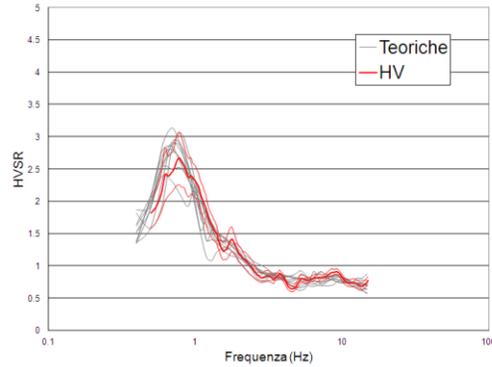
# Substrato geologico e bedrock sismico

**pianure alluvionali, zone di sinclinale**

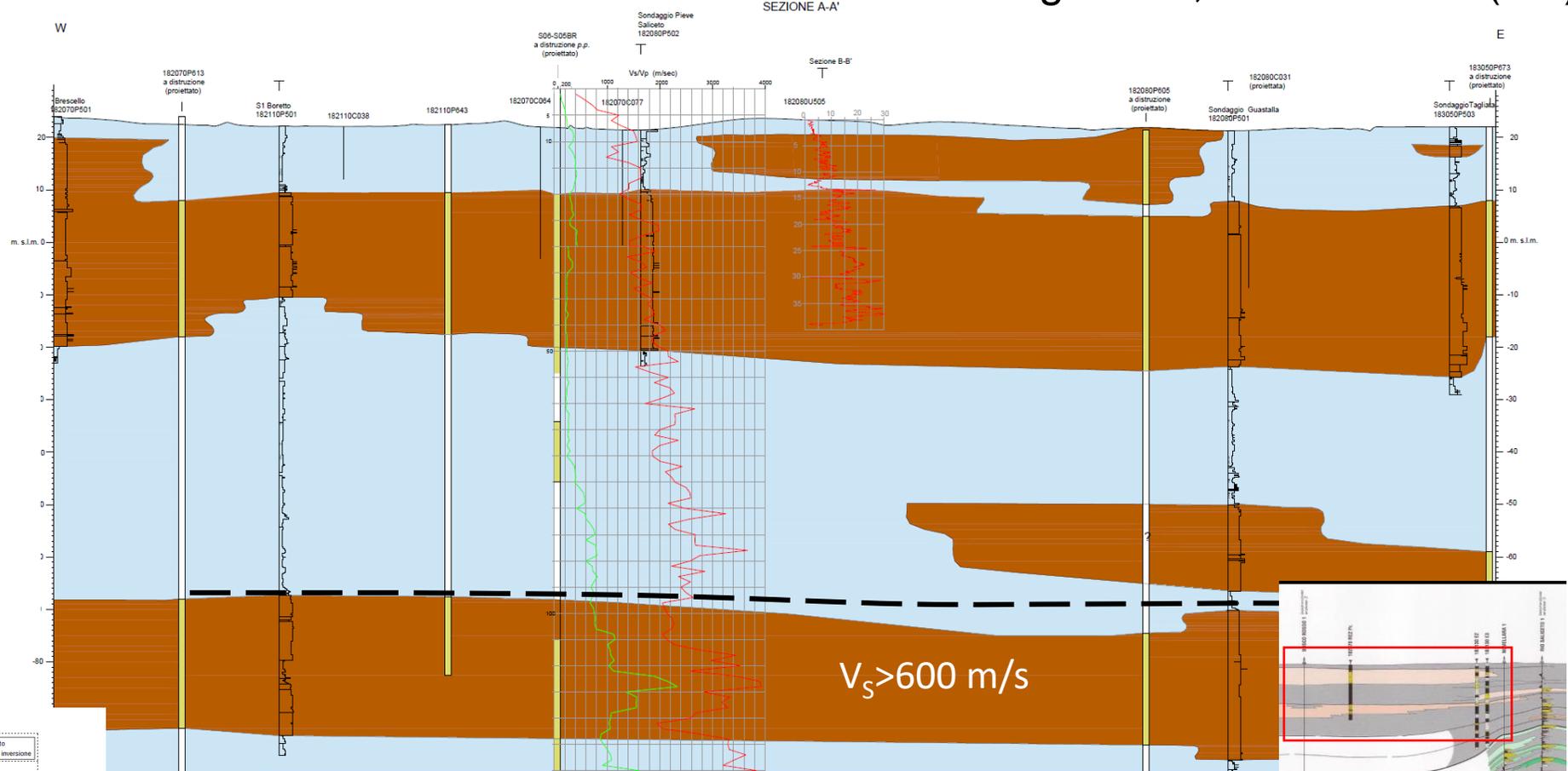
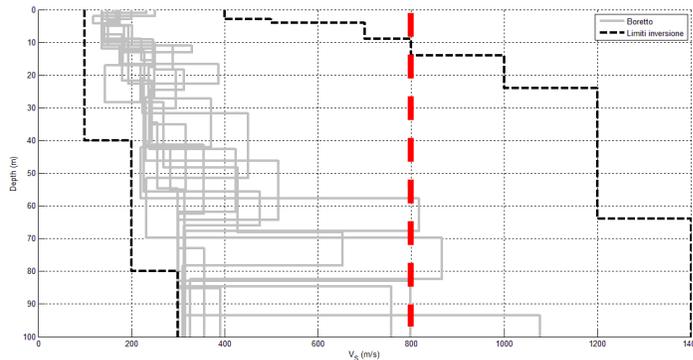
argine Po, zona Boretto (RE)



Risultati Inversione Boretto

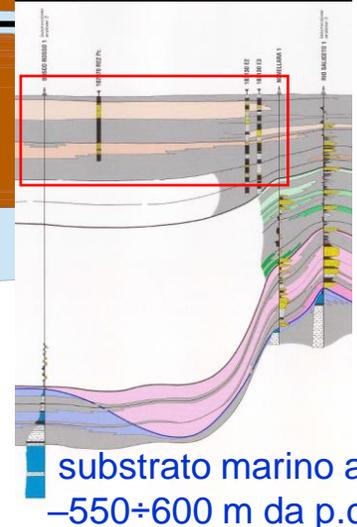


Array Boretto



possibile bedrock

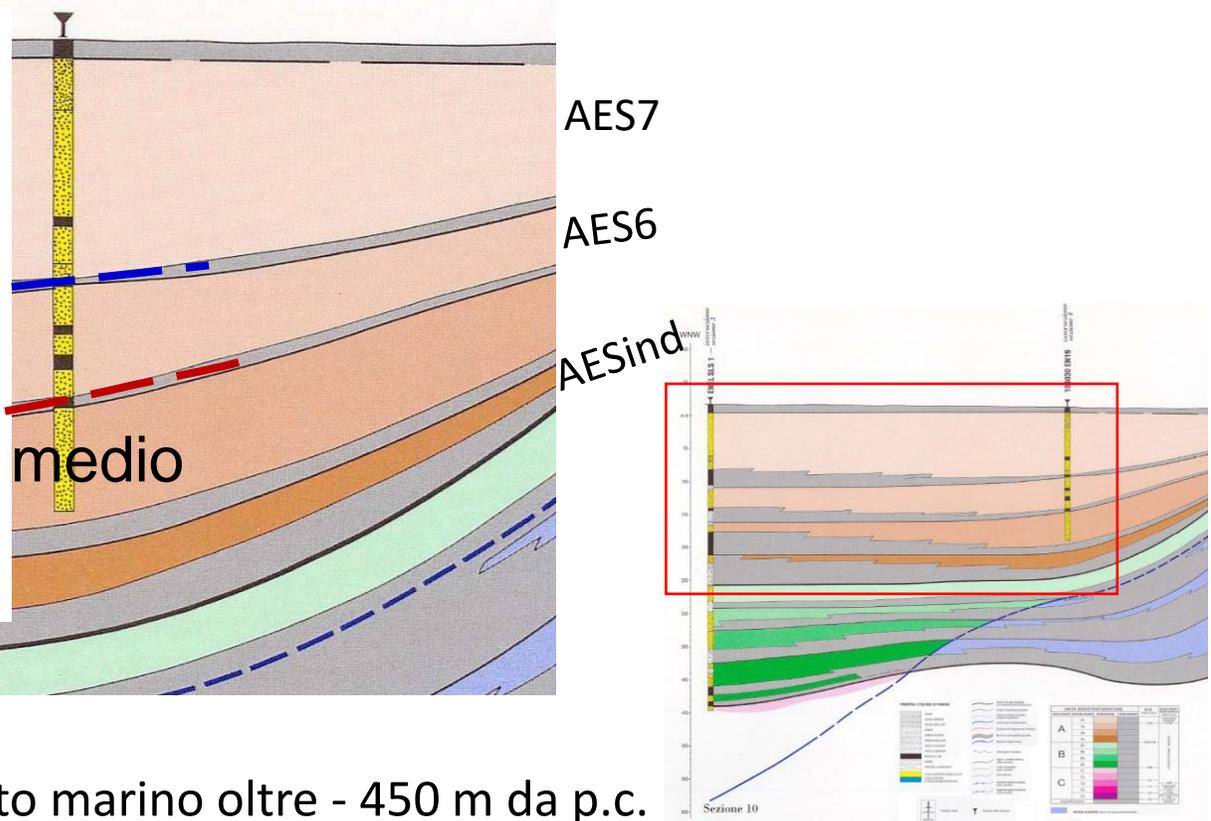
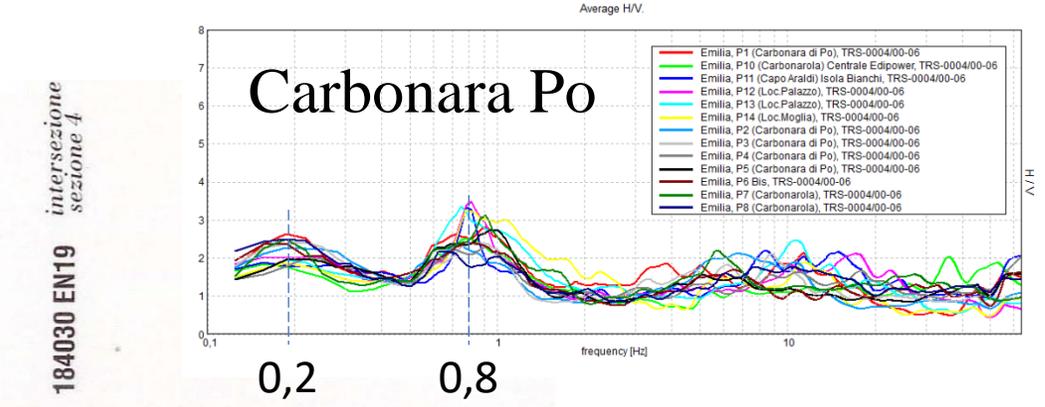
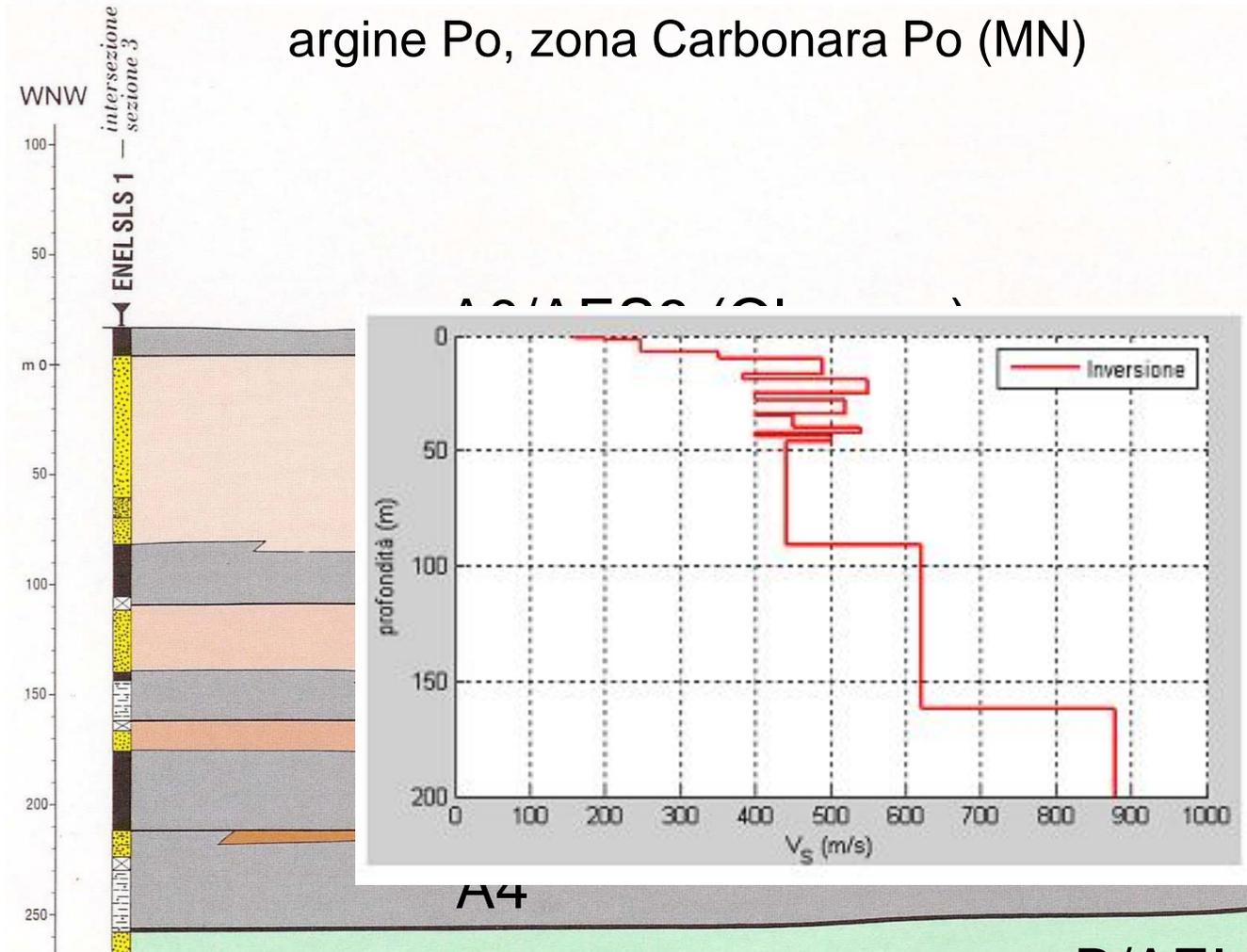
Talora orizzonti grossolani decametrici della successione alluvionale (profondità  $\geq 80$  m) hanno comportamento molto più «rigido» dei sedimenti soprastanti



substrato marino a  $-550 \pm 600$  m da p.c.

# Substrato geologico e bedrock sismico

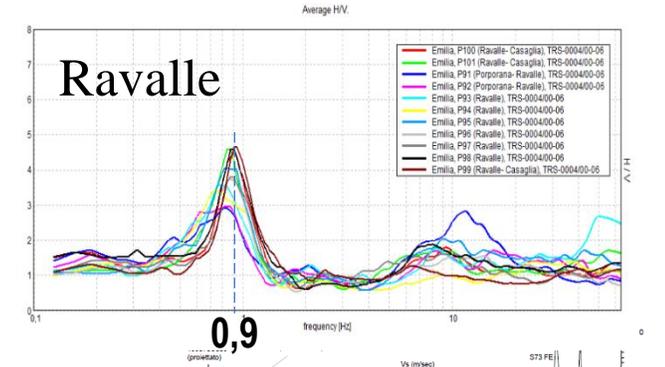
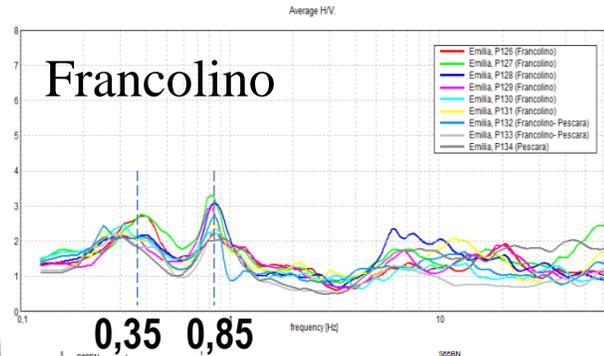
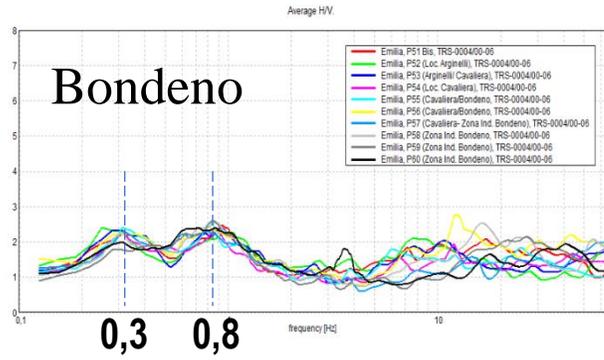
argine Po, zona Carbonara Po (MN)



B/AEI

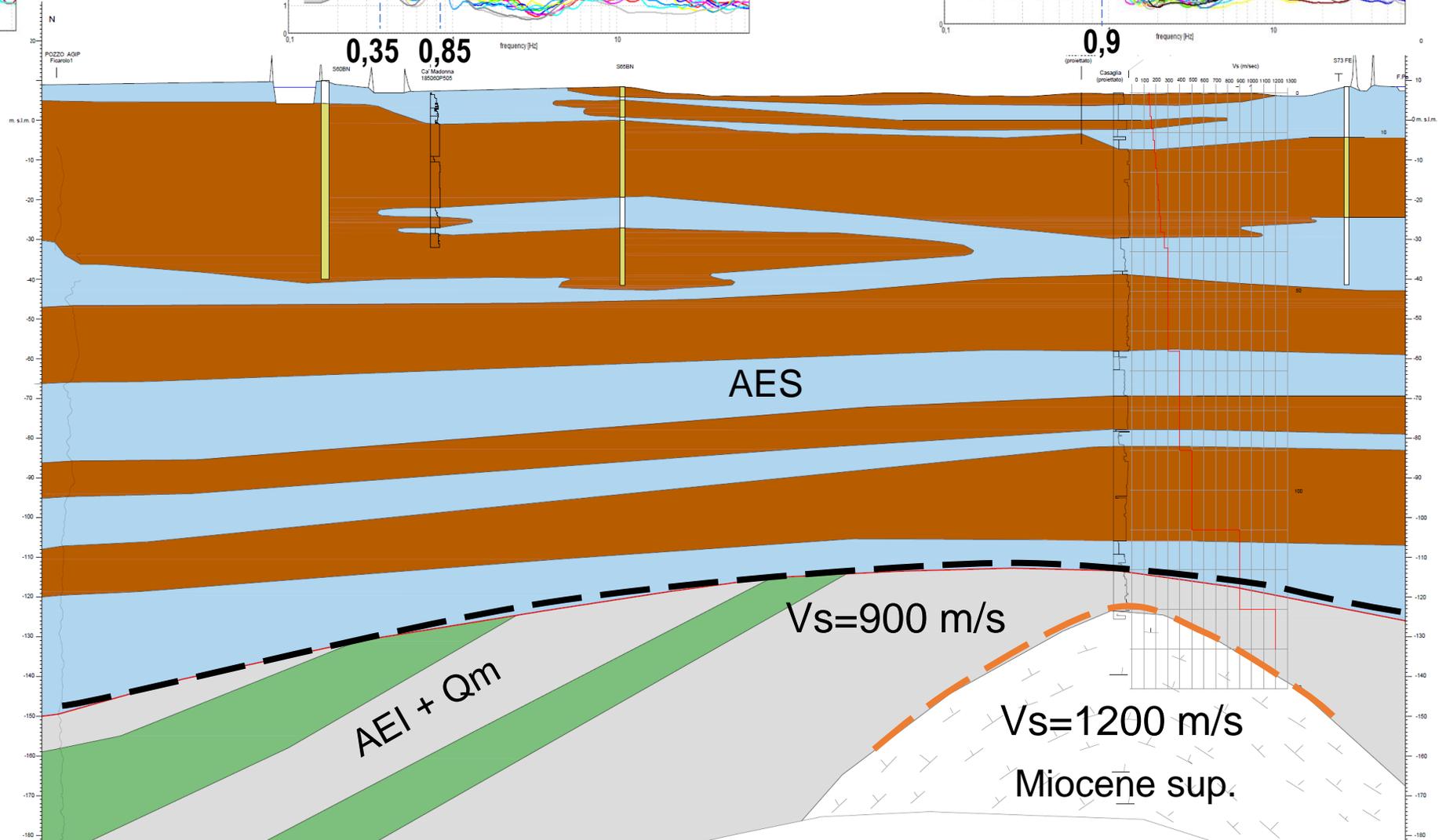
substrato marino oltre - 450 m da p.c.

# Substrato geologico e bedrock sismico



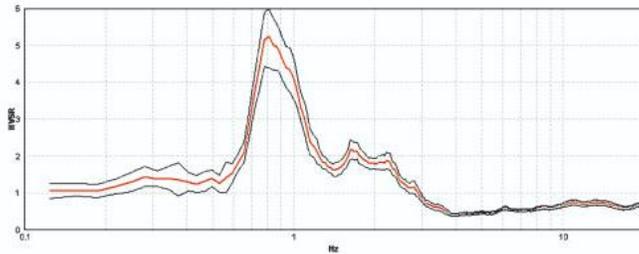
ferrarese ovest

**CH Casaglia  
(cimitero)**

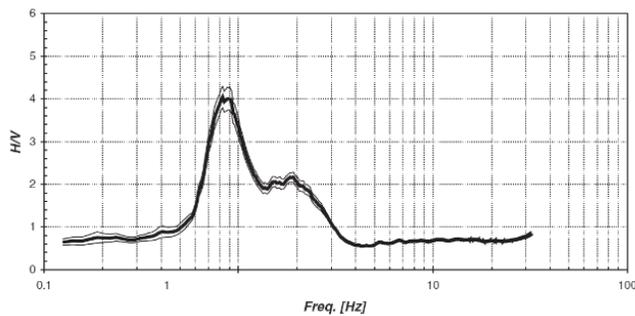


# Substrato geologico e bedrock sismico

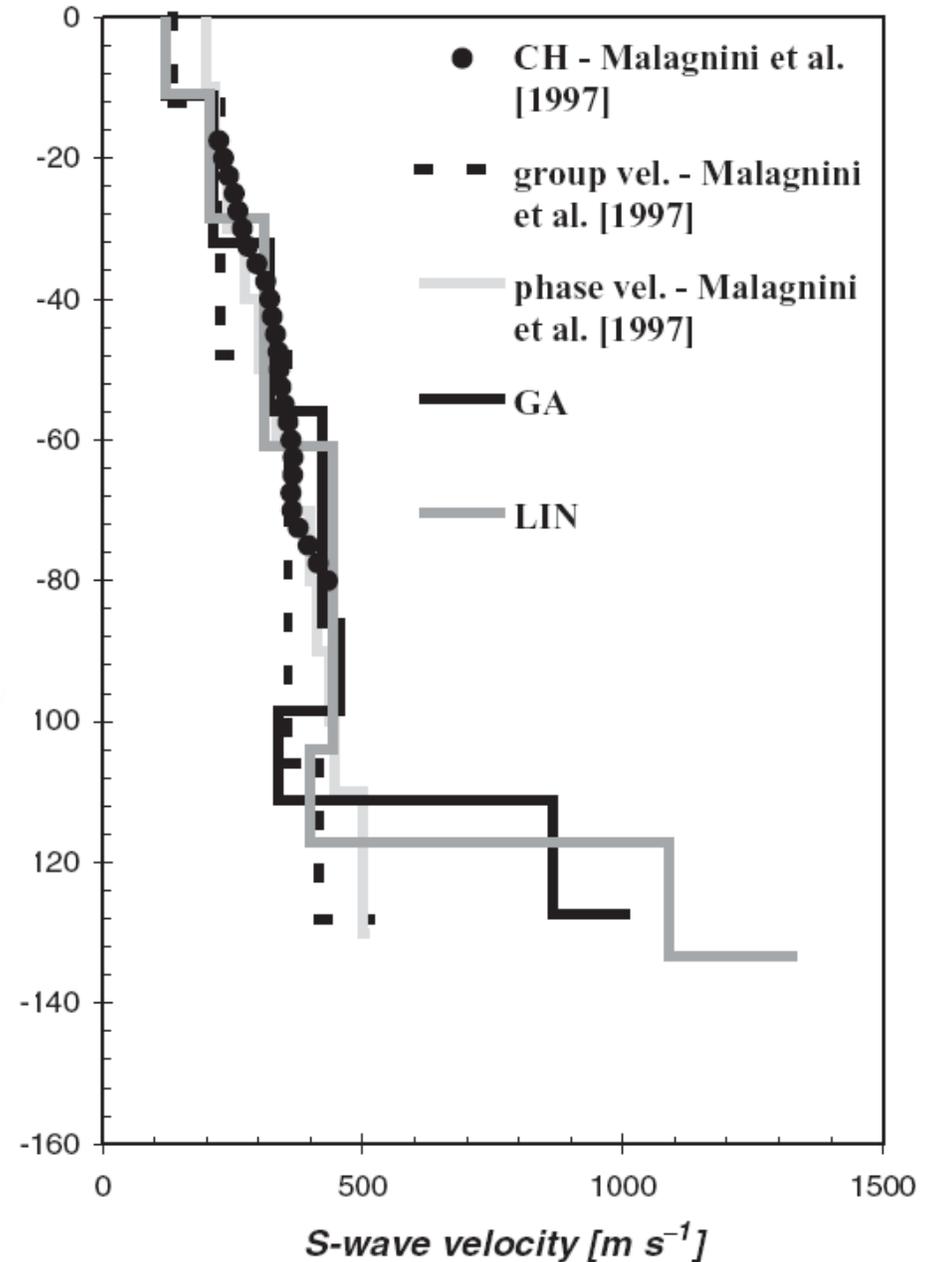
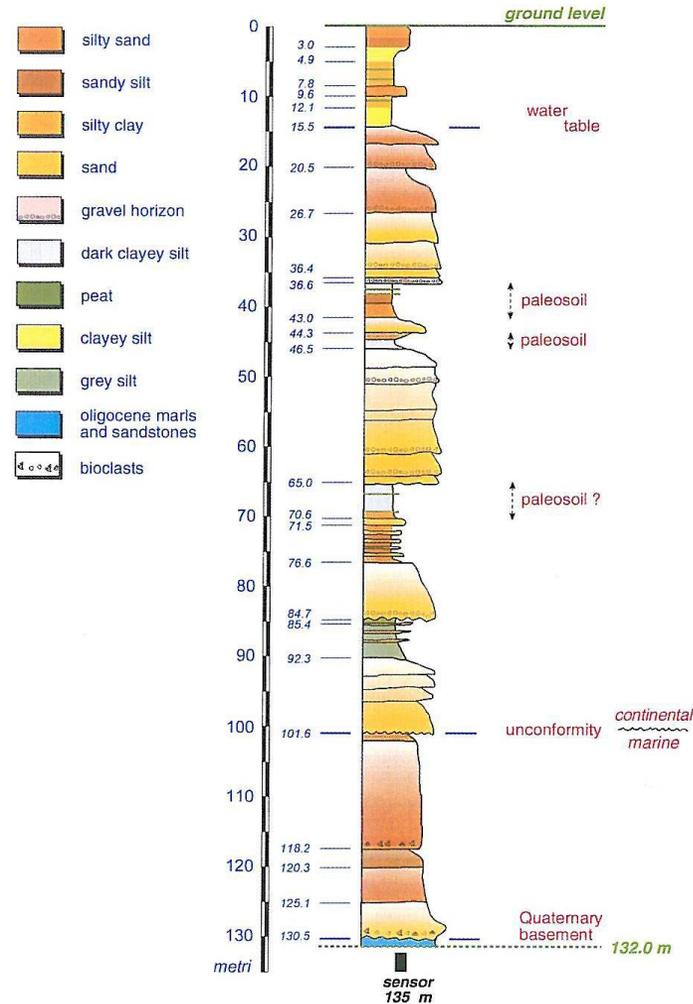
## DH Casaglia (ex scuola elementare)



da Castellaro et al., 2005

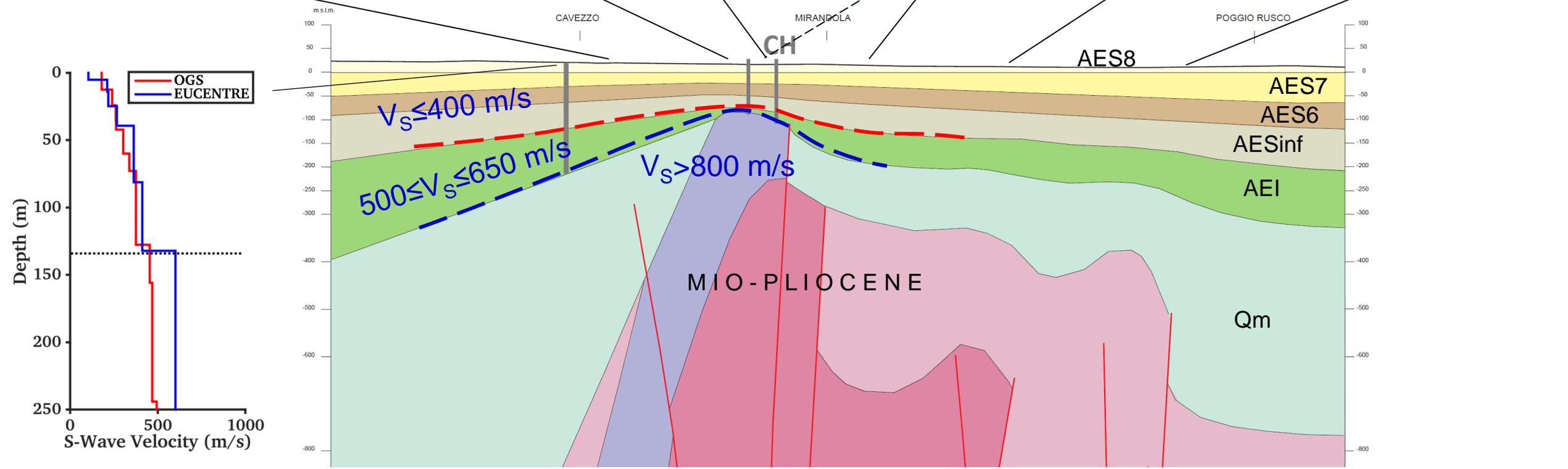
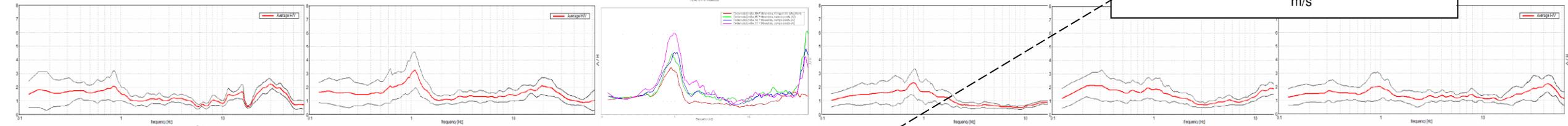
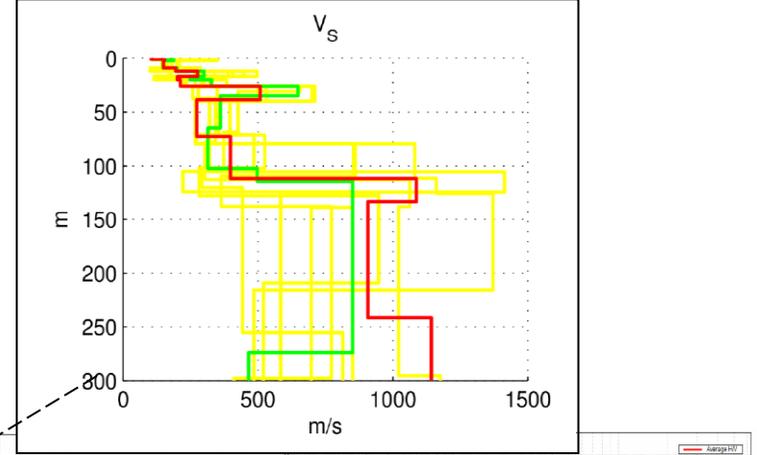


da Picozzi e Albarello, 2007

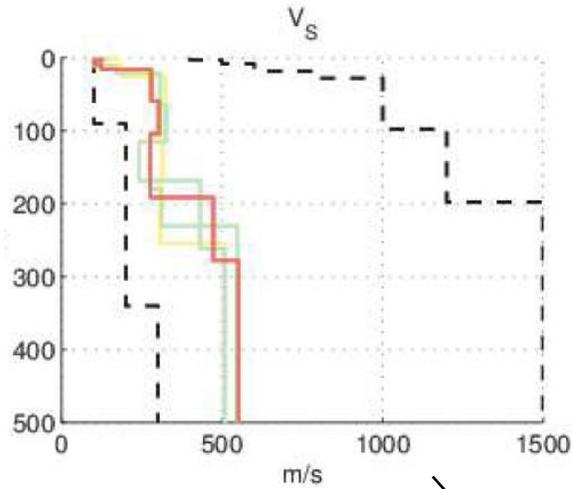


# Substrato geologico e bedrock sismico

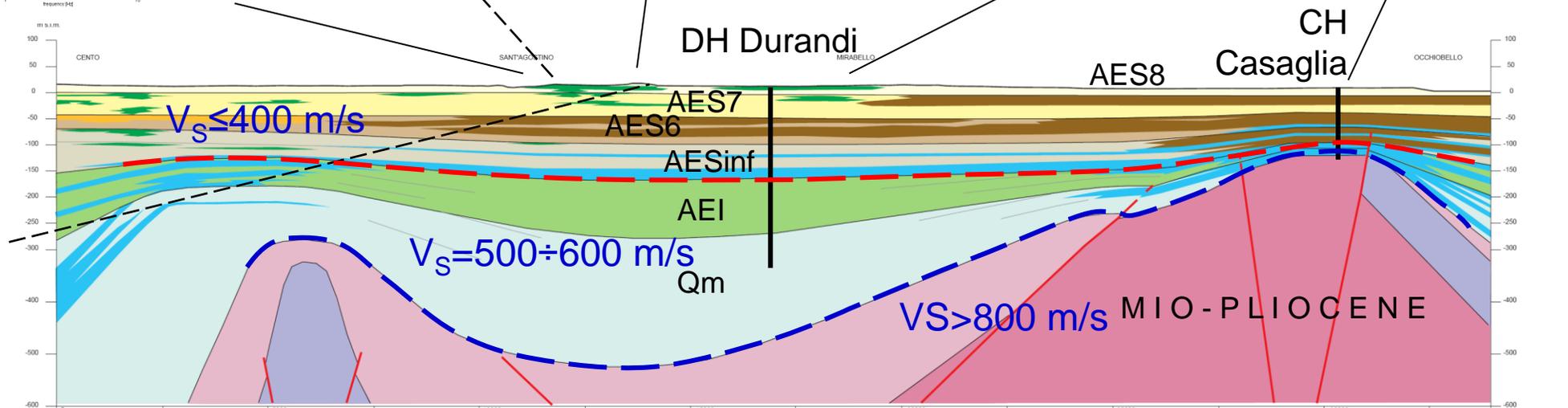
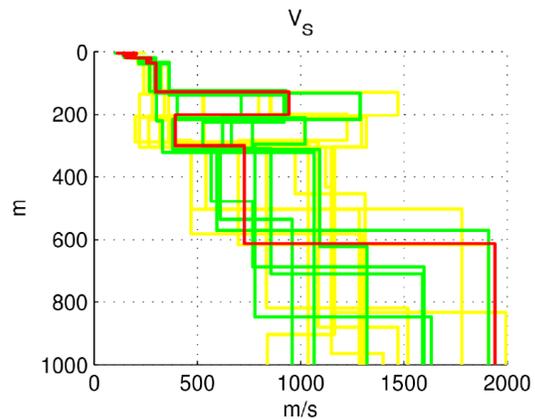
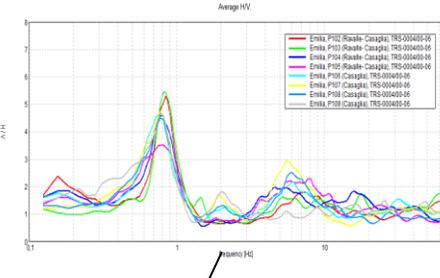
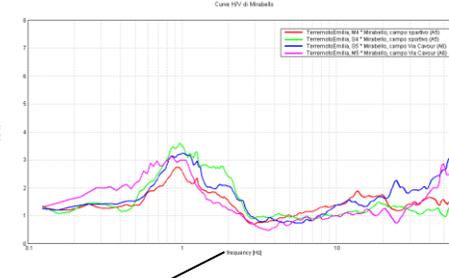
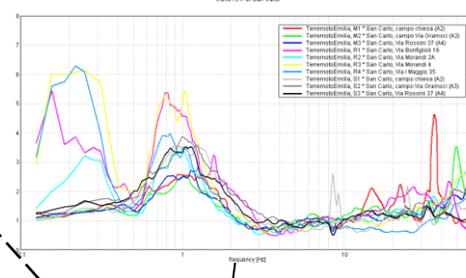
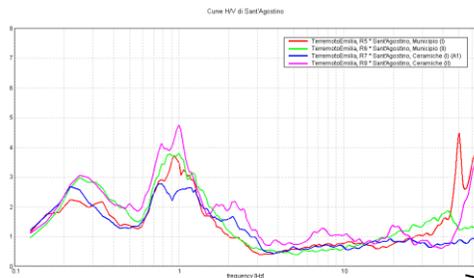
## sezione S. Martino Secchia – Poggio Rusco



# Substrato geologico e bedrock sismico



sezione Cento – Occhiobello (RO)

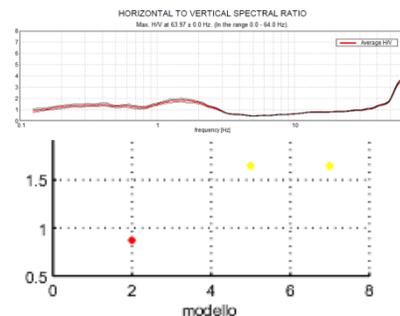
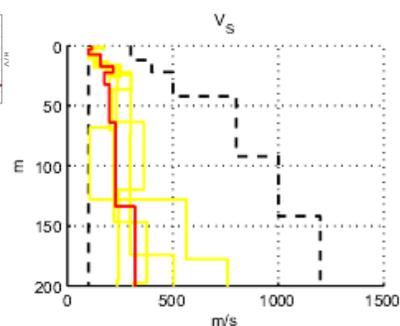
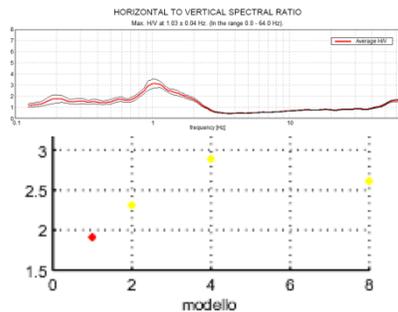
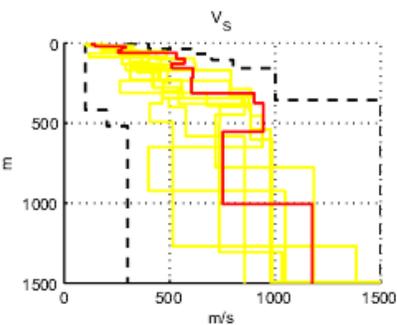
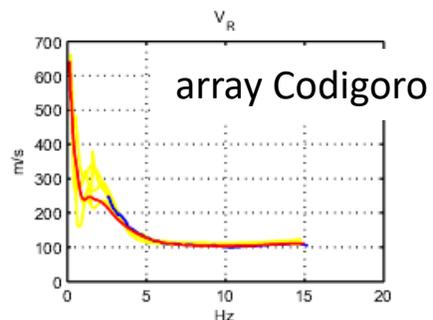
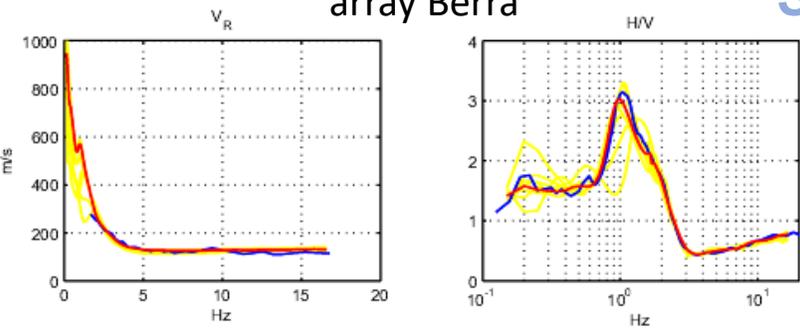


# Substrato geologico e bedrock sismico

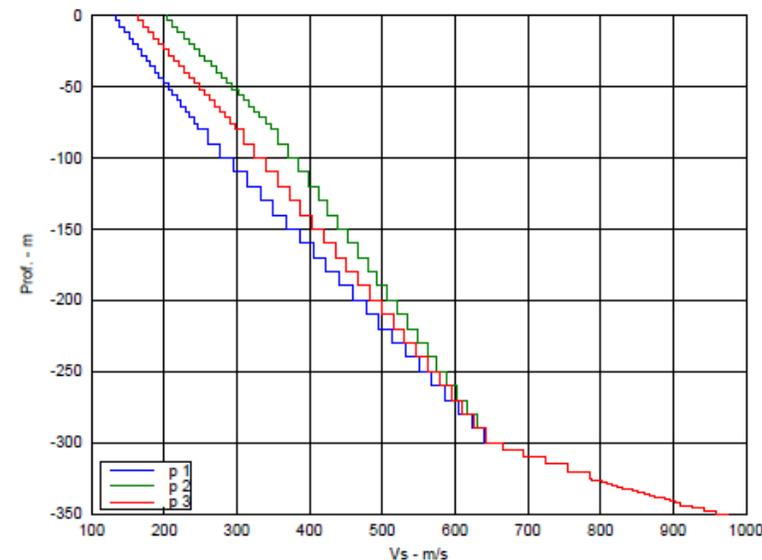
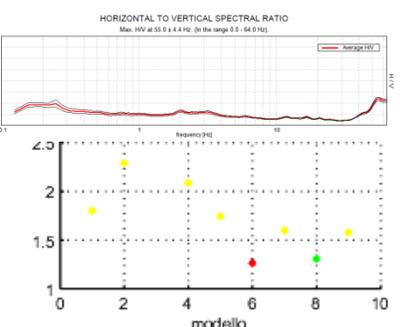
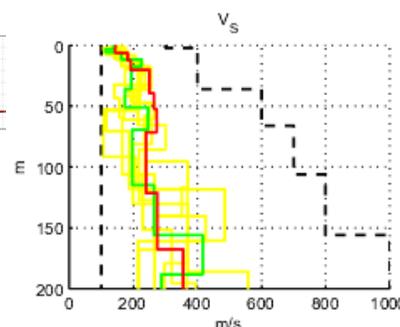
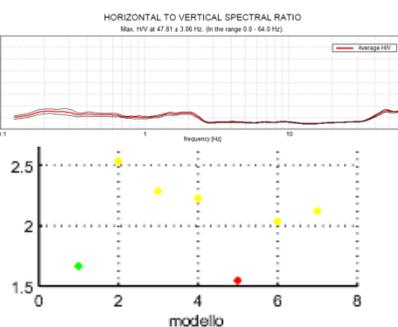
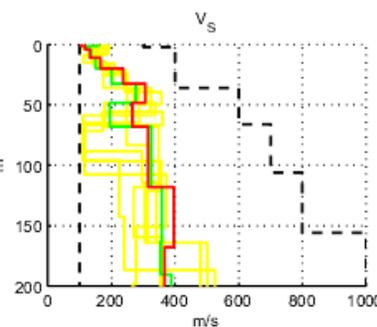
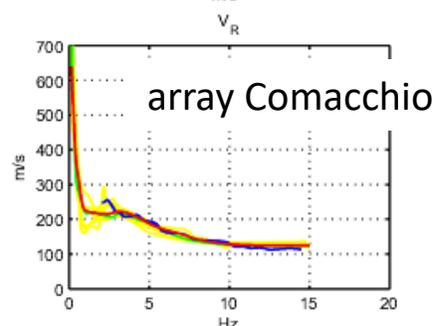
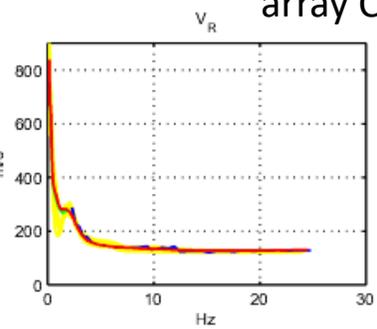
## sismica passiva delta Po e costa settentrionale

Ad eccezione della zona di Berra, non ci sono contrasti di  $V_S$  e quindi non è stato possibile riconoscere discontinuità sismostratigrafiche significative. Questo è uno dei motivi per cui nella costruzione dell'abaco Pianura 3 (DGR 2193/2015) il profilo di  $V_S$ , per le modellazioni RSL e il calcolo dei FA, non prevede discontinuità e  $V_S \geq 800$  è a profondità  $>300$  m (v. Tento et al., 2015)

array Berra

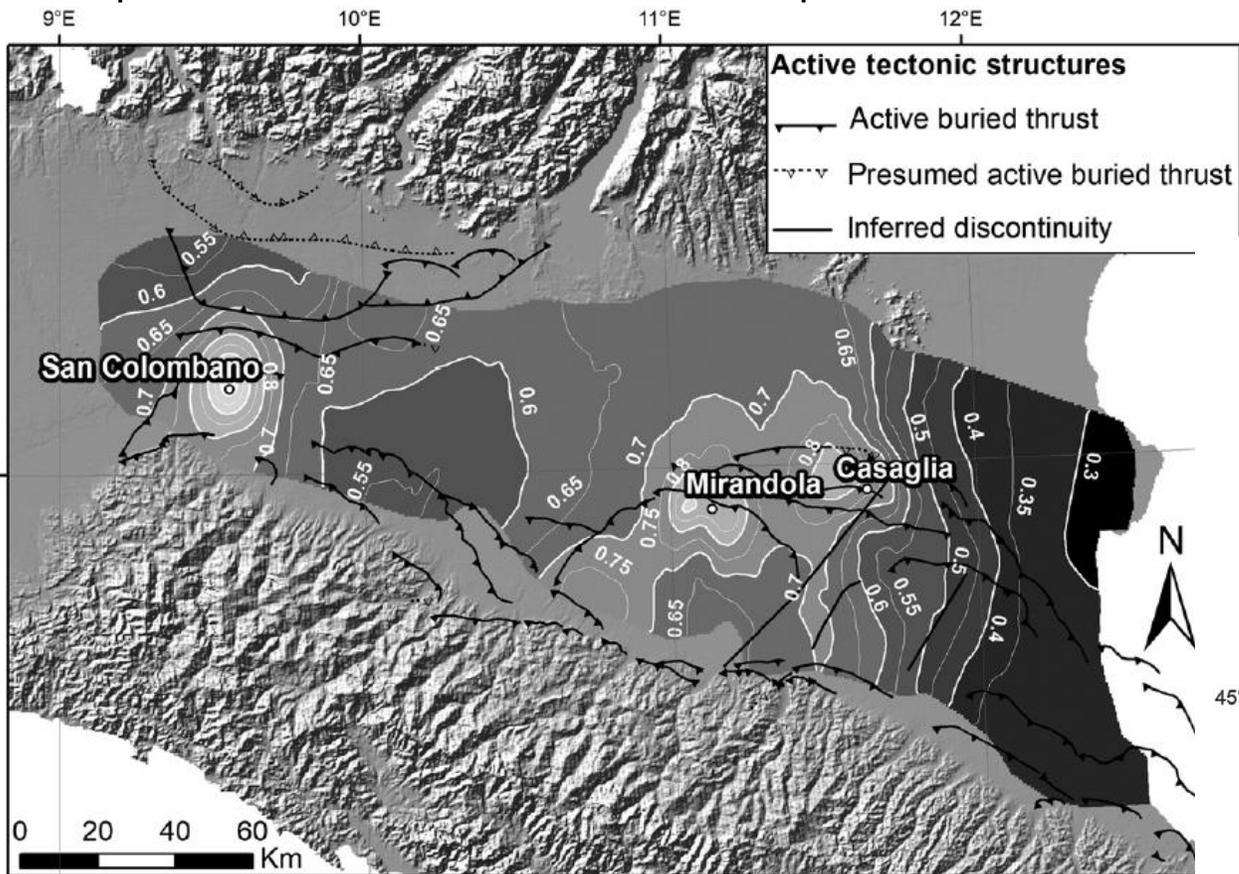


array Casalborgorsetti



## Substrato geologico e bedrock sismico

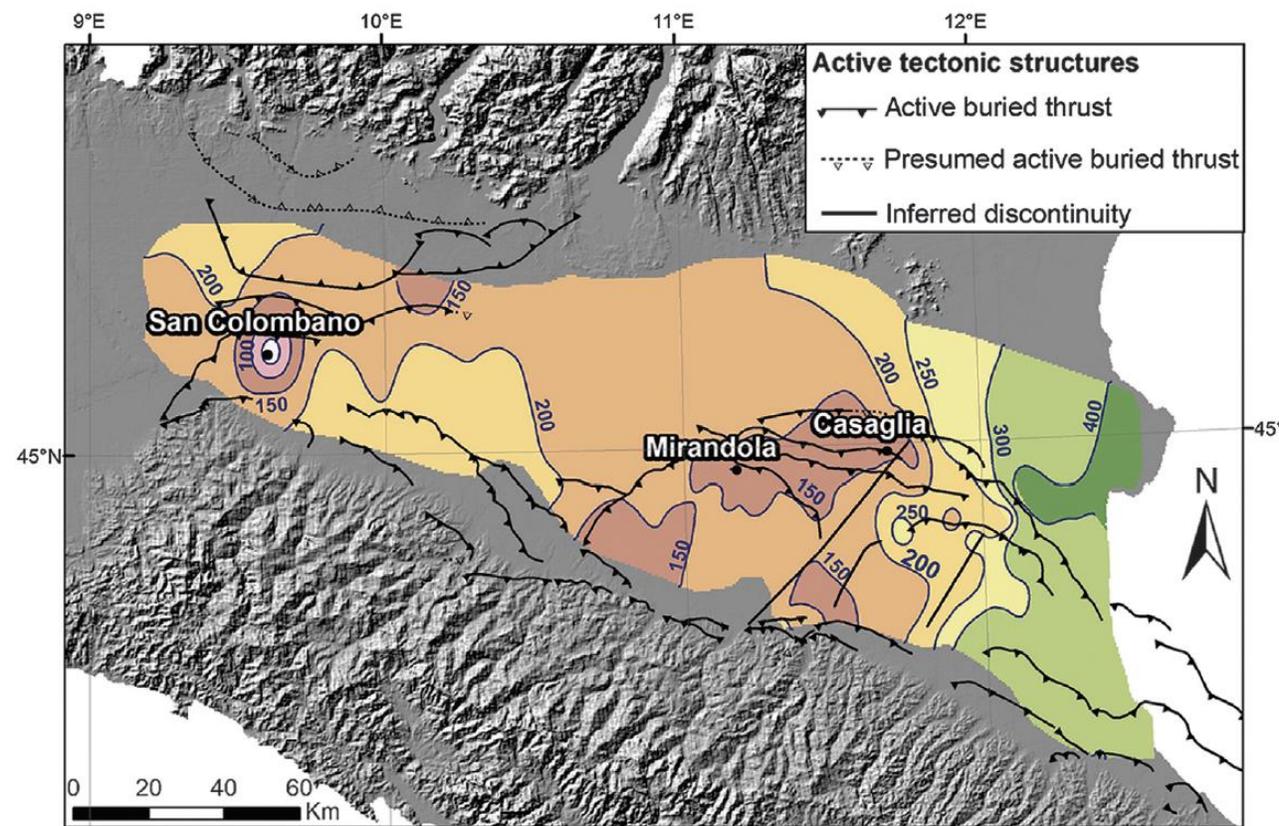
Frequenze di risonanza dei sedimenti sopra il bedrock sismico



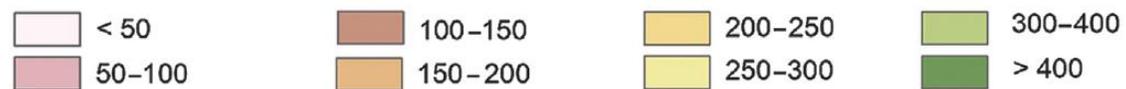
Frequency Map (Hz)



Mascandola et al., 2019: *Mapping the Seismic Bedrock of the Po Plain (Italy) through Ambient-Vibration Monitoring*. BSSA vol. 109 (1), 164-177

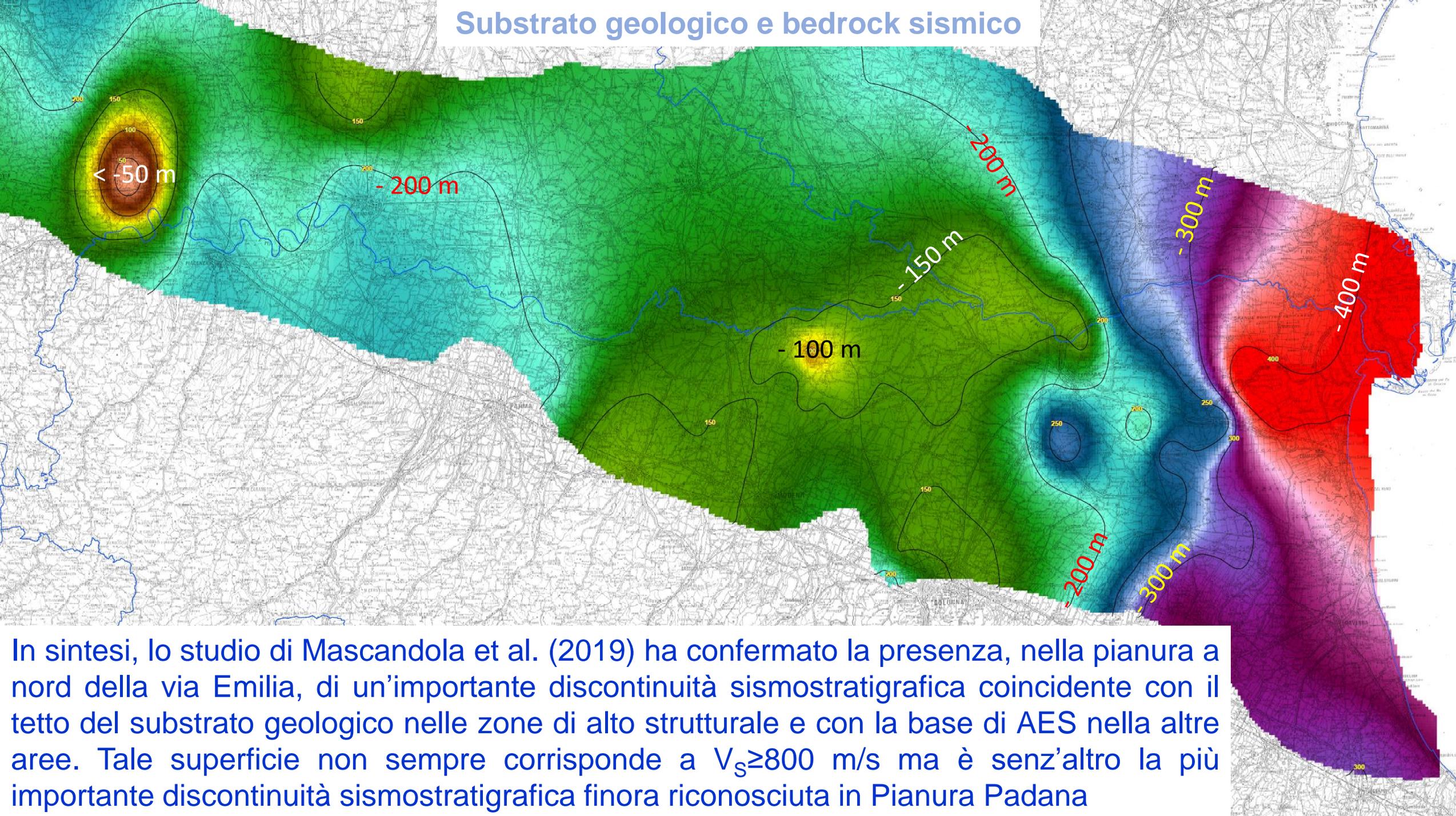


Seismic Bedrock Map (m from the ground surface)



Grazie al confronto delle frequenze di risonanza con stratigrafia, profili di  $V_s$  disponibili e strutture tettoniche, è stata proposta una mappa del «bedrock sismico»

## Substrato geologico e bedrock sismico



In sintesi, lo studio di Mascandola et al. (2019) ha confermato la presenza, nella pianura a nord della via Emilia, di un'importante discontinuità sismostratigrafica coincidente con il tetto del substrato geologico nelle zone di alto strutturale e con la base di AES nella altre aree. Tale superficie non sempre corrisponde a  $V_s \geq 800$  m/s ma è senz'altro la più importante discontinuità sismostratigrafica finora riconosciuta in Pianura Padana

**Altre criticità nell'applicazione  
dell'approccio semplificato NTC 2018  
relativamente all'interpretazione del bedrock sismico**

Tabella 3.2.II – *Categorie di sottosuolo NTC2008*

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un <u>graduale</u> miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un <u>graduale</u> miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un <u>graduale</u> miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

## Substrato geologico e bedrock sismico

Le NTC 2018, con l'eliminazione dell'aggettivo "graduale" ignora il criterio del contrasto di impedenza e ammette che il miglioramento possa anche non essere graduale.

Nelle NTC 2008 l'azione sismica in terreni con contrasti di impedenza nei primi 30 m (che non rientravano nelle classi B, C e D) doveva essere valutata con specifiche analisi (o al limite poteva essere ricondotta allo spettro della classe E).

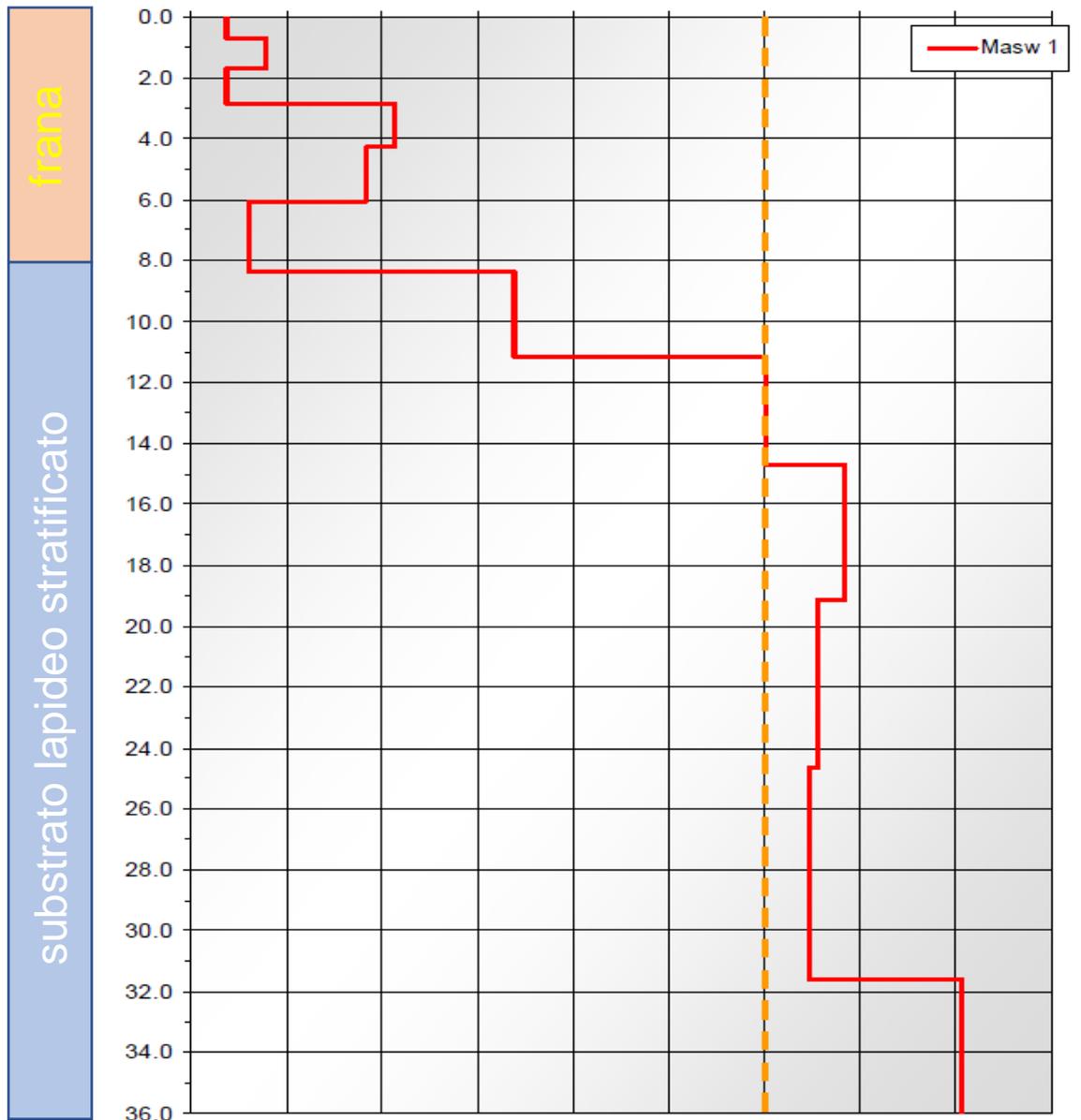
Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato. NTC2018*

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Le attuali classi B, C e D, nonostante ognuna sia associata ad un unico spettro elastico di riferimento, possono comprendere modelli sismostratigrafici molto differenti, in grado di produrre in superficie risposte sismiche assai diverse.

In sintesi, il parametro  $V_{s,eq}$  da solo non è sufficiente a discernere tutte le casistiche di tipologia di sottosuolo.

# Substrato geologico e bedrock sismico



## 4. CALCOLO DELLE $V_{s30}$ E DI $V_{SH}$

A partire dal modello sismico monodimensionale riportato nel capitolo precedente, è possibile calcolare il valore delle  $V_{s30}$  e di  $V_{SH}$ , così definiti:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^n h_i / V_{Si}} \quad [1]$$

H=11m

$$V_{SH} = \frac{H}{\sum_{i=1}^n h_i / V_{Si}} \quad [2]$$

**Interpretazione errata!**

Sia per le NTC08 che per le NTC18, considerati il profilo di Vs e la litostratigrafia, la categoria di sottosuolo è E

$$V_{s30} = 539.3 \text{ m/s} - V_{SH} = 334.1 \text{ m/s}$$

a cui corrisponde la categoria di suolo di fondazione di tipo B (si veda la tabella seguente).

# Substrato geologico e bedrock sismico

## Modello sismostratigrafico:

N° di strati: 5

DH

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Velocità onde di taglio [m/s]
1	1.3	1.3	153.7
2	6.1	4.8	243.1
3	7.5	1.4	378.1
4	16.6	9.1	518.9
5	∞	∞	718.2

**Valore  $V_{s30}$ : 440.6 m/s**

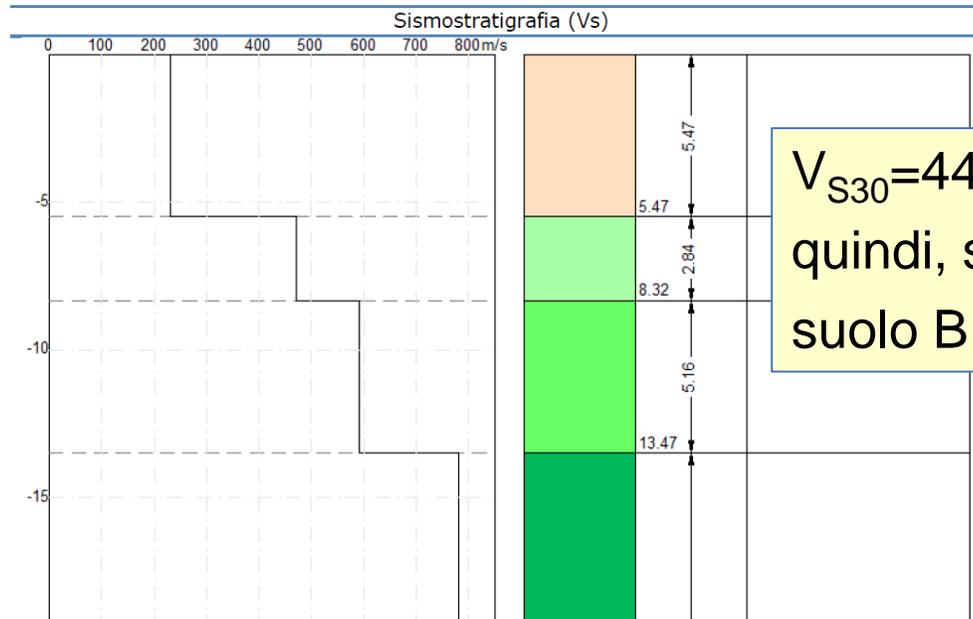
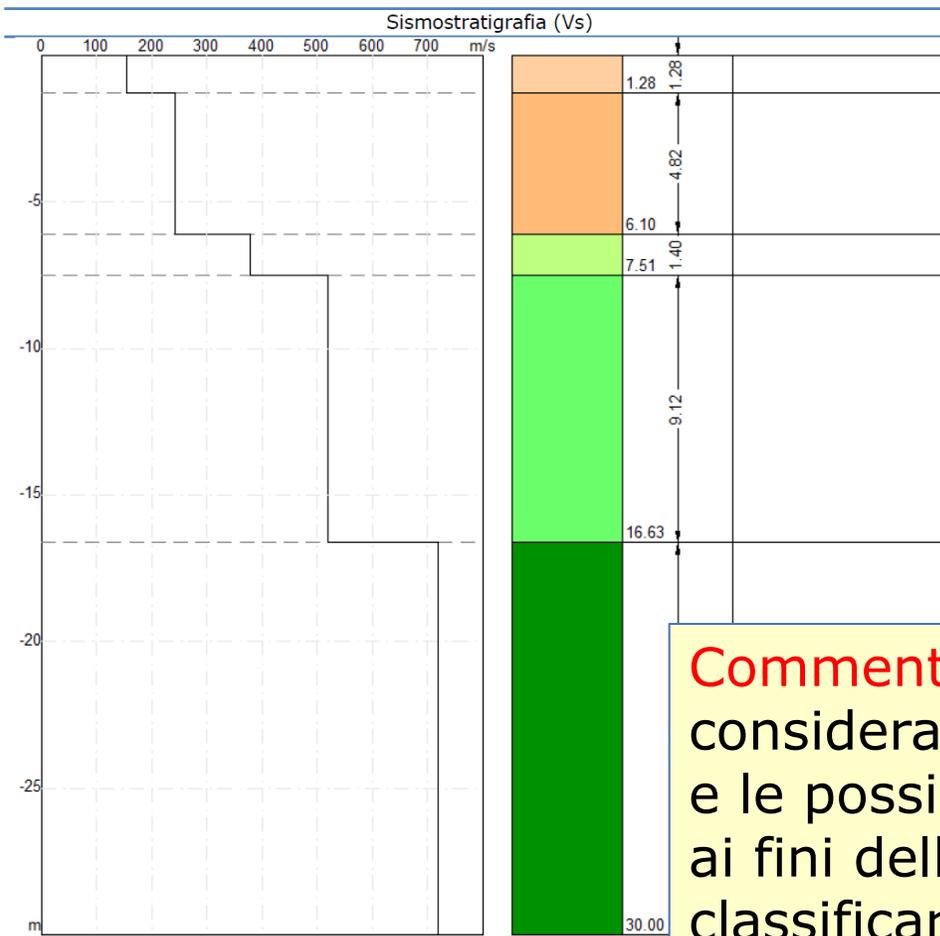
## Modello sismostratigrafico:

N° di strati: 4

MASW

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Velocità onde di taglio [m/s]
1	5.5	5.5	231.2
2	8.3	2.8	471.0
3	13.5	5.2	592.3
4	∞	∞	780.5

**Valore  $V_{s30}$ : 503.5 m/s**



$V_{s30}=440,6 \text{ m/s}$  o  $503,5 \text{ m/s}$ ;  
quindi, secondo le NTC 2018:  
suolo B

## Commento:

considerate le discontinuità di  $V_S$  nei primi 30 m e le possibili  $V_{SH}$  ( $V_{S17}=336,5 \text{ m/s}$  o  $V_{S13,5}=351 \text{ m/s}$ ), ai fini della sicurezza potrebbe essere più opportuno (cautelativo) classificare questo profilo litostratigrafico come suolo E



**Webinar tecnico**  
martedì 15 dicembre 2020

**Substrato geologico e bedrock sismico**



**Grazie per l'attenzione**

*[luca.martelli@regione.emilia-romagna.it](mailto:luca.martelli@regione.emilia-romagna.it)*