



L'interpretazione delle misure passive

Esistono almeno tre livelli di interpretazione

1. Livello qualitativo (Microzonazione di primo livello)

Si tratta di un uso esplorativo a supporto delle attività per la costruzione del modello geologico, volto a fornire indicazioni qualitative (tipo: presenza/assenza di risonanza, basso/alto contrasto di impedenza, di un gradiente di velocità): **è basato su un esame visuale dei risultati ottenuti**

2. Livello semi-quantitativo (Microzonazione di secondo livello)

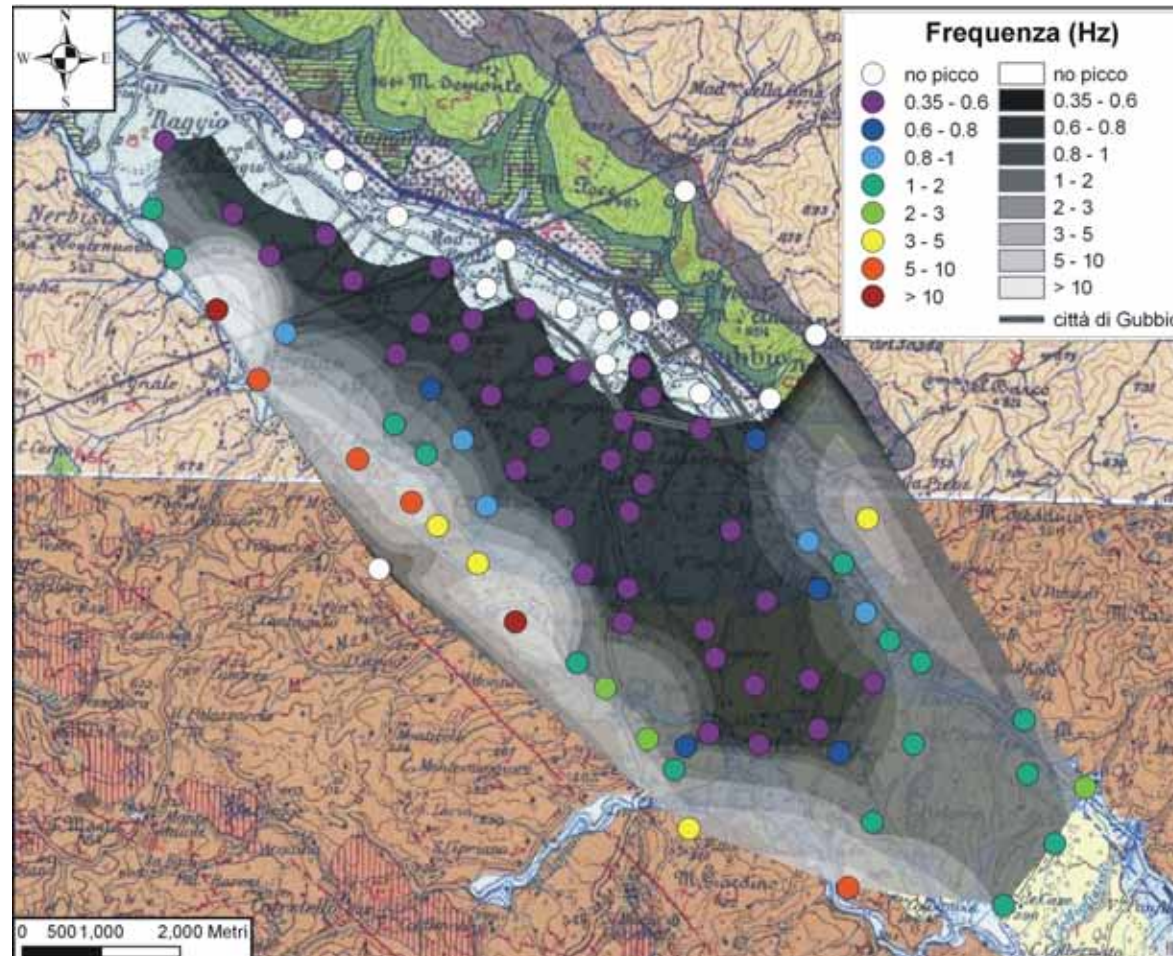
Volte ad una prima caratterizzazione quantitativa della situazione stratigrafica (frequenza di risonanza, V_{s30} , stimato degli spessori delle coperture): **è basato su procedure interpretative semplificate**

3. Livello quantitativo (Microzonazione di terzo livello)

Stime intensive della situazione locale (profilo delle onde S): **è basato su procedure numeriche di inversione**



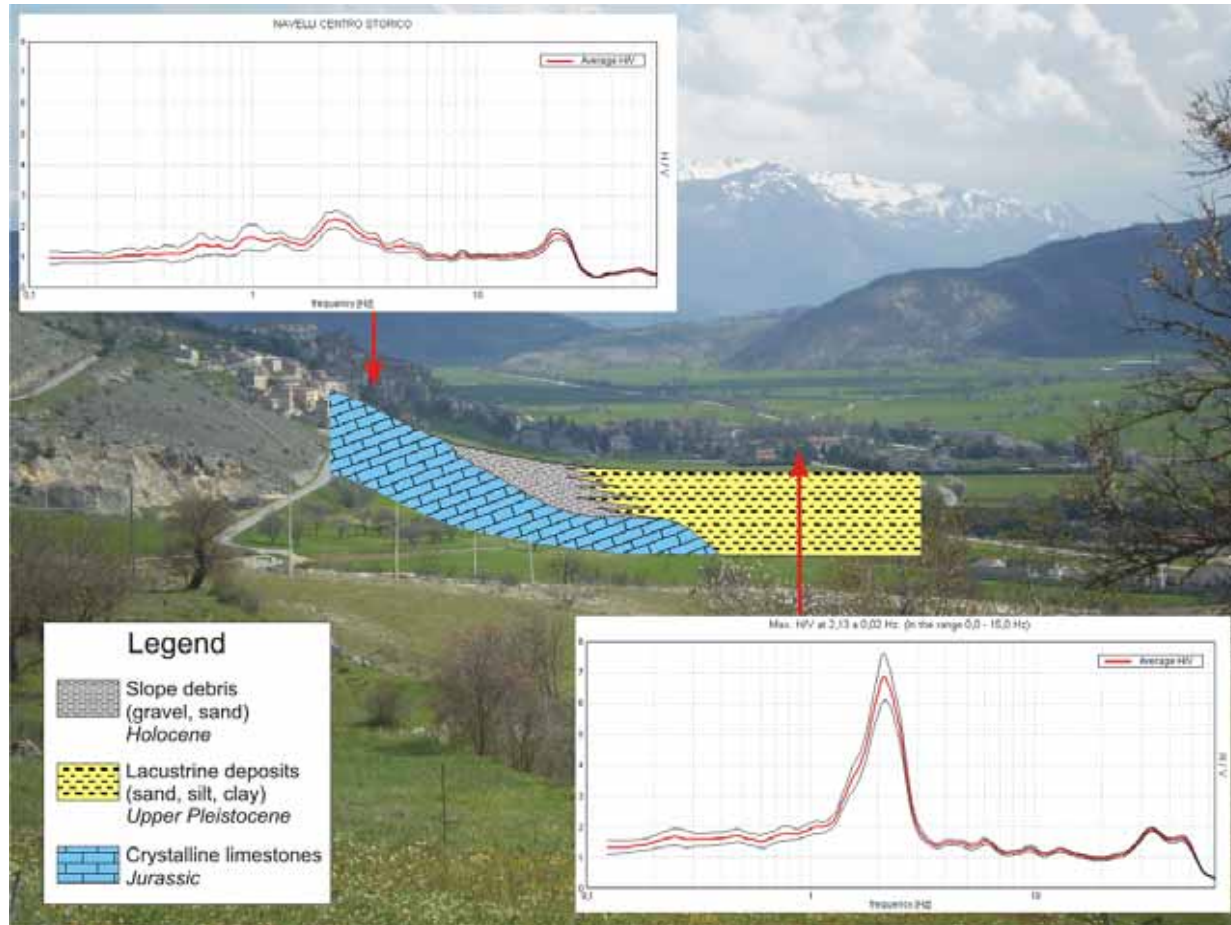
Il primo livello: indagine esplorativa del territorio comunale di Gubbio



Si distinguono aree caratterizzate dalla presenza o meno di fenomeni di risonanza nell'intervallo di frequenze di interesse ingegneristico



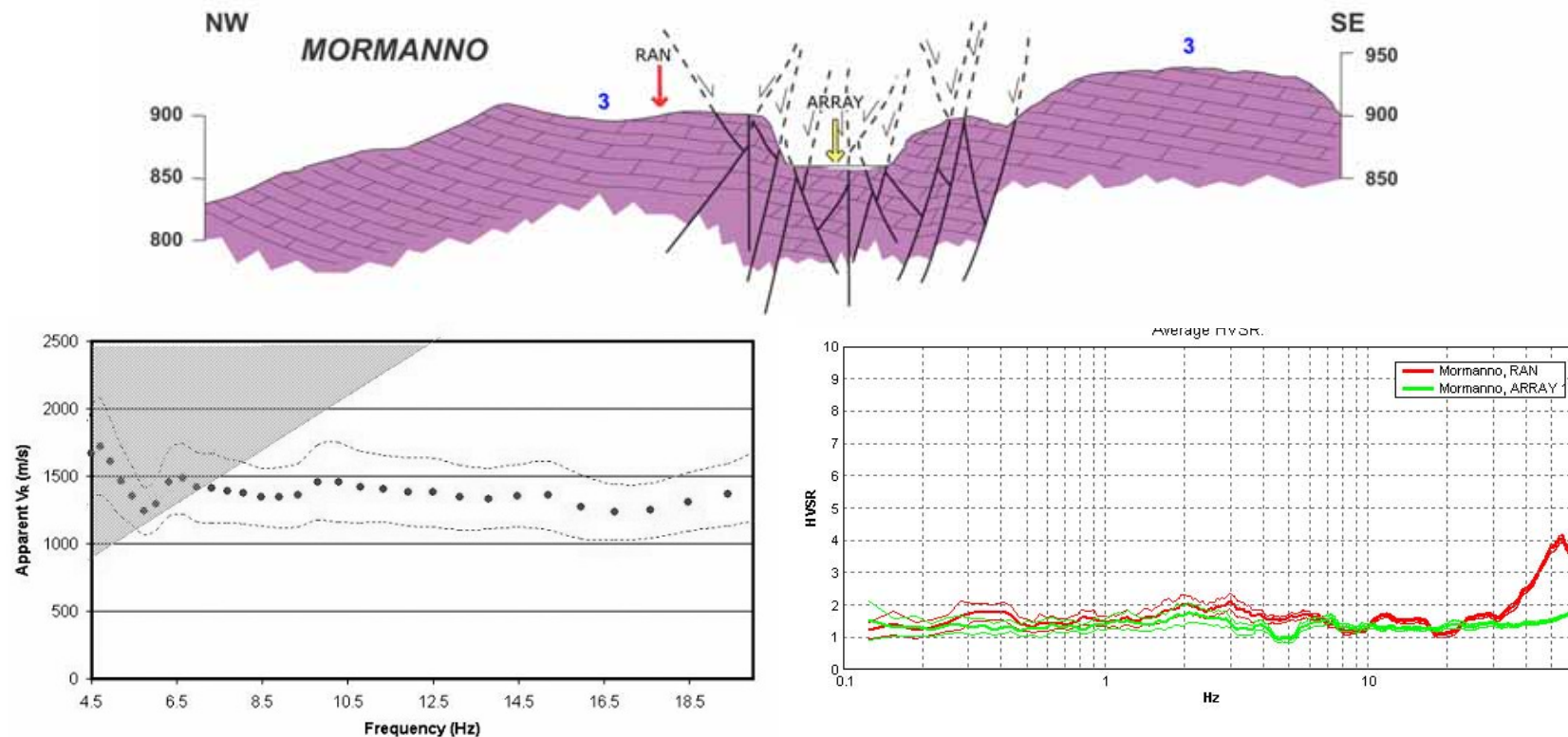
Primo Livello: a piccola scala (Navelli, L'Aquila)



Viene messa in chiara evidenza la differenza fra una situazione di basamento rigido affiorante e sepolto



Il primo livello: indagine esplorativa del territorio comunale di Mormanno (Cosenza)



In assenza di contrasti di impedenza sismica significativi, la curva HSR è “piatta” (non ci sono massimi significativi) e non ci sono variazioni laterali significative

Anche la curva di dispersione risulta sub orizzontale (nessun gradiente di velocità)



Il livello semi-quantitativo

Le misure HVSR forniscono una stima diretta della **frequenza di risonanza** (o del periodo proprio) delle coperture

La frequenza di risonanza del sedimento dipende dallo spessore H del sedimento e dalla velocità “media” (V_s) delle onde S nel sedimento

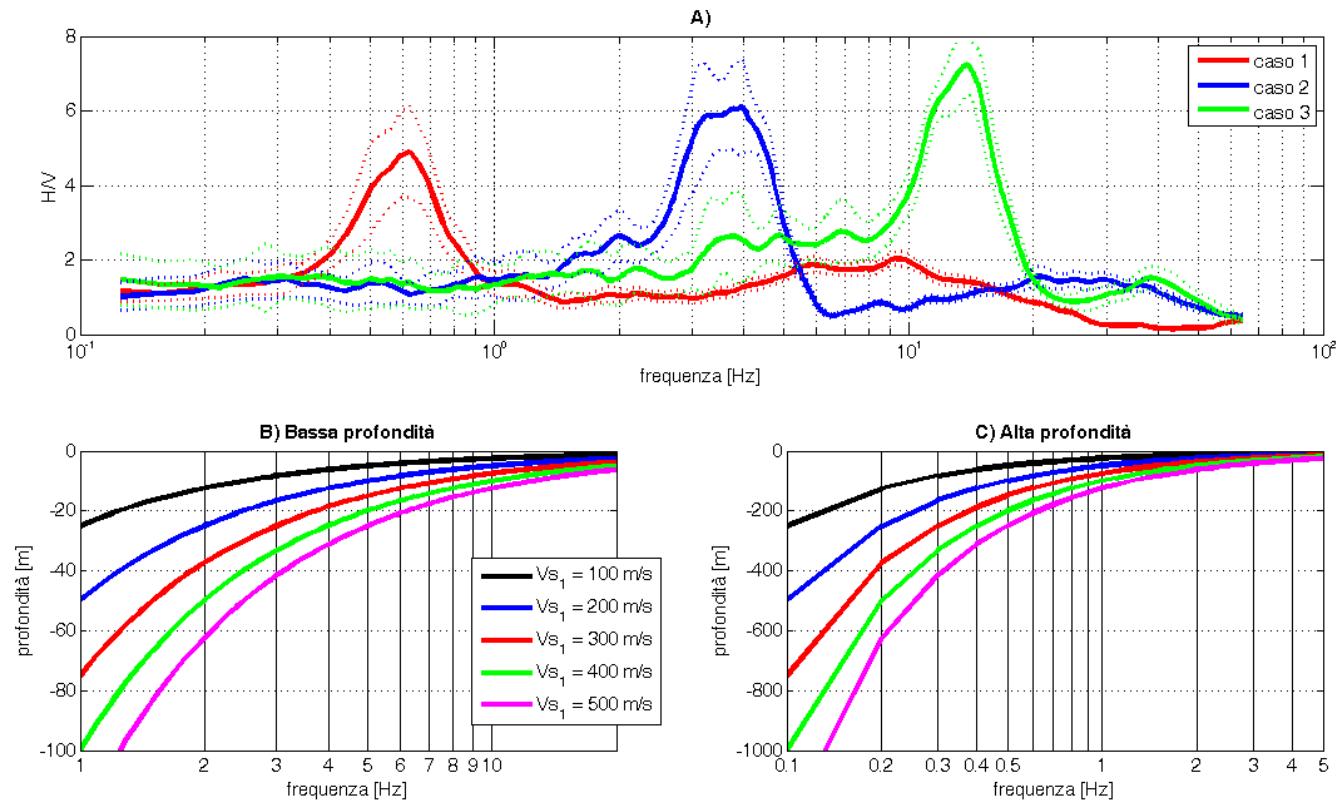
$$v_1 = \frac{\hat{V}_s}{4H}$$
$$\hat{V}_s = \frac{4H}{T_1}$$
$$H = \frac{\hat{V}_s T_1}{4}$$

Conoscendo lo spessore H del sedimento è possibile avere informazioni sulla velocità “media” delle Onde S

Alternativamente, conoscendo quest’ultima è possibile definire lo spessore H dello strato sedimentario



A parità di velocità media delle onde S, a frequenze di risonanza minori corrispondono spessori maggiori



A) Esempio di bedrock sismico a diverse profondità che genera risonanze a diverse frequenze. Caso 1: bedrock a 300 m di profondità. Caso 2: bedrock a 20 m di profondità. Caso 3: bedrock a 4 m di profondità; B) relazione V - f_0 - H alle medio-alte frequenze; C) relazione V - f_0 - H alle medio-basse frequenze.

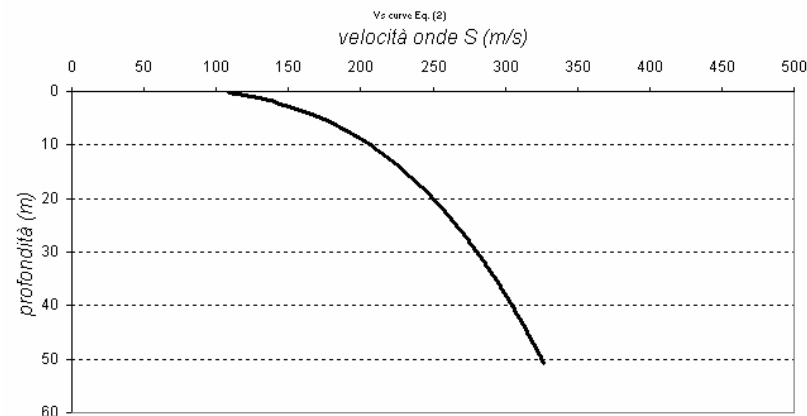


In alcuni casi è possibile formulare ipotesi ragionevoli riguardo al profilo di velocità

Per esempio, nel caso di corpi di sedimenti non consolidati, si può presumere che l'andamento medio del profilo di velocità sia controllato dal carico litostatico

In questo caso, per i mezzi granulari, è ragionevole ipotizzare un andamento delle V_s con la profondità H del tipo

$$V_s(H) = V_0(1 + H)^a$$



dove V_0 e a dipendono dalle caratteristiche del sedimento (granulometria, coesione, ecc.)



In questi casi è possibile dimostrare che esiste una relazione diretta tra la **frequenza di risonanza** e lo **spessore** dello strato sofficce

Questa relazione dipenderà dai due parametri V_0 e a secondo la relazione

$$H = \left[\frac{V_0(1-a)}{4\hat{v}_1} + 1 \right]^{1/(1-a)} - 1$$

Noti per via empirica questi parametri è possibile definire **semplici abachi** che permettono di stimare (in prima approssimazione) lo spessore della coltre di sedimenti



Per esempio, utilizzando un abaco preliminare (valido a rigore per mezzi granulari non cementati), le frequenze di risonanza possono tentativamente essere convertite in spessori permettendo una identificazione preliminare delle interfacce risonanti

Questo tipo di indagine **non sostituisce una analisi di dettaglio** ma ha il solo scopo (**sotto controllo geologico**) di fornire indicazioni preliminari sulla struttura del sottosuolo

fr	H	V Media
0.5	259	518
0.6	204	489
0.7	166	466
0.8	140	447
0.9	120	431
1.0	104	417
1.5	62	369
2.0	42	340
3.0	25	304
4.0	18	282
5.0	13	267
6.0	11	256
7.0	9	247
8.0	8	240
9.0	7	235
10.0	6	230
20.0	3	205
30.0	2	195
40.0	1	190
50.0	1	186

$$V_s = 170(1+H)^{0.25}$$

$$V_{media} = 4H \text{ fr}$$



Altri esempi di abaco ottenuti sperimentalmente

Sono comunque valori indicativi ma mostrano che per queste situazioni le differenze percentuali sulle stime di spessore corrispondenti alla stessa frequenza di risonanza sono dell'ordine del 10%

	Terreni coesivi	Sabbie	Terreni Rimaneggiati /conoidi
	$V_0=190$	$V_0=170$	$V_0=110$
	$a=0.20$	$a=0.25$	$a=0.40$
ν	H	H	H
0.5	230	260	334
0.6	183	204	249
0.7	151	167	194
0.8	128	140	157
0.9	111	120	130
1	98	105	110
1.5	59	62	58
2	42	43	37
3	26	25	20
4	18	18	13
5	14	13	10
6	11	11	8
7	9	9	6
8	8	8	5
9	7	7	4
10	6	6	4
15	4	4	2
20	3	3	2



Quindi è possibile (in prima approssimazione e a fini esplorativi) definire un abaco più generale per:

1. *stimare la profondità del contrasto di impedenza responsabile degli effetti osservati*
2. *Valutare qualitativamente l'entità di questo contrasto*

Utilizzando questo strumento, le frequenze di risonanza possono tentativamente essere convertite in spessori permettendo una identificazione preliminare delle interfacce risonanti

Questo tipo di indagine **non sostituisce una analisi di dettaglio** ma ha il solo scopo (**sotto stretto controllo geologico**) di fornire indicazioni preliminari sulla struttura del sottosuolo

f_0 (Hz)	h (m)	
< 1	> 100	Centinaia di metri
1 – 2	50 – 100	
2 – 3	30 – 50	
3 – 5	20 – 30	Decine di metri
5 – 8	10 – 20	
8 – 20	5 – 10	
> 20	< 5	Qualche metro

H/V >3 Alto contrasto

2<H/V<3 Basso Contrasto



Studio delle relazioni fra la frequenza di risonanza f_r determinata dall'H/V e la V_{s30}

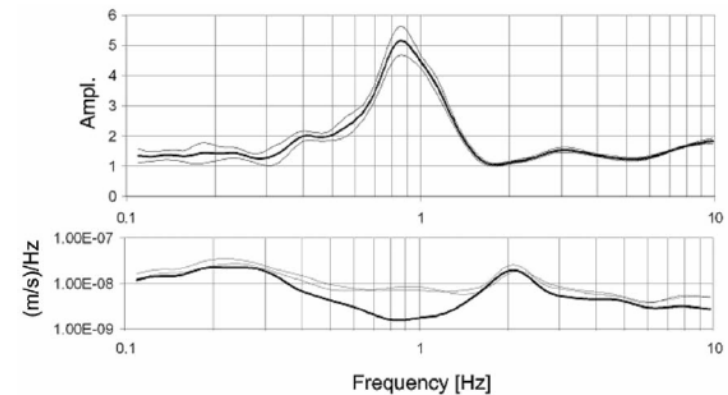
Utilizzando l'analisi spettrale dei rapporti tra le componenti orizzontali e verticali delle onde superficiali (HVSR) è possibile stimare la frequenza di risonanza fondamentale f_r

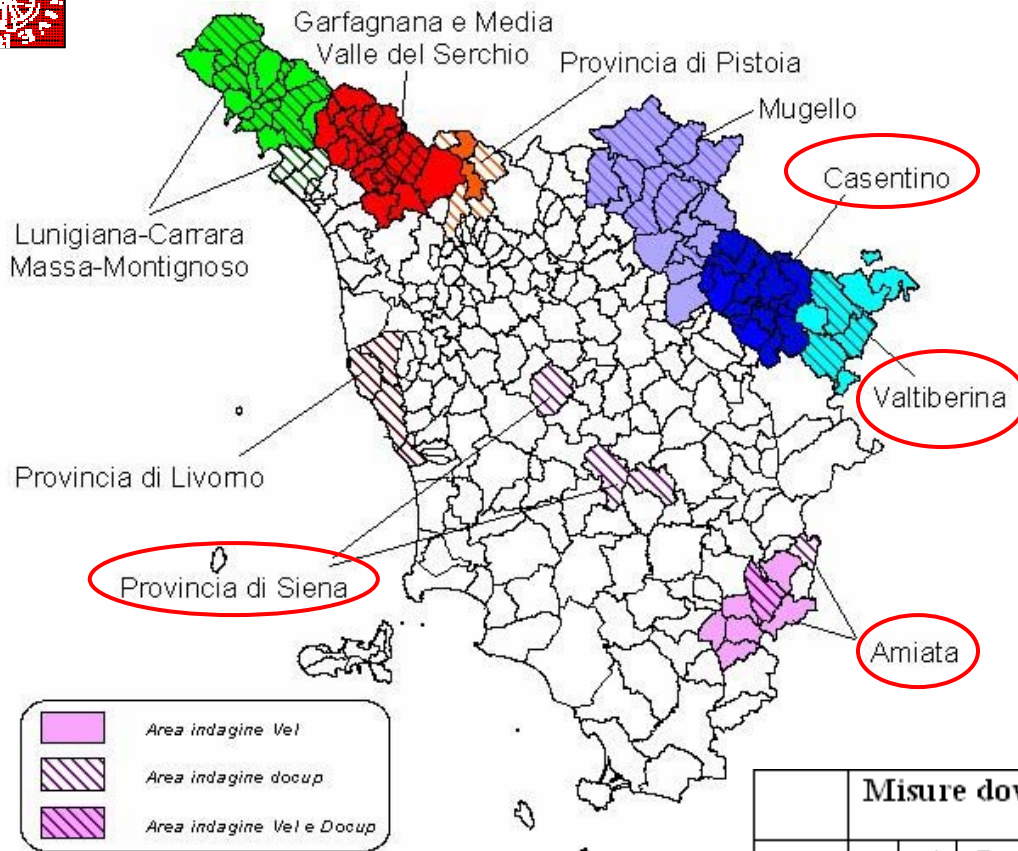
$$f_r = \frac{V_s}{4H} \qquad f_r = \frac{1}{4T_H}$$

dove T_H è il tempo di tragitto di un'onda S fra la superficie e la profondità H dell'interfaccia risonante.

Assumendo un andamento della velocità con la profondità: $V_s = V_0(1+z)^x$

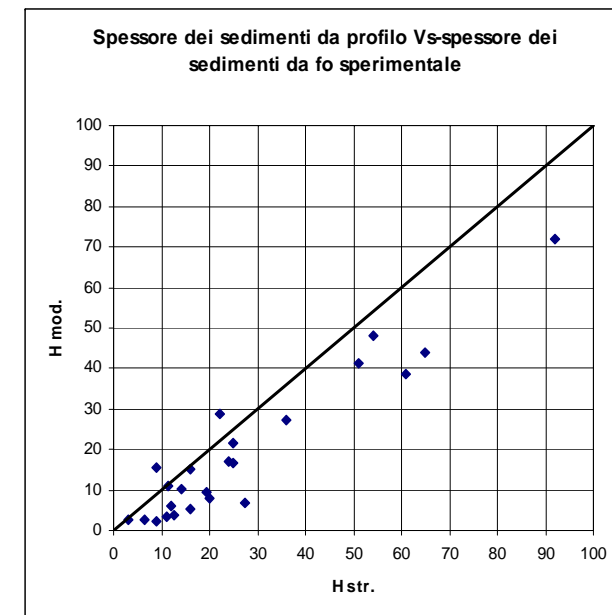
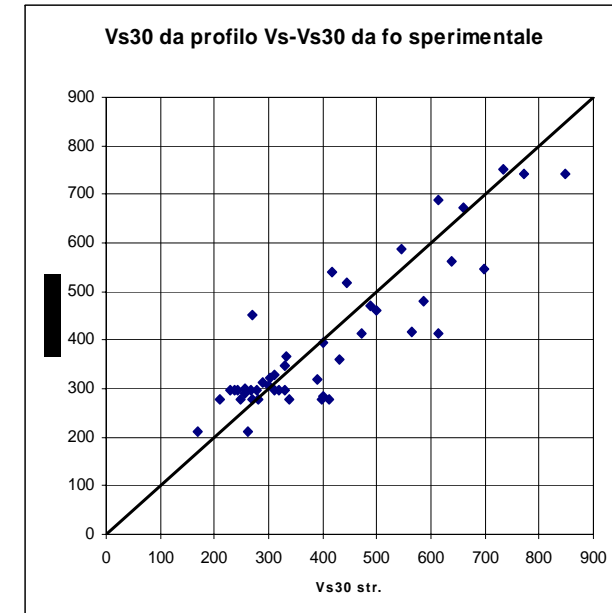
$$\text{Si stima } V_{s30} = 120 f_r \begin{cases} \frac{(1+H)^{1-x} - 1}{(1+30)^{1-x} - 1} & H > 30 \\ 1 & H = 30 \\ \frac{1}{1 + 4f_r \frac{(30-H)}{V_B}} & H < 30 \end{cases}$$





Si potrebbe ottenere una classificazione dei suoli (del tutto preliminare)

		Misure down-hole			
		A	B	C	D
HVSR	A				
	B	2	16	2	
	C		4	21	1
	D				



Risultati conseguiti

E' stata effettuata una campagna di misure per verificare la validità della relazione illustrata. I siti analizzati sono stati quindici, situati nelle province di Siena e Grosseto. Le misure del parametro V_{s30} erano state effettuate tramite profili sismici a rifrazione da 120 m o tramite prove Down-Hole secondo le direttive imposte dalla Regione Toscana – Progetto VEL.

SITO	f sper.	V_{s30} str.	H str.	C1	V_{s30} mod.	H mod.	C2	Mod
<i>Castellazzara (GR)(**)</i>	4.6	430	?(>30)	B	560	32	B	2
<i>Loc. Rugginosa (GR)(**)</i>	0.72	250	?(>30)	C	345	165	C	1
<i>Ist. Rosmini (GR)(**)</i>	2.4	195	?(>30)	C	350	38	C	1
<i>Loc. Strillaie (GR)(*)(**)</i>	1.2	166	?(>30)	D	345	100	C	1
<i>Civitella Ponte (GR)(*)</i>	11.5	570	6	B	560	5	B	2
<i>Santa Liberata (GR)(*)</i>	12	750	7	B	560	5.5	B	2
<i>Montiano(GR)(*)</i>	13	700	11	B	580	5	B	2
<i>Pian del Casone (SI)(*)</i>	1.3	485	33	B	400	16	B	2
<i>Pisa(*)</i>	1.7	145	?(>30)	D	345	55	C	1
<i>Cast. Pescaia (GR)(*)</i>	5.5	450	17	B	440	12	B	2
<i>Castellazzara DHS1a(**)</i>	4.5	423	?(>12)	B	370	15	B	2
<i>Castellazzara DHS1b(**)</i>	4.5	517	?(>12)	B	410	15	B	2
<i>Castellazzara DHS2(**)</i>	4.4	564	?(>30)	B	395	17	B	2
<i>Castellazzara DHS3(**)</i>	4.3	470	?(>26)	B	400	17	B	2
<i>Chiusi DHS1(**)</i>	1.1	337	?(>30)	C	289	100	C	3
<i>Chiusi DHS2(**)</i>	1.3	249	27.5	C	289	85	C	3
<i>Chiusi DHS4(**)</i>	2.9	280	?(>30)	C	315	24	C	3
<i>S. Casciano DHS2(**)</i>	4.8	792	8	B	410	14	B	2
<i>S. Casciano DHS3(**)</i>	0.91	244	?(>30)	C	345	124	C	1
<i>S.Fiora DHS1(**)</i>	5.4	488	?(>70)	B	410	9	B	3



Si osserva la buona corrispondenza tra i valori del parametro V_{s30} stimati con profili sismici a rifrazione da 120 m o con prove Down-Hole e quelli con la relazione proposta.

Con riferimento alla tabella possiamo osservare che:

- nel 90% dei casi è stata individuata la categoria di suolo corretta, mentre nel 10% dei casi è stata sovrastimata (viene assegnato “C” invece di “D”);
- gli scarti tra il parametro V_{s30} determinato tramite HVSR rispetto a quello misurato con prove a rifrazione, down-hole o MASW risulta essere:
 - inferiore al 20% nel 50% dei casi
 - tra il 20% e il 50% nel 25% dei casi
 - tra il 50% e il 100% nel 15% dei casi
 - superiore al 100% nel 10% dei casi;
- nel 30% dei casi il parametro V_{s30} è sovrastimato mentre nel 35% dei casi è sottostimato.

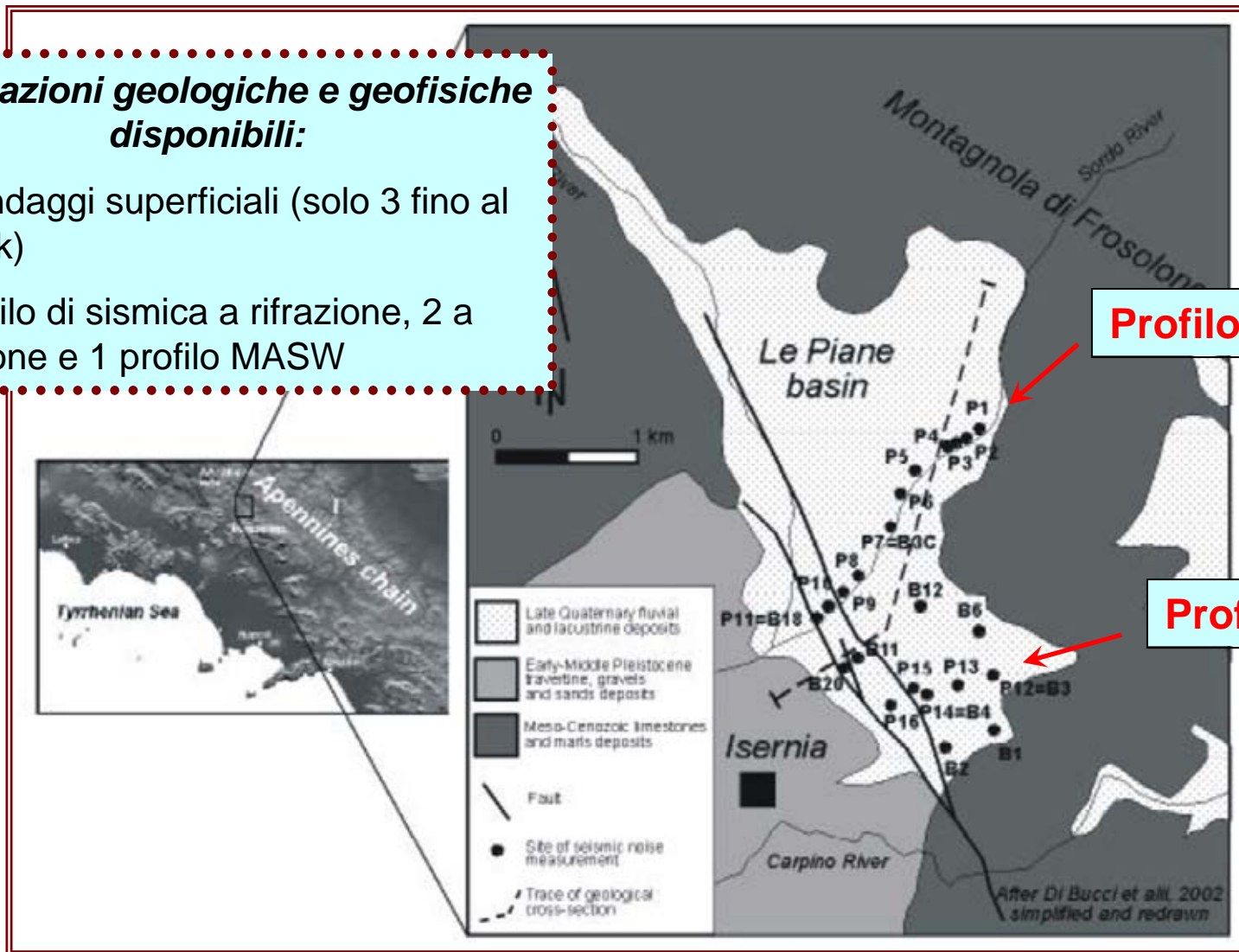
Con questo studio è stata verificata la possibilità di utilizzare il metodo HVSR per una caratterizzazione dinamica speditiva dei terreni, anche in assenza di dati diretti sulla profondità del basamento rigido.



Un uso “strutturale” : il caso del bacino “Le Piane” (Isernia)

Informazioni geologiche e geofisiche disponibili:

- 45 sondaggi superficiali (solo 3 fino al bedrock)
- 1 profilo di sismica a rifrazione, 2 a riflessione e 1 profilo MASW





misure HVSR
di rumore sismico ambientale

I dati disponibili
possono essere
utilizzati per
parametrizzare la
legge a potenza

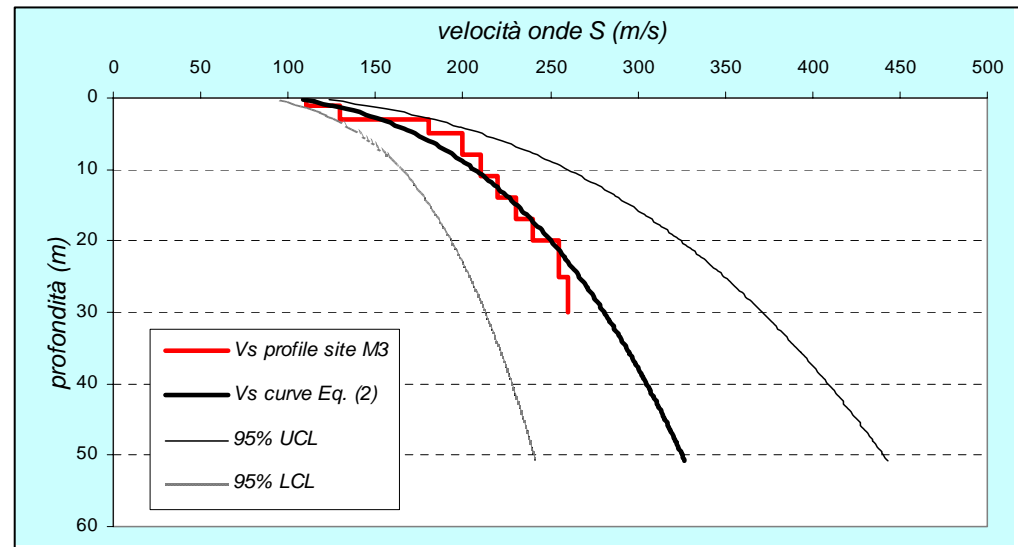
[1]

$$v_1 = \frac{\hat{V}_s}{4H}$$

nell'assunzione che in uno strato sedimentario
soffice il profilo V_s sia:

[2]

$$V_s(H) = V_0(1+H)^a$$



[3]

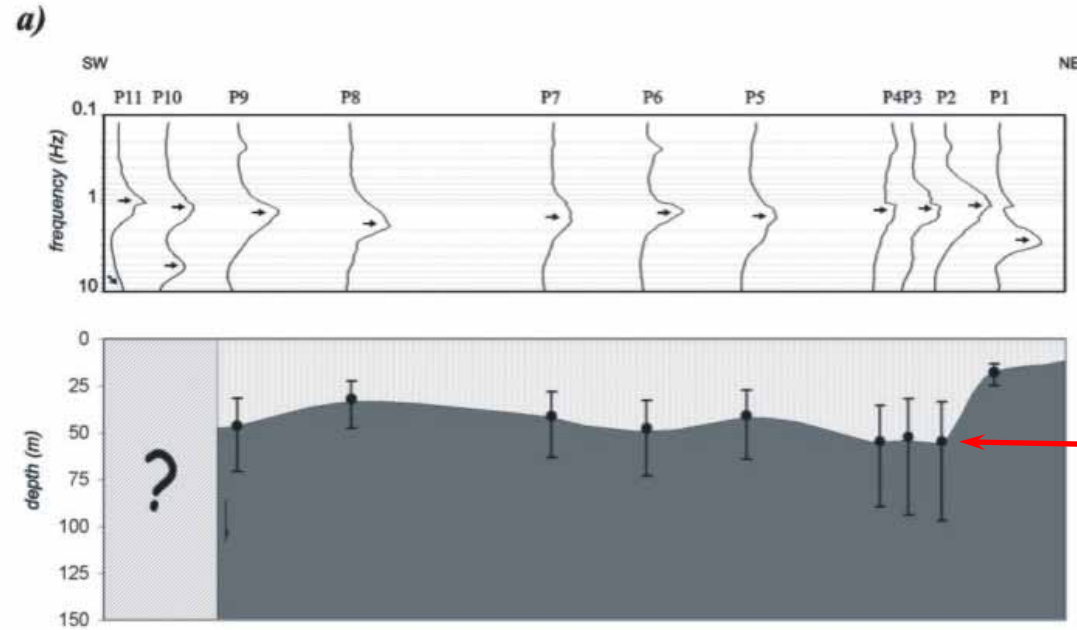
$$H = \left[\frac{V_0(1-a)}{4\hat{V}_1} + 1 \right]^{1/(1-a)} - 1 \cong A \hat{V}_r^B$$

$$V_0 = 102 \pm 12 \text{ (m/s)}$$

$$a = 0.296 \pm 0.048$$

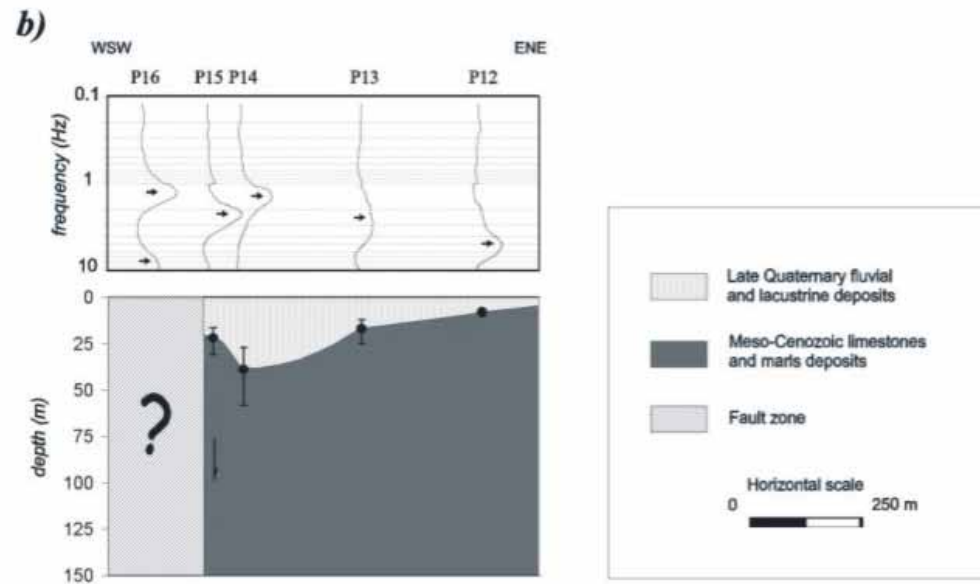


Profilo 1



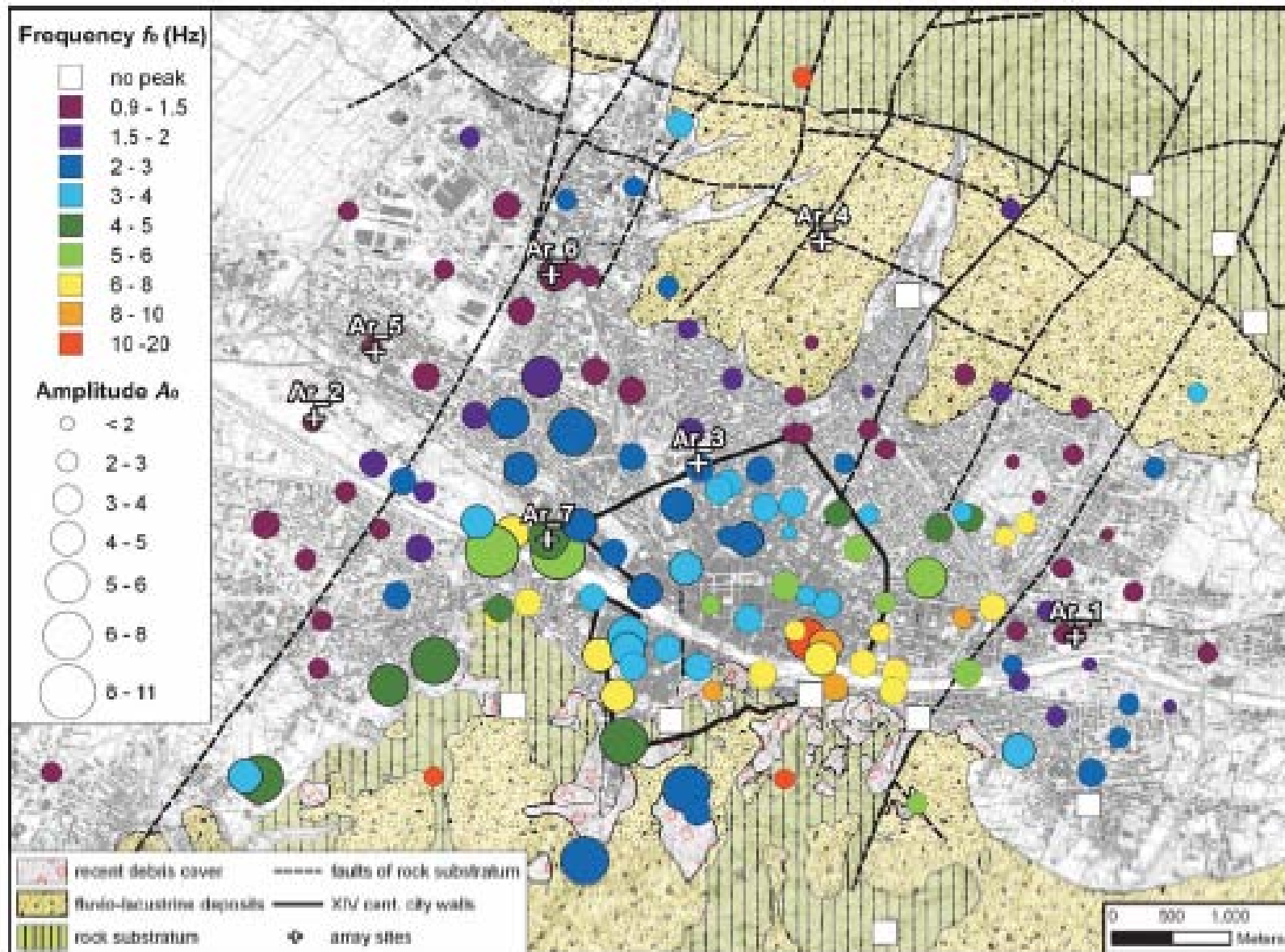
$$h = \left[\frac{V_0(1-a)}{4f_r} + 1 \right]^{1/(1-a)} - 1$$

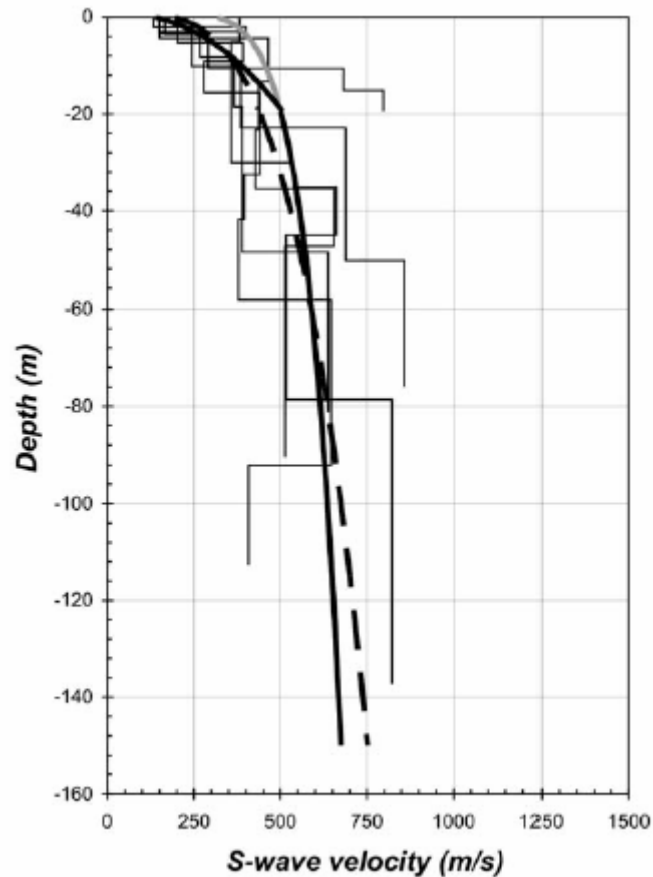
Profilo 2





Il Secondo livello: Il caso di Firenze

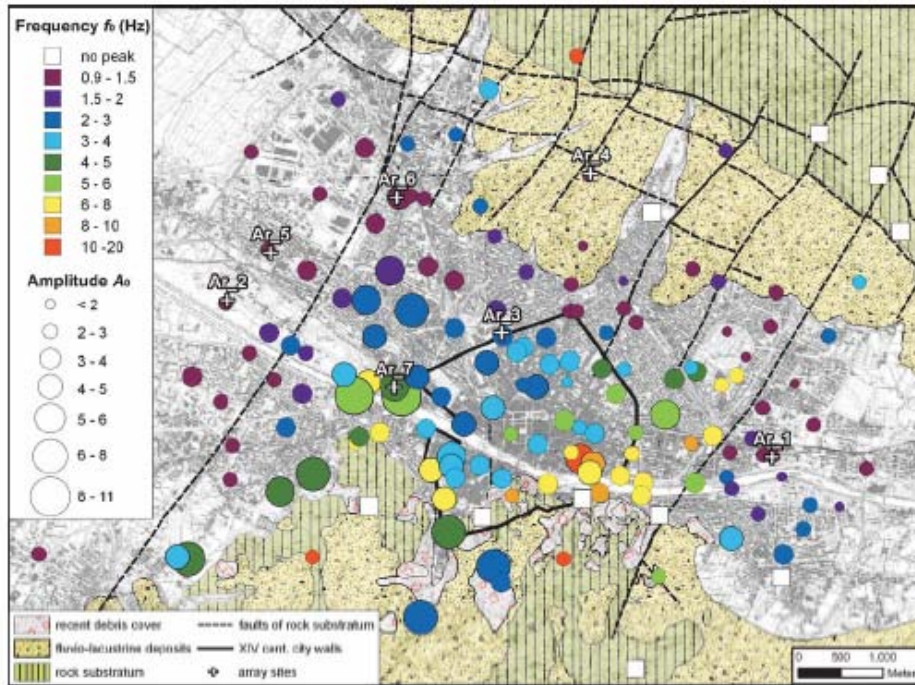




Combinando le stime di V_s ottenute e dalle curve di dispersione e altri dati disponibili sulla profondità del basamento è stato possibile ricavare una relazione fra la frequenza di risonanza e lo spessore delle coperture

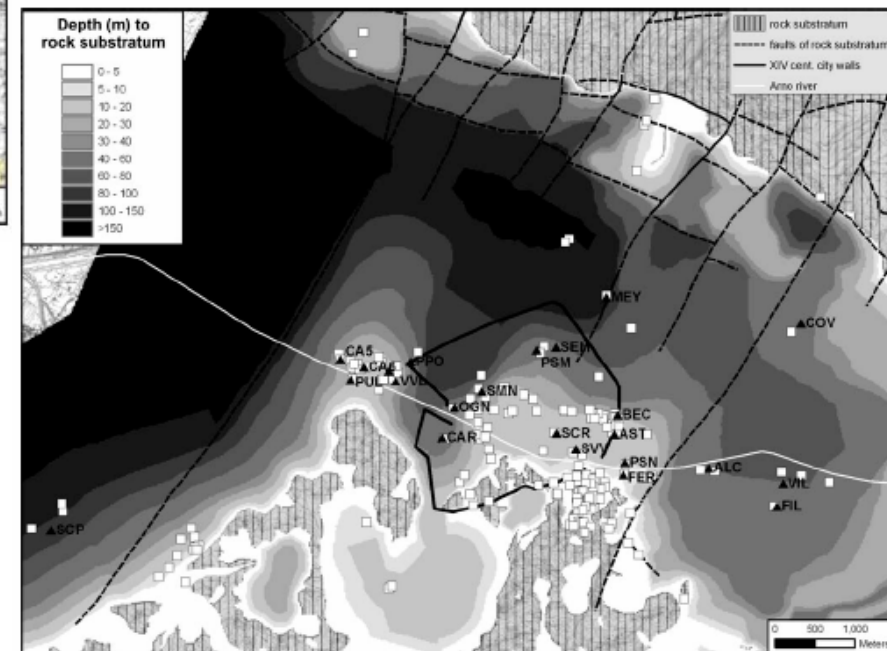
$$h = \left[\frac{138(1 - 0.43)}{4f_r} + 1 \right]^{1/(1-0.43)} - 1 \quad f_r > 4.2 \text{ Hz};$$

$$h = \left[\frac{318(1 - 0.15)}{4f_r} - 2.75 \right]^{1/(1-0.15)} - 1 \quad f_r \leq 4.2 \text{ Hz}.$$



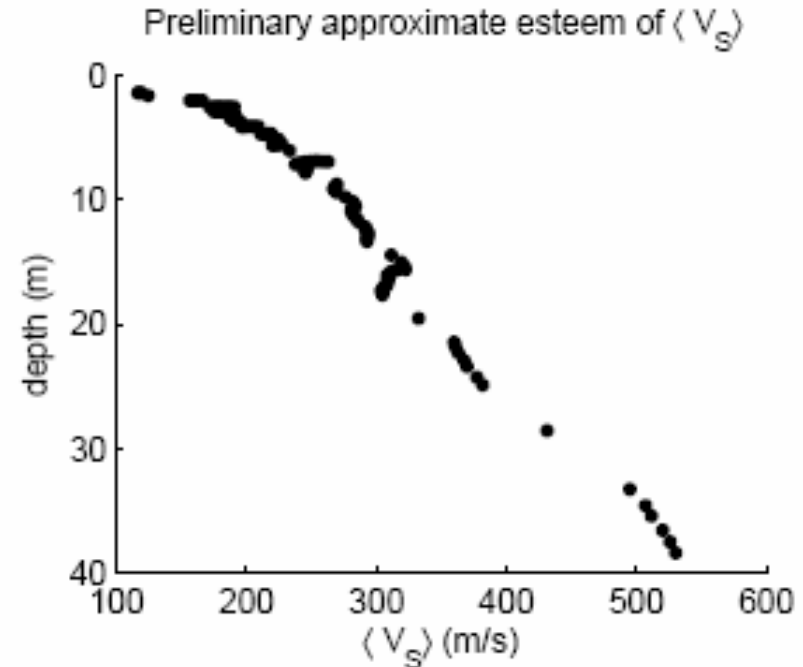
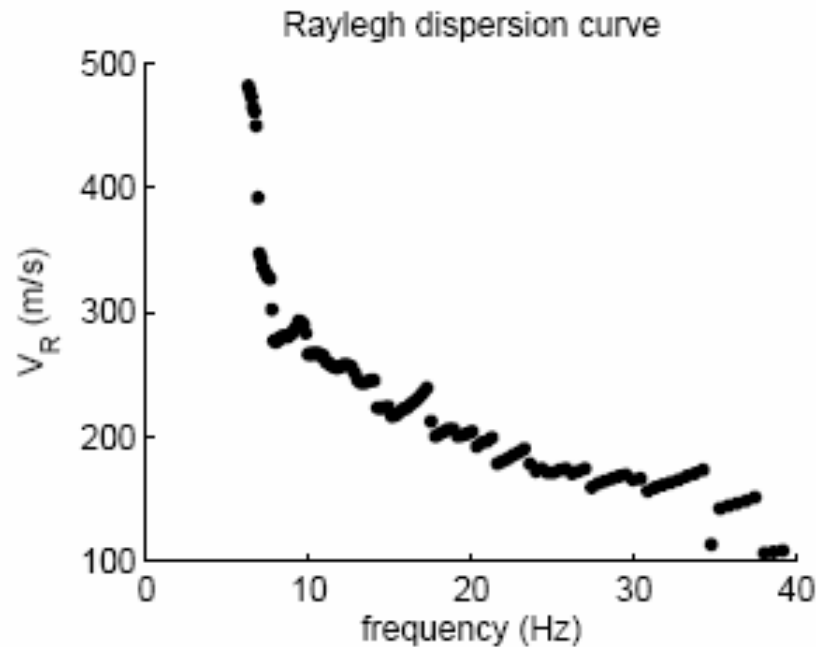
Il sottosuolo di Firenze

In questo modo è stata eseguita una valutazione della topografia del basamento al di sotto della città di Firenze





Anche per le curve di dispersione è possibile effettuare interpretazioni di tipo semi-quantitativo



$$\langle V_S \rangle_h \equiv 1.1 \cdot V_R(f) \quad \text{with} \quad h \equiv \frac{V_R(f)}{2f} .$$

L'idea di base è che la velocità delle onde di Rayleigh corrispondenti ad una certa lunghezza d'onda λ siano rappresentative della velocità media delle onde S fino ad una profondità dell'ordine di una frazione di λ .

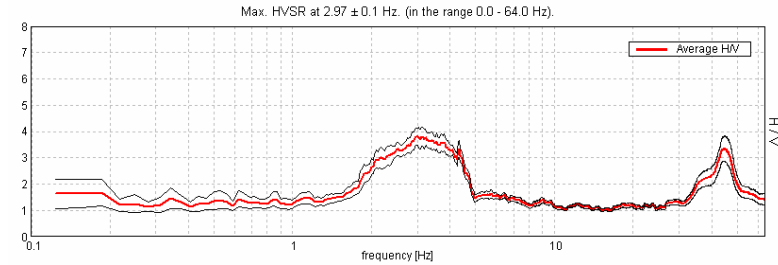
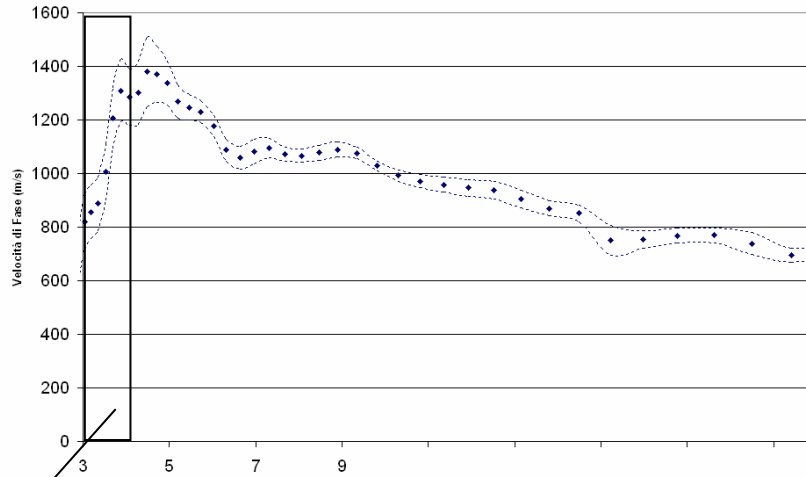


Per esempio, si può fare la ragionevole ipotesi che le velocità di fase delle onde di Rayleigh corrispondenti ad una certa lunghezza d'onda λ siano rappresentative della velocità media delle onde S fino ad una profondità dell'ordine di $0.3-0.25 \lambda$

La procedura per stimare grossolanamente la velocità media fino alla profondità h potrebbe essere la seguente

1. *La curva di dispersione $V_R(v)$ viene trasformata in una curva $V_R(\lambda)$ sfruttando la relazione $\lambda = V_R/v$*
2. *La curva $V_R(\lambda)$ viene trasformata in una curva $V_s(h)$ sfruttando le relazioni $h = 0.3\lambda$ e $V_s = 1.1V_R$*
3. *La curva $V_s(h)$ viene interpretata come indicativa della velocità media delle onde S fino alla profondità h*

Naturalmente questa interpretazione ha senso solo per frequenze al di sopra della frequenza di risonanza delle coperture

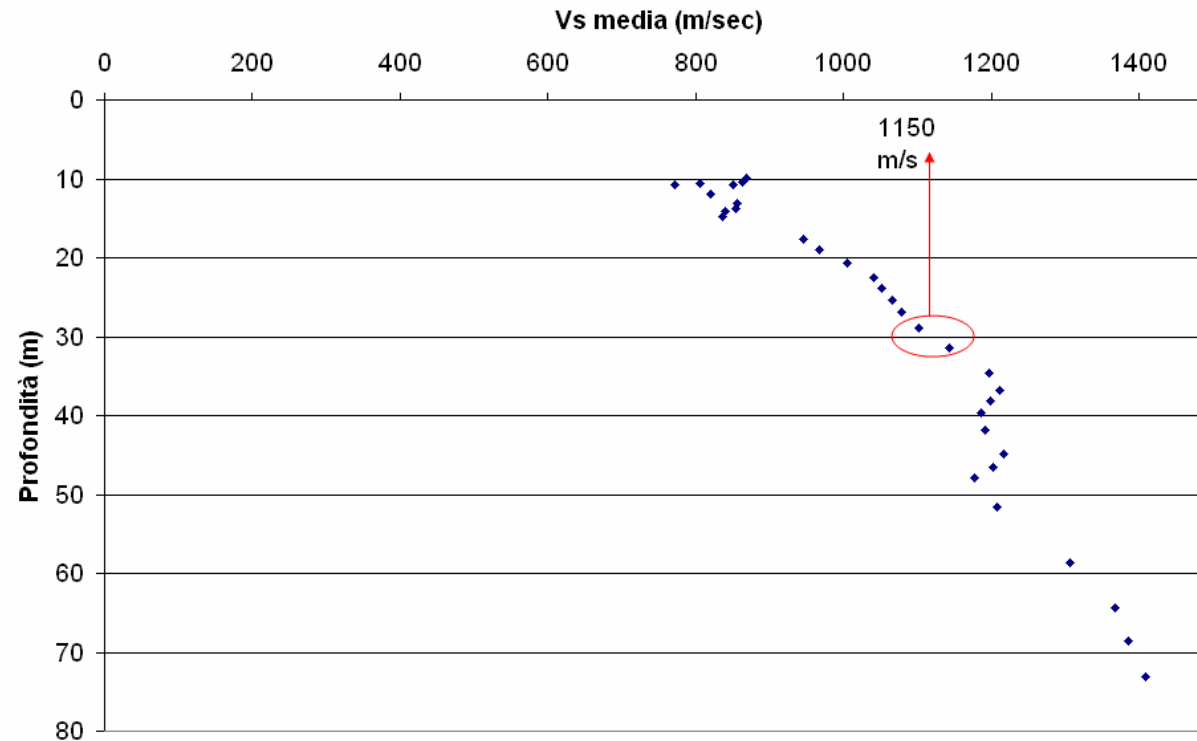


Frequenza di risonanza (HVSR)

Sotto la frequenza di risonanza

$V_{s30} = 1150 \text{ m/s}$

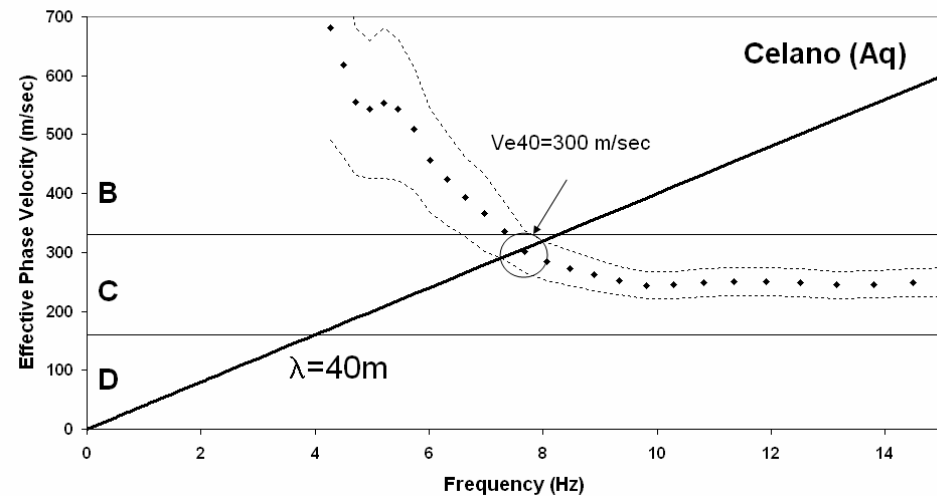
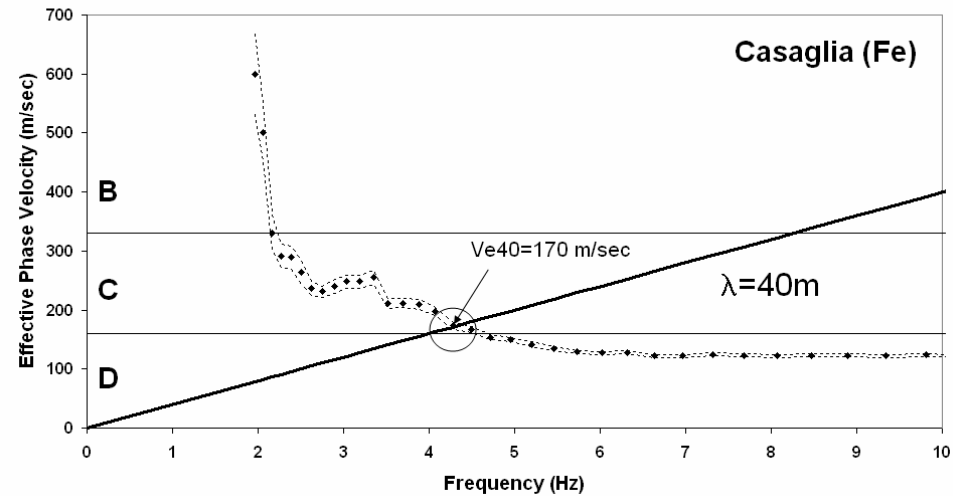
(Naturalmente è una stima approssimata!!!)





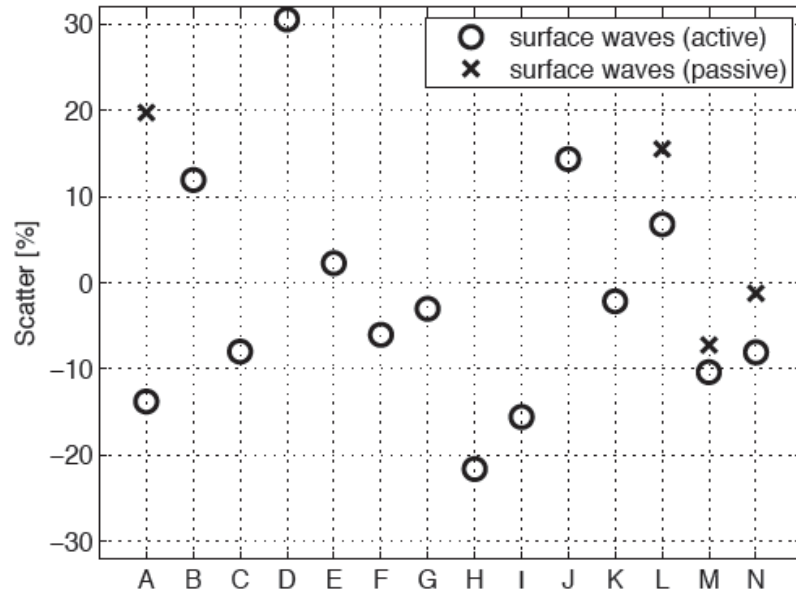
Il parametro V_{s30} risulta leggermente superiore a 180 m/s pertanto la categoria di suolo è al limite tra C e D. Valore stimato tramite DH

Il valore, stimato tramite prova cross-hole, del parametro V_{s30} è 330 m/s e la categoria di suolo è C.



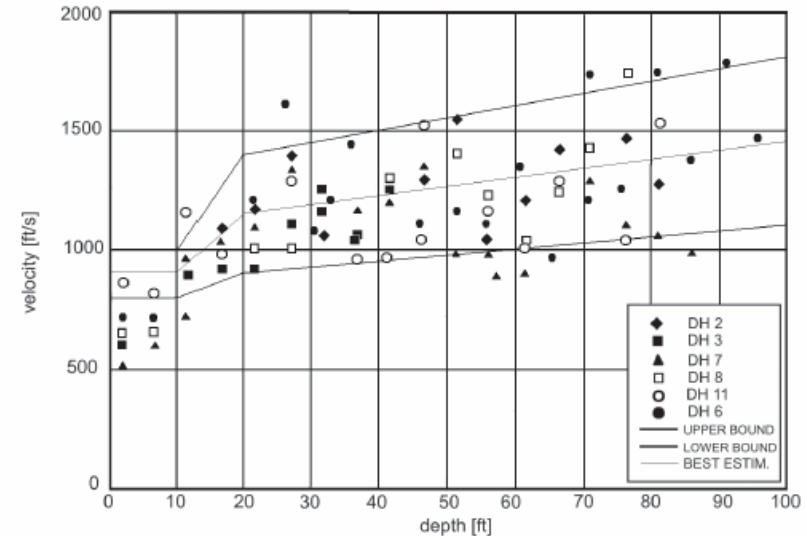


Può essere utile confrontare la qualità delle stime di V_{s30} ottenute con metodi di questo genere in rapporto a stime di riferimento (Cross-hole)



Si ottengono fluttuazioni dell'ordine del 20% confrontabili con quelle del down-hole

Questo fa pensare che tutte le stime di V_{s30} (anche quelle in foro con il metodo DH) sono affette da incertezze dell'ordine del 10-20 %



▲ Figure 2. The $V_s(z)$ profile according to the dense DH survey at the site of the LANL National Ignition Facility. Redrawn with permission (see text).



Il Livello quantitativo

Vengono usate procedure di inversione numerica basate sull'applicazione di metodi capaci di gestire l'estrema non linearità del problema: non esiste di fatto una relazione semplice fra gli osservabili e le caratteristiche meccaniche del sottosuolo

Le procedure hanno tutte la stessa struttura

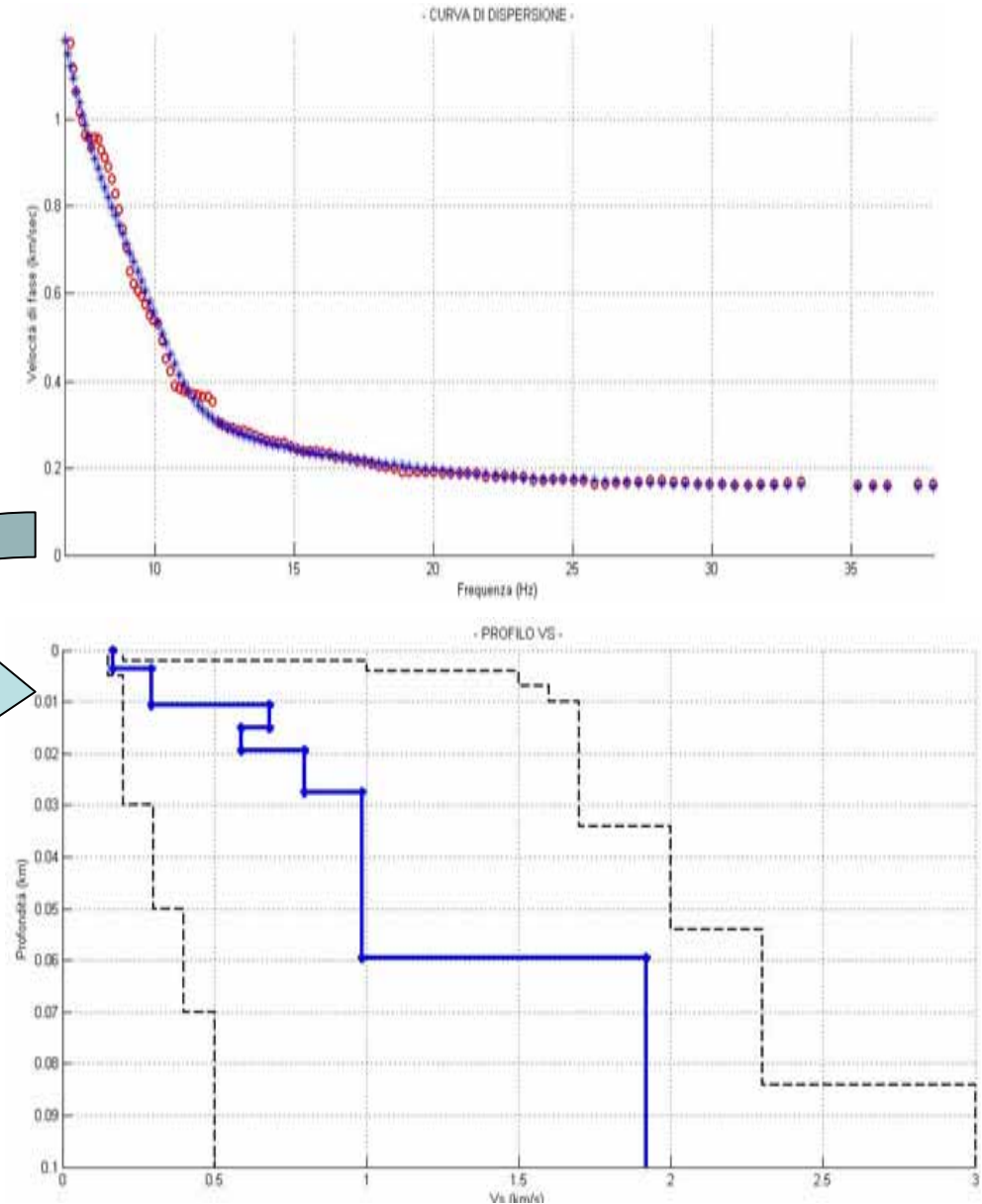
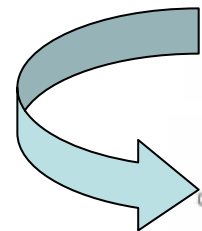
1. Dispongono di una procedura numerica per la determinazione del profilo teorico della curva HVSR o del profilo di dispersione a partire da una determinata configurazione stratigrafica (risolvono il **problema diretto**). Il problema diretto permette anche di individuare i parametri più significativi
2. Costruiscono un parametro di confronto fra le “previsioni” dedotte risolvendo il problema diretto per una data configurazione ipotetica con le osservazioni (costruiscono una funzione di disaccordo o **misfit**)
3. Dispongono di una procedura per cambiare le caratteristiche del modello in funzione delle discrepanze fra le previsioni e le osservazioni (**Inversione**)

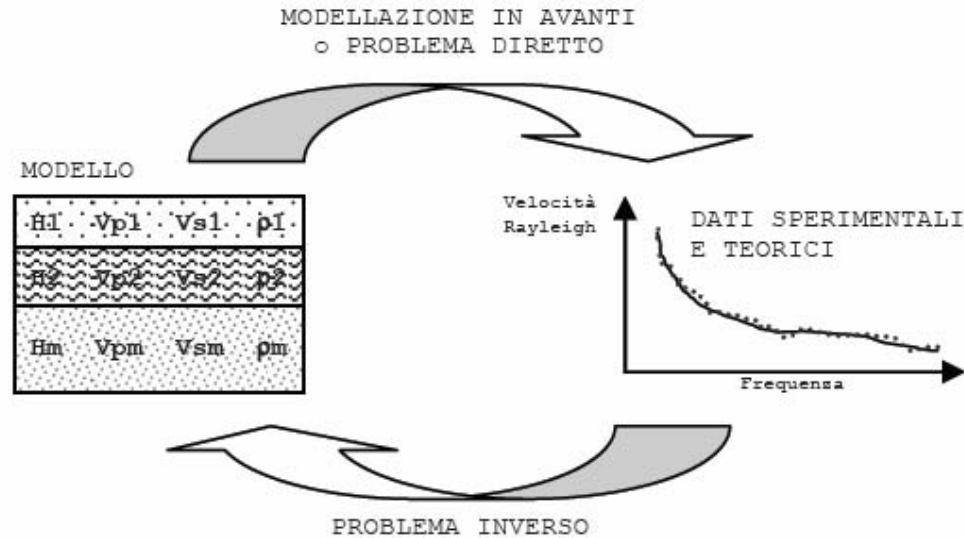


Per esempio, utilizzando i modelli diretti disponibili si vede che nel caso della curva di dispersione effettiva, i parametri più influenti sono il valore di V_s e lo spessore del singolo strato

Parametri per ciascuno strato:

- ❖ Spessore
 - ❖ V_s
 - ❖ V_p
 - ❖ Densità
- ⇒ Più influenti

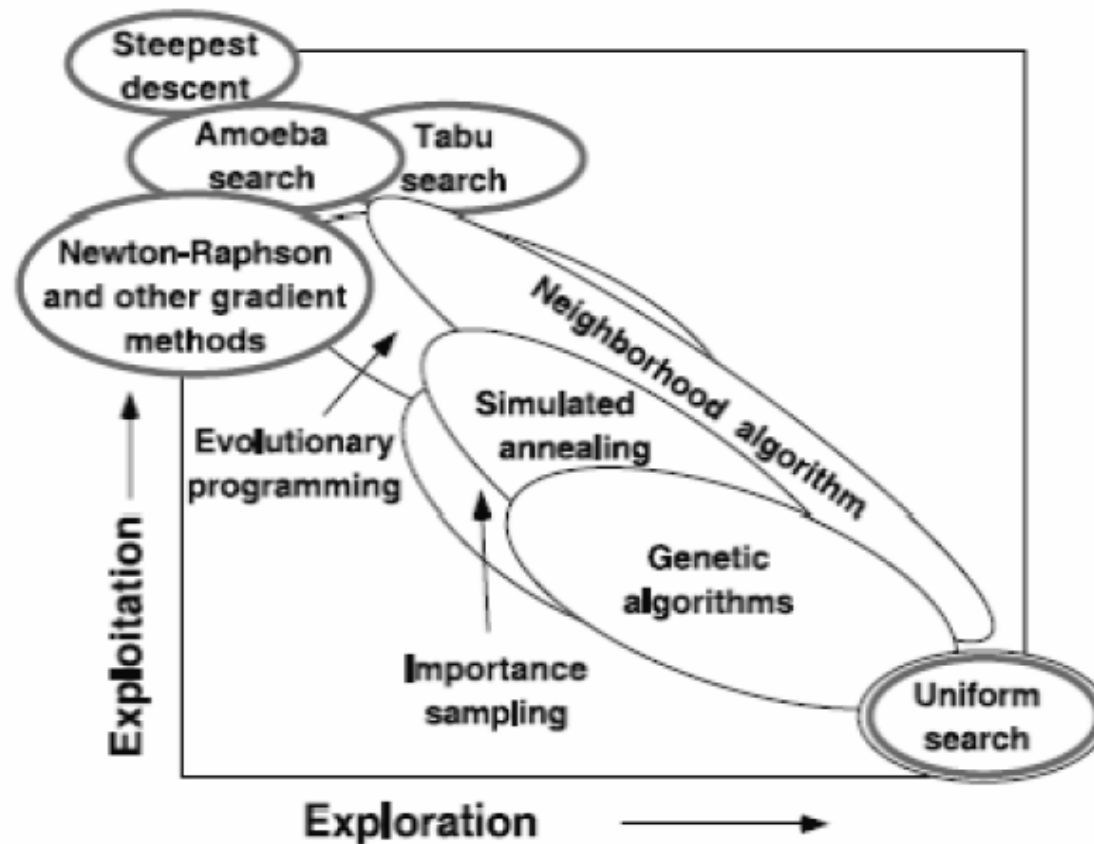




Una volta scelti i parametri di maggiore interesse si sviluppa una procedura iterativa

1. Ipotizzo il modello
2. Risolvo il problema diretto
3. Calcolo il valore della funzione di disaccordo
4. Modifico le caratteristiche del modello e torno al punto 2

Un metodo è tanto più veloce quanto meno volte deve compiere l'iterazione e, soprattutto, quante meno volte deve risolvere il problema diretto



Le differenze tra i diversi approcci riguardano fondamentalmente quanto grandi sono le variazioni ammesse per i modelli di prova (esplorazione-exploration) e quanto le variazioni imposte al modello sfruttano il precedente confronto fra previsioni e osservazioni (sfruttamento-exploitation)

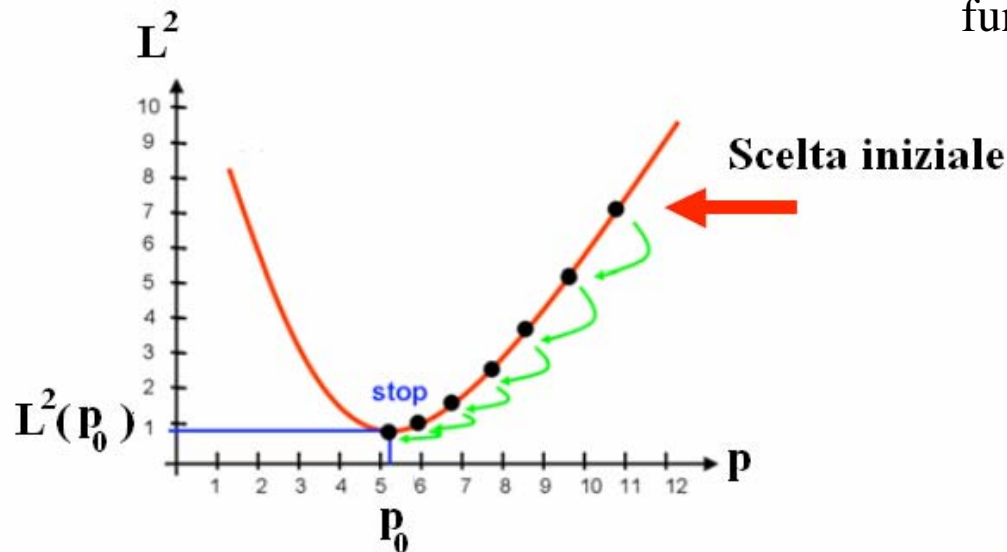


I metodi “a gradiente” sono quelli che sfruttano maggiormente il precedente confronto fra previsioni e osservazioni ma esplorano poco lo spazio delle possibili soluzioni

In questo caso, un dato paramero (per esempio la Vs in un dato strato) viene variato modificandolo in modo da ridurre il valore della funzione di perdita. In particolare, scrivo variazione in funzione di un parametro h (positivo) che dipende da come varia la funzione di perdita L2

$$\Delta p = -h \frac{dL^2}{dp} \quad p' = p - h \frac{dL^2}{dp}$$

Come si vede, la variazione è tanto maggiore quanto maggiore è la derivata della funzione di disaccordo (quanto maggiore è la pendenza della curva della funzione di disaccordo)



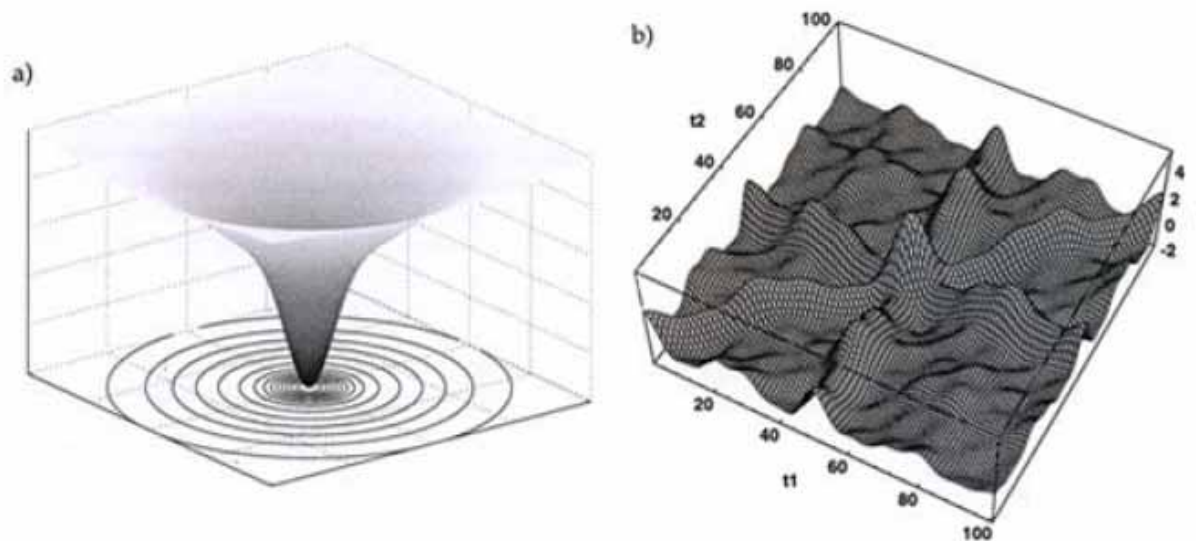
La cosa procede iterativamente aggiornando progressivamente il valore di p fino a raggiungere il minimo (la derivata diventa nulla e l'aggiornamento finisce)



In realtà questi sistemi sono i più veloci (fanno poche iterazioni e variano di poco i parametri iniziali).

Però, se la scelta iniziale è troppo lontana dalla soluzione “corretta” non c’è nessuna garanzia che il gruppo di parametri scelto sia quello che corrisponde al minimo “assoluto” della funzione di perdita. Di fatto la forma della funzione di misfit è ignota (per calcolarla dovremmo variare i parametri in tutti i modi possibili)

In assenza di questi controlli, la ricerca del minimo potrebbe trovarsi “intrappolato” in un minimo relativo e da lì non uscire più





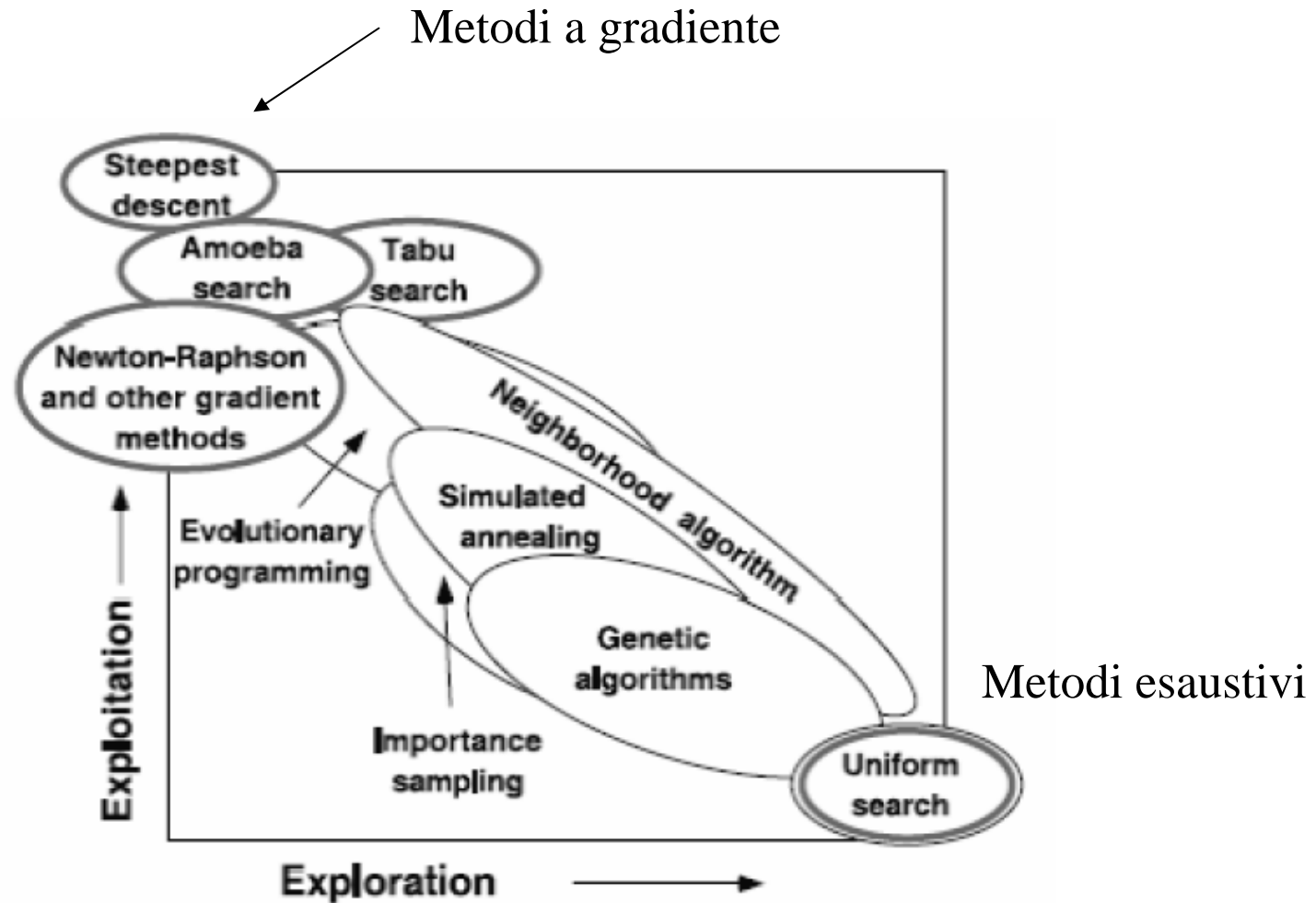
All'estremo opposto ci sono metodi che sfruttano al massimo l'esplorazione e non imparano nulla dall'esperienza (basso sfruttamento)

Il metodo più “stupido” è quello che esplora l'intero spazio possibile delle variazioni dei parametri: di fatto si ricostruisce l'intera superficie di misfit

In realtà, i parametri possono esser molti. Per una stratigrafia a tre strati servono almeno 6 parametri per strato (V_p , V_s , Spessore, densità, sporzamento in P, smorzamento in S) ovvero 18 parametri in tutto

Esplorare tutte le possibili combinazioni è semplicemente fuori dalla portata di qualunque procedura di questo tipo

In generale devono fare moltissime iterazioni la maggior parte delle quali è del tutto inutile (almeno per ridurre il misfit)



Naturalmente sono state proposte procedure di tipo intermedio: per esempio quella degli Algoritmi Genetici



Si tratta di una procedura che “mima” l’evoluzione naturale

In pratica

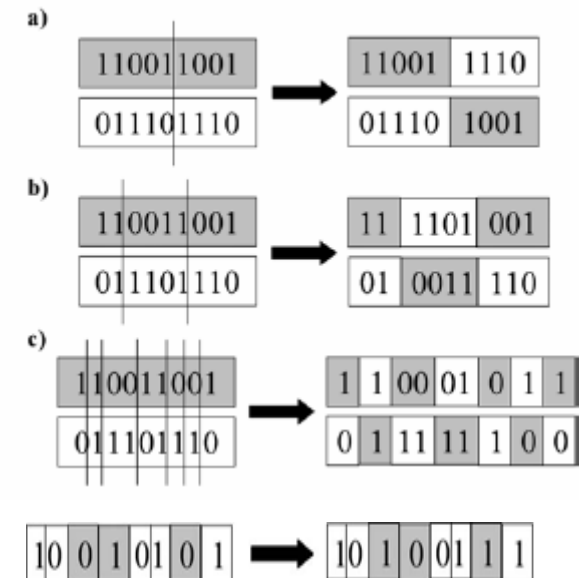
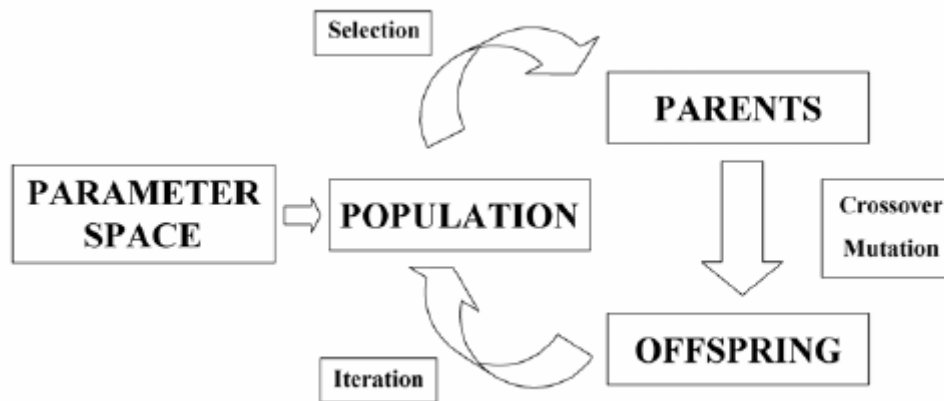
1. viene generata casualmente una “popolazione” di modelli possibili (**elemento esplorativo**)
2. Per ciascun modello (individuo) viene calcolato il valore di misfit
3. Viene costruita una nuova popolazione selezionando i soli individui che hanno raggiunto il minimo misfit nella prima popolazione (elite-selection) e “combinando” gli altri casualmente (cross-over) ma in modo da favorire quelli con migliore adattamento alle curve sperimentali. Inoltre alcuni individui della nuova popolazione sono variati (di poco) casualmente (mutazione). Questo è l’elemento di “sfruttamento” delle informazioni pregresse
4. Si ritorna alla fase 2

In questa procedura, (che aspira a simulare la selezione naturale) ogni popolazione è “più adatta” rispetto all’obiettivo della ricerca



Algoritmi Genetici

Metodo di ottimizzazione basato su concetti di tipo evolutivo
(selezione, mutazione e crossover)

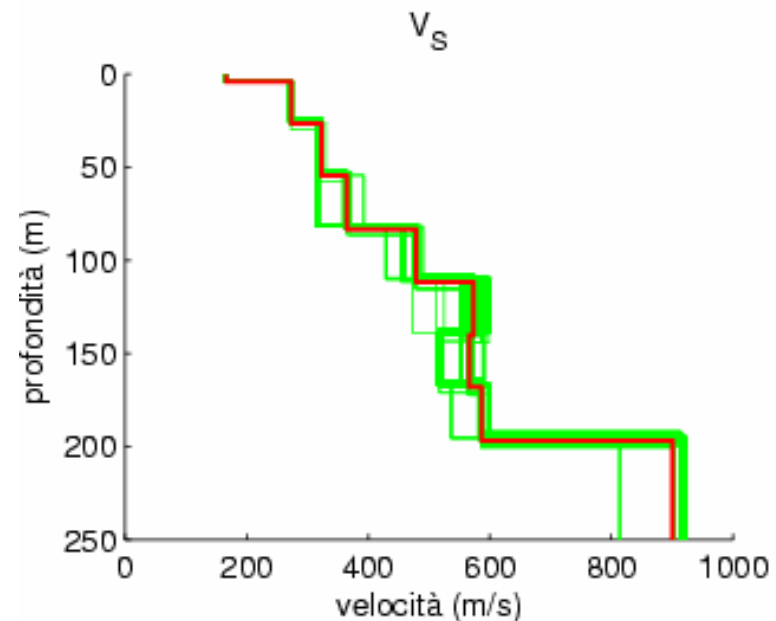
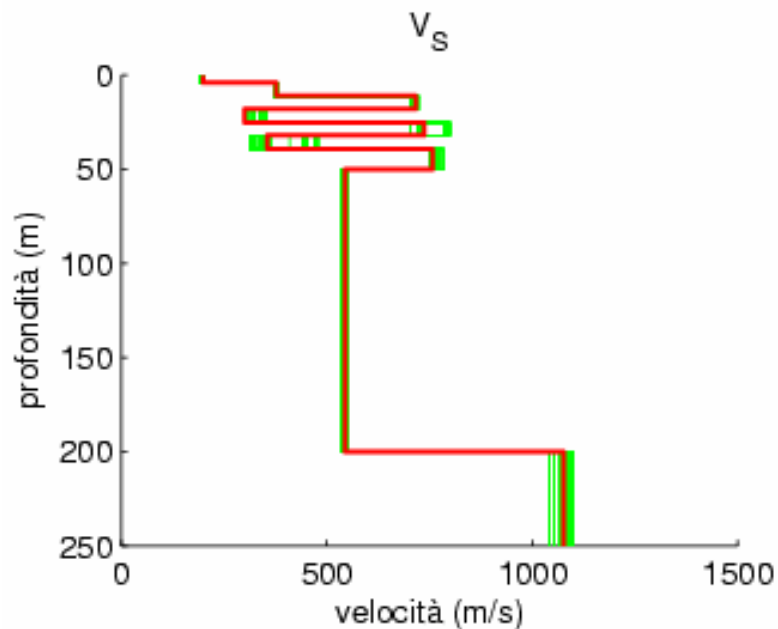
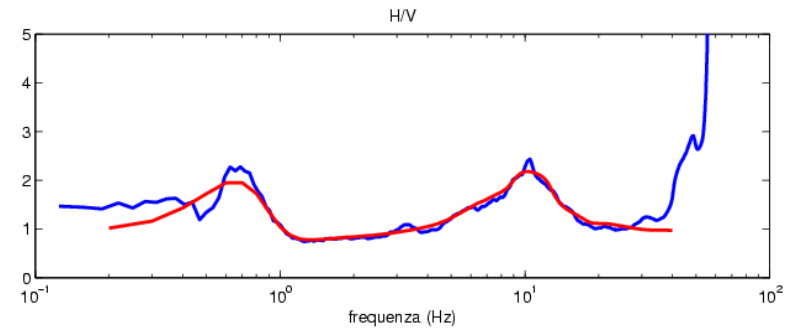
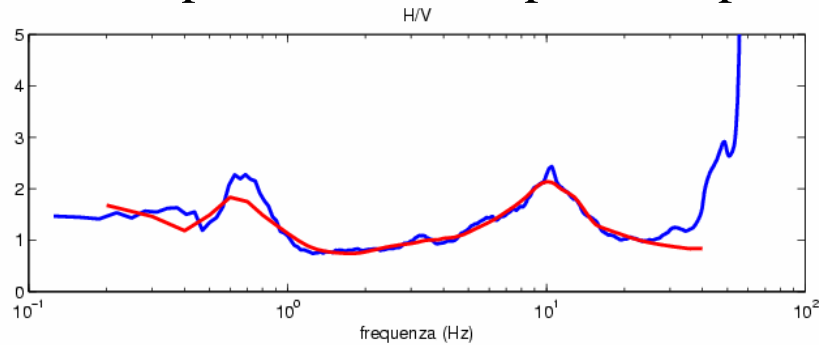


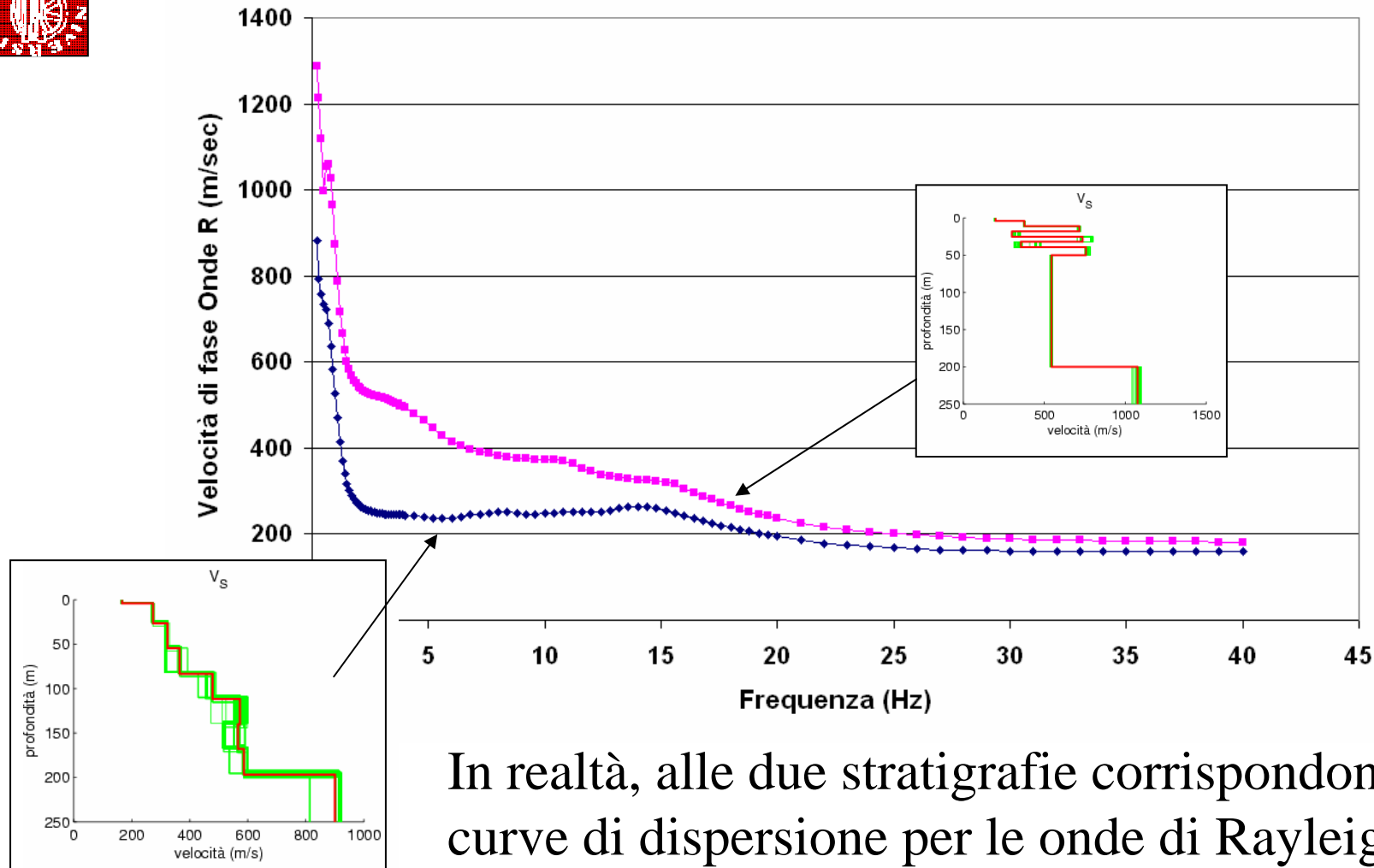
- Tecnica esplorativa dello spazio dei modelli
- Risoluzione di problemi non lineari
- Non vincolata da un modello iniziale



Operando in questo modo posso per esempio ricavare la stratigrafia che mi riproduce una curva HVSR

Tuttavia la soluzione non è unica: ad una stessa curva HVSR possono corrispondere diversi possibili profili di velocità differenti

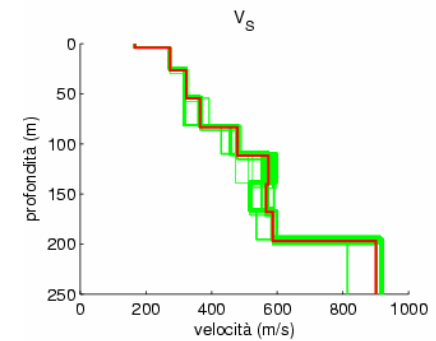
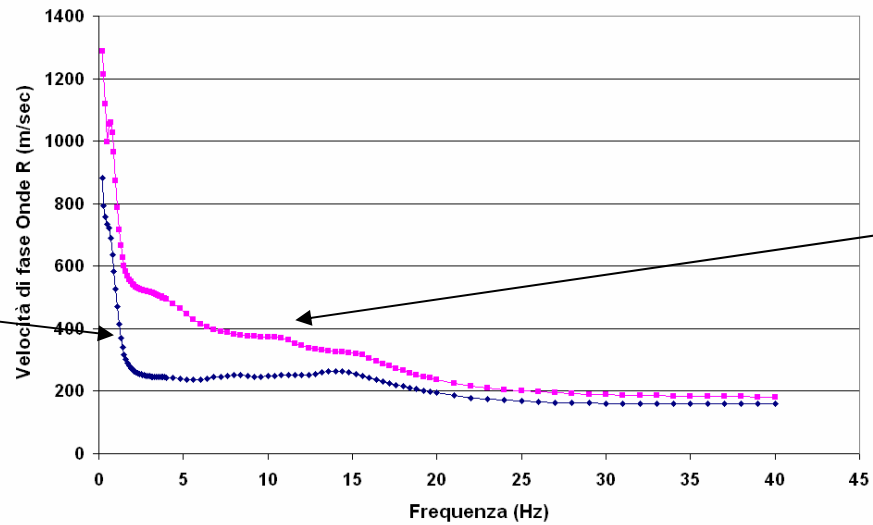
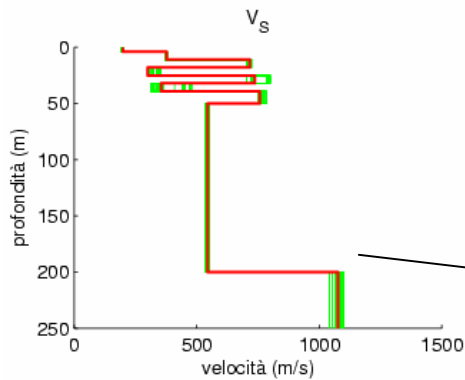
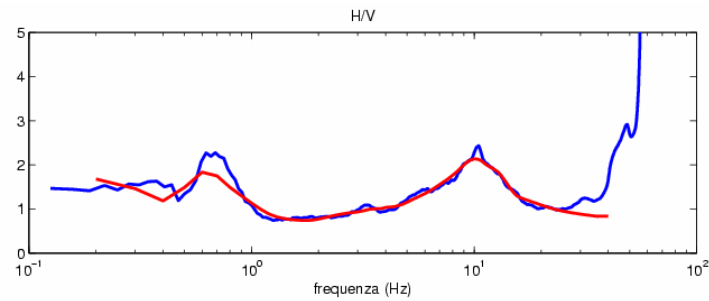


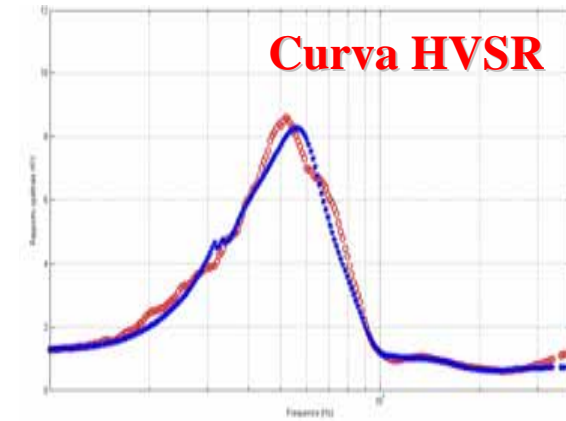
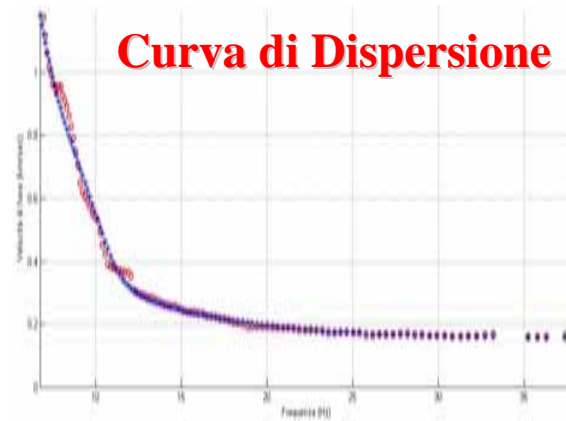


In realtà, alle due stratigrafie corrispondono curve di dispersione per le onde di Rayleigh assai differenti (in altri termini i parametri pesano diversamente sulla due curve)

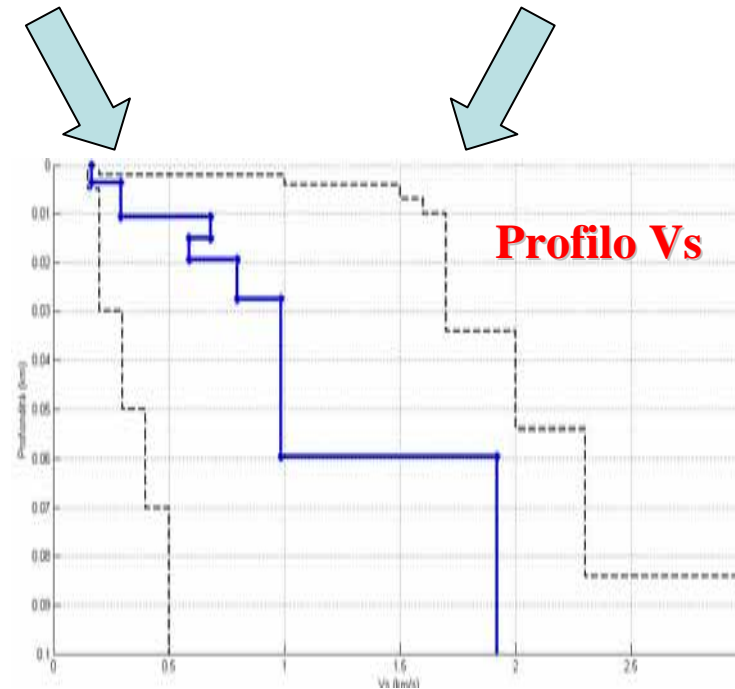


E' quindi possibile ridurre il livello di non univocità dell'inversione utilizzando congiuntamente la curva HVSR e la curva di dispersione





Attualmente, la ricerca è dedicata allo sviluppo di procedure numeriche di inversione congiunta



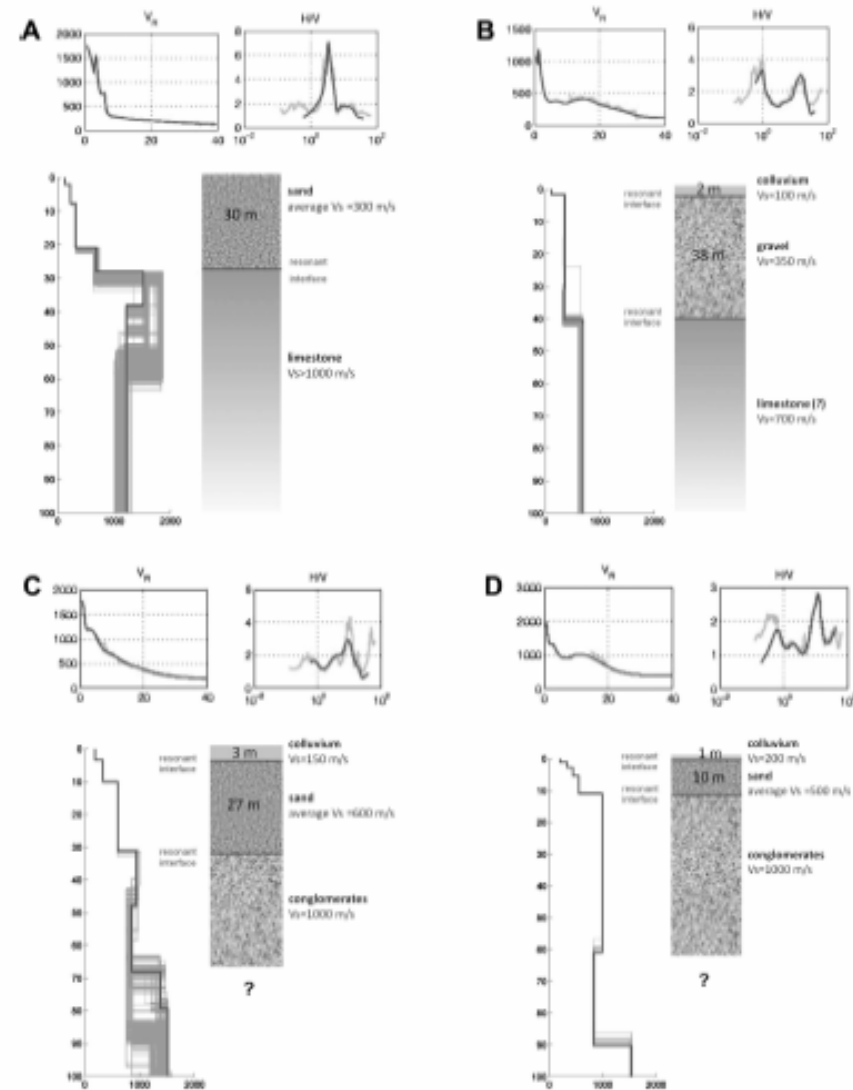
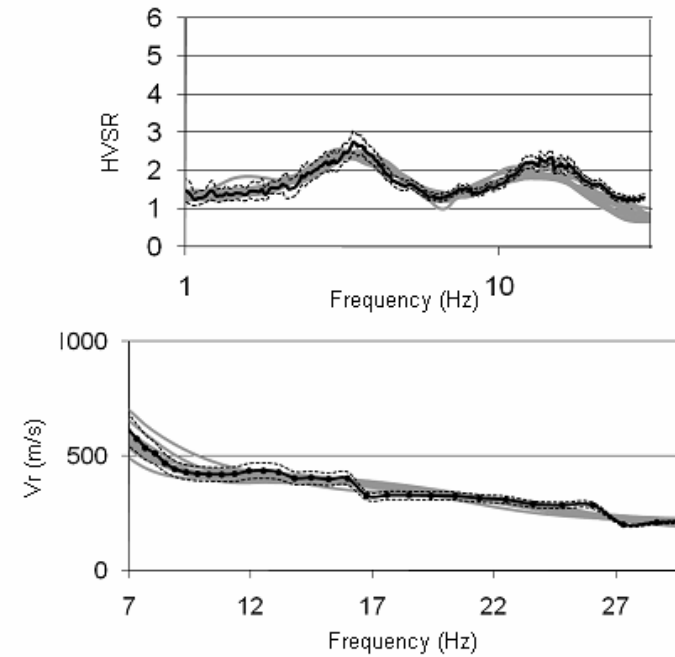
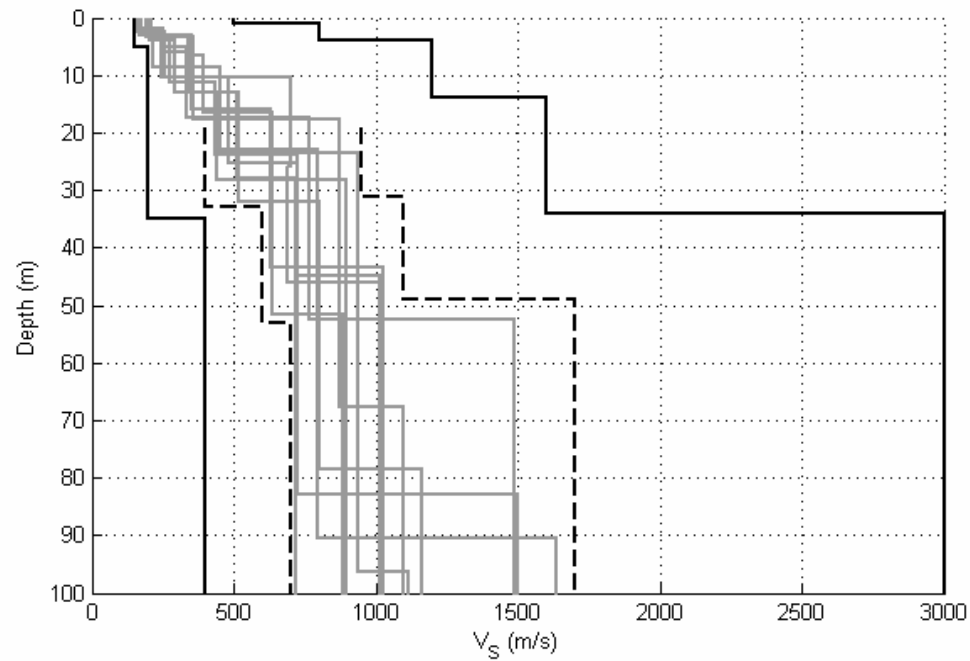
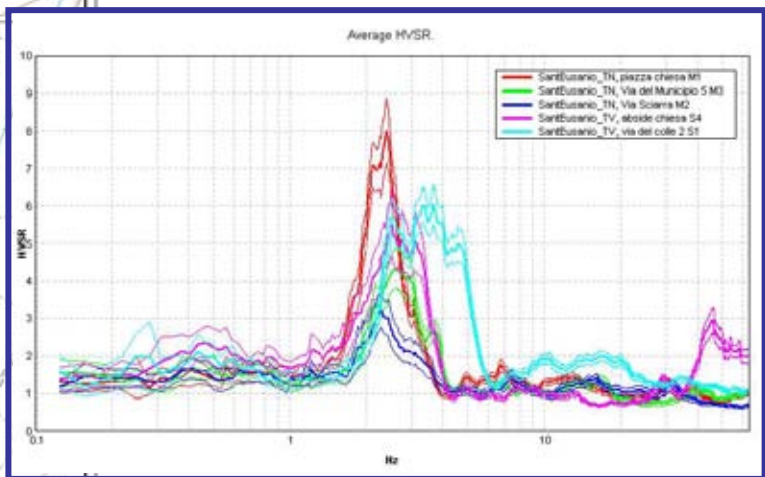
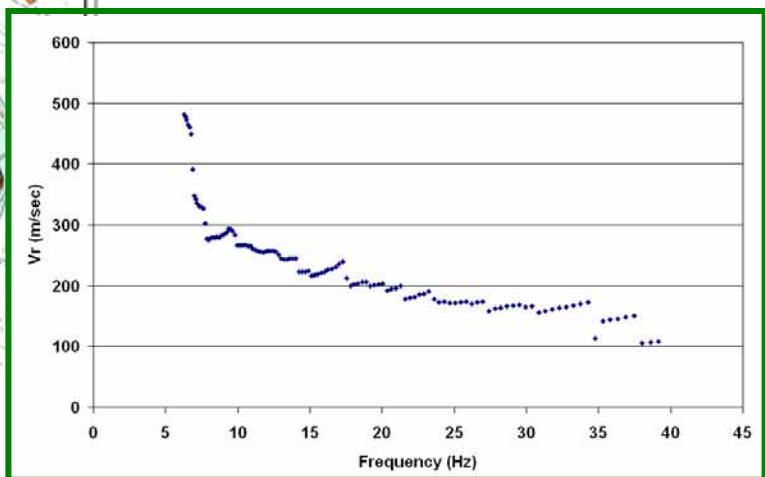
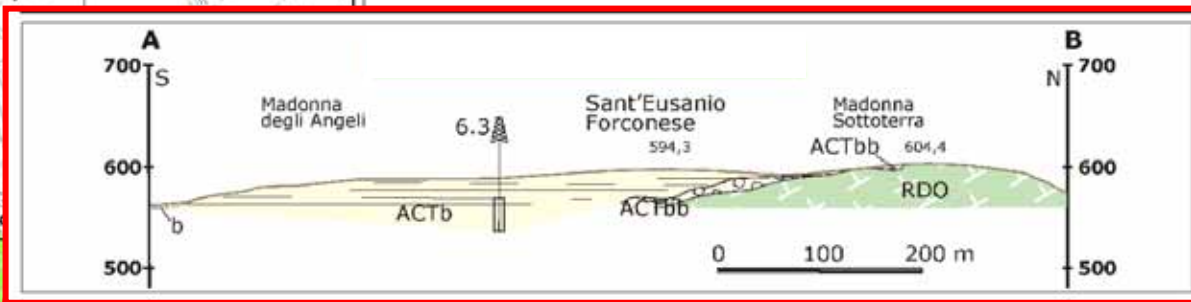
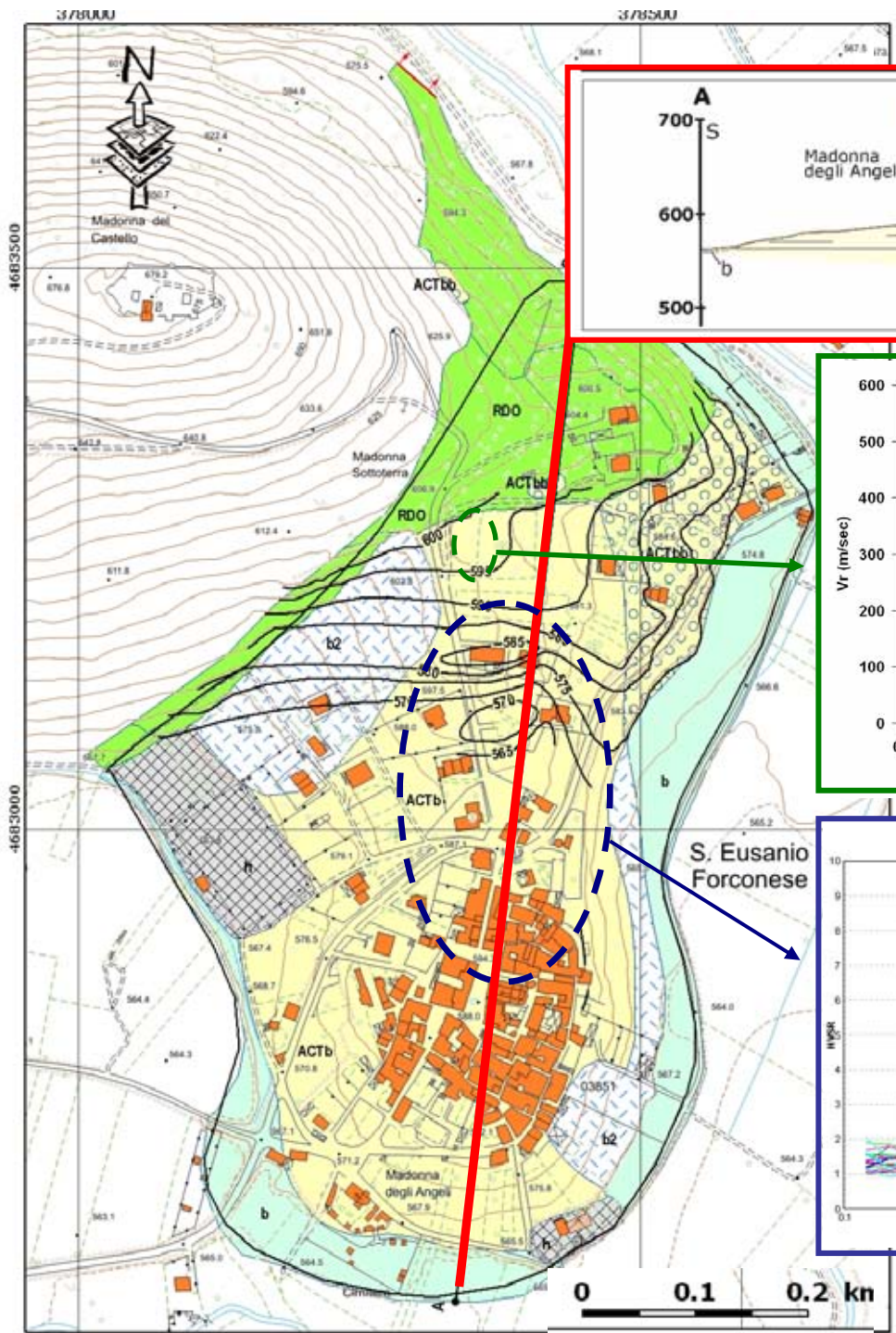
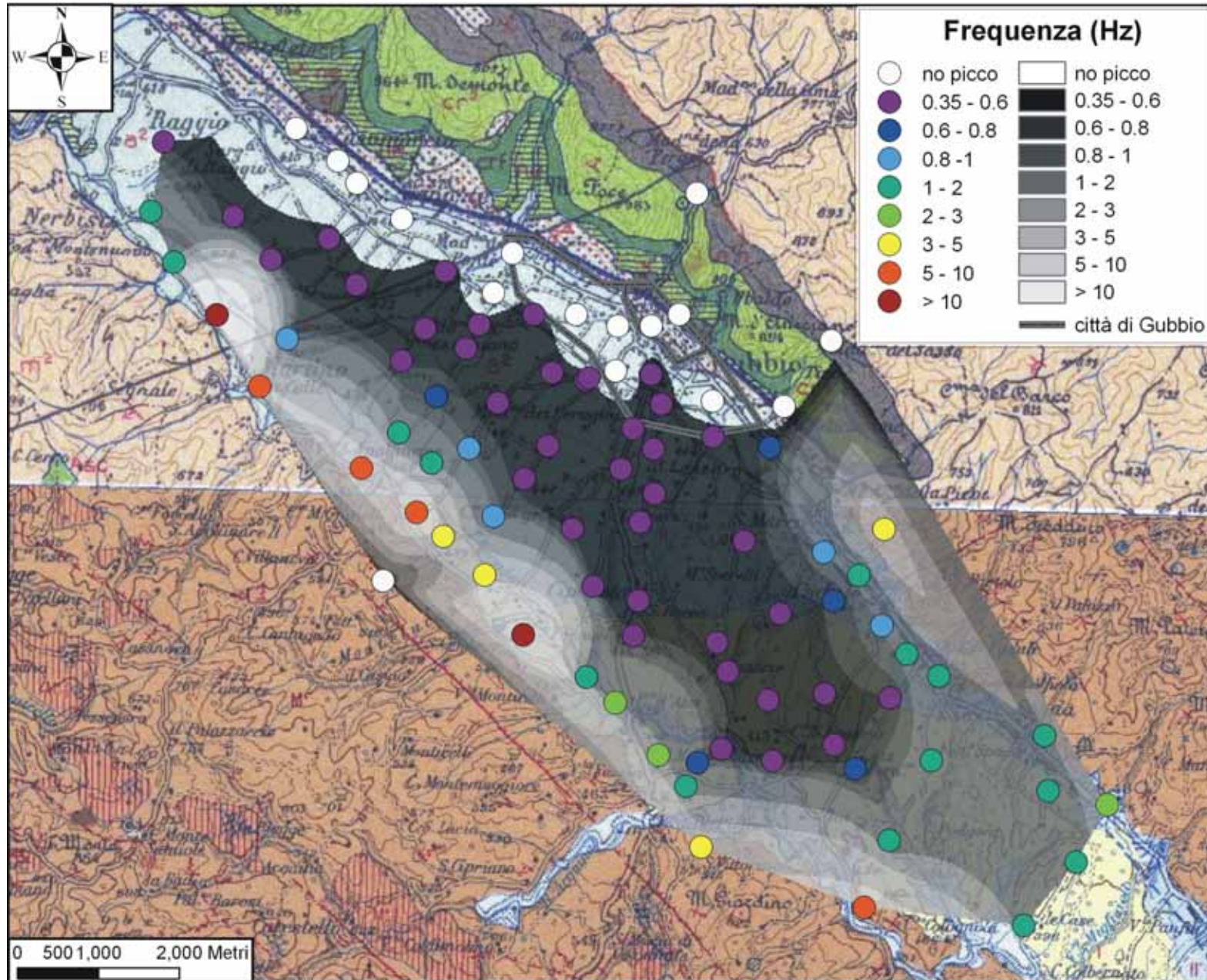


Figure 4: Inversion results and stratigraphic interpretation of 4 sites: A) *Sant'Eusanio Foronesse*, B) *Villa Sant'Angelo*, C) *San Demetrio nei Vestini (Cardamone)*, D) *San Demetrio nei Vestini (Villagrande)*. For each site, dispersion curve (V_R) and HVSr curve (H/V) are shown in the upper part of the corresponding panel: grey lines are the experimental curves, black lines are the ones corresponding to the preferred interpretative model. In the lower part of the panel, best fitting S-wave velocity profile (black line) is reported along with profiles with a misfit value not higher than the 10% of the one associated to the best-fit model (grey lines). A tentative stratigraphic interpretation of the corresponding best fitting model is also reported.



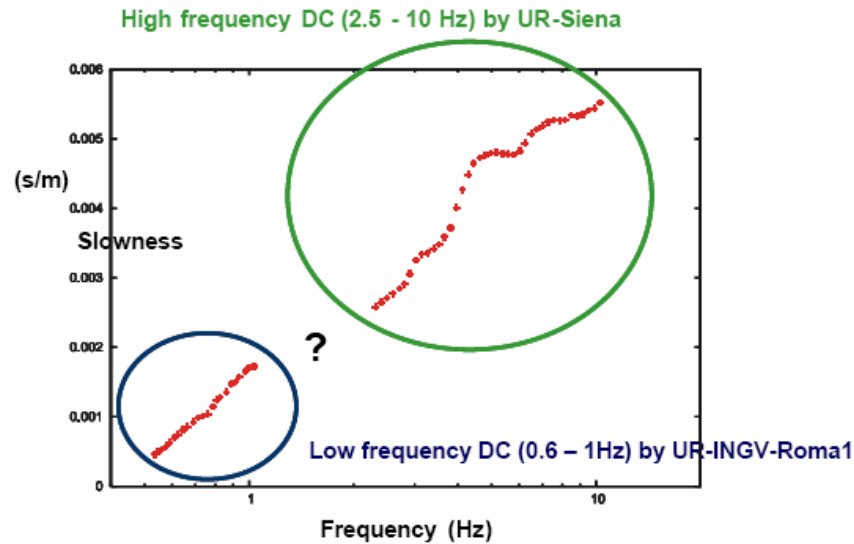
Metodi di inversione basati sugli algoritmi genetici



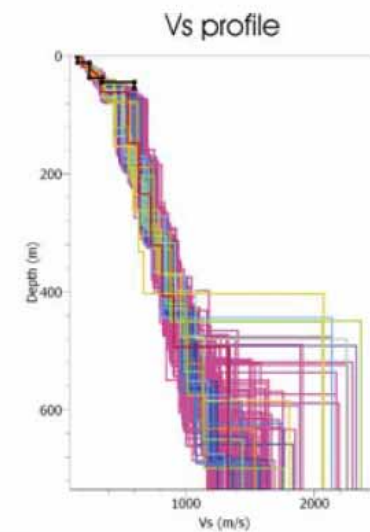
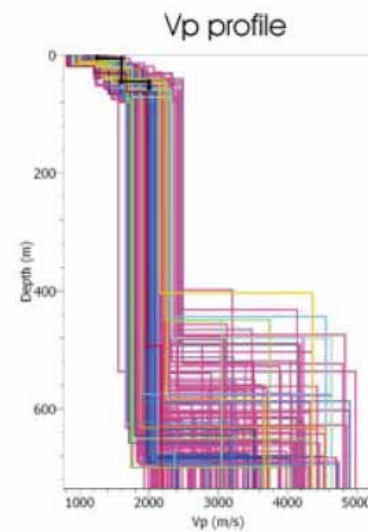
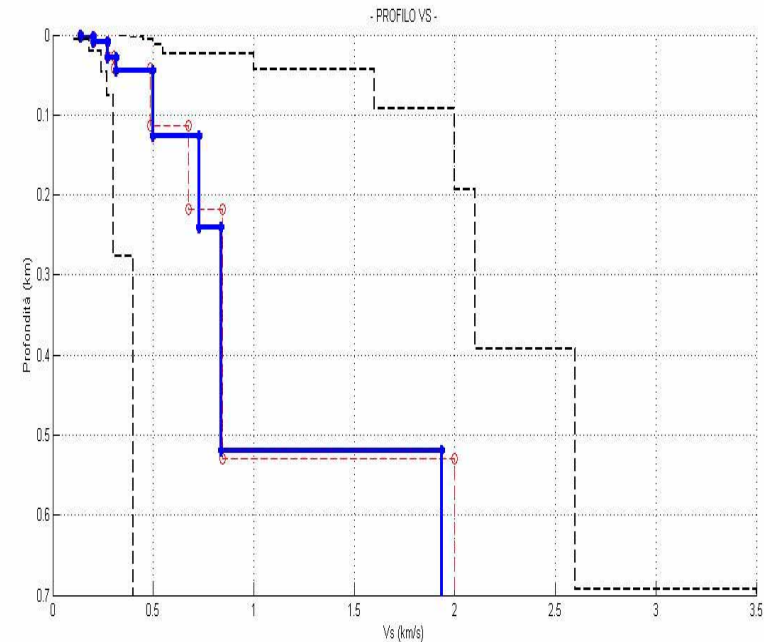




Inversione congiunta delle curve di dispersione e dei rapporti spettrali

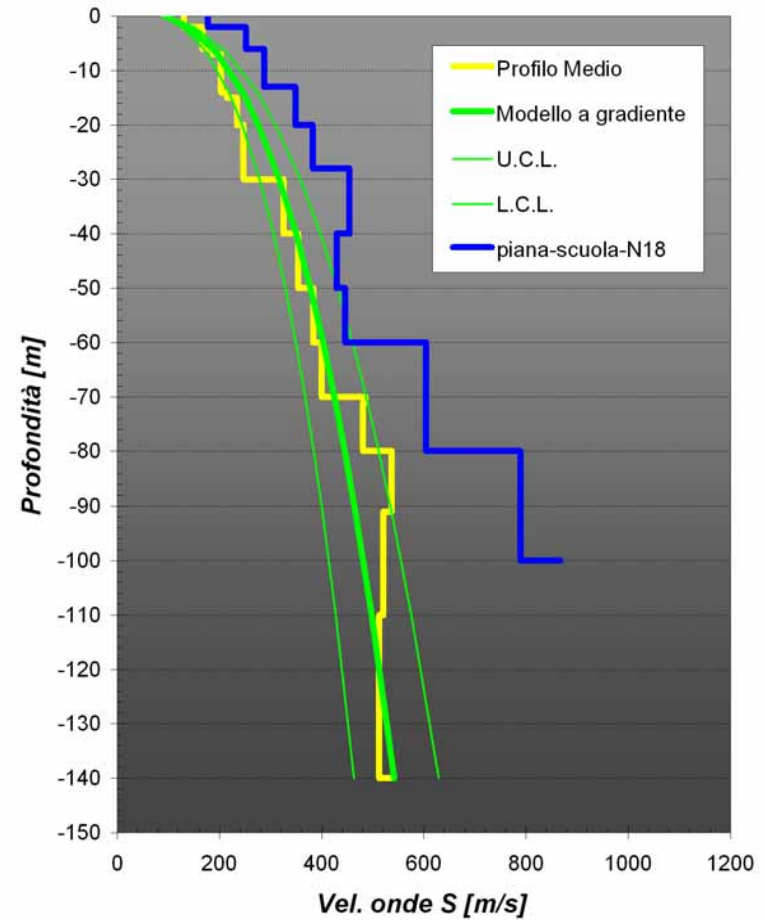
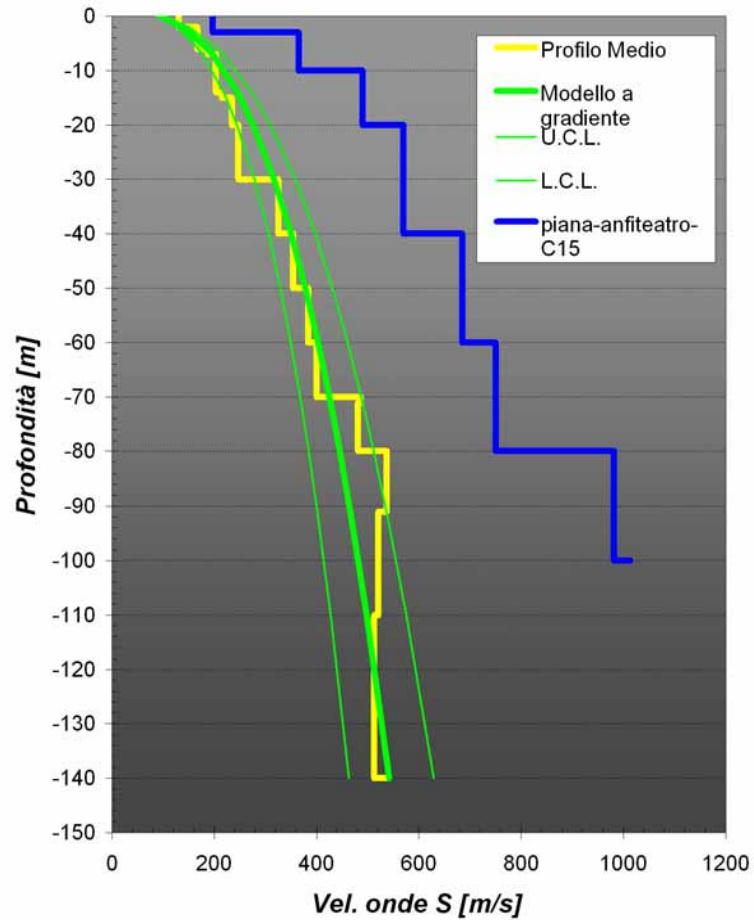


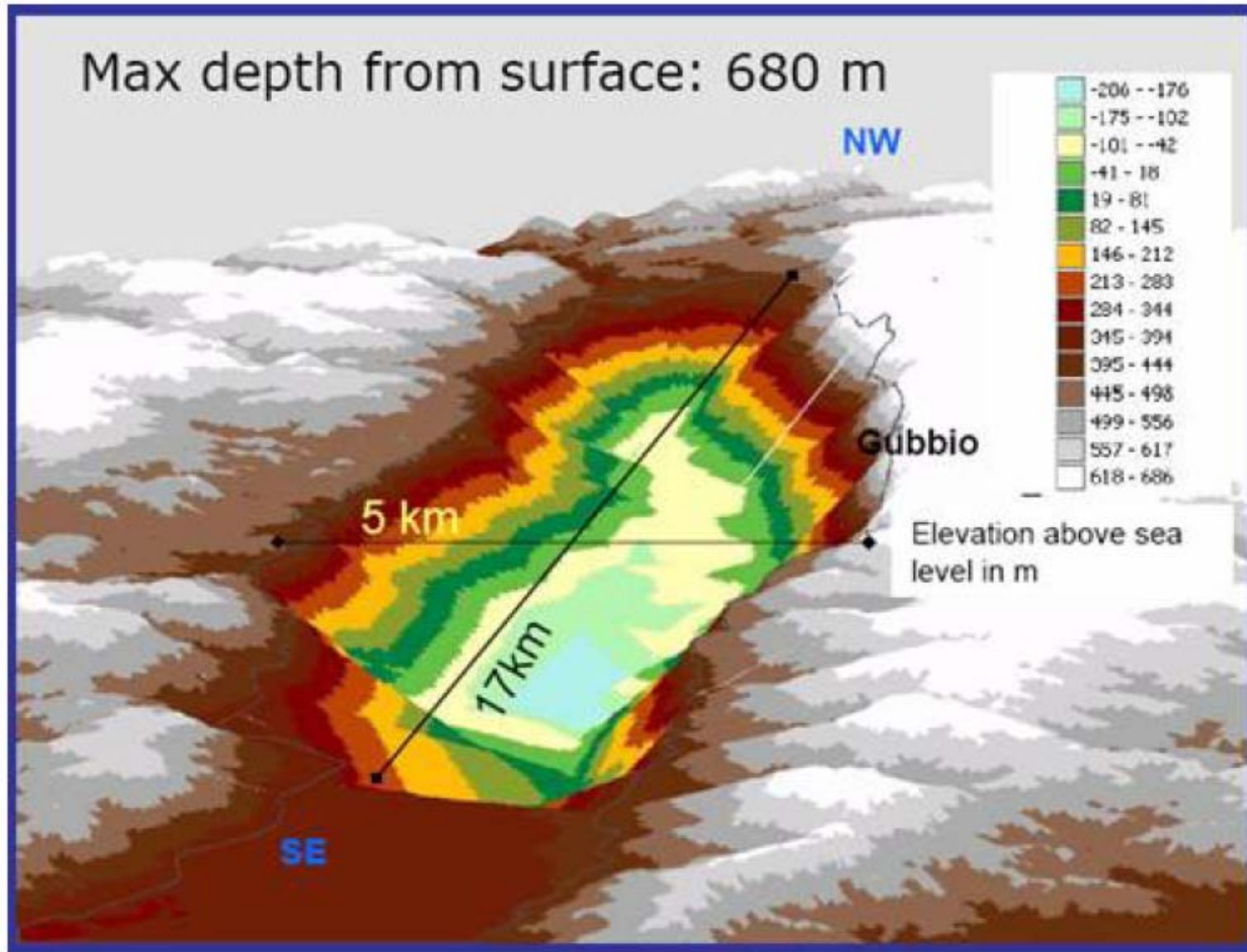
Le inversioni sembrano indicare la presenza di un significativo contrasto di impedenza al profondità dell'ordine dei 500 m





Profili di Velocità





Ricostruzione del basamento (Marnosa Arenacea)



CONCLUSIONI

Nuovi modelli teorici e l'esperienza accumulata negli ultimi anni hanno messo in evidenza come la misure di vibrazioni ambientali sia con stazione singola (tecnica HVSR) che con antenna costituiscono un utile ed efficace strumento di prospezione

In linea di principio, le profondità di esplorazione raggiungibili con tecniche di questo genere sono limitate solo dalle dimensioni dell'antenna sismica e dalle frequenze proprie dei sensori utilizzati

Si tratta di tecniche “robuste” applicabili rapidamente nei diversi contesti (anche in presenza di forti disturbi antropici) ma richiedono una grande cura nella loro esecuzione

I risultati forniti da queste indagini possono essere utilizzati a vari livelli in funzione della maggiore complessità delle procedure interpretative adottate



Permettono inoltre vari livelli interpretativi: da quello più basso (qualitativo) a supporto della microzonazione sismica di primo livello, a quello quantitativo utilmente applicabile anche per lo sviluppo di carte di terzo livello

Bisogna tuttavia mettere in evidenza che, soprattutto nel caso di procedure di inversione avanzate, esiste sempre una molteplicità di situazioni compatibili con le osservazioni (non univocità): questa mancanza di univocità può essere ridotta (magari a partire da considerazioni geologiche o utilizzando congiuntamente osservabili differenti) ma non eliminata

Il problema diretto è particolarmente complesso dal punto di vista fisico i tempi di calcolo necessari per la stima dei diversi parametri possono diventare proibitivi (soprattutto quando si ricorre a metodi molto esplorativi): questo rende necessaria l'adozione di modelli semplici (eterogeneità unidimensionali, modelli con sole onde superficiali) che limitano il valore del modello trovato