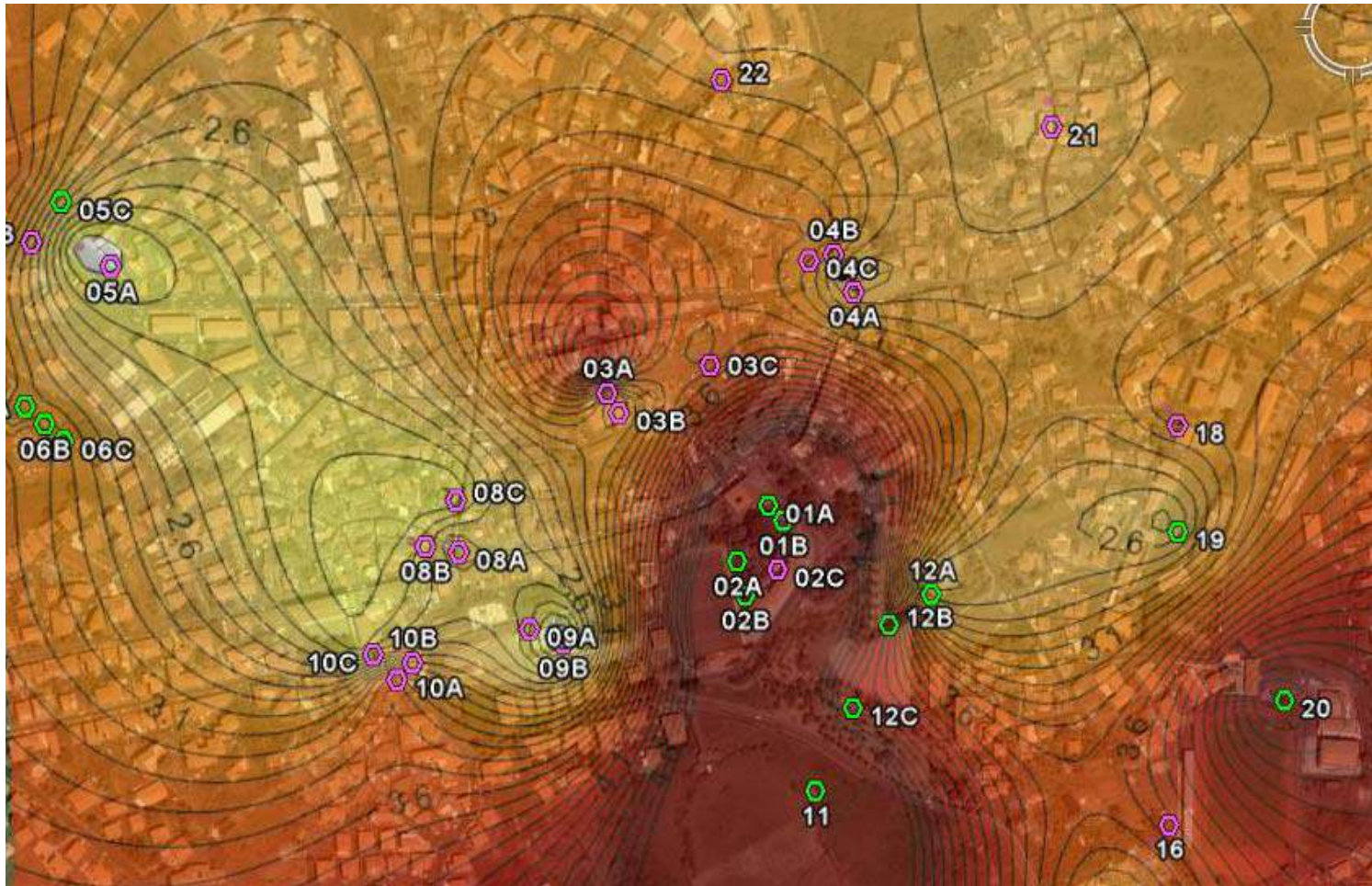


Sismica applicata alla sismologia

Pensieri nati da domande sentite e risentite negli ultimi mesi



Silvia Castellaro silvia.castellaro@unibo.it

Nuove frontiere per la geofisica applicata,
Rovereto 24-25 giugno 2009

ALCUNE DOMANDE FREQUENTI

- il terremoto de L'Aquila è stato declassato da $M = 6.3$ a $M = 5.9$
- il terremoto de L'Aquila del 6 aprile è stato più piccolo di quello di Avezzano del 13 gennaio 1915?
- un terremoto più piccolo fa sempre meno danni di uno più grande?
- l'H/V dei microtremori non coincide con l'H/V del terremoto
- Vs30 o non Vs30, cosa si deve fare per soddisfare la normativa e per fornire dati utili?

Il terremoto de L'Aquila aveva

M = 5.9 o M = 6.3?

Terremoto declassato per non pagare i cittadini e le mille notizie nascoste dal Governo Dittatura!!!

Secondo punto, ancor più grave e importante: se viene superata la magnitudo 6.0, cambiano le norme finanziarie per la ricostruzione, e il contributo dello Stato passa dal 33% al 100%.

Terremoto al ribasso

di Davide Manzo 12/05/2009

NB: Il governo ha in seguito varato una legge a copertura 100% per la ricostruzione.

6 Aprile 2009, ore 3.32. Un movimento della crosta terrestre intensità **6.3 scala richter** sparge panico e morte su L'Aquila. Questa la cronaca delle prime ore riportata sui media nazionali, internazionali e sulla rete.

[Le istituzioni declassano il sisma dell'aquila: il segreto del Governo Berlusconi per non pagare i terremotati!!!](#)

(www.liberamenteservice.it) | postato 41 giorni fa da  [ilpopolosovrano](#) [31](#)

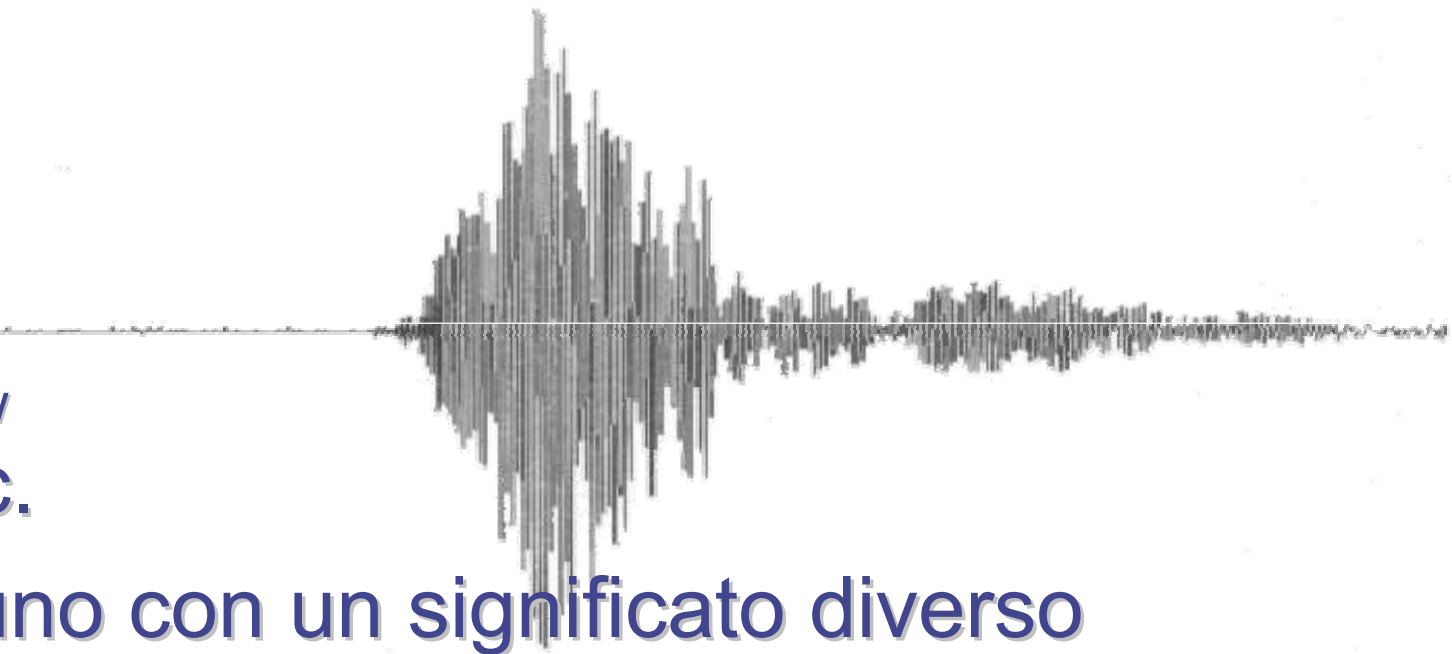
Hai delle fonti? Io so che appena è accaduto sul televideo è apparso terremoto del 6,7 richter ma dopo circa un ora è apparso 5.8.

Valutazione dell'utente: ****

sì, l'ho visto anch'io, poi è sceso magicamente a 6.3 per arrivare a 5.8. Sui siti esteri continua ad essere 6.3.

◆ Esiste una gran numero di indicatori della dimensione di un terremoto

- m_L
- m_b
- M_B
- M_s
- m_d
- M_0
- M_e
- M_w
- etc.



ciascuno con un significato diverso

M_L

Magnitudo locale (Richter).

Definita da Richter nel 1930 è legata alla ampiezza massima al periodo T e alla distanza epicentrale Δ

$$\log M_L = \log A - a + b \log \Delta$$

Vale solo per terremoti vicini e superficiali (< 15 km). Di fatto M_L è la misura dell'ampiezza delle onde S a scala regionale. **Questa magnitudo si calcola alla frequenza di 1.2 Hz.**

E' necessario mediare i dati di molte stazioni per averne un stima affidabile (e perché bisogna apportare delle correzioni e stimare tutti i parametri della formula!).

Quindi è del tutto normale che ad una prima stima di massima ne seguano altre, mano a mano che si rendono disponibili i dati.



Magnitudo delle onde di volume.

Si calcola per i terremoti oltre la scala regionale, dove l'arrivo delle onde P è ben distinto dalle altre fasi.

Solitamente si calcola a 1 Hz.

Quando si calcola su frequenze più basse (0.07-0.2 Hz) si denomina mB.

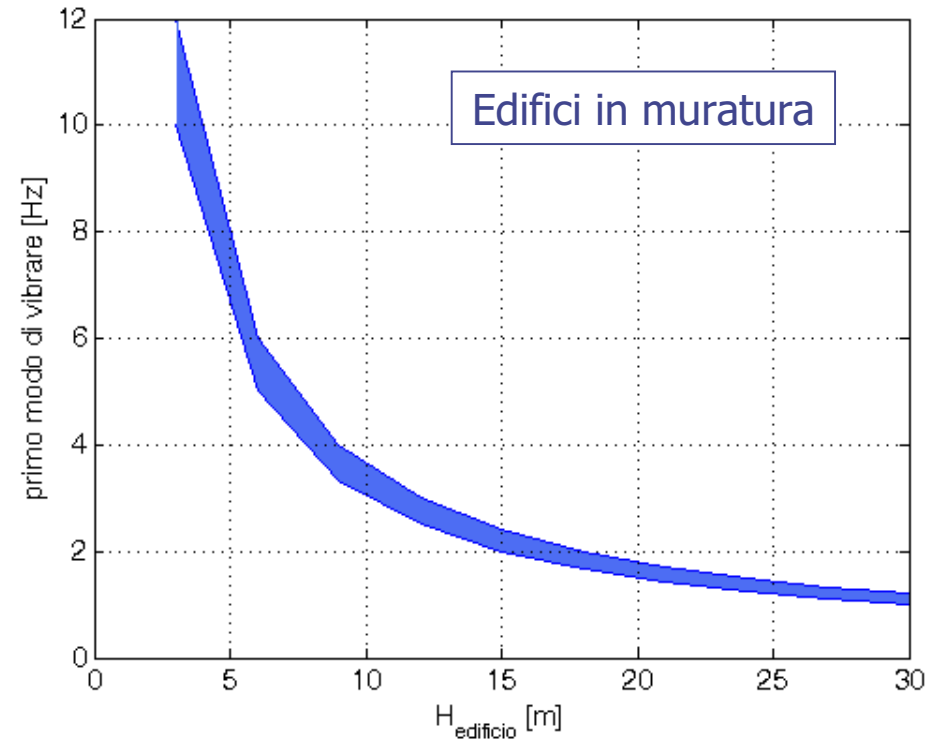
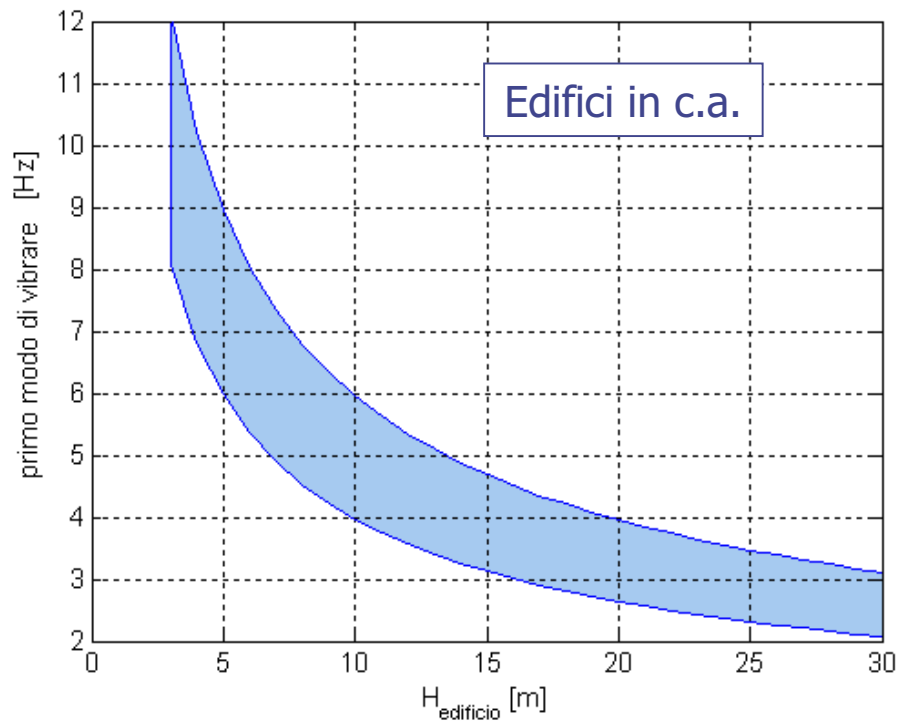


Magnitudo delle onde di superficie.

Oltre 600 km di distanza i sismogrammi dei terremoti superficiali sono dominati dalle onde di superficie.

Questa magnitudo si calcola alla frequenza di 0.05 Hz

1.2, 1, 0.07-0.2, 0.05 Hz sono tutte frequenze molto lontane da quelle tipiche degli edifici < 10-15 piani



Per questa ragione nessuna delle magnitudo classiche è direttamente significativa ai fini della vulnerabilità sismica e per questa ragione sono state proposte magnitudo diverse, quali la magnitudo energia M_E

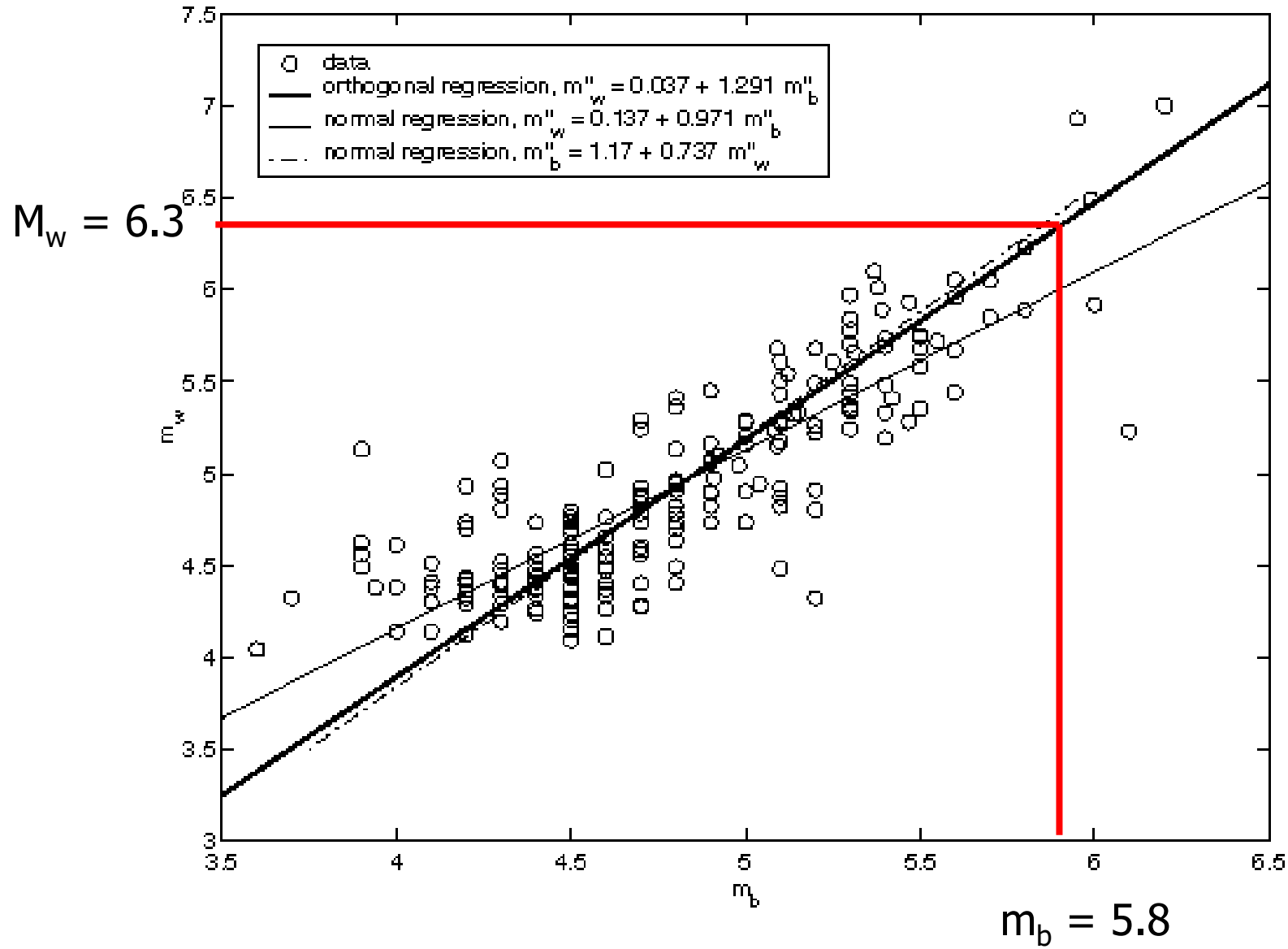
Quindi se a livello sperimentale è inevitabile dover usare magnitudo diverse, quando si deve compilare un catalogo sismico (essenziale per le stime di pericolosità) o si devono confrontare dati di stazioni diverse, è essenziale.

**CONVERTIRE TUTTE LE MAGNITUDO AD
UN UNICO TIPO**

- ◆ Lo stato dell'arte è di usare M_w perché, a differenza delle altre magnitudo, la sua definizione ha un significato fisico.
- ◆ M_w è calcolata normalmente solo per terremoti grandi. Più comunemente essa è derivata da altre magnitudo.
- ◆ però nemmeno M_w è indicatore diretto di a fini ingegneristici.

$M_w - m_b$

204 data, $\eta = 0.49$



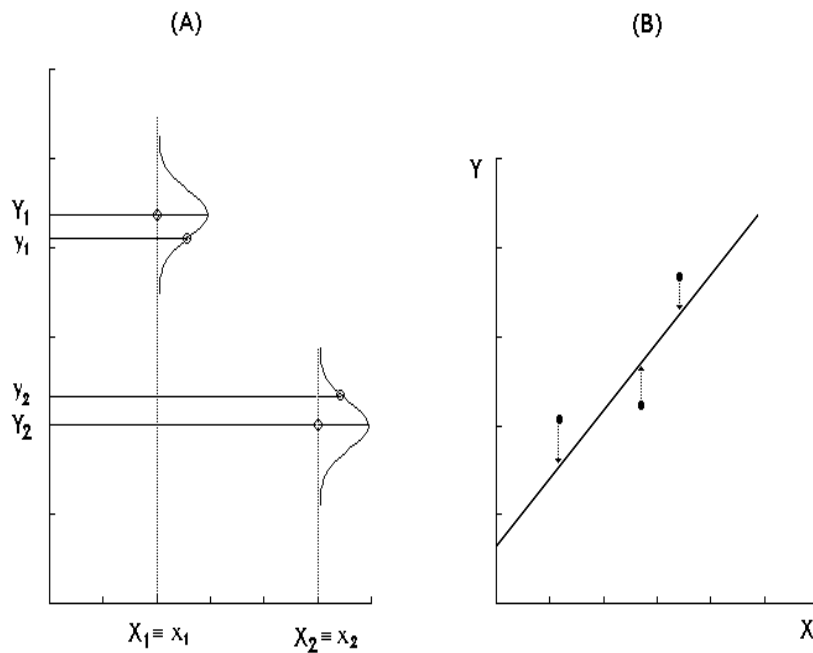
L'Aquila 2009: $M_w = 6.3$

Avezzano 1915: $M_w = 6.6$

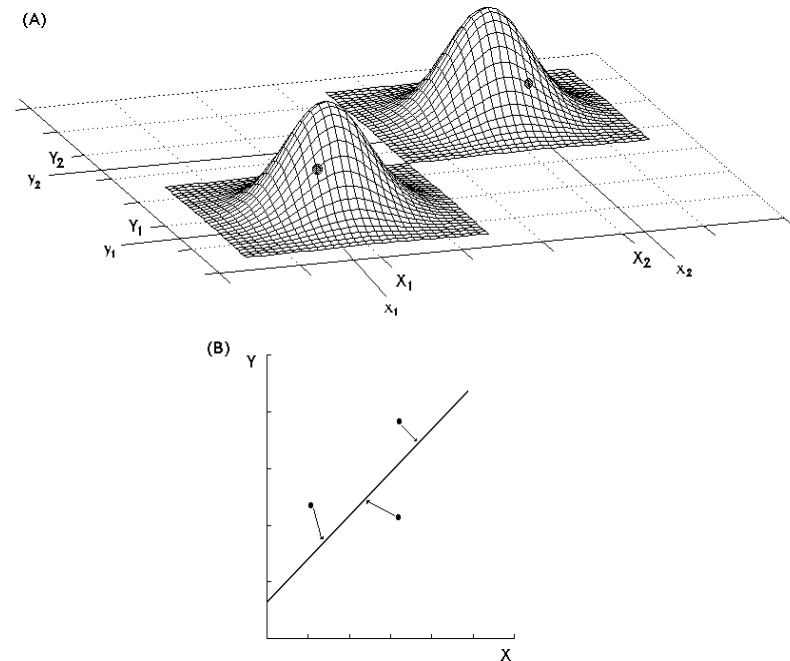
Qual è l'errore nella stima della magnitudo?

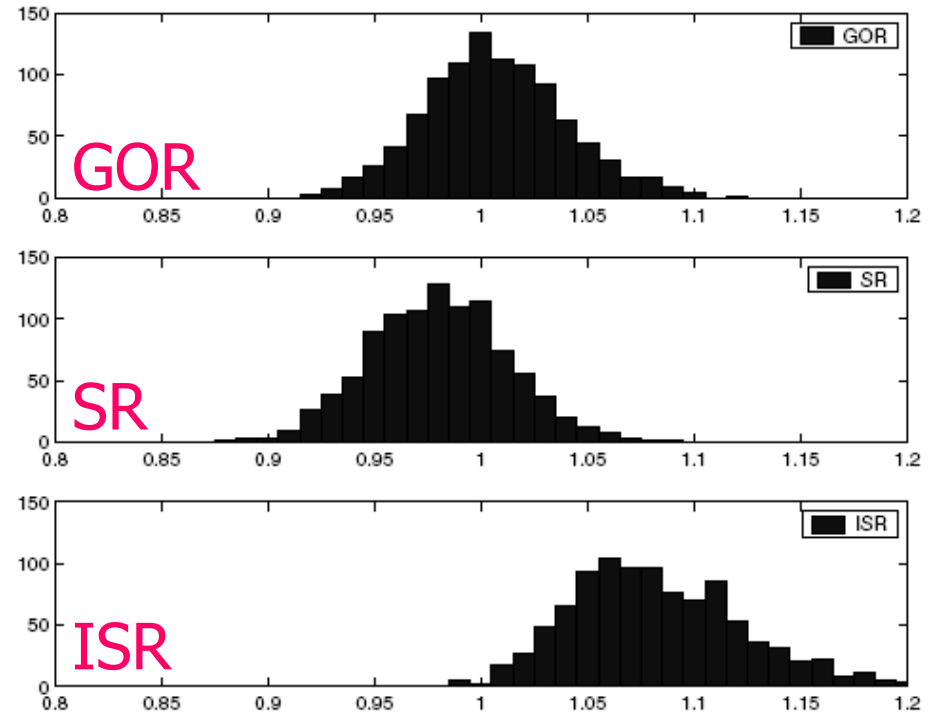
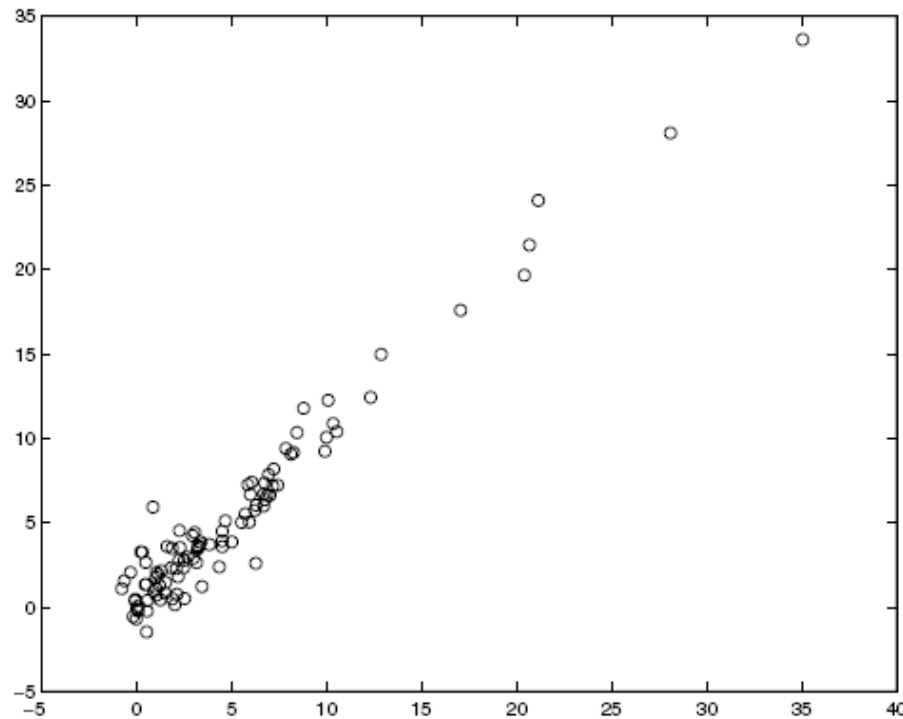
Se la magnitudo, es. M_w , è derivata da altre magnitudo, qual è la legge di conversione?

Regressione Lineare Standard



Altre regressioni





Esempio:

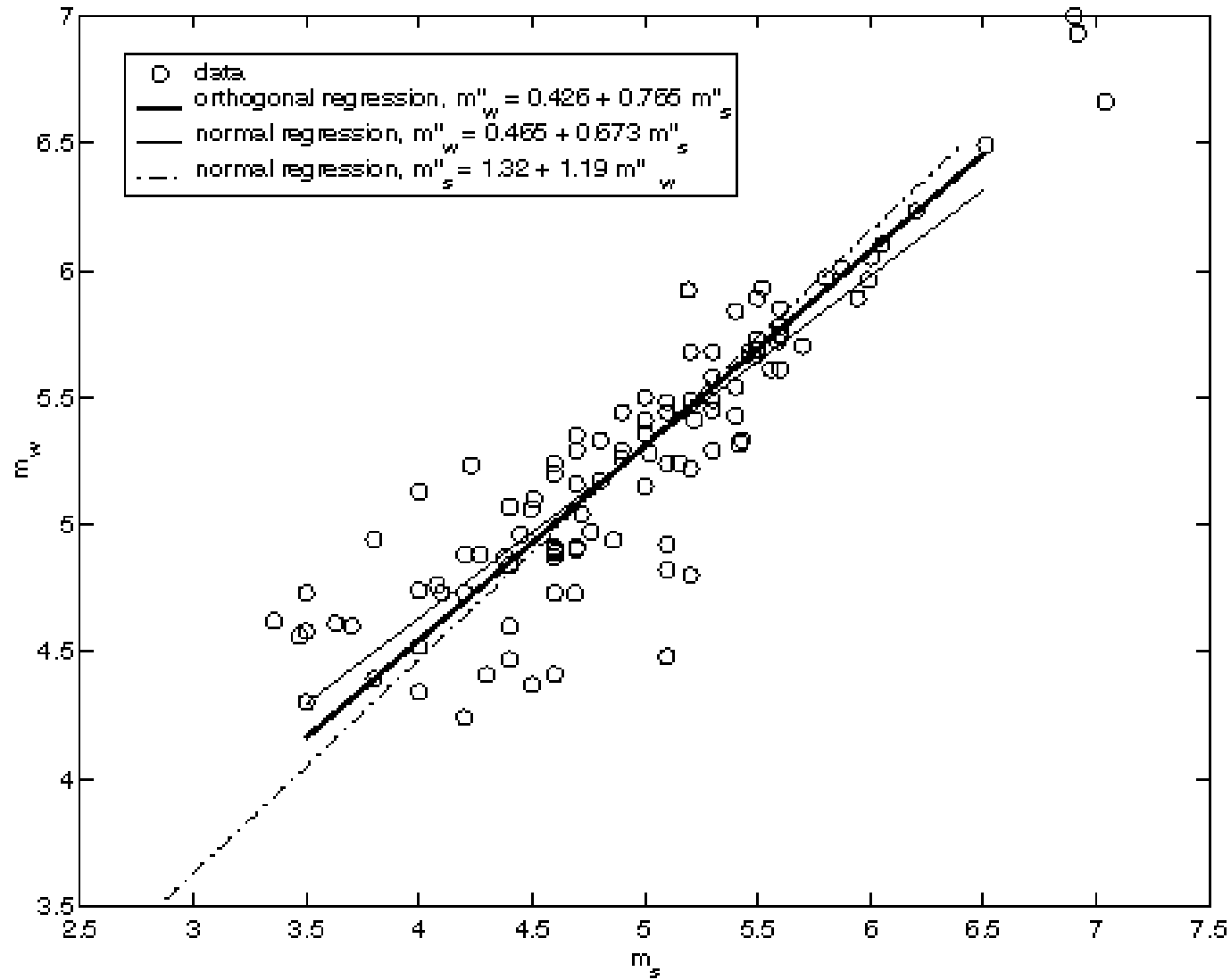
(X, Y) distribuite esponenzialmente,

Errori distribuiti esponenzialmente su X e Y ,

Pendenza vera $\beta = 1$.

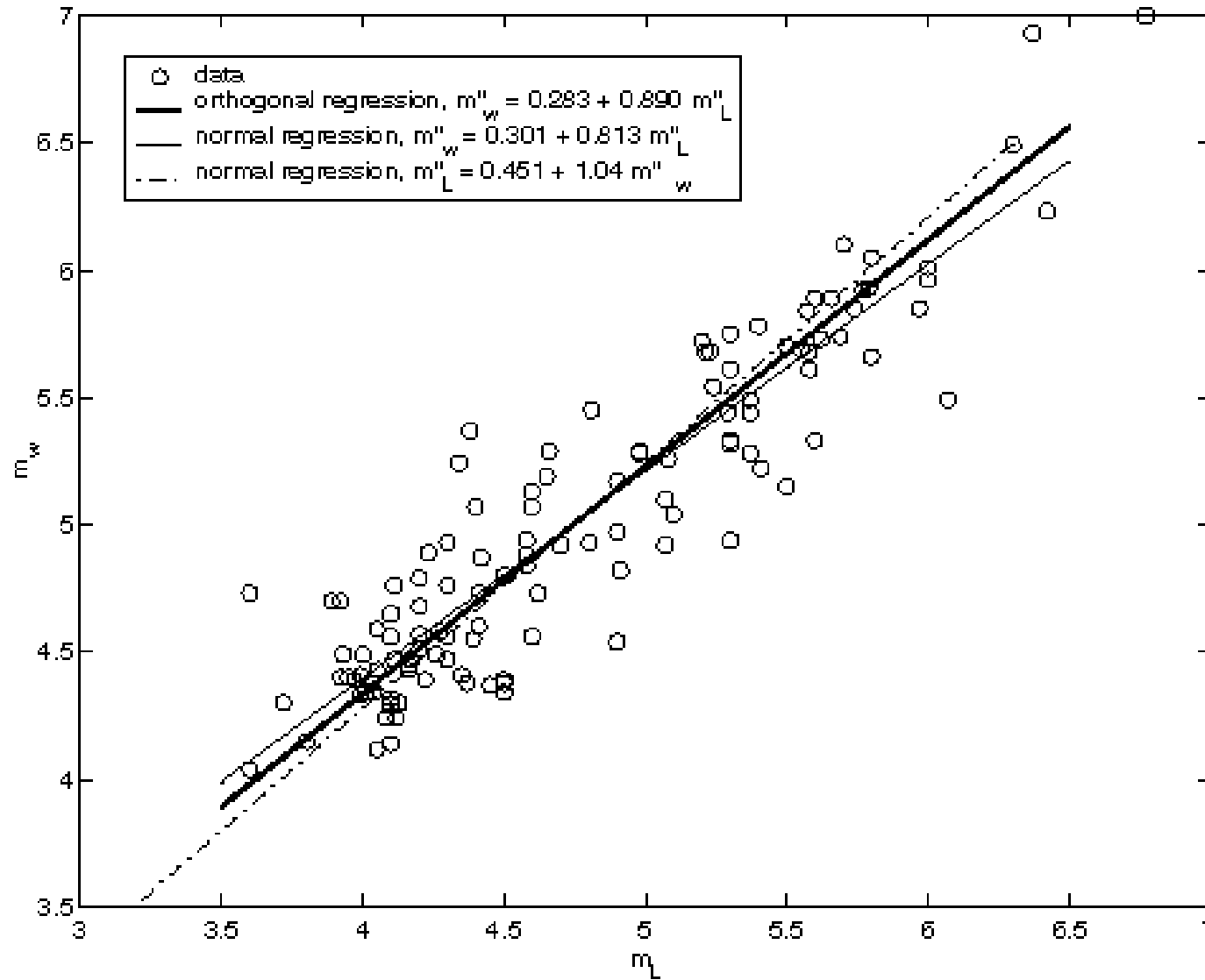
$M_w - m_s$

110 data, $\eta = 0.41$



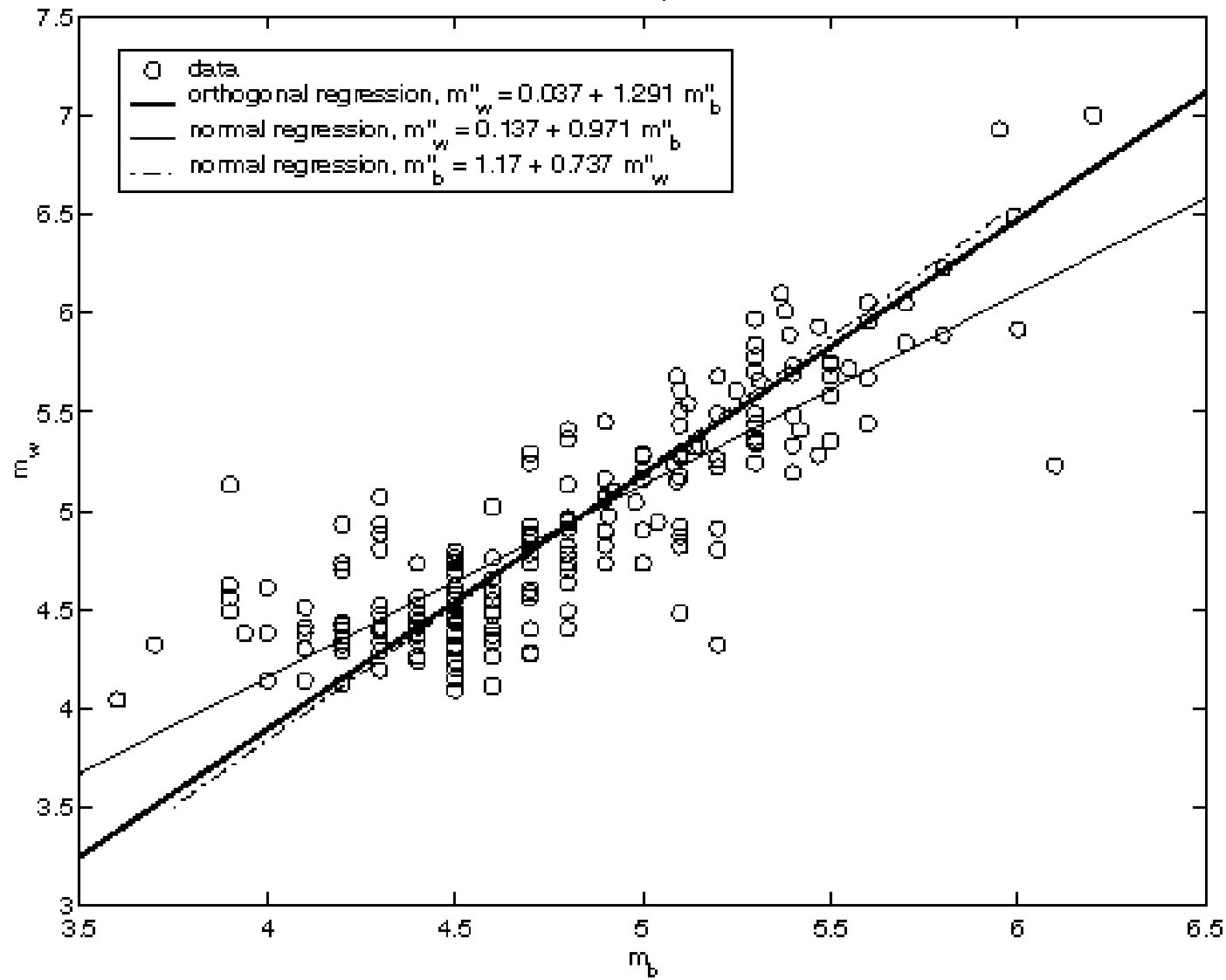
$M_w - m_L$

121 data, $\eta = 0.67$

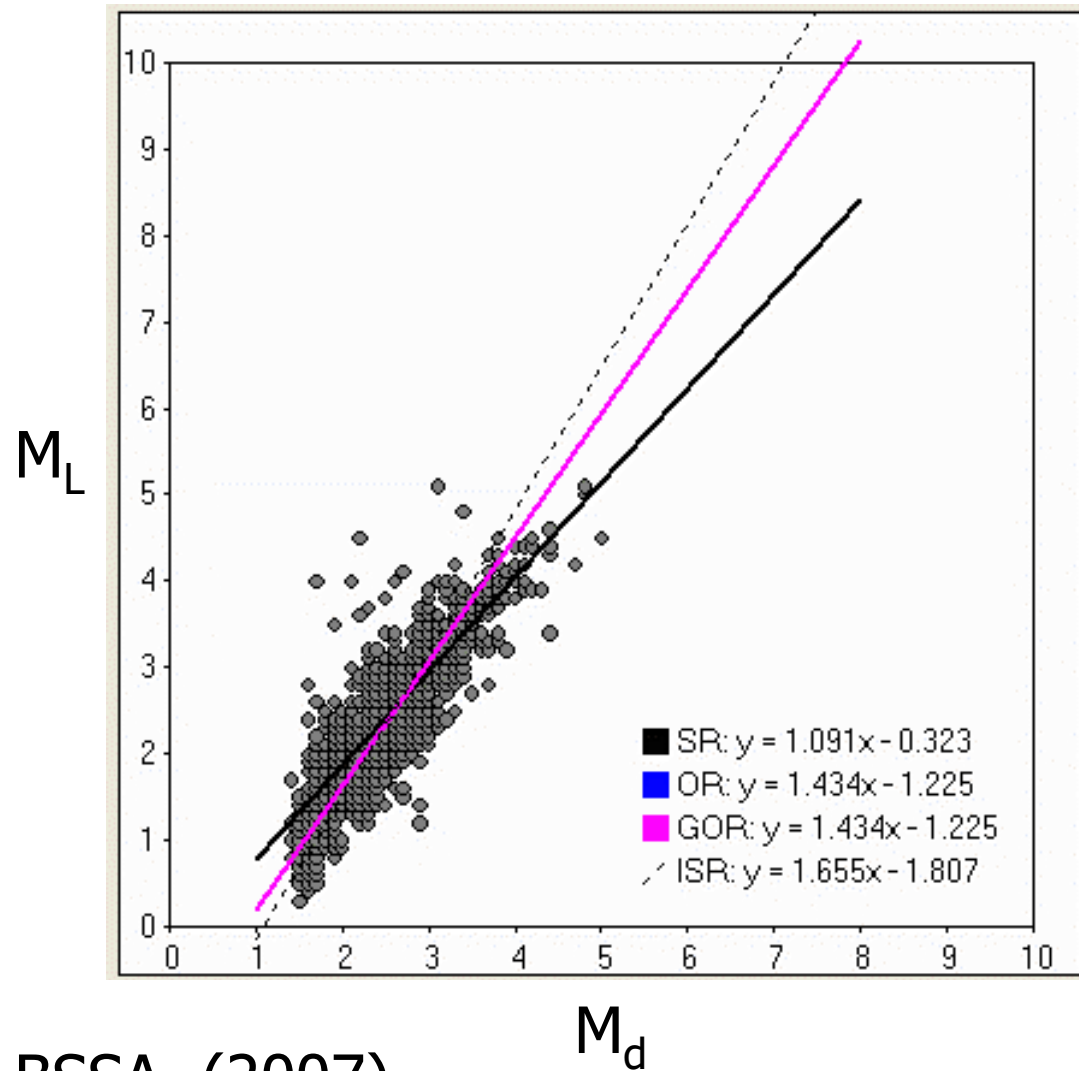


$M_w - m_b$

204 data, $\eta = 0.49$



- ◆ Tutti i cataloghi sismici ufficiali italiani e il 99% di quelli mondiali sono ancora basati sulla regressione standard
- ◆ Col risultato che le M_w sono solitamente sottostimate per grandi terremoti e sovrastimate per piccoli terremoti (normalmente di 0.2-0.4 unità)
- ◆ **CONSEGUENZA → NON ESISTONO MAGNITUDO CON 3 CIFRE SIGNIFICATIVE (es. 7.24). ACCONTENIAMOCI DI AVERNE 2 (es. 7.2) CHE SONO GIA' TANTE**



$SR: y = 1.091 \pm 0.021x - 0.323 \pm 0.057$
 $OR: y = 1.434 \pm 0.052x - 1.225 \pm 0.135$
 $GOR: y = 1.434 \pm 0.052x - 1.225 \pm 0.135$
 $ISR: y = 1.655 \pm 0.015x - 1.807 \pm 0.042$

← BSSA, (2007)

← Risultato più corretto

Ora, se abbiamo questi problemi
solo con la stima della magnitudo,
immaginate cosa succede quando
da magnitudo passiamo a PGA...

$$\log \text{PGA} = a + bM + c \log R$$
$$\log_{10} \text{PGA} = -1.4 + 0.3M - 0.7 \log_{10} R$$

Secondo la formula di propagazione degli errori, un errore di ± 0.2 m.u. si traduce in un errore *minimo* di $\text{PGA} = \pm 0.04$ g nel caso più favorevole ($R=0$, $M=6$).

Un errore di ± 0.4 m.u. si traduce in un errore di $\text{PGA} = \pm 0.07$ g nel caso più favorevole.

E le NTC (2008) introducono PGA con 3 cifre significative (es. 0.226 g) ☹

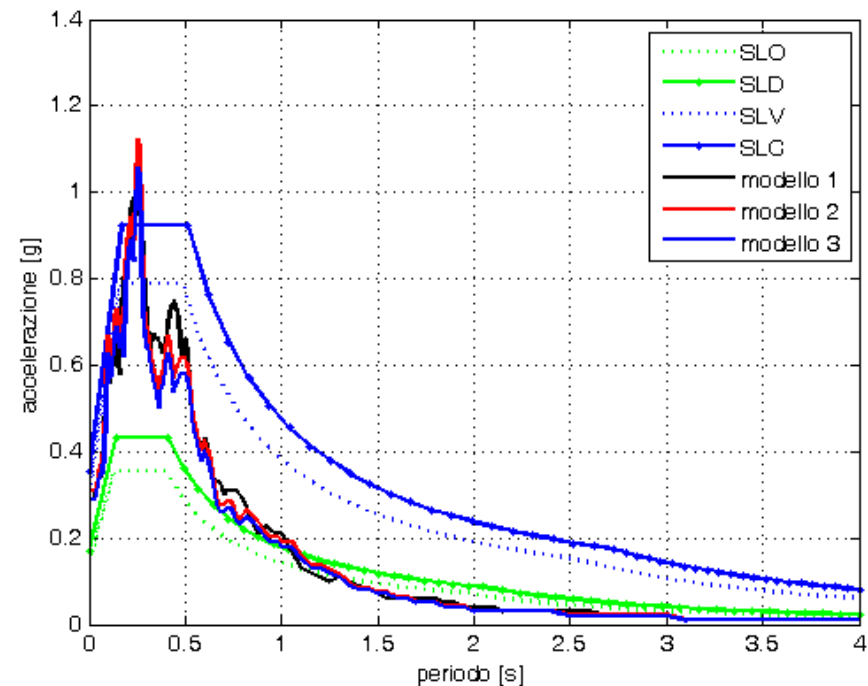
**Che cosa davvero vogliamo sapere
per progettare strutture antisismiche?**

Da quando è stata riconosciuta l'importanza degli effetti di sito (tardi anni '80)

AMPLIFICAZIONE LEGATA ALLA STRATIGRAFIA
AMPLIFICAZIONE LEGATA ALLA MORFOLOGIA/TOPOGRAFIA

ciò che al progettista serve sapere è la **funzione di trasferimento del sito**, ossia come il moto al bedrock si trasferisce in superficie.

In altri termini il progettista vuole sapere a quale accelerazione (o velocità o spostamento) la struttura sarà sottoposta alle diverse frequenze.



Calcolare la **funzione di trasferimento** è un'operazione complessa perché richiede la conoscenza di moltissimi parametri

Spessori,

V_S ,

Densità,

Smorzamenti,

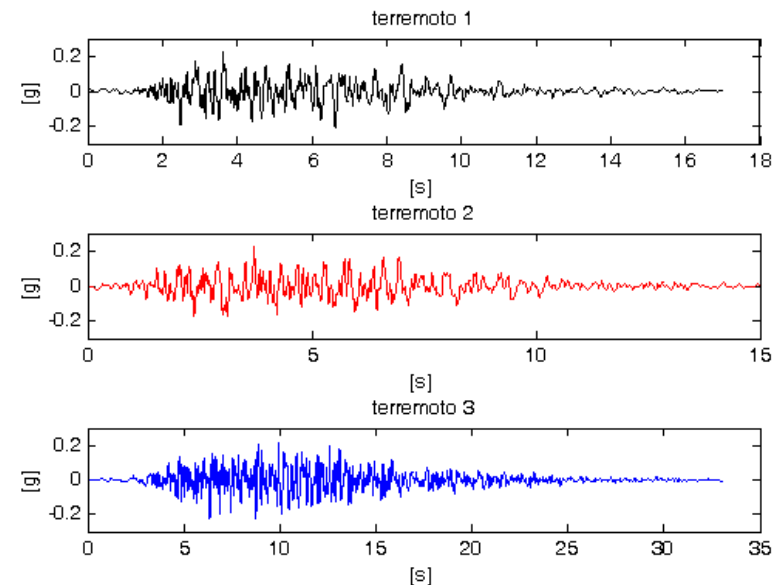
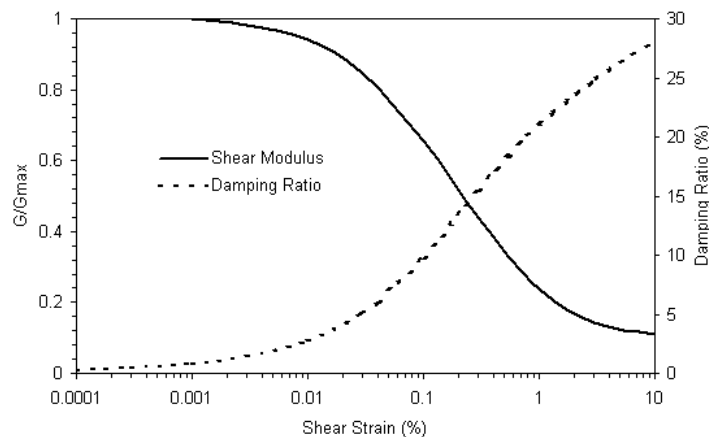
Tavola d'acqua,

Moto di input,

...

Layer Number	Soil Material Type	Number of sublayers in layer	Thickness of layer (m)	Maximum shear modulus G_{max} (MPa)	Initial critical damping ratio (%)	Total unit weight (kN/m^3)	Shear wave velocity (m/sec)	Location and type of earthquake input motion	Location of water table	Depth at middle of layer (m)	Vertical effective stress (kPa)
1	1		2.5	94.24		20.00	215			1.3	25.00
2	4		4.5	91.63		20.00	212		W	4.8	95.00
3	4		1.5	98.67		20.00	220			7.8	147.64
4	4		7.3	103.21		20.00	225			12.1	192.48
5	3		3.5	123.85		22.00	235			17.5	251.00
6	4		10.7	112.59		20.00	235			24.6	326.85
7	4		13.8	127.42		20.00	250			36.9	451.68
8	4		13.8	326.1977234		20.00	400			50.7	592.302979
9	4		13.8	616.7175903		20.00	550			64.5	732.924988
10	4		23.6	616.7175903		20.00	550			83.2	923.477966
11	0			1436.54	1	22.02	800	Inside		95.0	1043.72

E fino a che profondità?



Giocando un po' con
formule
ultrasemplicate

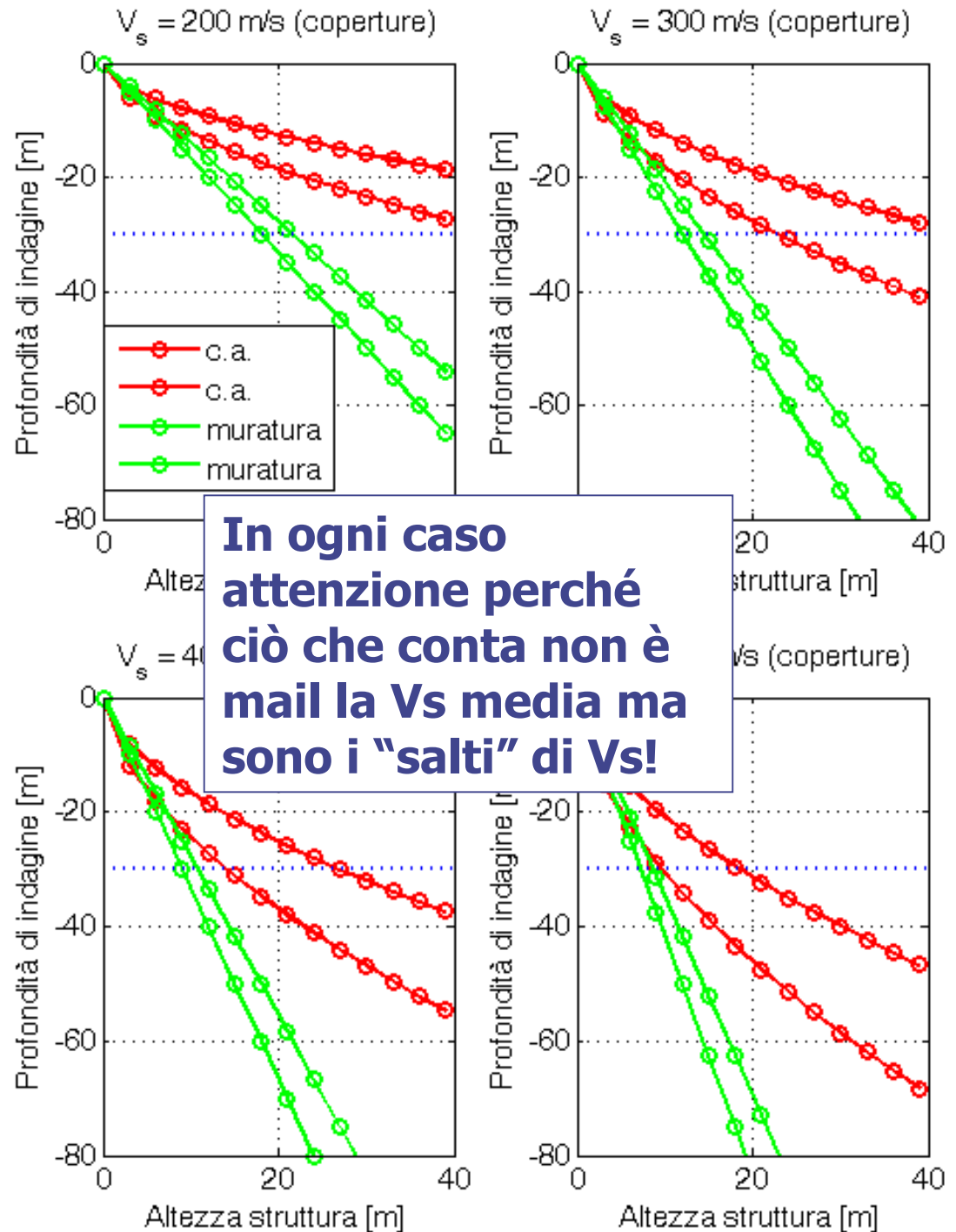
RISONANZA TERRENI

$$f = \frac{V}{4 H}$$

MODI PROPRI STRUTTURE

$$f = (10-12) / N$$

Otteniamo le
profondità indicate a
fianco



Ricordiamo poi che per ogni strato e per ogni parametro, gli errori sperimentali di misura si **sommano**

*Siano x, y, \dots, w misurati con incertezze indipendenti tra loro e casuali $\delta x, \delta y, \dots, \delta w$
 $z(x, y, \dots, w)$, allora l'errore su z è dato da*

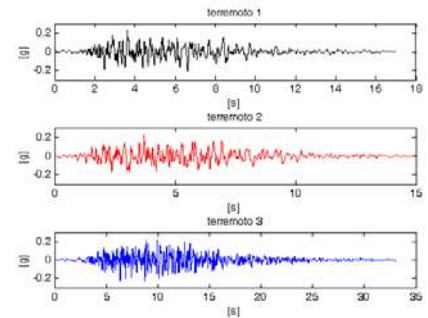
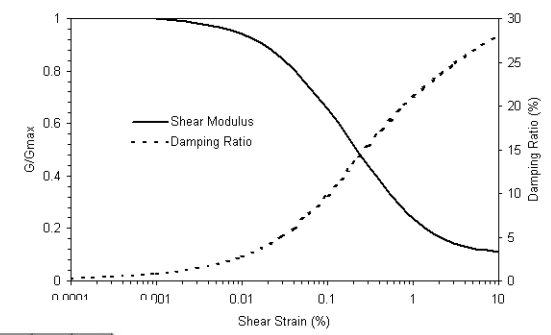
$$\delta z = \sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial x} \delta x\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y} \delta y\right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial z}{\partial w} \delta w\right)^2}$$

In ogni caso esso è limitato superiormente dalla somma

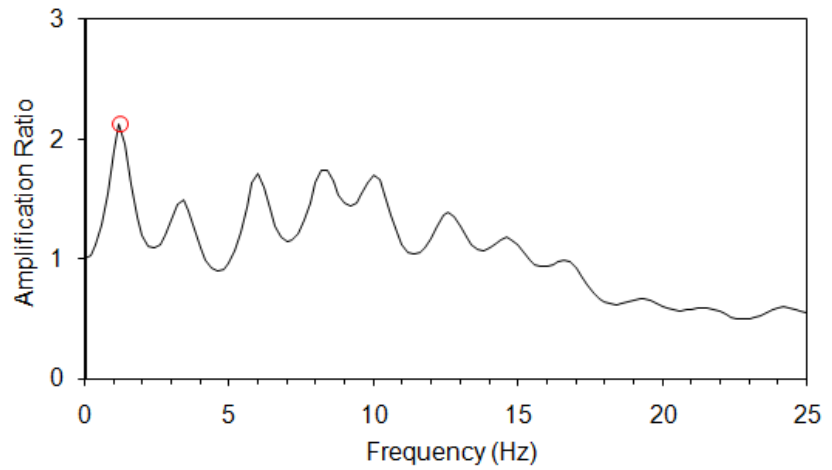
$$\delta z \leq \left|\frac{\partial z}{\partial x}\right| \delta x + \left|\frac{\partial z}{\partial y}\right| \delta y + \dots + \left|\frac{\partial z}{\partial w}\right| \delta w$$

Quindi partendo da un modello con cotante variabili

Layer Number	Soil Material Type	Number of sublayers in layer	Thickness of layer (m)	Maximum shear modulus G_{max} (MPa)	Initial critical damping ratio (%)	Total unit weight (kN/m ³)	Shear wave velocity (m/sec)	Location and type of earthquake input motion	Location of water table	Depth at middle of layer (m)	Vertical effective stress (kPa)
1	1		2.5	94.24		20.00	215			1.3	25.00
2	4		4.5	91.63		20.00	212		W	4.8	95.00
3	4		1.5	98.67		20.00	220			7.8	147.64
4	4		7.3	103.21		20.00	225			12.1	192.48
5	3		3.5	123.85		22.00	235			17.5	251.00
6	4		10.7	112.59		20.00	235			24.6	326.85
7	4		13.8	127.42		20.00	250			36.9	451.68
8	4		13.8	326.1977234		20.00	400			50.7	592.302979
9	4		13.8	616.7175903		20.00	550				
10	4		23.6	616.7175903		20.00	550				
11	0			1436.54	1	22.02	800	Inside			



Crediamo veramente alle funzioni di trasferimento che otteniamo?



Ne consegue che l'ideale sarebbe poter

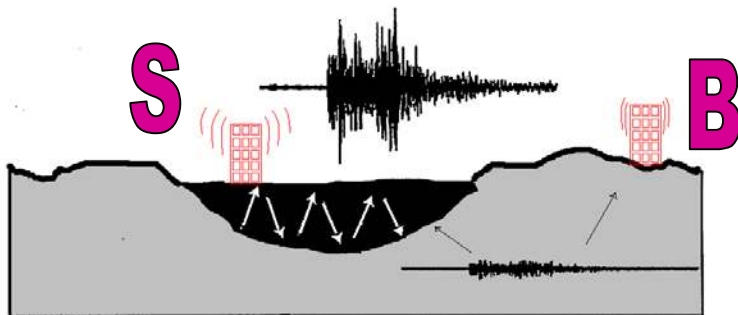
MISURARE

e non calcolare la funzione di trasferimento di sito.

In sismologia si fa così.

Come si misura l'amplificazione di un sito rispetto ad un terremoto dato?

METODO DEL SITO DI RIFERIMENTO

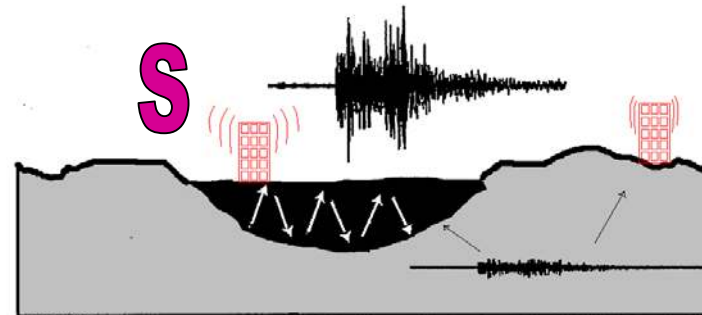


$$F_a = H_{\text{sito}} / H_{\text{bedrock}}$$

SVANTAGGI:

- E' necessario un sito in roccia vicino
- Due stazioni in registrazione sincrona
- Quanto sono ripetibili le funzioni così ottenute da terremoti diversi?

H/V DEL TERREMOTO



$$F_a = H_{\text{sito}} / V_{\text{sito}}$$

- Usa la V come fattore di normalizzazione per gli effetti di sorgente
- Necessita di una sola stazione
- Quanto sono ripetibili le funzioni così ottenute da terremoti diversi?

L'ideale sarebbe poterla misurare
anche quando il terremoto **non** c'è.

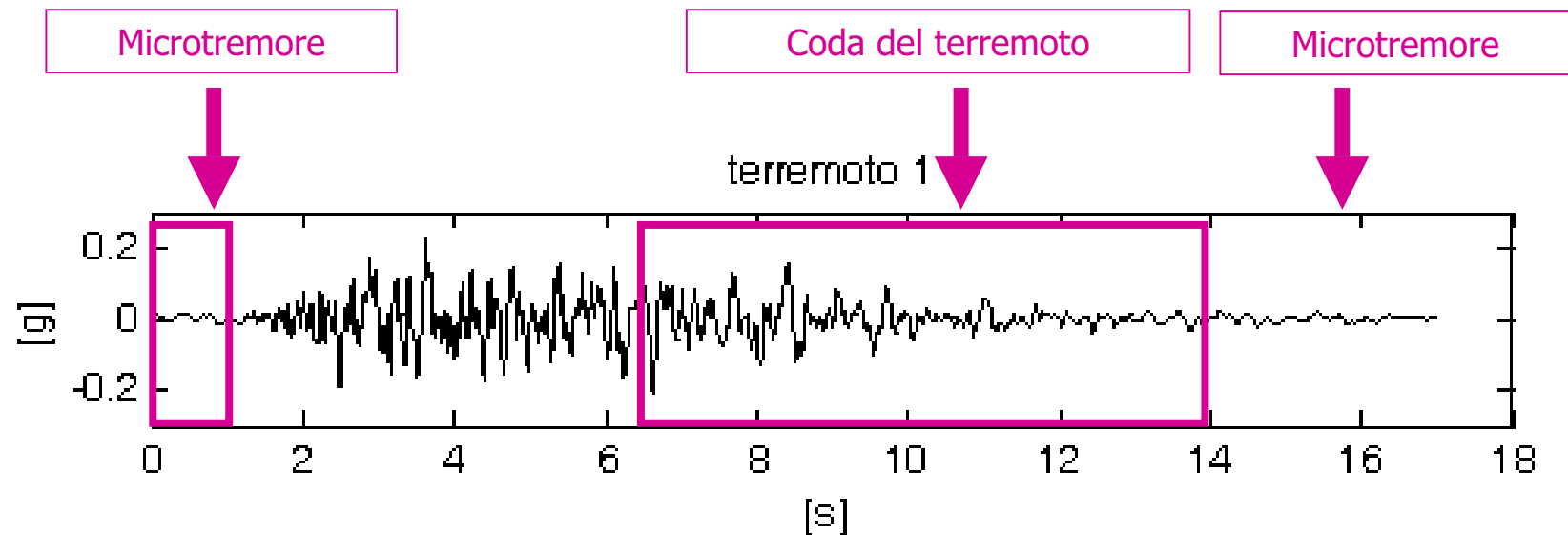
Per questo sono nate le tecniche basate sui microtremori.

**Ma l'H/V del microtremore
somiglia all'H/V del terremoto?**

Su questo argomento si è detto tutto e il contrario di tutto.

H/V di microtremore e H/V di terremoto possono differire essenzialmente in ragione di:

- 1) Le fasi del sismogramma su cui si calcola l'H/V del terremoto,
- 2) La distanza della stazione sismica impiegata dall'epicentro,
- 3) Interazione suolo-struttura presso le stazioni di misura.

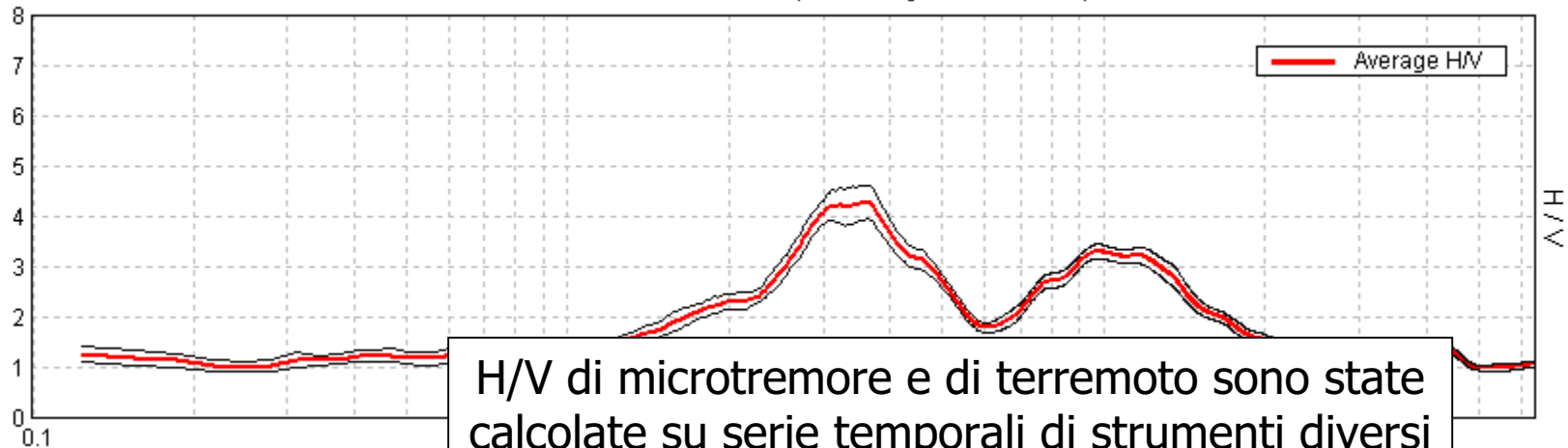


La letteratura internazionale straripa di confronti H/V terremoto vs. H/V microtremore e nei casi in cui non c'è coincidenza c'è anche una spiegazione.

In ogni caso la non coincidenza non riguarda mai le frequenze di amplificazione ma eventualmente solo le ampiezze.

ESEMPIO: L'AQUILA

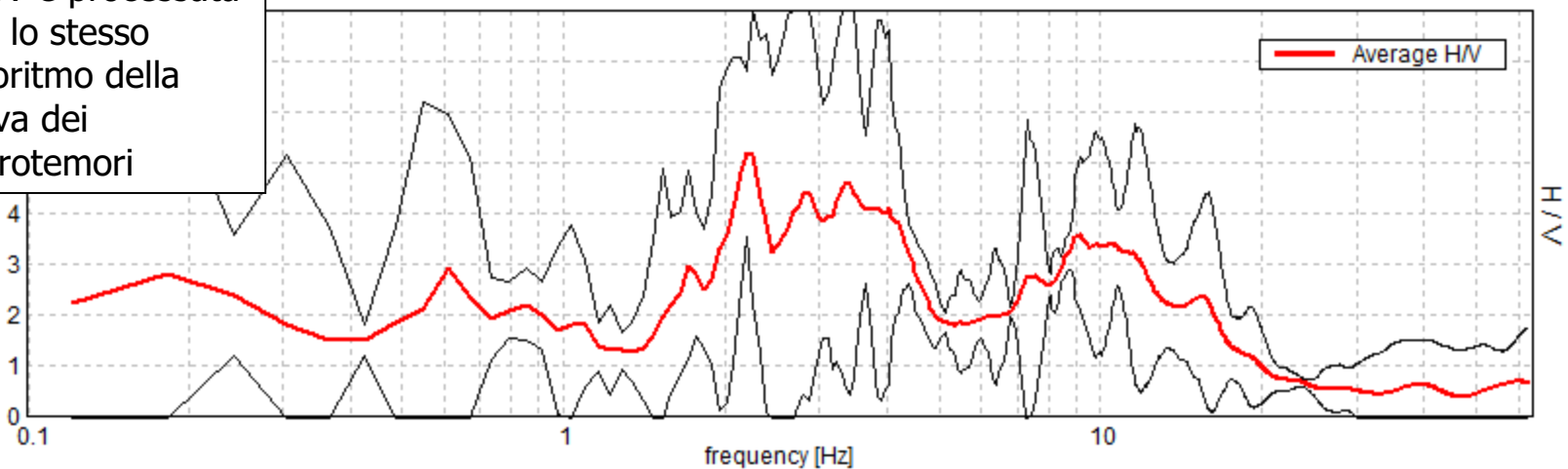
H/V da microtremore



H/V di microtremore e di terremoto sono state calcolate su serie temporali di strumenti diversi e misurate da operatori diversi.

Qui la identità statistica delle curve è palese.

Serie temporale ottenuta dal sito INGV e processata con lo stesso algoritmo della curva dei microtemori



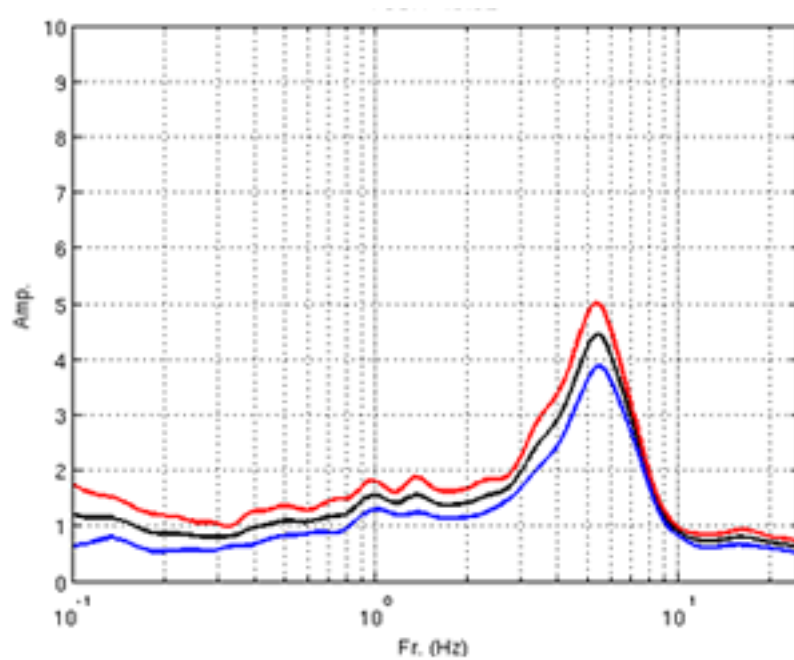
**NESSUN DATO ANDREBBE PRESENTATO PRIVO
DI DEVIAZIONE STANDARD**
(o altri parametri di deviazione)

Nessun confronto statistico/scientifico può essere fatto in mancanza di una stima della deviazione del dato.

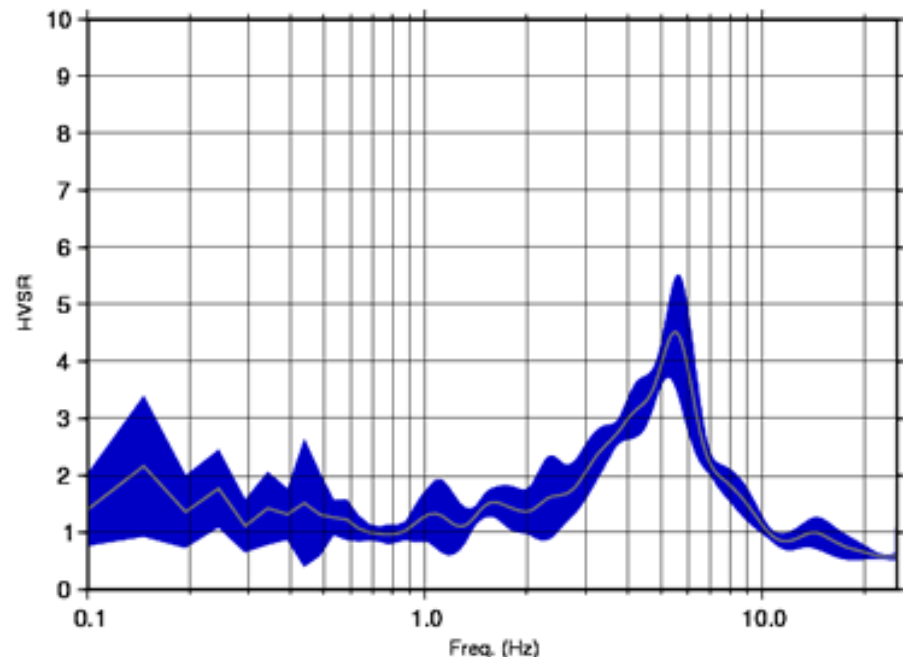
Putroppo la letteratura è piena di casi così.

ESEMPIO DALLA RETE ACCELEROMETRICA ITALIANA: VOBARNO (BS)

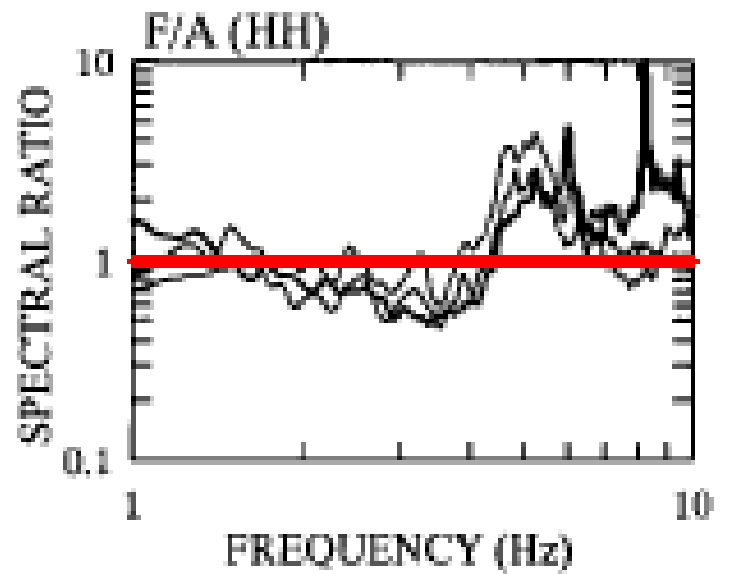
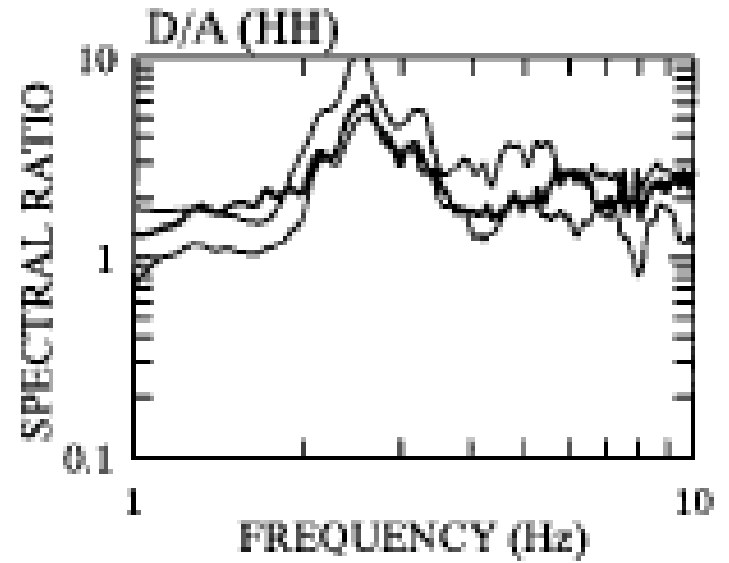
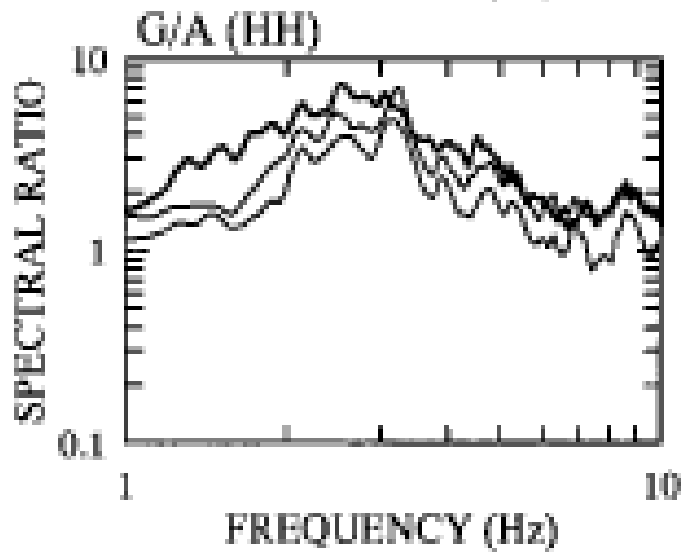
H/V da microtremore



H/V da terremoto (10 s dopo la fase S, media su diversi terremoti)

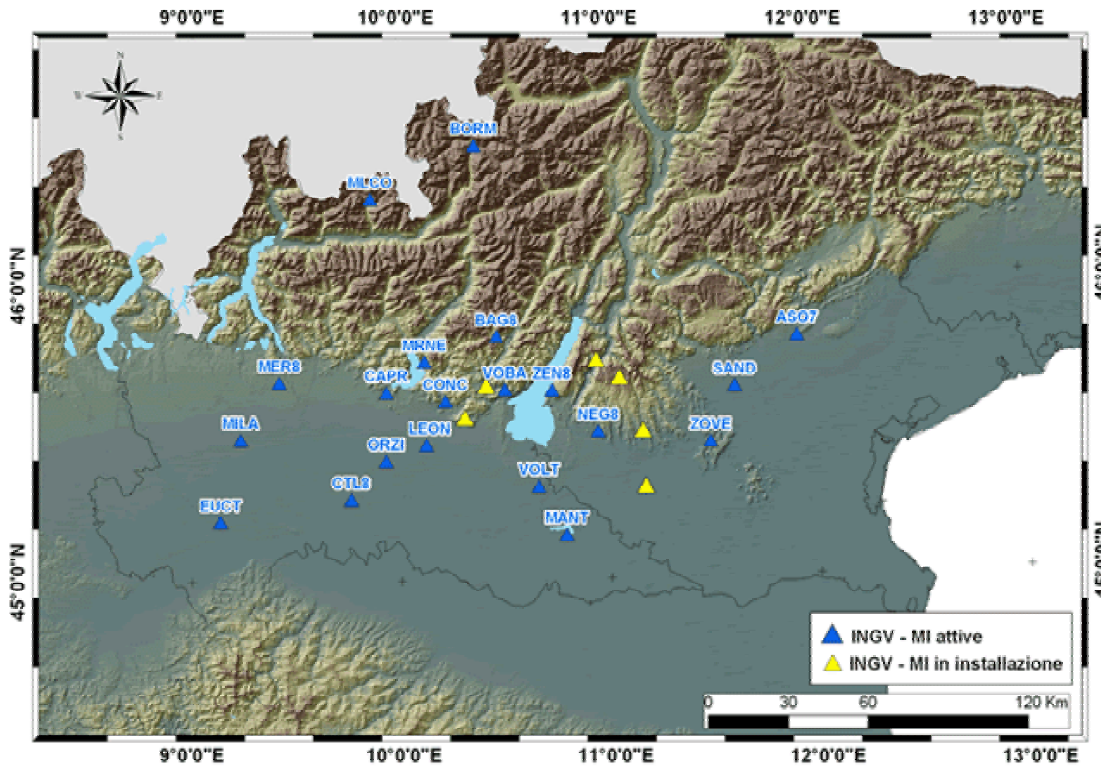


ESEMPI DAL GIAPPONE
H/H da microtremore (grassetto)
H/H terremoto (sottile)



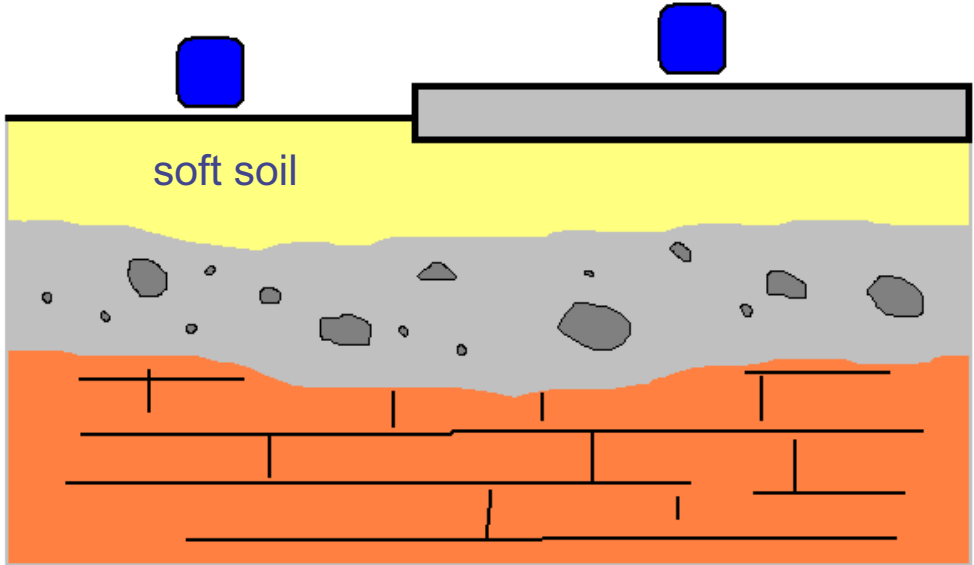
A VOLTE IN TERMINI DI AMPIEZZA LE COSE POSSONO NON COINCIDERE

- 1) su specifiche fasi del sismogramma su cui si calcola l'H/V del terremoto,
- 2) a brevi distanze dall'epicentro,
- 3) a causa dell'interazione suolo-struttura presso le stazioni di misura.



LA NUOVA RETE
ACCELEROMETRICA
ITALIANA (in larga parte su
alluvioni)

REGISTRARE ONDE DI SUPERICIE
QUI O LI' NON E' AFFATTO LA
STESSA COSA, anche se solo a 1 m
di distanza!



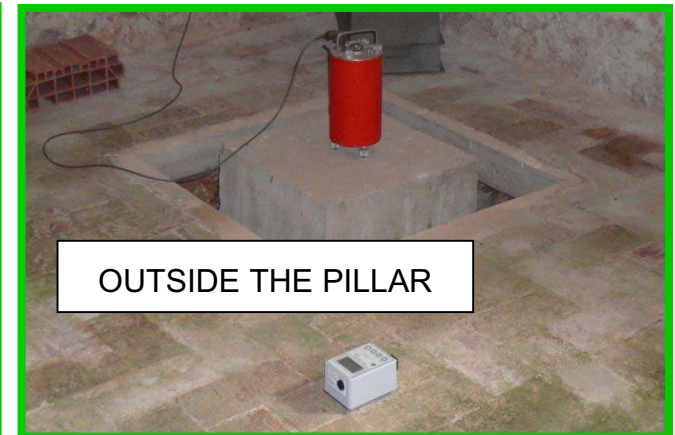
ESEMPI DI
INSTALLAZIONE DI
STAZIONI SISMICHE
SU TERRENI TENERI



FREE-FIELD



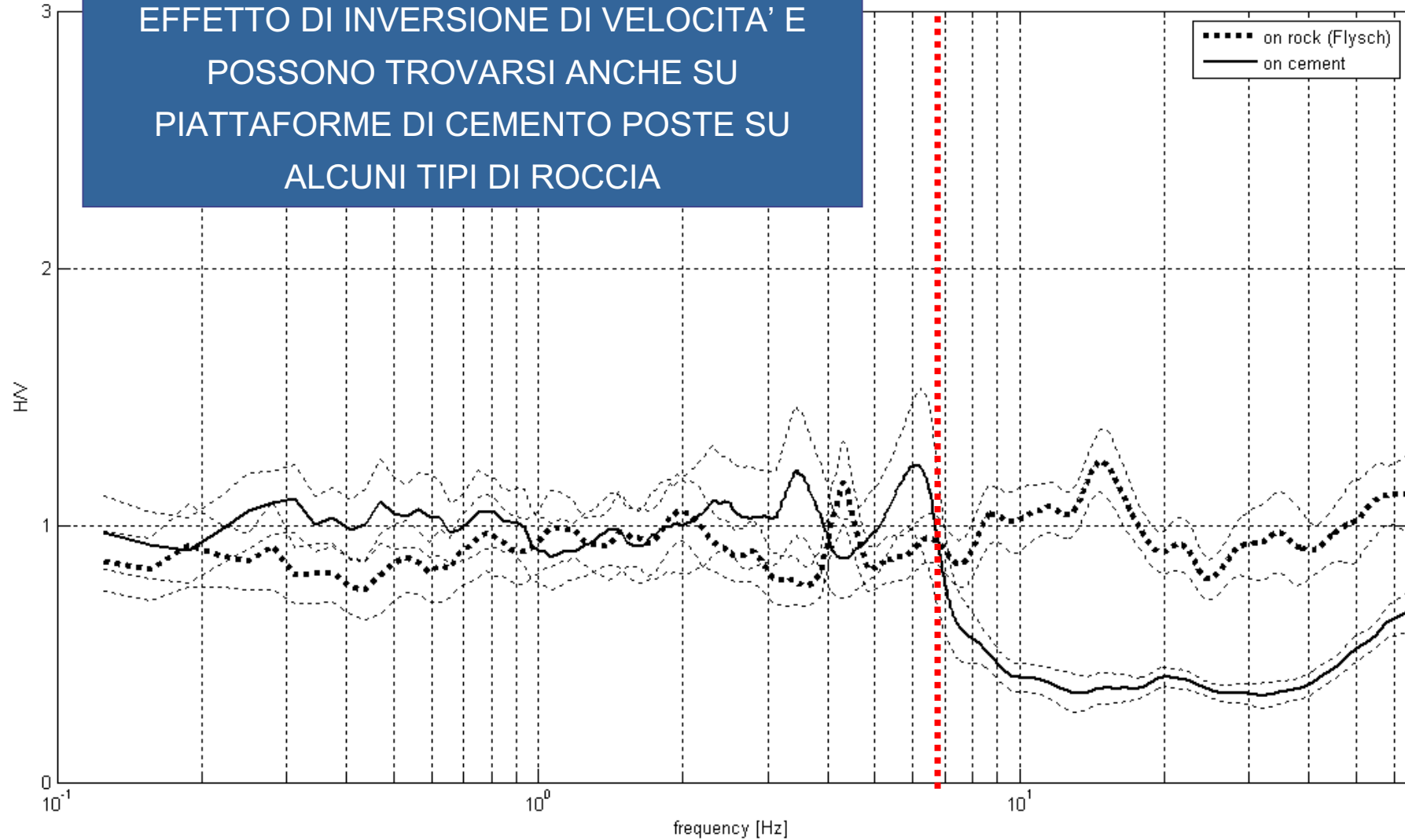
ON THE PILLAR



OUTSIDE THE PILLAR

Su roccia

H/V < 1 IN MEDIO-ALTA FREQUENZA SONO EFFETTO DI INVERSIONE DI VELOCITA' E POSSONO TROVARSI ANCHE SU PIATTAFORME DI CEMENTO POSTE SU ALCUNI TIPI DI ROCCIA

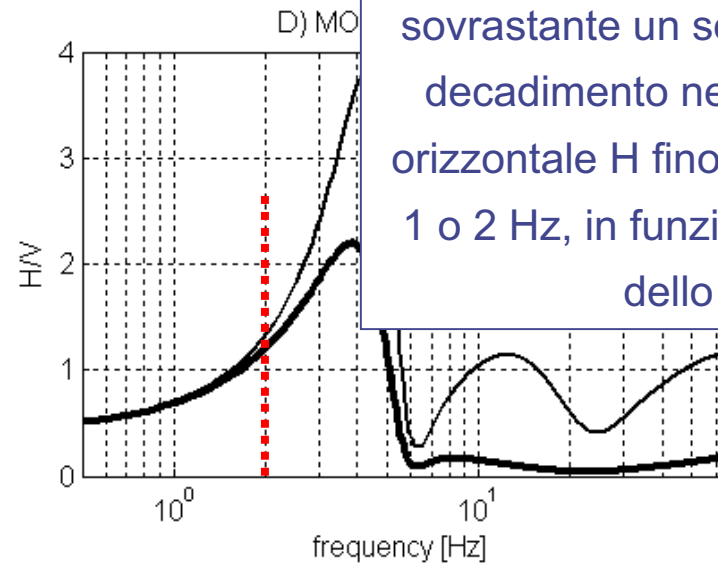
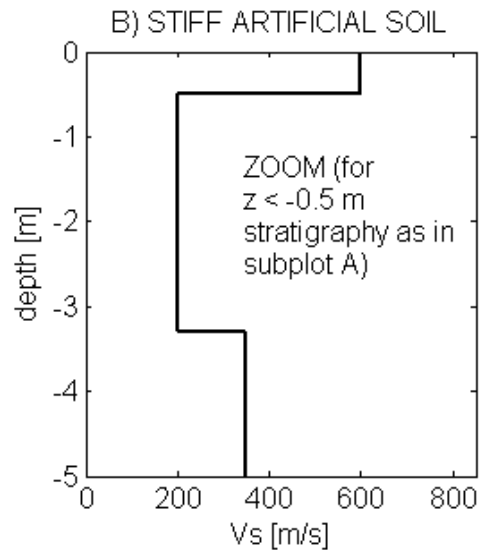
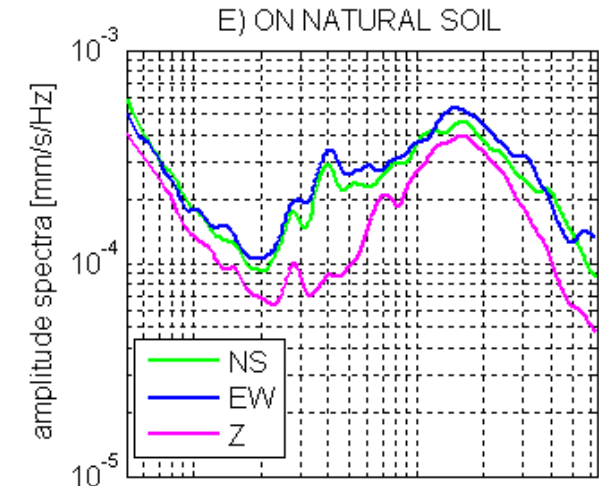
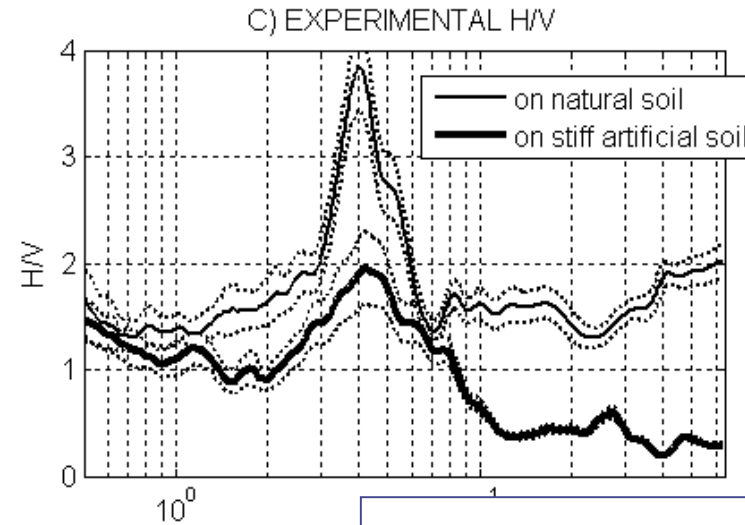
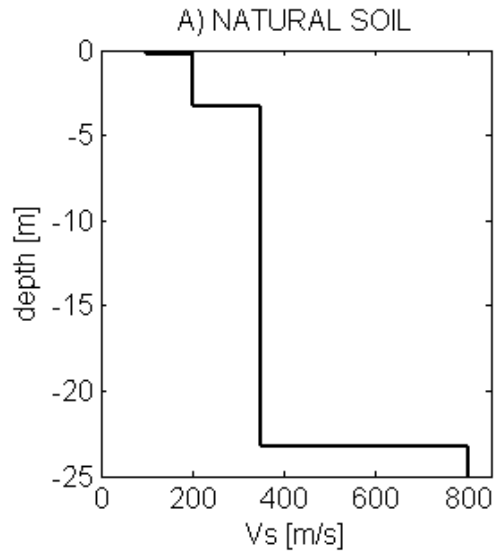


GRAVEL

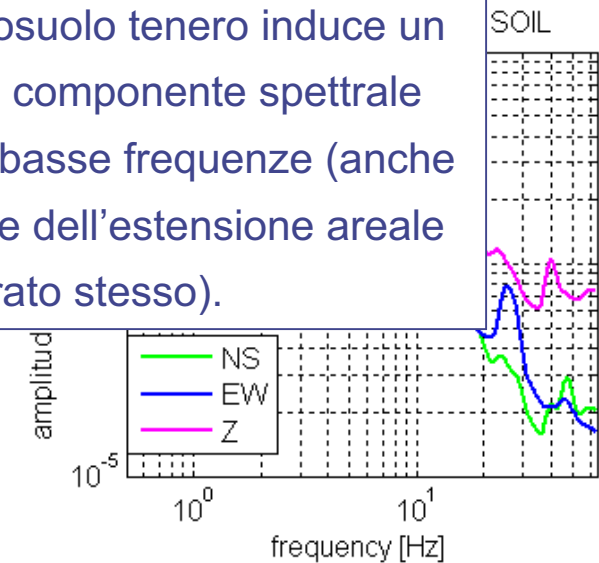
LIMESTONE

Esempio

SCHOOL COURTYARD



Uno suolo artificiale rigido (pavimento) sovrastante un sottosuolo tenero induce un decadimento nella componente spettrale orizzontale H fino a basse frequenze (anche 1 o 2 Hz, in funzione dell'estensione areale dello strato stesso).

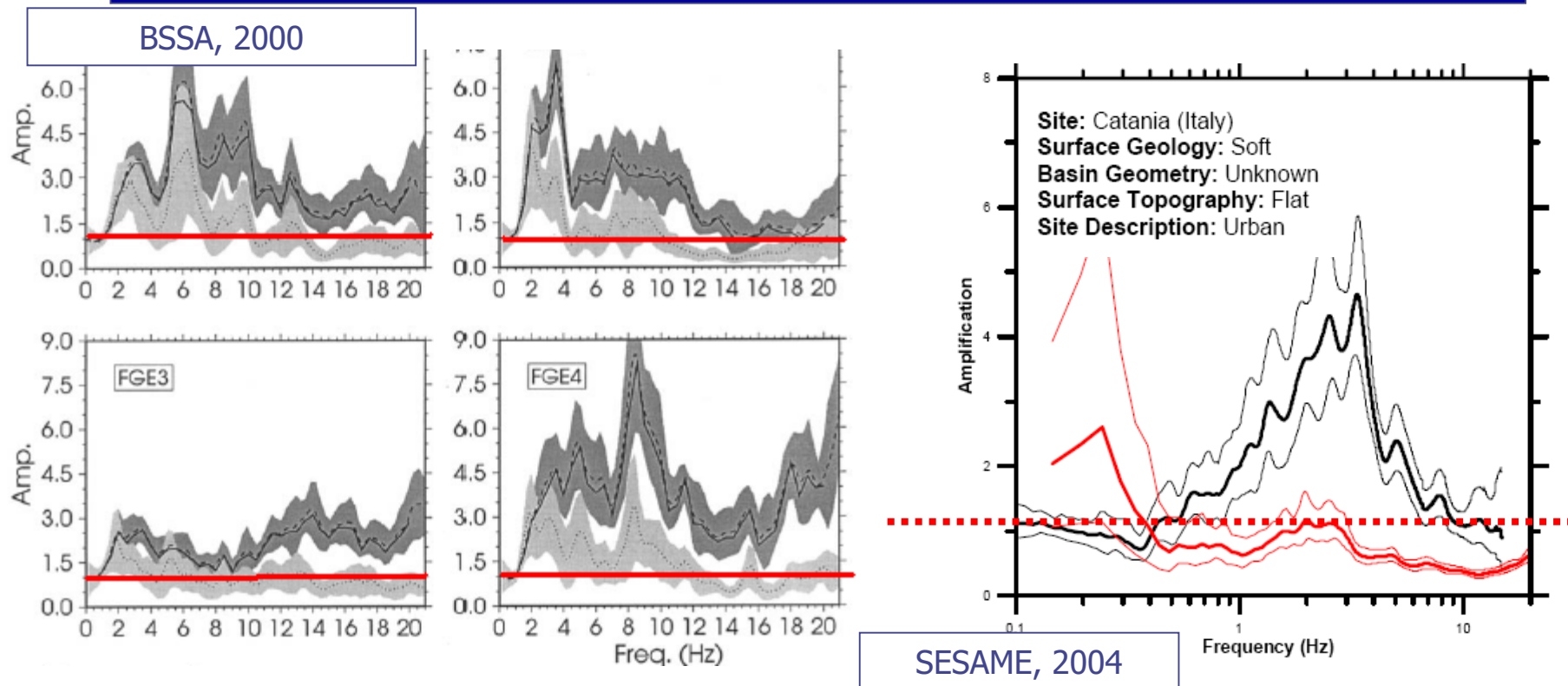


Per cui differenze di ampiezza come quelle sottostanti non stupiscono affatto. Talvolta sono legate a semplici artefatti di misura.

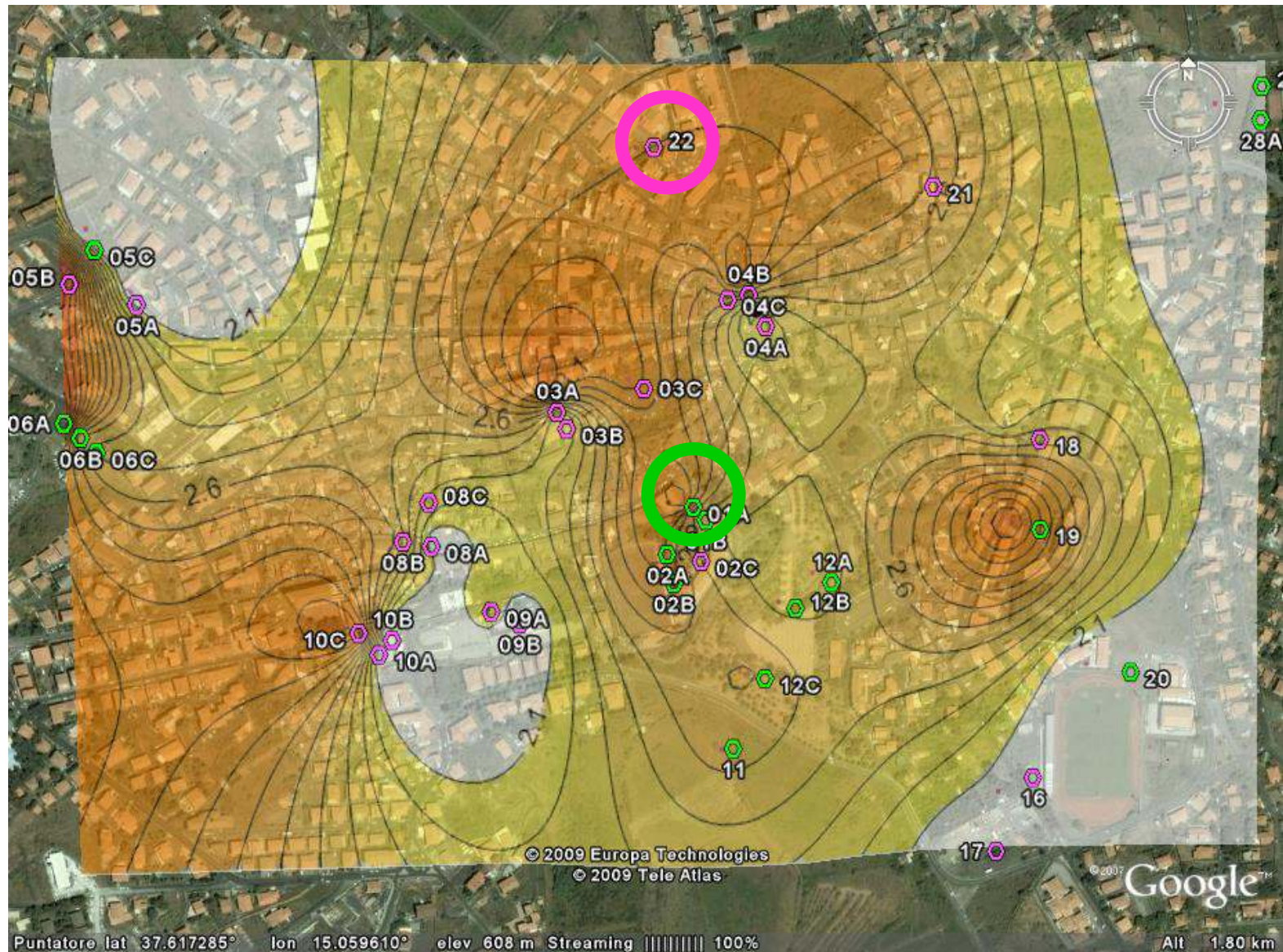
H/V di microtremore,

H/V di terremoto,

Tecnica di riferimento $H_{\text{sito}}/H_{\text{bedrock}}$ devono considerare l'interazione suolo-struttura e in particolare la depressionione delle componenti orizzontali indotta dai suoli artificiali rigidi a frequenze > 1 Hz.



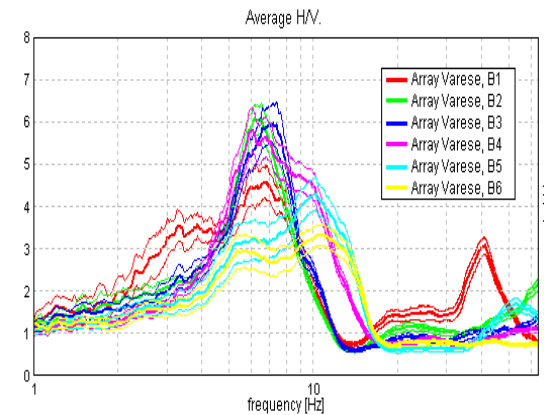
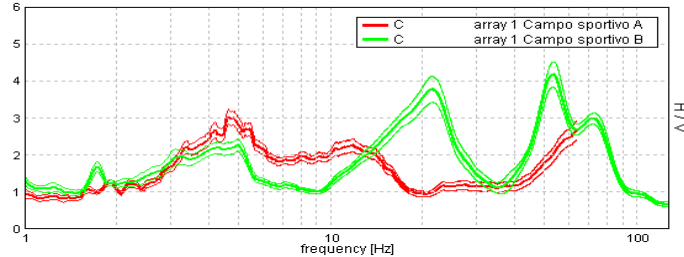
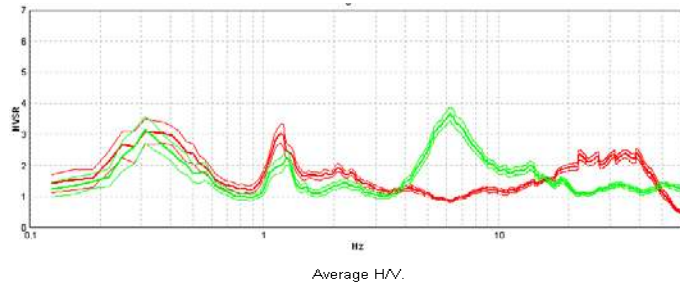
Per cui va sempre rigorosamente segnalato se avete effettuato misure con tecniche passive su suoli artificiali rigidi o meno



PER QUANTO ATTRAENTI, ATTENZIONE ESTREMA ALL'IMPIEGO DI MAPPE SIMILI:

- 1) Sono necessariamente figlie del campionamento spaziale,
- 2) Gli effetti di sito vanno misurati in sito. Possono differire pesantemente anche nell'arco di pochi metri.

$0.6 < f < 10$



$2 < f < 10$ Hz

$10 < f < 30$ Hz

**Come pianificare le indagini per la
caratterizzazione della risposta sismica di sito?**

PREDEFINITA
DALLA LEGGE

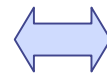
PERICOLOSITA'
SISMICA



SCALA NAZIONALE

PREDEFINITA
DALLA LEGGE.
ESISTE SOLO UN
PICCOLO
MARGINE DI
AZIONE PER I
GEOLOGI
(RICLASSIFICAZ.
COMUNALI)

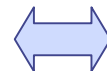
ZONAZIONE SISMICA



SCALA COMUNALE

CAMPO DI AZIONE PER I GEOLOGI

DEFINIZIONE EFFETTI
DI SITO



SCALA LOCALE

Frequenza/Periodo fondamentale di risonanza

Rigidità del terreno

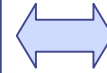
Fattore amplificazione

Spettro di risposta elastico

Liquefacibilità

PREDEFINITA
DALLA LEGGE

PERICOLOSITA'
SISMICA



SCALA NAZIONALE

❖ Non è compito del singolo geologo né dell'ingegnere stabilirla perché è un argomento molto complesso, che richiede la conoscenza

CATALOGO
SISMICO

CATALOGO DEI
MECCANISMI FOCALI

PALEOSISMOLOGIA E
ZONAZIONE
SISMOGENETICA

LEGGI DI
ATTENUAZIONE
(Sabetta e Pugliese,,
Ambraseys, Albarello
et al. ecc.)

TRA I MOLTI METODI
E' PRASSI USARE
Cornell (1968), PER
SOLA CONVENINEZA,
POICHE'
L'APPROCCIO HA
SCARSE BASI
FISICHE

- della storia sismica d'Italia nei secoli o millenni,
- dei meccanismi focali dei terremoti,
- dell'assetto tettonico del Paese (faglie attive ecc.),
- delle leggi di attenuazione (come si attenua il moto del suolo a seconda della distanza dalla sorgente sismica?)
- di un modello (esiste?) di sismicità. Ricorrente? Casuale (Indipendente dal tempo)? Clusterizzata (Dipendente dal tempo)? Terremoto caratteristico? E infiniti altri.

DA COSA DIPENDE LA RISPOSTA SISMICA DI SITO ?



Rigidità del terreno

Frequenze di risonanza

Topografia / morfologia

Liquefacibilità

Parametri della sorgente sismica
(direzionalità, meccanismo...)

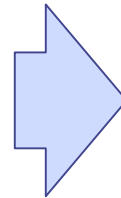
Fattori di attenuazione

ecc.

I parametri contemplati
dalla normativa sono



Rigidità del terreno



In modo MOLTO
APPROSSIMATIVO SOTTO
FORMA DI V_s30

Topografia

Liquefacibilità

TECNICHE DIRETTE

IN FORO

DOWN-HOLE

CROSS-HOLE

CONO SISMICO

Eccetera...

TECNICHE INDIRECTE

ATTIVE

SISMICA A RIFRAZIONE ONDE S

SASW, MASW

FTAN

Eccetera...

PASSIVE

SPAC, ESAC

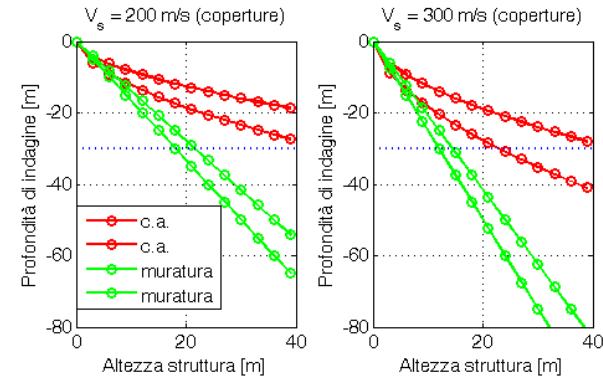
ReMi

H/V

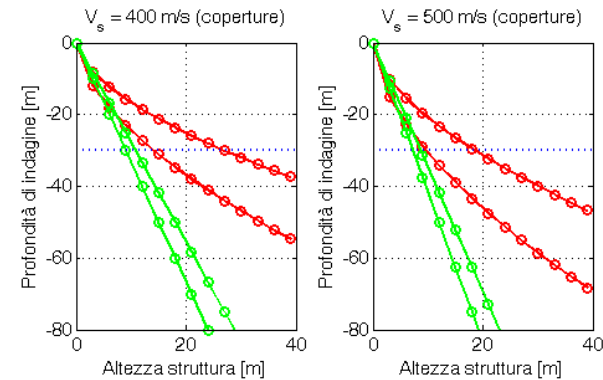
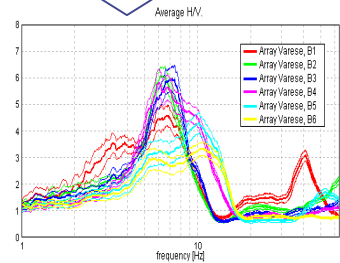
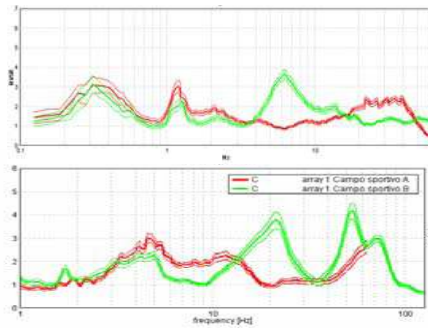
Eccetera...

Poiché siamo tutti d'accordo che:

1. 30 m possono essere pochi o troppi a seconda dell'opera e del terreno

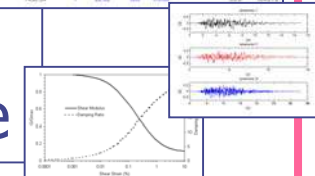


2. la geologia cambia anche a scala di pochi metri



3. i parametri di cui tener conto nei modelli sono tantissimi, ciascuno con un suo errore sperimentale

Layer Number	Soil Material Type	Thickness of layer [m]	Number of layers	Maximum shear modulus (kPa)	Initial shear modulus (kPa)	Damping ratio (%)	Total unit weight (kN/m³)	Shear wave velocity (m/sec)	Location and type of earthquake motion	Location of water table	Depth of stress level [m]	Vertical effective stress (kPa)
1	1	0.5	14.25	20.00	20.00	0.05	20.00	274		4.0	25.00	
2	4	4.5	14.25	20.00	20.00	0.05	20.00	274		4.0	25.00	
3	4	1.0	14.25	20.00	20.00	0.05	20.00	274		4.0	25.00	
4	4	7.5	14.25	20.00	20.00	0.05	20.00	274		4.0	25.00	
5	4	103.20	14.25	20.00	20.00	0.05	20.00	274		4.0	25.00	
6	4	103.80	14.25	20.00	20.00	0.05	20.00	274		4.0	25.00	
7	4	107.40	14.25	20.00	20.00	0.05	20.00	274		4.0	25.00	
8	4	112.00	14.25	20.00	20.00	0.05	20.00	274		4.0	25.00	
9	4	117.60	14.25	20.00	20.00	0.05	20.00	274		4.0	25.00	
10	4	123.20	14.25	20.00	20.00	0.05	20.00	274		4.0	25.00	
11	4	128.80	14.25	20.00	20.00	0.05	20.00	274		4.0	25.00	
12	4	134.40	14.25	20.00	20.00	0.05	20.00	274		4.0	25.00	
13	4	140.00	14.25	20.00	20.00	0.05	20.00	274		4.0	25.00	
14	4	145.60	14.25	20.00	20.00	0.05	20.00	274		4.0	25.00	
15	4	151.20	14.25	20.00	20.00	0.05	20.00	274		4.0	25.00	
16	4	156.80	14.25	20.00	20.00	0.05	20.00	274		4.0	25.00	
17	4	162.40	14.25	20.00	20.00	0.05	20.00	274		4.0	25.00	
18	4	168.00	14.25	20.00	20.00	0.05	20.00	274		4.0	25.00	
19	4	173.60	14.25	20.00	20.00	0.05	20.00	274		4.0	25.00	
20	4	179.20	14.25	20.00	20.00	0.05	20.00	274		4.0	25.00	
21	4	184.80	14.25	20.00	20.00	0.05	20.00	274		4.0	25.00	
22	4	190.40	14.25	20.00	20.00	0.05	20.00	274		4.0	25.00	
23	4	196.00	14.25	20.00	20.00	0.05	20.00	274		4.0	25.00	
24	4	201.60	14.25	20.00	20.00	0.05	20.00	274		4.0	25.00	
25	4	207.20	14.25	20.00	20.00	0.05	20.00	274		4.0	25.00	
26	4	212.80	14.25	20.00	20.00	0.05	20.00	274		4.0	25.00	
27	4	218.40	14.25	20.00	20.00	0.05	20.00	274		4.0	25.00	
28	4	224.00	14.25	20.00	20.00	0.05	20.00	274		4.0	25.00	
29	4	229.60	14.25	20.00	20.00	0.05	20.00	274		4.0	25.00	
30	4	235.20	14.25	20.00	20.00	0.05	20.00	274		4.0	25.00	



TECNICHE DIRETTE

IN FORO

DOWN-HOLE

CROSS-HOLE

CONO SISMICO

Eccetera...

Mentre sono e rimangono tecniche principe per la **caratterizzazione geotecnica** di un sito,

queste tecniche appaiono inadatte alla **caratterizzazione sismica** di sito perché **il rapporto costo-benefici non tiene**.

Sono troppo puntuali e poco rappresentative dell'assetto generale, può essere necessario arrivare ben oltre 30 m, hanno un dettaglio eccessivo rispetto a quanto plausibilmente ci serve e siamo in grado di modellare successivamente.

TECNICHE INDIRECTE

ATTIVE

Queste altre possono andare tutte bene con le dovute cautele di capacità di esecuzione ed interpretazione.

SISMICA A RIFRAZIONE ONDE S

SASW, MASW

FTAN

Eccetera...

PASSIVE

SPAC, ESAC

ReMi

H/V

Eccetera...

NELLA CONVINZIONE PERSONALE CHE OGNI TECNICA POSSA TRANQUILLAMENTE ESSERE APPLICATA DA CHI LA CONOSCE DAVVERO, CITERO' SOLO GLI SVANTAGGI PRINCIPALI.

Non permette di vedere inversioni di velocità.

Energizzare in onde S è più laborioso che energizzare in P.

Riconoscere il primo arrivo delle S non è sempre banale.

TECNICHE INDIRECTE

ATTIVE

SISMICA A RIFRAZIONE ONDE S

SASW, MASW

FTAN

Eccetera...

PASSIVE

SPAC, ESAC

ReMi

H/V

Eccetera...

NELLA CONVINZIONE PERSONALE CHE OGNI TECNICA POSSA TRANQUILLAMENTE ESSERE APPLICATA DA CHI LA CONOSCE DAVVERO, CITERO' SOLO GLI SVANTAGGI PRINCIPALI.

Sono – tra quelle basate su onde di superficie – di gran lunga le tecniche più amate dal popolo degli ingegneri.

Entrambe sono prove facili solo all'apparenza.

I guai vengono in fase di interpretazione e se ne sta prendendo consapevolezza solo in tempi recenti.

TECNICHE INDIRECTE

ACTIVE

SISMICA A RIFRAZIONE ONDE S

SASW, MASW

FTAN

Eccetera...

PASSIVE

SPAC, ESAC

ReMi

H/V

Eccetera...

NELLA CONVINZIONE PERSONALE CHE OGNI TECNICA POSSA TRANQUILLAMENTE ESSERE APPLICATA DA CHI LA CONOSCE DAVVERO, CITERO' SOLO GLI SVANTAGGI PRINCIPALI.

Il passaggio da dominio (f, H/V) al dominio (Vs, z) necessita di un **vincolo** ottenuto in via indipendente (es. penetrometria o sondaggio).

Non essendoci conoscenza certa della composizione del campo del microtremore, ogni modello soffre di questa ignoranza.

TECNICHE INDIRECTE

ATTIVE

SISMICA A RIFRAZIONE ONDE S

SASW, MASW

FTAN

Eccetera...

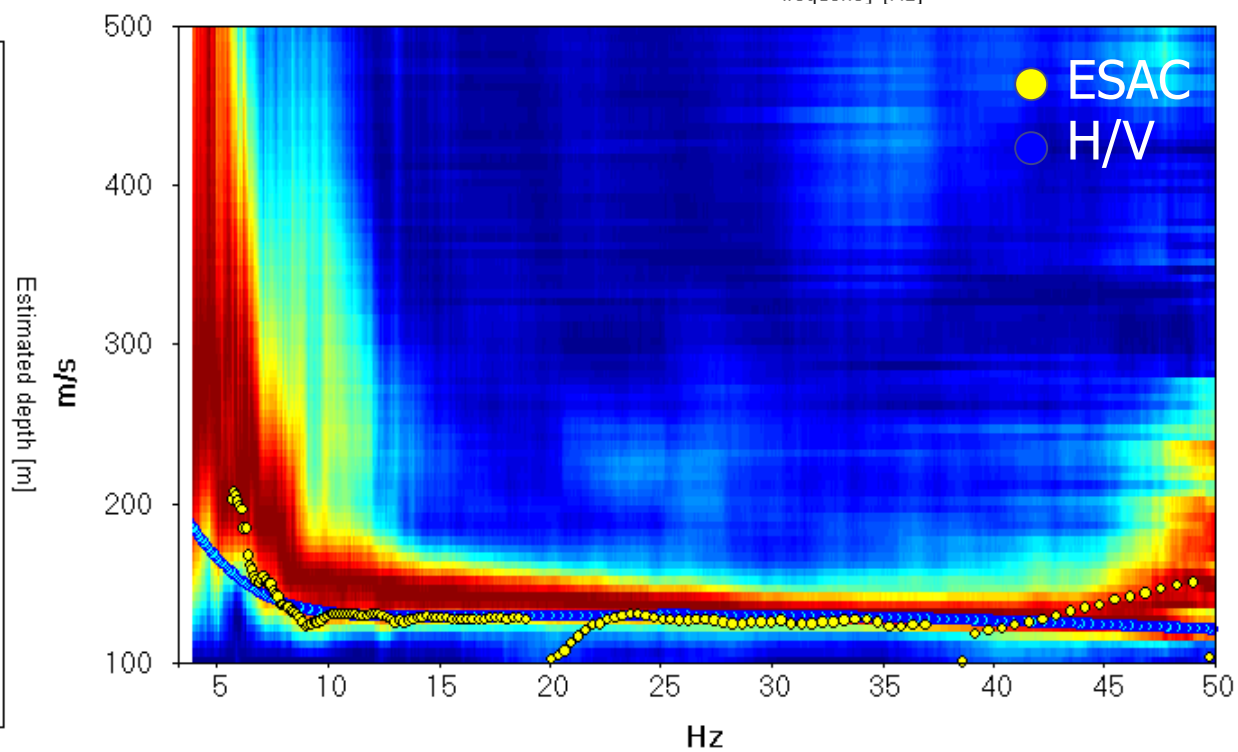
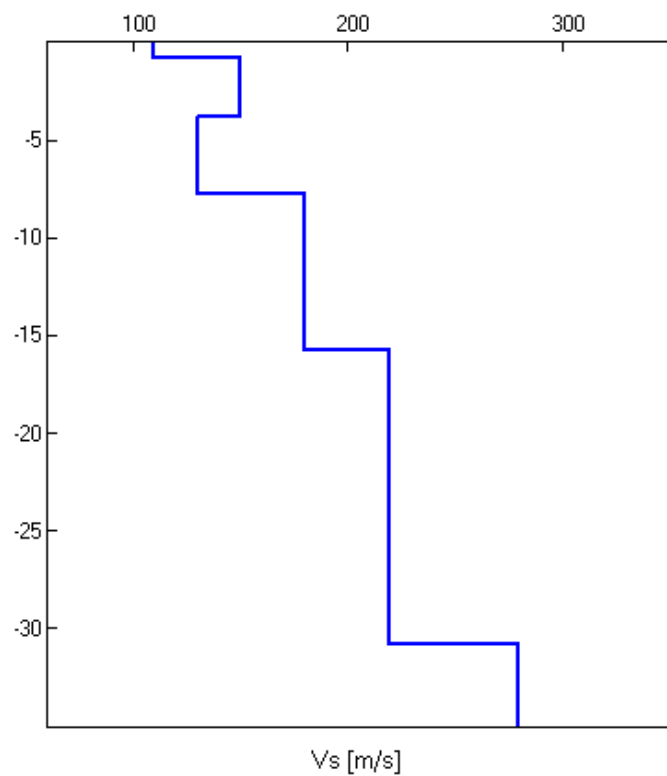
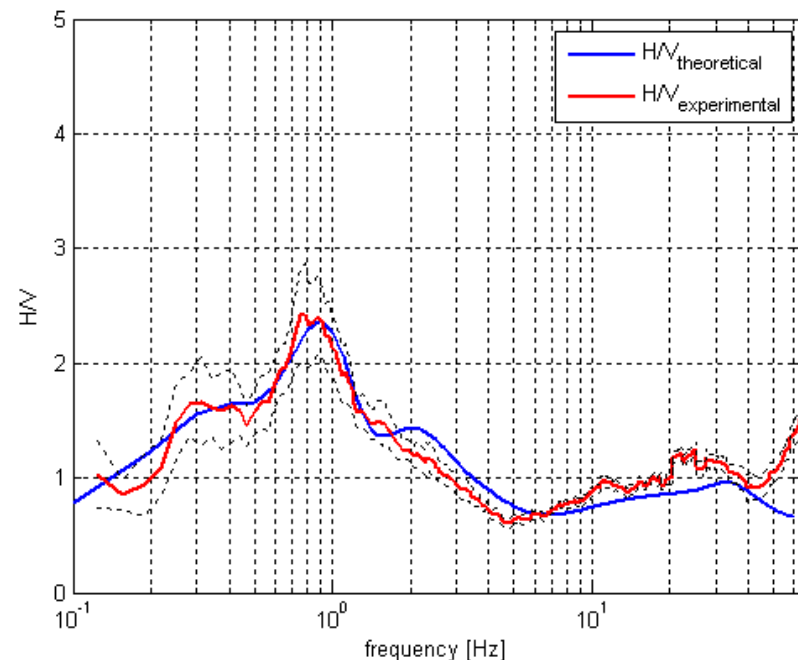
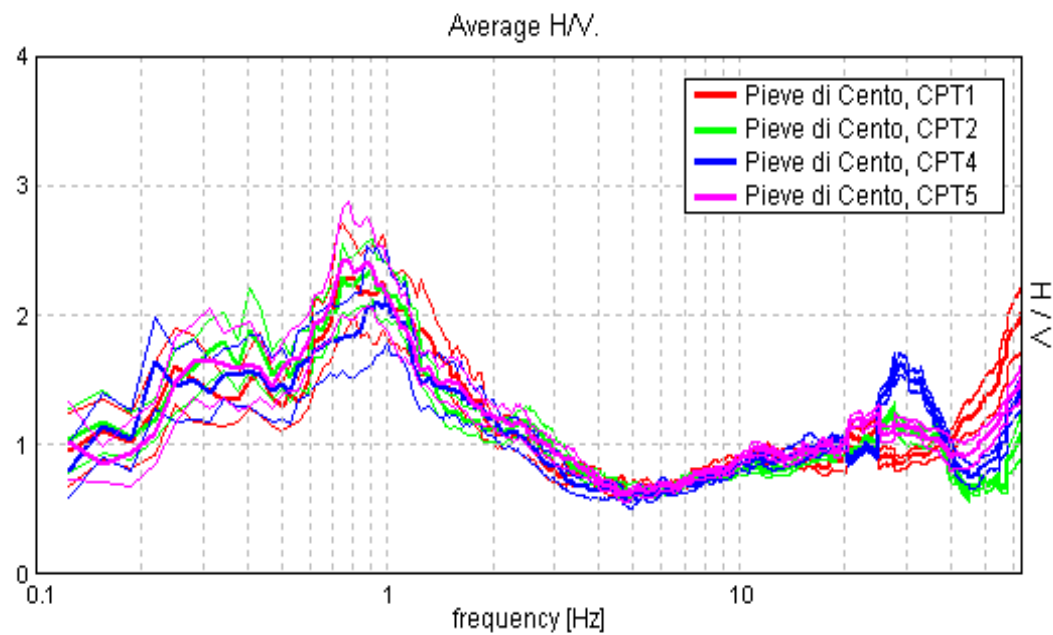
PASSIVE

SPAC, ESAC

ReMi

H/V

Eccetera...



Ci sono regioni, in Italia, tradizionalmente ostili a qualsiasi tecnica basata su onde di superficie.

Il motivo non mi è chiaro. Nelle pagine iniziali del progetto VEL si dice, ad esempio, che ci sarebbe poca documentazione scientifica in merito a queste prove che, in realtà, nella loro accezione originaria, sono praticamente tutte figlie del celeberrimo sismologo Aki (ossia del II dopoguerra).

TECNICHE INDIRECTE

ATTIVE

SISMICA A RIFRAZIONE ONDE S

SASW, MASW

FTAN

Eccetera...

PASSIVE

SPAC, ESAC

ReMi

H/V

Eccetera...

**Alcuni parametri vanno misurati sperimentalmente,
non derivati da altre relazioni**

Quello che conta ai fini dello sviluppo di un'amplificazione sismica locale sono, *come minimo*, i parametri seguenti:

**profilo di Vs +
profondità dei contrasti di impedenza =**

frequenze di risonanza

L'amplificazione massima del moto del suolo di un terreno si ha alla sua frequenza di risonanza.

Oltre al resto...

Per caratterizzare un sito dal punto di vista della risposta sismica l'approccio combinato H/V (almeno 2 lungo lo stendimento) + ReMi + MASW appare raccomandabile.

Attenzione però ai seguenti aspetti:

RUOLO DELLA SORGENTE

- a) in passiva mai meno di 5 min di registrazione,
- b) correre intorno allo stendimento non ha granché senso... conviene invece [...]
- c) In attiva la sorgente "sbagliata" può avere effetti "devastanti"

**ASSUNTO DI
SUOLO 1D**

**GEOMETRIA
STENDIMENTO**

STRATIGRAFIA

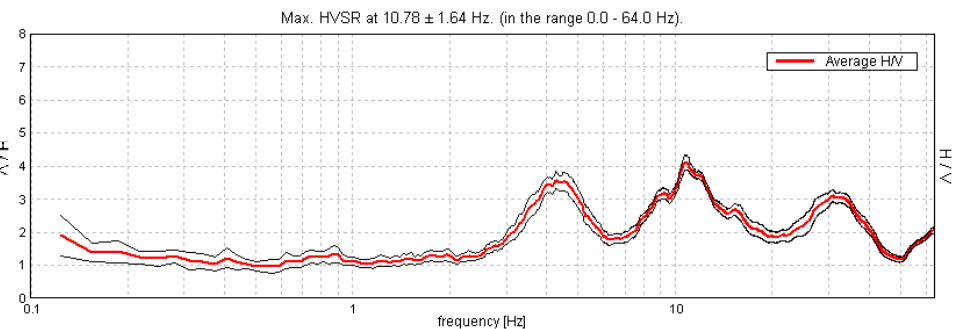
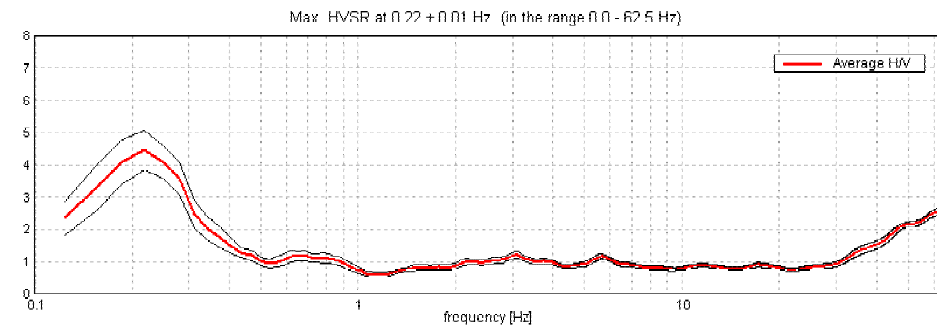
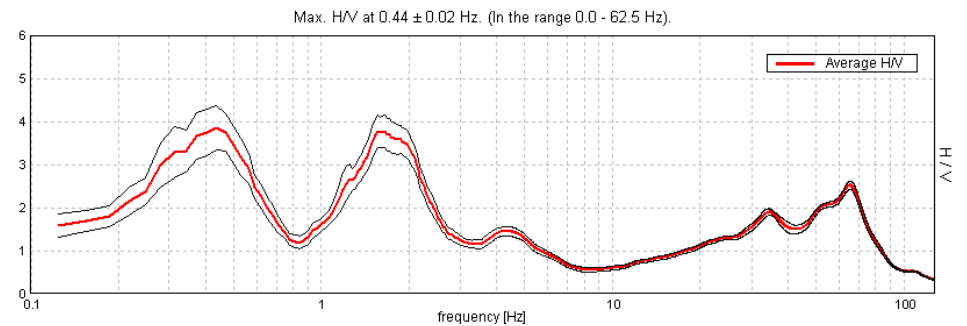
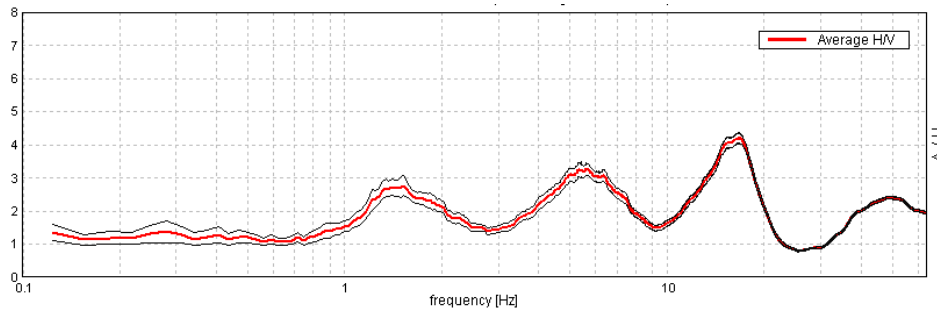
LIMITI DI PROFONDITA' REALMENTE RAGGIUNGIBILI: IN PRESENZA DI CONTRASTI DI IMPEDENZA FORTI L'ENERGIA PRODotta DA SORGENTI LOCALI (vd. MASW) RIMANE CONFINATA NELLO STRATO SUPERFICIALE (il MASW spesso non arriva alle profondità di interesse né riesce a caratterizzare la Vs del bedrock)

Anche applicando tutte le tecniche, io spesso mi ritrovo ad avere enormi dubbi di interpretazione.

Viste anche le precedenti esperienze in materia sismologica, vorrei sottolineare che la precisione di pochi percento in geofisica, è un po' utopica.

Tutte le tecniche hanno limiti. Per caratterizzare un livello di 0.5 m di torbe dal punto di vista **geo(fisico)tecnico** non faremo un H/V, né un ReMi né un MASW ma – magari – un DH.

Ma per la **caratterizzazione sismica di un sito**, la tecnica sismica passiva a stazione singola è verosimilmente quella che ha più aspetti positivi perché **misura** (non calcola) quello che ci interessa (le frequenze di risonanza), senza limiti di profondità nell'intervallo di interesse ingegneristico e in modo molto rapido.



A questa si affiancheranno altre tecniche per caratterizzare i valori assoluti di V_s , le attenuazioni ecc.

A ciascuna tecnica, i suoi compiti

E soprattutto, quando un parametro lo si può misurare, non ha senso derivarlo da altri parametri con relazioni complicatissime e errori che si propagano ad ogni passo.