

La magnitudo è lo stimatore più noto della grandezza di un terremoto.

La magnitudo rientra in quasi tutti gli aspetti delle normative tecniche:

- PGA è derivata dalla magnitudo
- studiare o meno il potenziale di liquefazione è funzione anche della magnitudo attesa al sito

Ma quanti sanno davvero cosa si nasconde dietro un simbolo tanto semplice in apparenza (M) quanto complicato da definire all'atto pratico?

**Il terremoto di L'Aquila aveva
 $M = 5.9$ o $M = 6.3$?**

Un terremoto più piccolo fa sempre meno danni di uno più grande?

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.

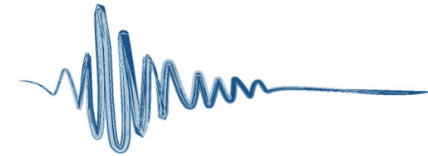
Le istituzioni declassano il sisma dell'Aquila: il segreto del Governo Berlusconi per non pagare i terremotati!!!
(www.liberalmenteservice.it) | postato 41 giorni fa da [#popolosovrano](#)

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

Valutazione dell'utente: *******
si, 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

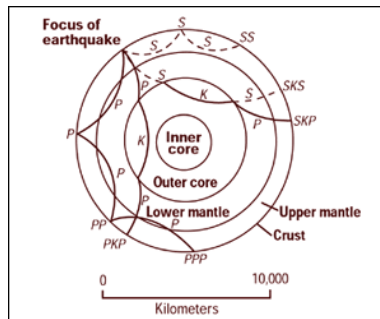
- M_L , ML, MI (Magnitudo Richter)
- m_b
- M_B
- M_s
- m_d
- M_0
- M_e
- M_w
- etc.



ciascuno con un significato diverso

- ◆ Le onde sismiche (fasi) che si riconoscono nei sismogrammi variano enormemente in funzione della **distanza** del sismometro ricevitore dalla sorgente ed anche in funzione della **profondità** dell'epicentro. Ne segue che non è possibile usare un indicatore unico a livello mondiale per la magnitudo.

Nella figura accanto si osserva la variabilità di onde registrabili in diversi punti della superficie terrestre. A livello della singola stazione sismica, le fasi dei sismogrammi risentono anche, enormemente, della struttura locale della crosta, che è molto eterogenea.



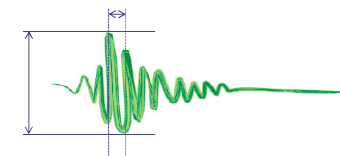
◆ M_L (magnitudo locale, Richter 1930)

- Solo per terremoti vicini e superficiali (< 15 km)

- **Si calcola alla frequenza di 1.2 Hz**

$$- \log M_L = \log A_{\max} - a + b \log \Delta$$

Δ = distanza epicentrale



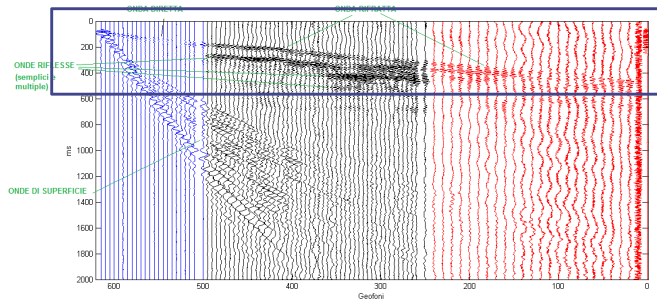
E' necessario mediare i dati di molte stazioni per averne una stima affidabile perché bisogna apportare diverse correzioni e stimare tutti i parametri della formula

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

M_b (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.

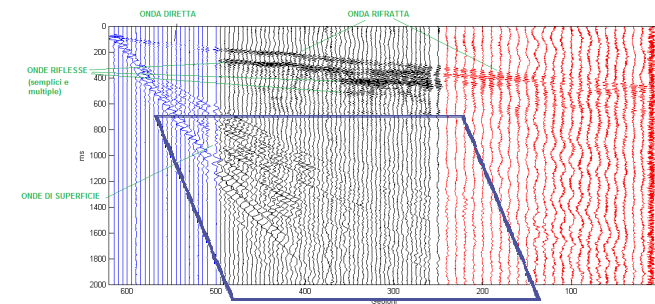
Si calcola a 1 Hz. Quando si calcola a frequenze più basse (0.07-0.2 Hz) si denomina mB



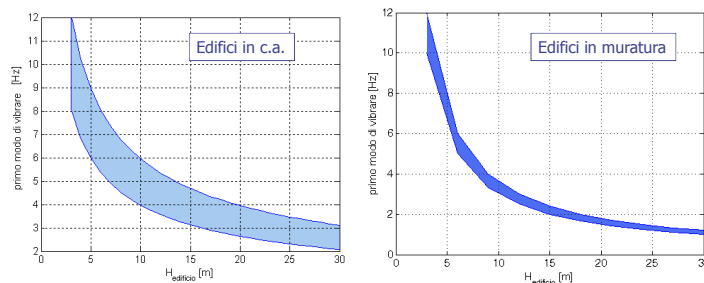
M_s (magnitudo delle onde di superficie)

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 < 10-12 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

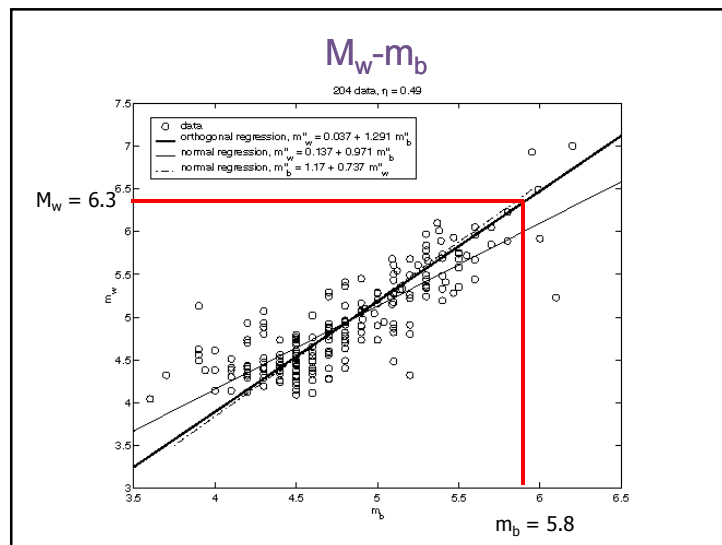
Il motivo della discrepanza tra frequenze di interesse sismologico ($\ll 1$ Hz) e frequenze di interesse ingegneristico (> 1 Hz) è che il sismologo tradizionalmente studia i terremoti per ricavarne informazioni sulla struttura interna della terra e non ai fini della progettazione ingegneristica.

Questo secondo aspetto è un interesse molto più recente che trova il sismologo ancora parzialmente impreparato.

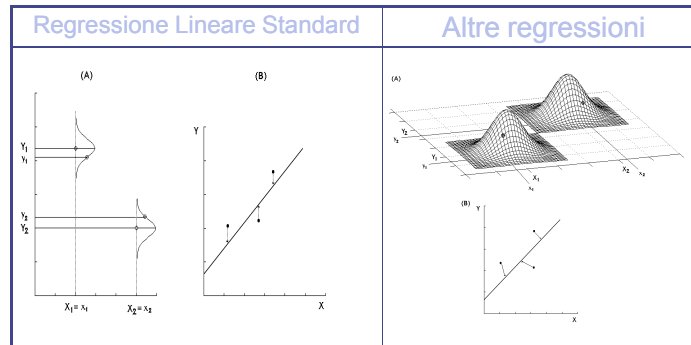
Se a livello sperimentale è inevitabile dover usare magnitudo diverse, quando si deve compilare un catalogo sismico (essenziale per le stime di pericolosità) o si devono confrontare dati di stazioni diverse, è essenziale

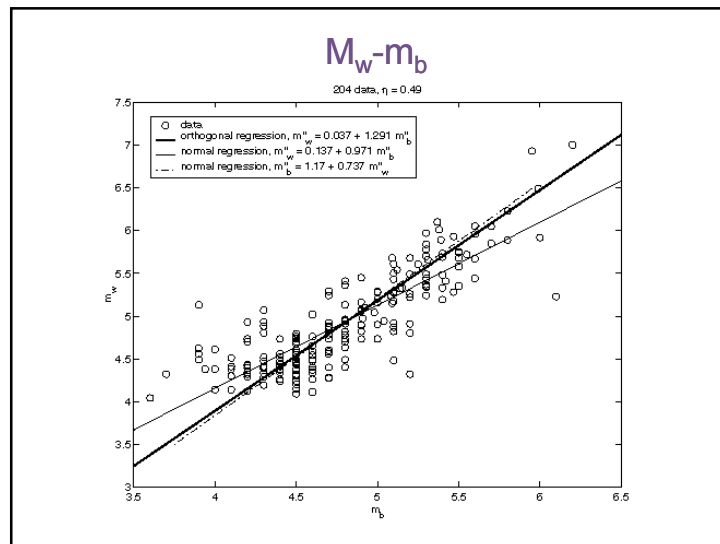
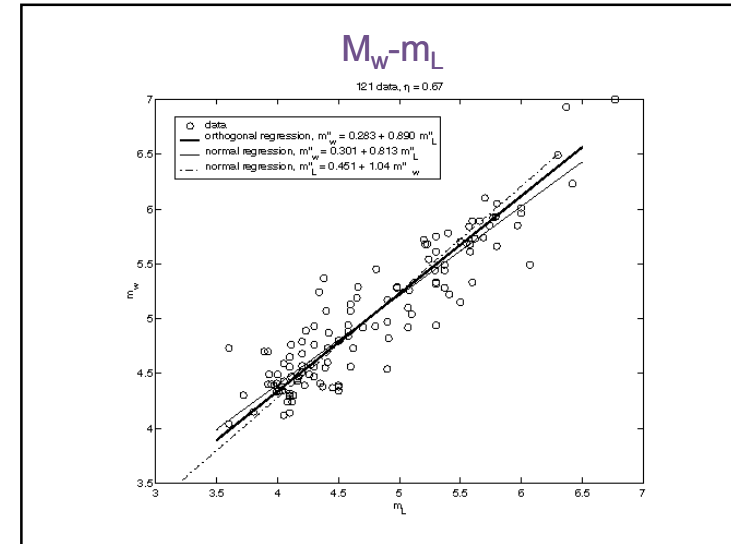
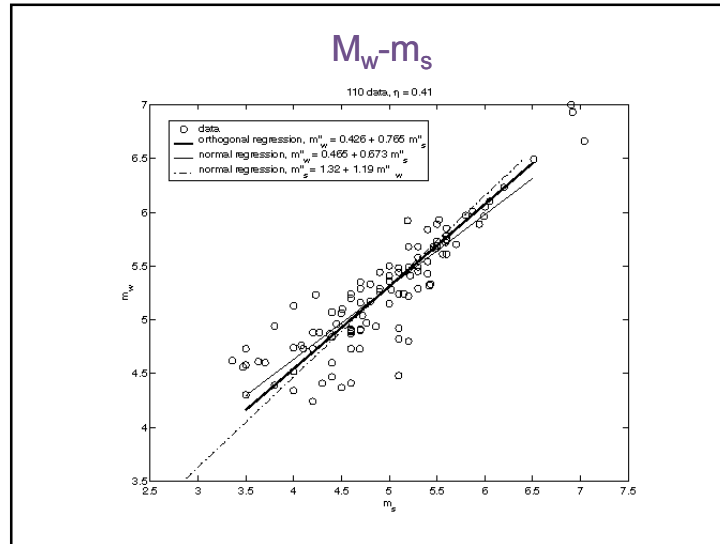
CONVERTIRE TUTTE LE MAGNITUDO AD UN UNICO TIPO

- ◆ Lo stato dell'arte è di usare M_w perché, a differenza delle altre magnitudo, la sua definizione ha un significato fisico (è legata a $M_0 = \mu \cdot A$).
- ◆ M_w è calcolata normalmente solo per terremoti grandi. Più comunemente essa è derivata da altre magnitudo.
- ◆ però nemmeno M_w è indicatore direttamente utile a fini ingegneristici.



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





◆ Il 99.9% dei cataloghi sismici 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)**

◆ **2 CIFRE SIGNIFICATIVE (es. 7.2) SONO GIÀ TANTE**

Non esistono dati sperimentali privi di errore/incertezza

Se è richiesta la verifica della liquefazione per, ad esempio, $M > 5$, siate consapevoli di cosa vuol dire questo numero, dell'incertezza associata (potrebbe essere necessario fare la verifica anche per $M < 5$)

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

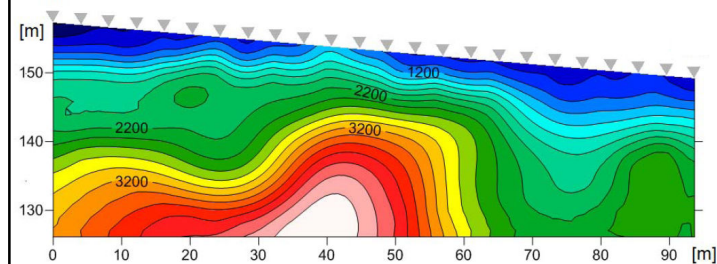
Secondo la formula di propagazione degli errori, un errore di ± 0.2 m.u. si traduce in un errore *minimo* di $\text{PGA} = \pm 0.04$ g nel caso più favorevole ($R=0$, $M=6$).

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) ☹

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

Usi, abusi e soprusi delle tecniche geofisiche nella microzonazione sismica e nelle NTC



Silvia Castellaro silvia.castellaro@unibo.it
Ordine Geologi delle Marche
30 settembre 2010

Negli ultimi anni la geofisica è diventata un settore popolare della geologia ma per molti geofisica oggi significa quasi solo stima di Vs30.

L'approccio Vs30 è solo **uno** degli approcci possibili alla definizione della risposta sismica di sito.

E' denominato "approccio semplificato" e le NTC non obbligano all'uso di questo giacché è sempre possibile operare secondo procedure non semplificate.

Le NTC sono prestazionali, non prescrittive. Le strutture devono essere pertanto progettate per reggere, al di là del Vs30.

Prima di chiederci

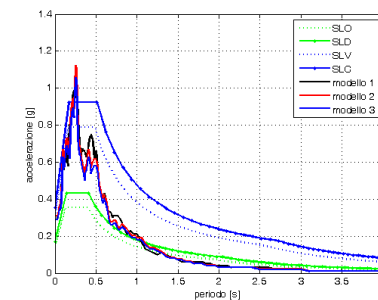
COME MISURARE AL MEGLIO Vs30

chiediamoci

PERCHE' MISURARE Vs30

Il progettista deve sapere a quale accelerazione (o velocità o spostamento) sarà sottoposta la sua struttura alle diverse frequenze.

E si aspetta che sia il geologo a dirglielo.



E' evidente che sarebbe il sogno di tutto il mondo se l'amplificazione sismica rispetto al bedrock (F_a) fosse riassumibile in un parametro semplice semplice.

E l'idea originaria era appunto questa.

**Vs30:
STIMATORE DELL'AMPLIFICAZIONE DI SITO (F_a)?**

DUE BUONE RAGIONI PER V_s ESISTONO

1) V_s è indicatore della rigidità μ di un terreno

$$\mu = \rho V_s^2$$

2) Le onde S, incidendo 'verticalmente' dal basso, sono le responsabili dei movimenti 'ondulatori', ossia quelli che danno spostamento orizzontale. Prima delle NTC le strutture non erano progettate per sostenere carichi orizzontali diversi dal vento.

Ma da sole non bastano

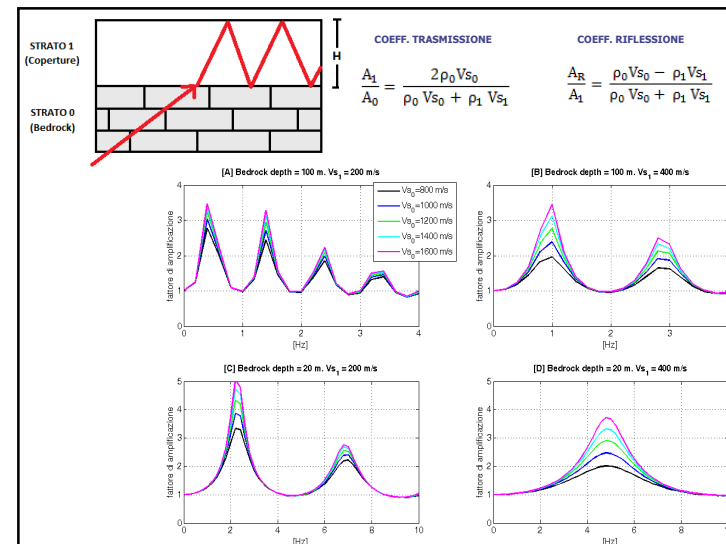
◆ **amplificazione onde dovuta a diminuzione di V e densità**

Assumendo gradienti di V e ρ costanti, ignorando l'amplificazione alla superficie libera, Aki e Richards (1980) suggeriscono un guadagno di ampiezza in superficie pari a

0 \rightarrow bedrock, 1 \rightarrow superficie

$$\left(\frac{\rho_0 V_{s0}}{\rho_1 V_{s1}} \right)^{0.5}$$

Si introduce cioè il concetto che non è tanto (solo) il valore assoluto di V_s a determinare l'amplificazione, ma sono i **contrast di impedenza** (ρV_s) tra strati

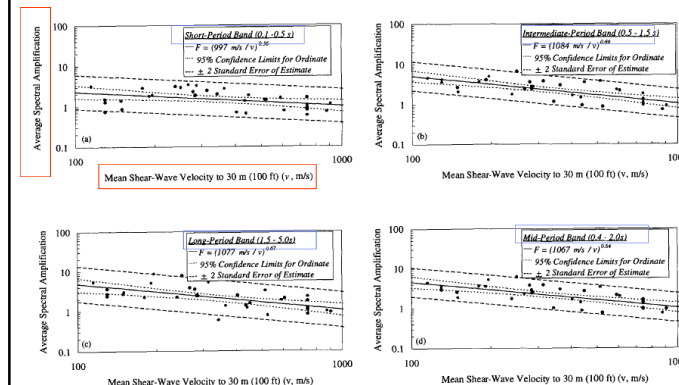


COMPRESO QUESTO, E' DEL TUTTO INTUITIVO
PERCHE' Vs30 **NON** POSSA ESSERE UNO
STIMATORE DELL'AMPLIFICAZIONE DI SITO:

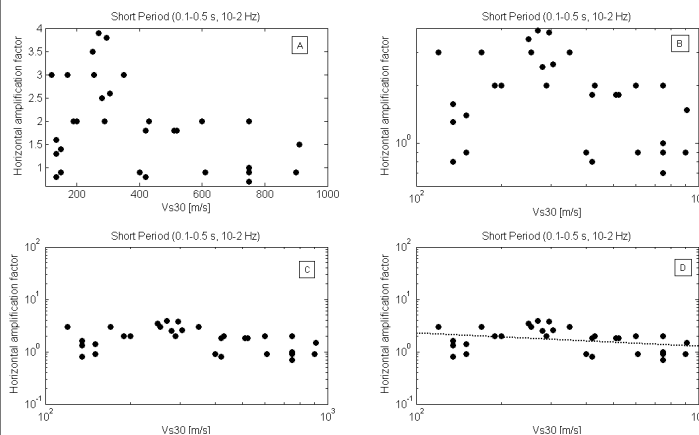
perché non contiene alcuna informazione sui contrasti
di impedenza.

Ed in effetti non lo è nemmeno mai stato...
Fa – Vs30: è mai esistita una relazione?

Tutto nasce da un lavoro pubblicato in *Earthq. Spectra* (1994)
in cui furono pubblicate alcune relazioni tra Vs100 ft (~ Vs30
m) e l'amplificazione sismica registrata in diversi siti a seguito
del terremoto di Loma Prieta (California, 1989).

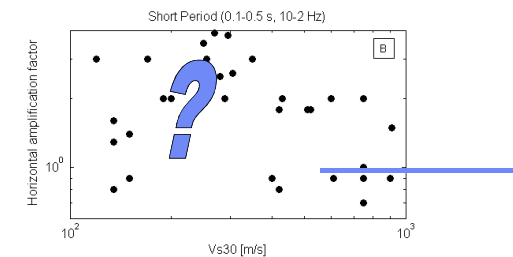


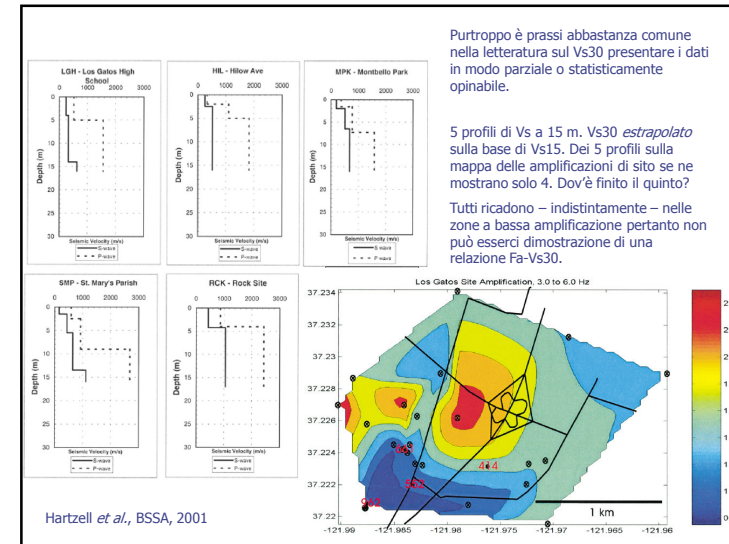
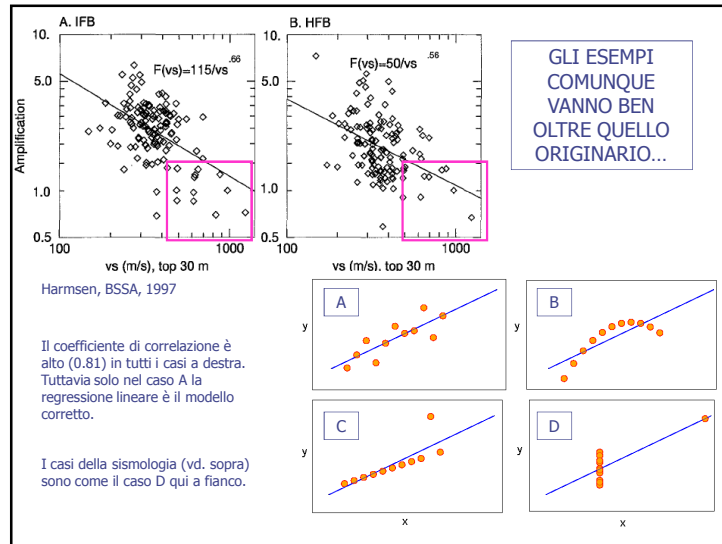
Fa – Vs30: è mai esistita una relazione?



Attenzione poi che...

- ◆ Sopra Vs di 600 m/s siamo già nel dominio delle rocce (per molte rocce sedimentarie). Quindi (indicativamente) per Vs30 > 600 m/s → Fa = 1
- ◆ E la relazione Fa – Vs30 (posto che esista) non andrebbe cercata in tutto il dominio di Vs30 perché il trend atteso dovrebbe semmai essere bi-lineare





Vs30 quindi **non** può funzionare perché non contiene l'informazione minima necessaria

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...

39

L'unica categoria nelle NTC che tiene conto dei due parametri di minima su citati è la

categoria E

A questo punto urge una precisazione

Quanto detto non è "eversivo".

L'approccio Vs30 è solo uno degli approcci possibili alla definizione della risposta sismica di sito.

E' denominato "approccio semplificato" e le NTC non obbligano all'uso di questo giacché è sempre possibile operare secondo procedure non semplificate.

Le NTC sono prestazionali, non prescrittive. Le strutture devono essere pertanto progettate per reggere, al di là del Vs30.

41

Fino ad ora abbiamo dunque visto che il controllo delle successioni stratigrafiche all'amplificazione sismica di sito è dato da

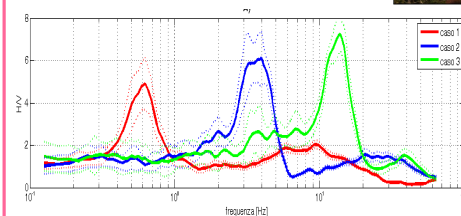
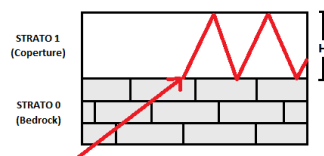
I CONTRASTI DI IMPEDENZA

La seconda domanda è fino a quale profondità questi vadano cercati.

30 m sì o no?

42

PRIMA CAPIAMO COME SI MISURANO E CHE FORMA HANNO I CONTRASTI DI IMPEDENZA SUI SUOLI

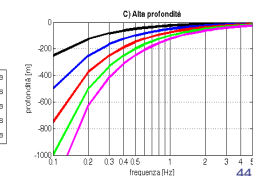
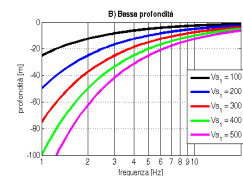
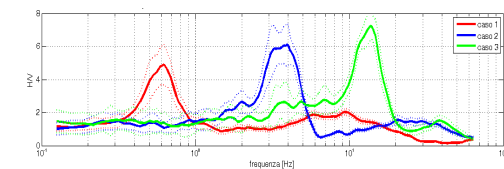


LE MISURE DI AMPLIFICAZIONE PER RISONANZA DEI SUOLI SI EFFETTUANO IN PASSIVA PER MEZZO DI SISMOMETRI SUFFICIENTEMENTE SENSIBILI AL MICROTREMORE SISMICO IN TUTTA LA GAMMA DI FREQUENZE DI INTERESSE INGEGNERISTICO [0.1, 30 Hz]

43

ATTENZIONE! Questa formula vale solo nei sistemi strato+bedrock (non nei sistemi multistrato!)

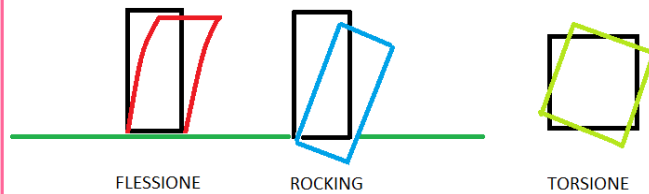
$$f = \frac{V}{4H}n \quad n = 1, 3, 5...$$



44

POI DOBBIAMO CAPIRE I COMPORTAMENTI DELLE STRUTTURE

I modi di vibrare delle strutture sono molteplici. Per vederli tutti occorre pianificare in modo accurato le posizioni di misura.



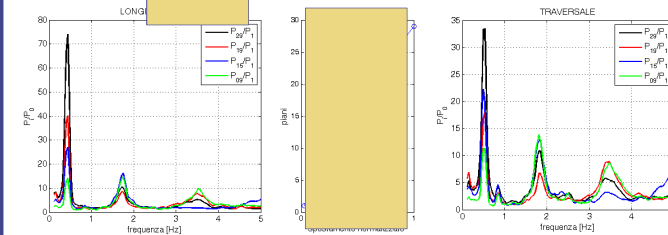
Anche i ponti hanno diversi modi di vibrare ed in funzione del punto di misura alcuni modi saranno visibili ed altri no.

45

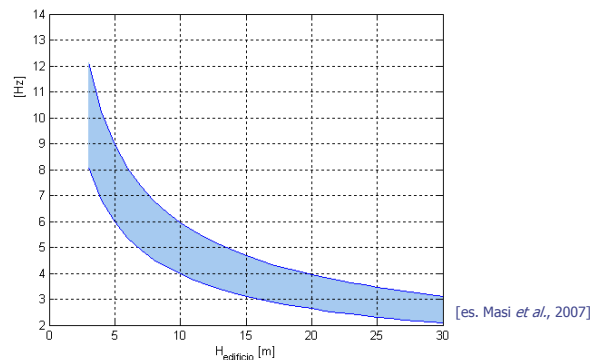
I MODI DI VIBRARE DELLE STRUTTURE



L'analisi geologica applicata del sottosuolo deve essere finalizzata a ciò che c'è (o andrà fatto) sopra (strutture)



Relazione tipica altezza edificio (c.a.) – I modo flessionale



Devia rapidamente dalla relazione classica 10-12 Hz / numero di piani

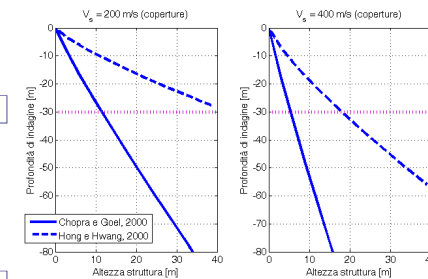
PROFONDITA' DI INDAGINE MINIMA PER ESCLUDERE DOPPIA RISONANZA SUOLO-STRUTTURA

Giocando un po' con formule ultrasemplificate

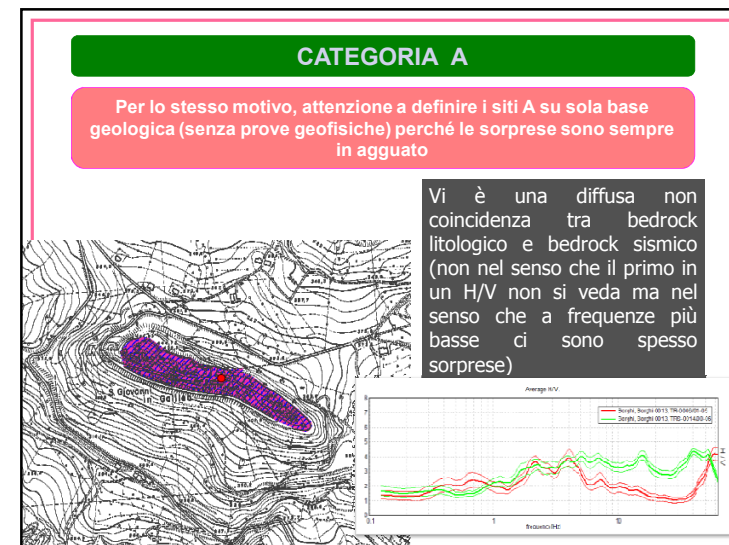
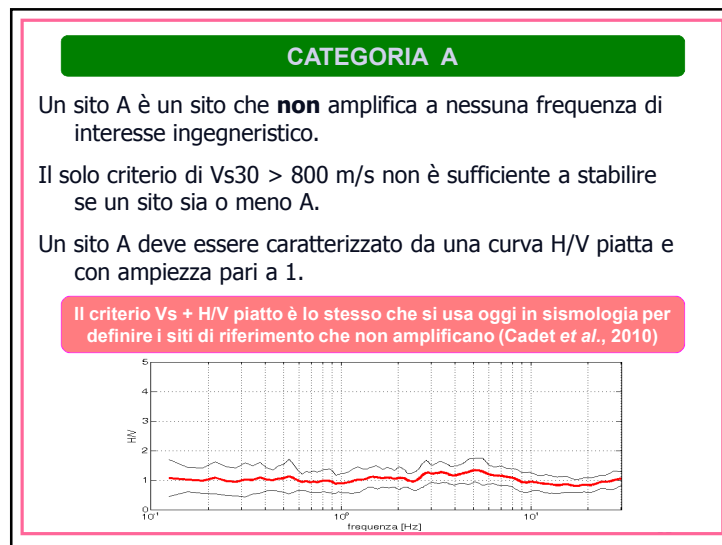
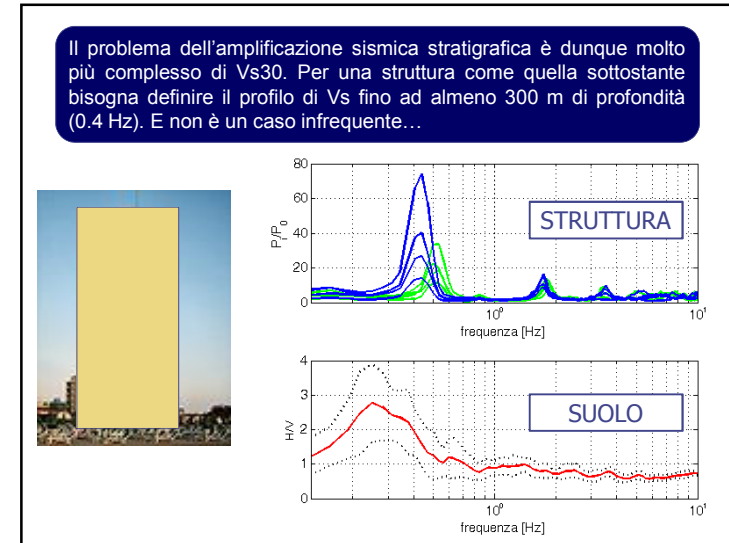
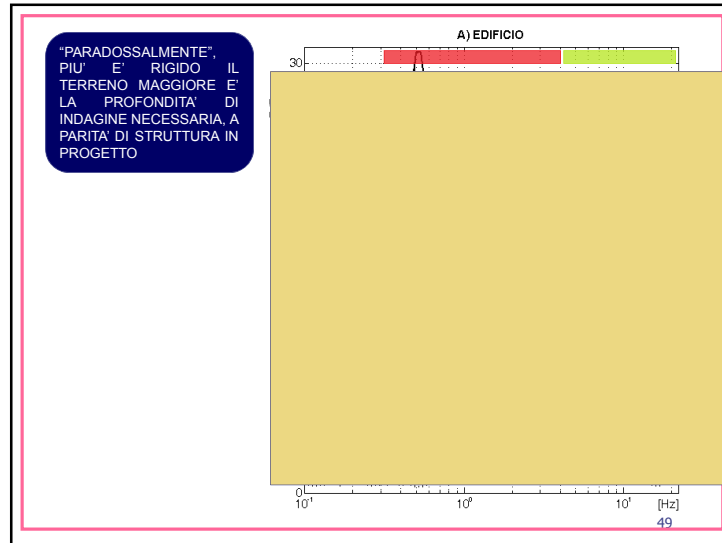
$$f = \frac{V}{4H}$$

MODI PROPRI STRUTTURE

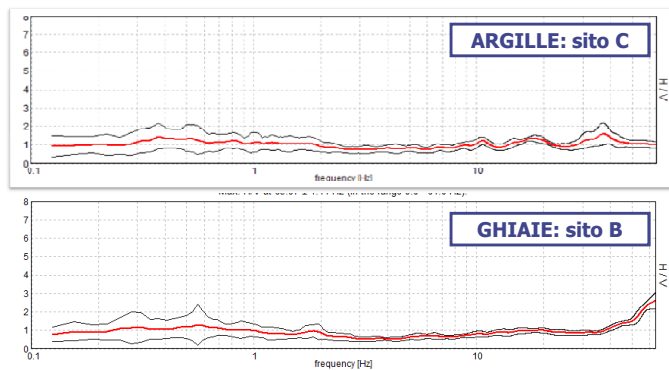
$$T = \text{[yellow box]} 0.9$$



48

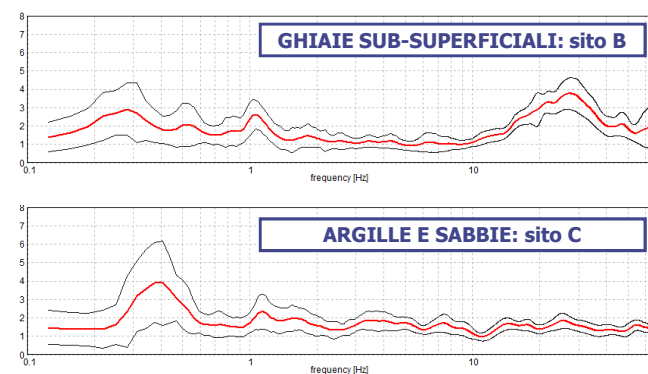


**QUANDO LA PROGETTAZIONE SU BASE DI Vs30
PUO' RITENERSI SUFFICIENTEMENTE
CAUTELATIVA?**



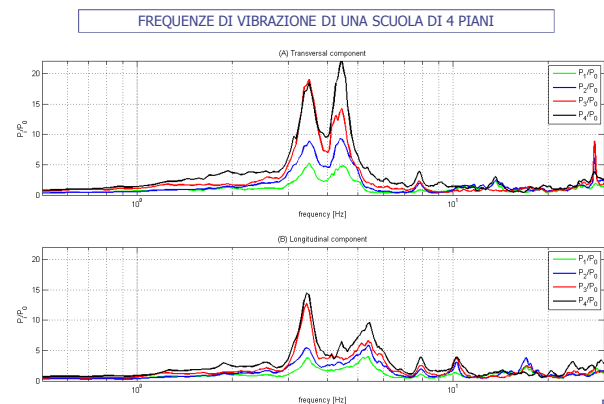
53

**QUANDO LA PROGETTAZIONE SU BASE DI Vs30
PUO' RITENERSI SUFFICIENTEMENTE
CAUTELATIVA?**

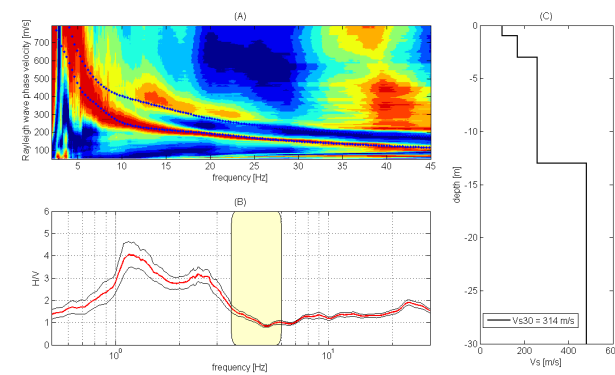


54

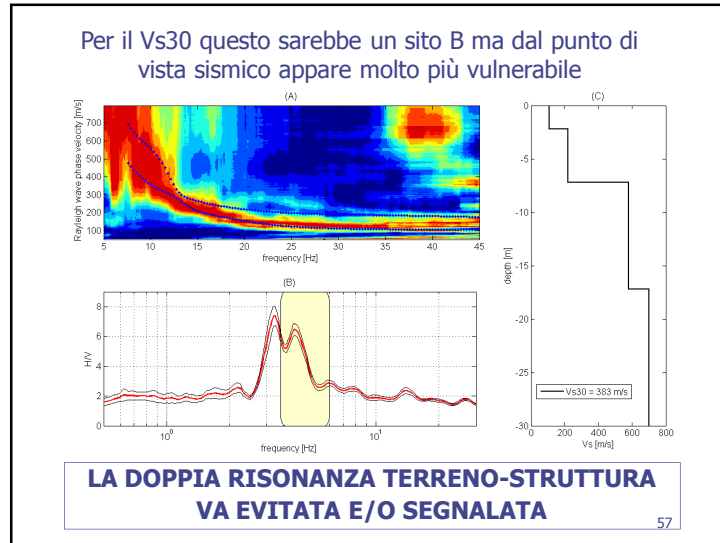
**QUANDO LE CATEGORIE B e C SONO
DECISAMENTE SOTTO-CAUTELATIVE**



55



56



DI QUALI RISONANZE PUO' RENDERE CONTO LA CATEGORIA E (NTC, 2008)?

Dall'equazione $f = \frac{V}{4H}$

risulta immediatamente che questa classe può rendere conto di amplificazioni per risonanza

- 1) a $f > 2.25$ Hz su terreni particolarmente teneri ($V_s = 180$ m/s)
- 2) a $f > 4.5$ Hz su terreni di media rigidità ($V_s = 360$ m/s)

58

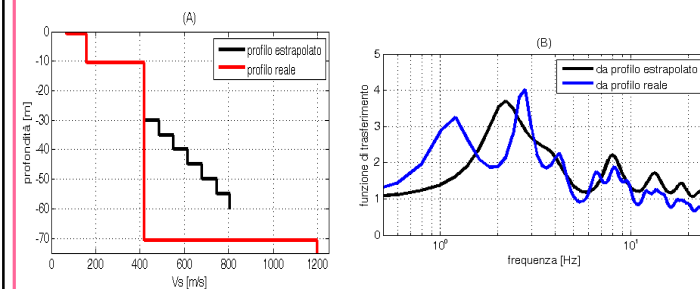
E NEGLI STUDI DI III LIVELLO?

E' INSENSATO E PERICOLOSO EFFETTUARE ANALISI DI III LIVELLO A PARTIRE DA PROFILI DI V_s ESTRAPOLATI FINO AL BEDROCK (quando questo non è stato raggiunto dall'indagine)

LA MINIMA FREQUENZA (= MASSIMA PROFONDITA') DI INDAGINE DA INSERIRE NEL MODELLO VA MISURATA, PER ESEMPIO CON UNA PROVA H/V

59

IL PROBLEMA DELL'ESTRAPOLAZIONE DI UN PROFILO DI V_s FINO A 800 m/s, QUANDO QUESTI NON SONO RAGGIUNTI SPERIMENTALMENTE



60

E' INSENSATO E PERICOLOSO EFFETTUARE ANALISI DI III LIVELLO A PARTIRE DA PROFILI DI Vs ESTRAPOLATI FINO AL BEDROCK (quando questo non è stato raggiunto dall'indagine)

LA MINIMA FREQUENZA (= MASSIMA PROFONDITA') DI INDAGINE DA INSERIRE NEL MODELLO VA MISURATA, PER ESEMPIO CON UNA PROVA H/V

61

CHIUDIAMO IL CERCHIO E TORNIAMO ALLA DOMANDA INIZIALE

NON CHIEDETEVI QUAL E' IL MODO MIGLIORE PER MISURARE Vs30

CHIEDETEVI COSA FARE OLTRE Vs30

62

GRANDEZZE FONDAMENTALI

GRANDEZZE DERIVATE

MISURE DIRETTE

MISURE INDIRETTE

TECNICHE IN FORO

TECNICHE DI SUPERFICIE

TECNICHE ATTIVE

TECNICHE PASSIVE

MODELLAZIONE IN AVANTI
(forward modeling)

INVERSIONE

TECNICHE IN FORO

TECNICHE DI SUPERFICIE

ATTIVE

DOWN-HOLE

CROSS-HOLE

CONO SISMICO

DILATOMETRO S.

Eccetera...

PASSIVE

SISMICA A RIFRAZIONE ONDE S

SASW, MASW, f-k

FTAN

Eccetera...

SPAC, ESAC

ReMi

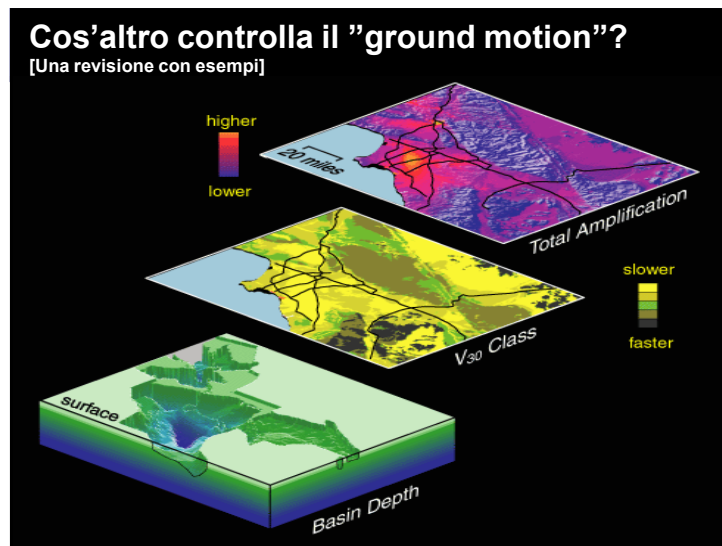
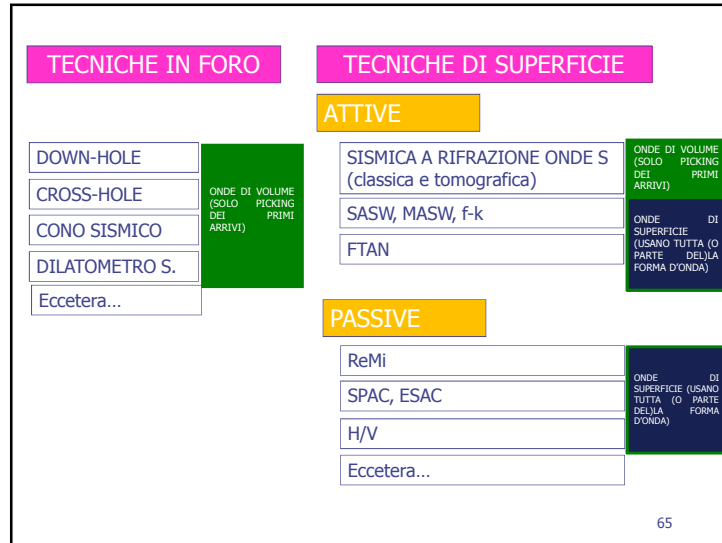
H/V

Eccetera...

Di modi per misurare Vs30 ne esistono tanti.

Di modi per andare oltre Vs30 un po' meno.

64



Cos'è il "ground motion"?

- ◆ Il moto del suolo che i sismometri riescono a misurare ($4 \cdot 10^{-6}$ g)
 - ◆ Quello che causa danno è tipicamente > 0.1 g
 - ◆ Esistono report di oggetti scagliati in aria dai terremoti: questo richiede $\text{PGA} > 1$ g
 - Oldham (1899) riporta dislocazione di pietre a 2.5 m di distanza durante il terremoto del 1897 di Assam (India, $M \sim 8.5$)
 - Midorikawa (1994) riassume 8 casi di oggetti lanciati a 2-4 m.
- Questi esempi permettono di stimare anche V_0 .

Effetti della geologia di superficie sul "ground motion" (Anderson, 2007)

- ◆ amplificazione onde dovuta a diminuzione di V e densità
 - ◆ riflessione e trasmissione attraverso le interfacce
 - ◆ risonanza nei suoli stratificati, intrappolamento e risonanza delle onde nei bacini
- ◆ propagazione di onde di superficie
 - ◆ conversione di onde di volume a onde di superficie nei margini inclinati (specialmente ai margini di bacino)
 - ◆ valli lunghe lineari che agiscono come guide d'onda
 - ◆ focalizzazione delle onde (multipathing)
 - ◆ scattering che aumenta la durata del moto
 - ◆ effetti topografici
 - ◆ assorbimento dell'energia (basso fattore di qualità Q)
 - ◆ relazioni stress-strain non lineari nei materiali superficiali
 - ◆ durata dell'impulso e direzionalità

VISTI IN
PRECEDENZA

◆ effetti topografici

Per $\lambda \leq$ alla dimensione della struttura geologica, è possibile attendersi effetti topografici

Es.1: cordigliera montuosa con base ~ 5 km, circondata da valli su entrambi i lati. Se $V_s \sim 1$ km/s, onde con $f = V / \lambda > 0.2$ Hz potranno subire effetti legati alla topografia.

Es.2: collinetta di base 500 m, con $V_s \sim 500$ m/s. Onde con $f > 1$ Hz potranno subire effetti legati alla topografia

Nonostante i semplici assunti (onda piana, semispazio elastico, simmetria della topografia), i risultati mostrano grande variabilità rispetto a:

- 1) Frequenza
- 2) Angolo di incidenza dell'input sismico
- 3) Punto di campionamento

E tale variabilità non è limitata alla struttura topografica ma anche al suo intorno.

Soprattutto va osservato che l'interazione delle onde produce effetti complessi di amplificazione e **de**amplificazione. Quindi non è vero né sperimentalmente né modellisticamente che la topografia induce solo amplificazione

La grande variabilità del contenuto spettrale del "ground motion" spiega come mai la ricerca di un **fattore topografico** rimanga ancora oggi improduttiva.

Pare necessaria una modellazione quantitativa che tenga conto attentamente anche del tipo di onde in ingresso.

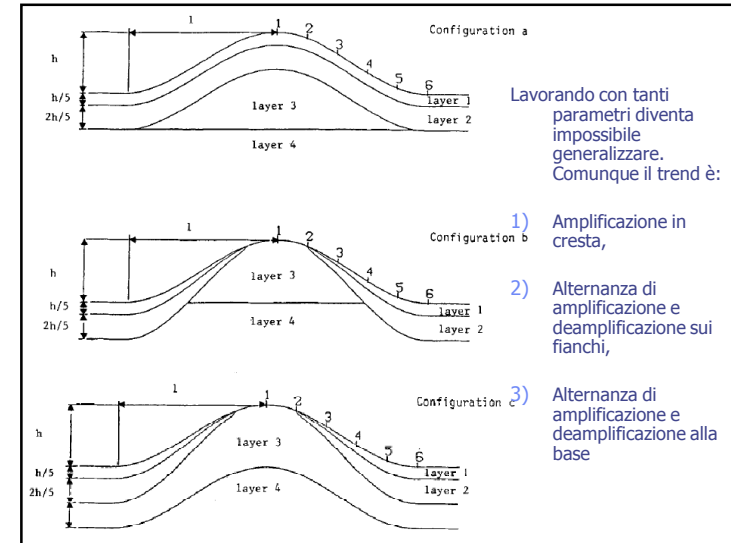
Nei modelli (Sánchez-Sesma e Campillo, *BSSA*, 2000) mediamente si osserva amplificazione mediamente inferiore a 4 volte quella delle onde di input.

Osservando peraltro che esiste praticamente sempre una incongruenza tra dati sperimentali e modelli.

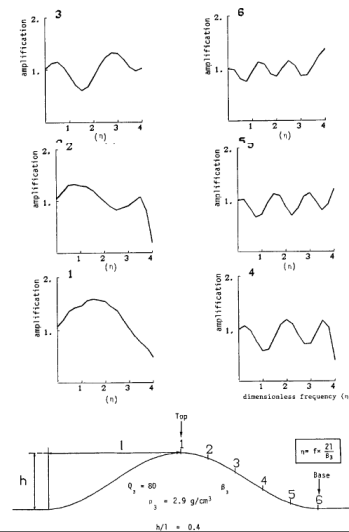
In generale si può solo dire:

- 1) Che esiste un accordo qualitativo tra teoria e osservazioni sul fatto che in cima alle montagne esista amplificazione per effetti topografici e che questa sia maggiore per le onde S che per le onde P,
- 2) Che la frequenza cui questo fenomeno si verifica è confrontabile con $\lambda \sim$ larghezza di base monte,
- 3) C'è totale disaccordo sull'ammontare di questa amplificazione.

Forse perché i modelli sono troppo semplici?



I valori di amplificazioni in cresta e sui fianchi in realtà spesso sono apparenti, sono cioè legati a deamplificazioni alla base (essendo l'amplificazione calcolata come $A_{\text{cresta}} / A_{\text{base}}$)



La scarsità di studi sperimentali ben documentati e la discrepanza quantitativa tra previsioni da modello e dati sperimentali ha ostacolato l'inserimento degli effetti topografici nella maggior parte delle normative sismiche (Assimaki *et al.*, 2009).

Le sole eccezioni sono:

1. EC8 (e NTC08). Propongono un fattore di correzione sia per le scarpate che creste che è funzione di H (> 30 m) e i (inclinazione, 15°)
2. AFPS (codice francese, 1995) considera solo le scarpate in funzione di H e i > 22°.

Tuttavia sappiamo che l'effetto è strettamente dipendente dalla frequenza (si verifica solo atopografico $f \geq V / \lambda$), è funzione dell'intensità e della direzione dell'input, non è scindibile dalla stratigrafia.

In alcuni casi peraltro sembrano esserci effetti importanti della topografia anche in situazioni molto lontane dal quelle contemplate dalla normativa.

