

INTRODUZIONE ALL'INGEGNERIA GEOTECNICA SISMICA

AZIONE SISMICA E TERRENO

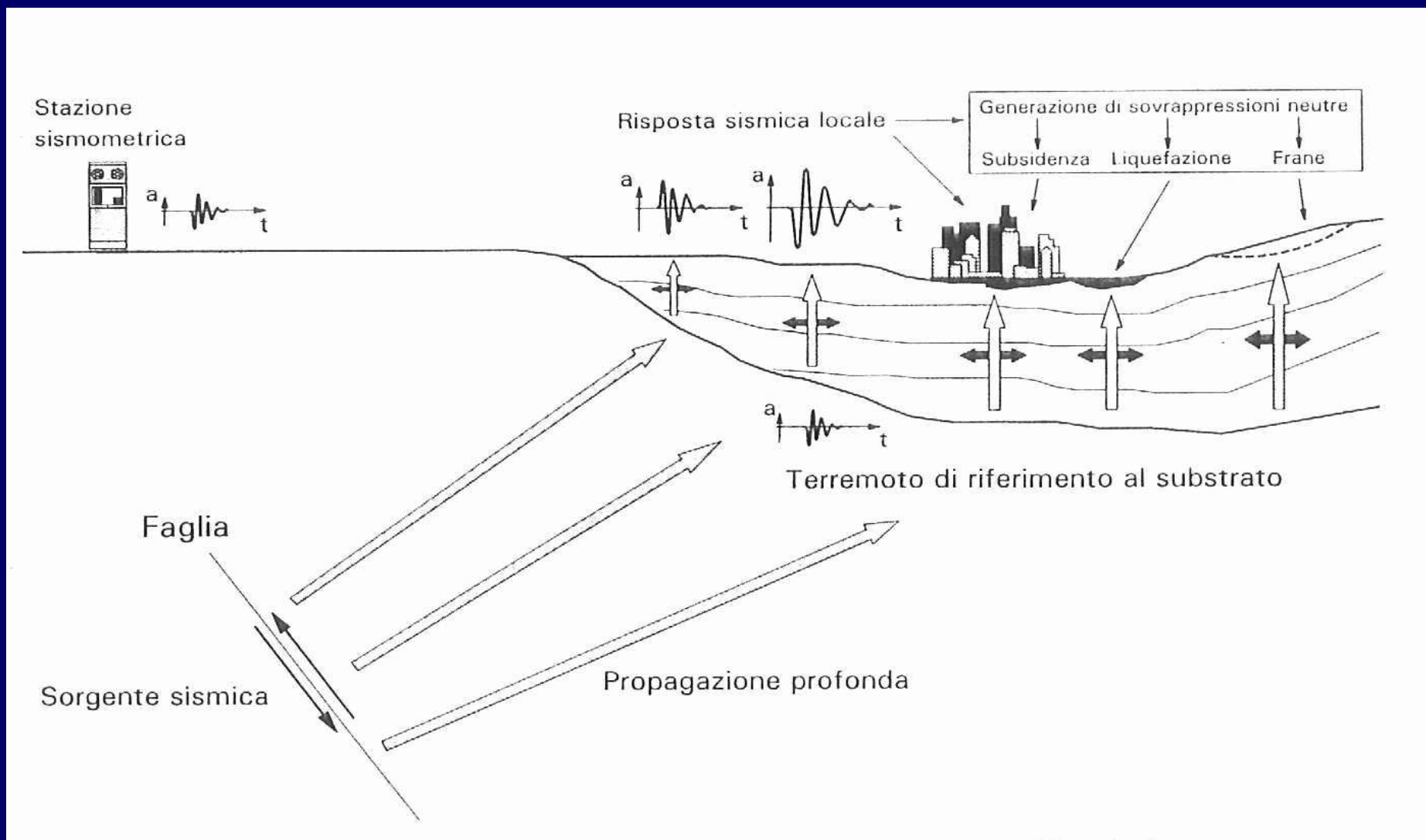
Diego Lo Presti e Nunziante Squeglia

**Dipartimento di Ingegneria Civile
Università di Pisa**

INDICE

- **INTRODUZIONE**
- **ELEMENTI DI SISMOLOGIA**
- **PERICOLOSITA' DI BASE ED EFFETTI LOCALI**
- **MODIFICA MOTO SISMICO**
 - **RISPOSTA SISMICA**
 - **NORMATIVA**

GEOTECNICA SISMICA



GEOTECNICA SISMICA



Giornata di studio 15 Dicembre 2009

GEOTECNICA SISMICA



Giornata di studio 15 Dicembre 2009

TESTI CONSIGLIATI

- **KRAMER S.K., GEOTECHNICAL EARTHQUAKE ENGINEERING, PRENTICE HALL**
- **AA.VV MANUAL FOR ZONATION ON SEISMIC GEOTECHNICAL HAZARDS. TC4 ISSMGE, JGS**
- **SILVESTRI E LANZO RISPOSTA SISMICA**
- **LAI ET AL. INPUT SISMICO E STABILITA' GEOTECNICA DEI SITI DI COSTRUZIONE**

ELEMENTI DI SISMOLOGIA

Giornata di studio 15 Dicembre 2009



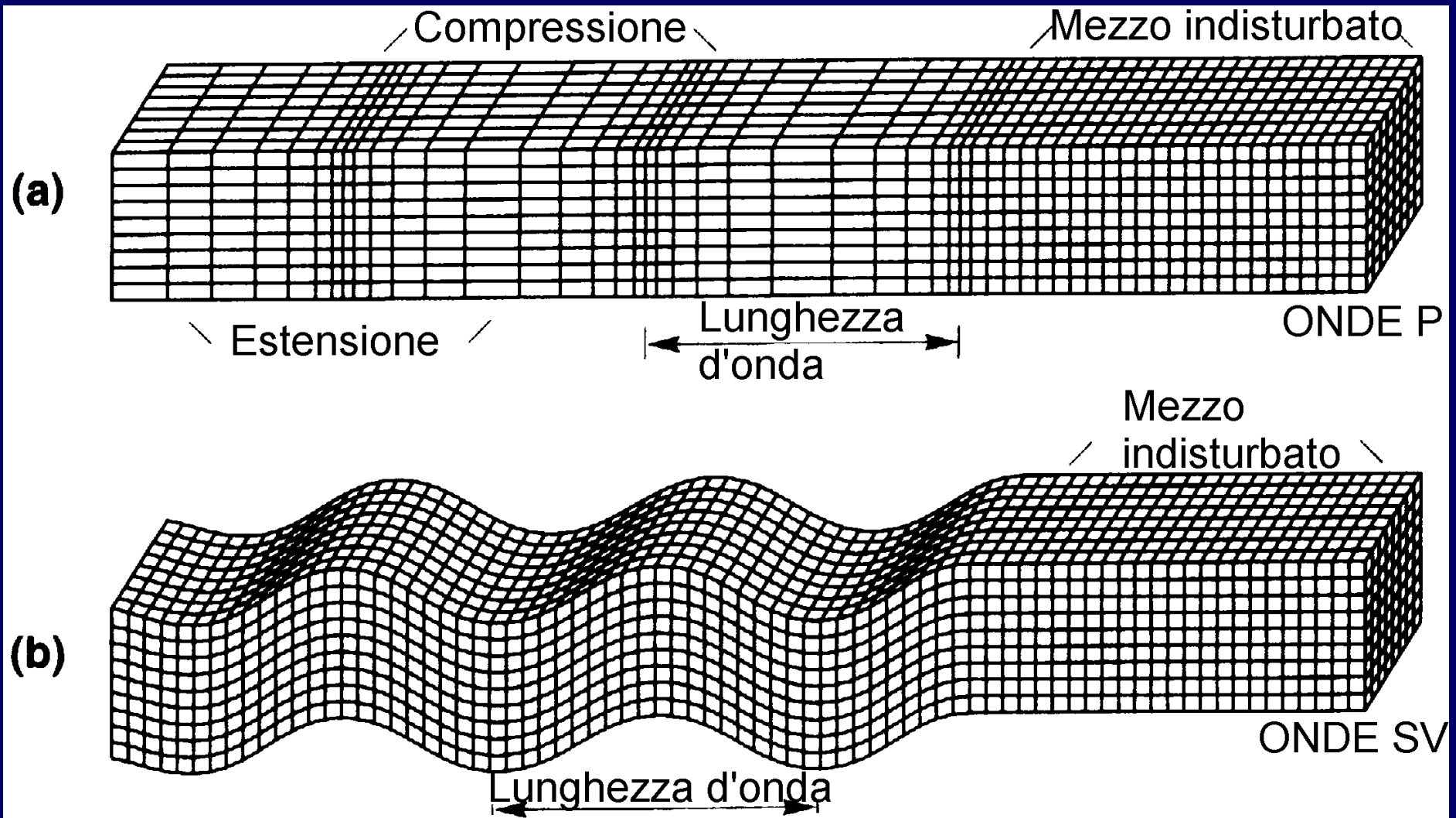
ELEMENTI DI SISMOLOGIA

- **CAUSE REMOTE DEI SISMI**
- **MISURA DEI TERREMOTI**
 - **PARAMETRI MACROSISMICI**
 - **MISURE STRUMENTALI**

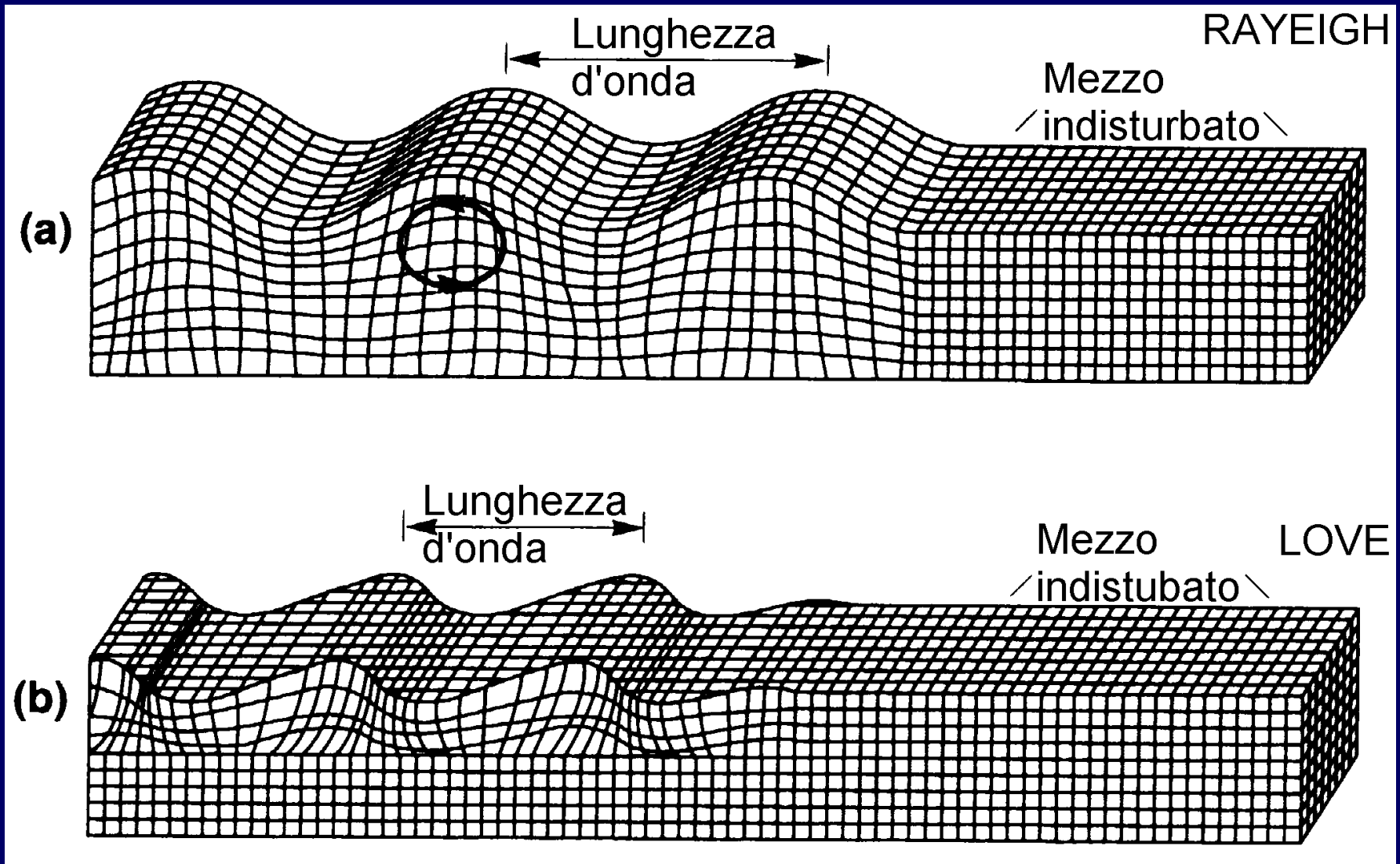
CAUSE REMOTE

- **ROTTURE (PROFONDE < 700 Km) DELLA CROSTA TERRESTRE;**
- **PROPAGAZIONE (DAL FUOCO) DI ONDE DI VOLUME E DI SUPERFICIE**
- **TEORIA DELLA TETTONICA A ZOLLE (LA PIU' ACCREDITATA)**

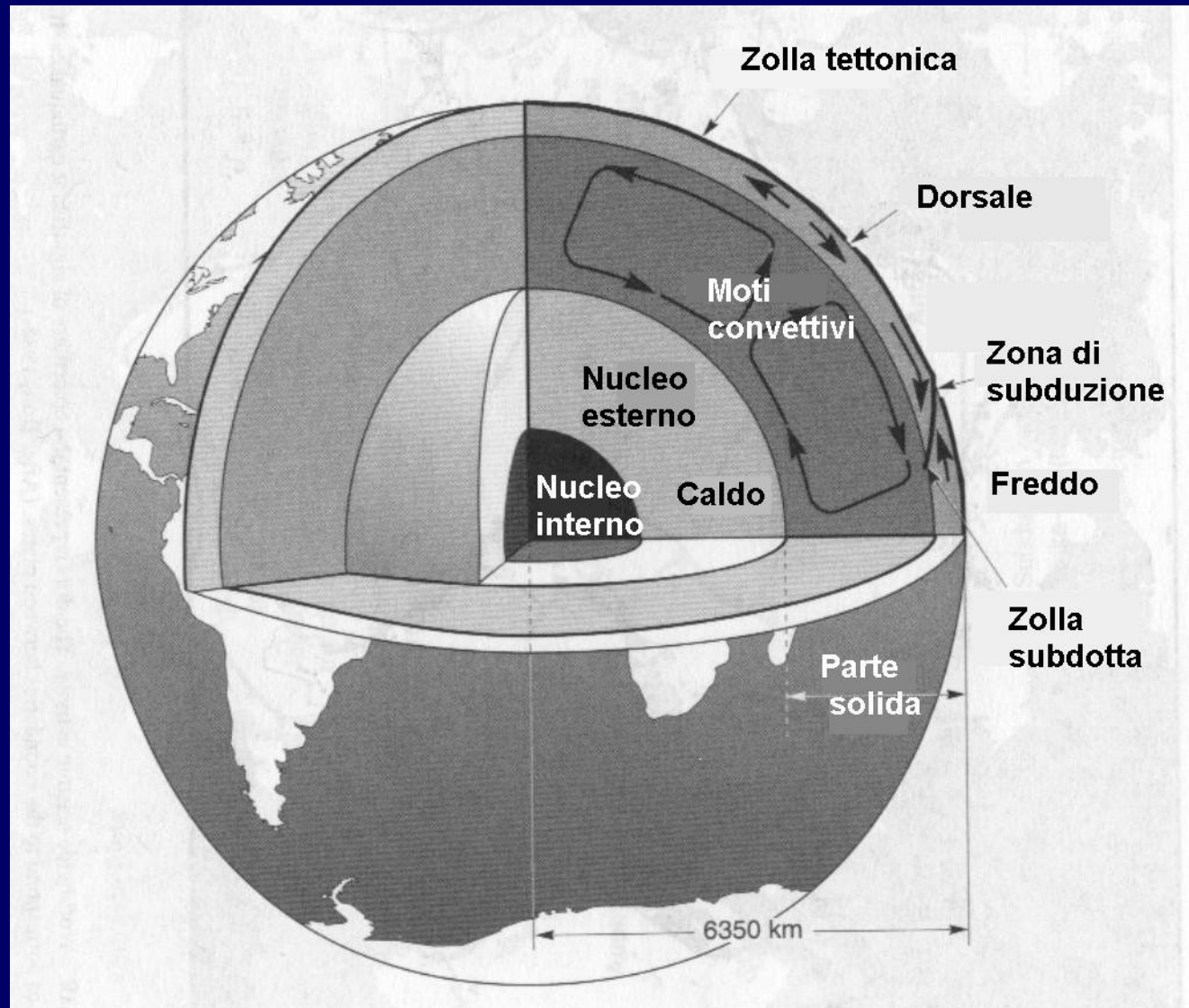
ONDE DI VOLUME (BOLT 1988)



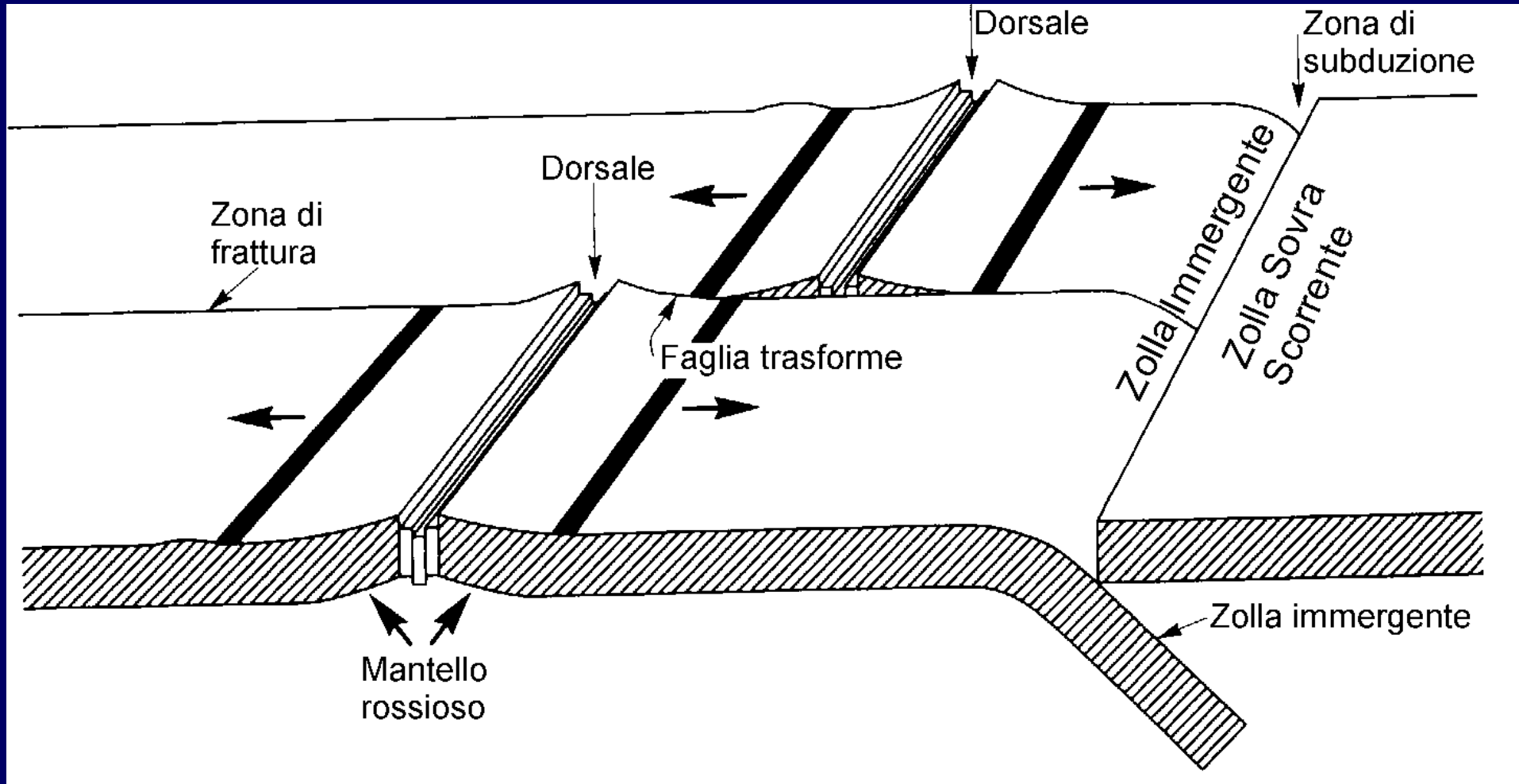
ONDE DI SUPERFICIE (BOLT 1988)



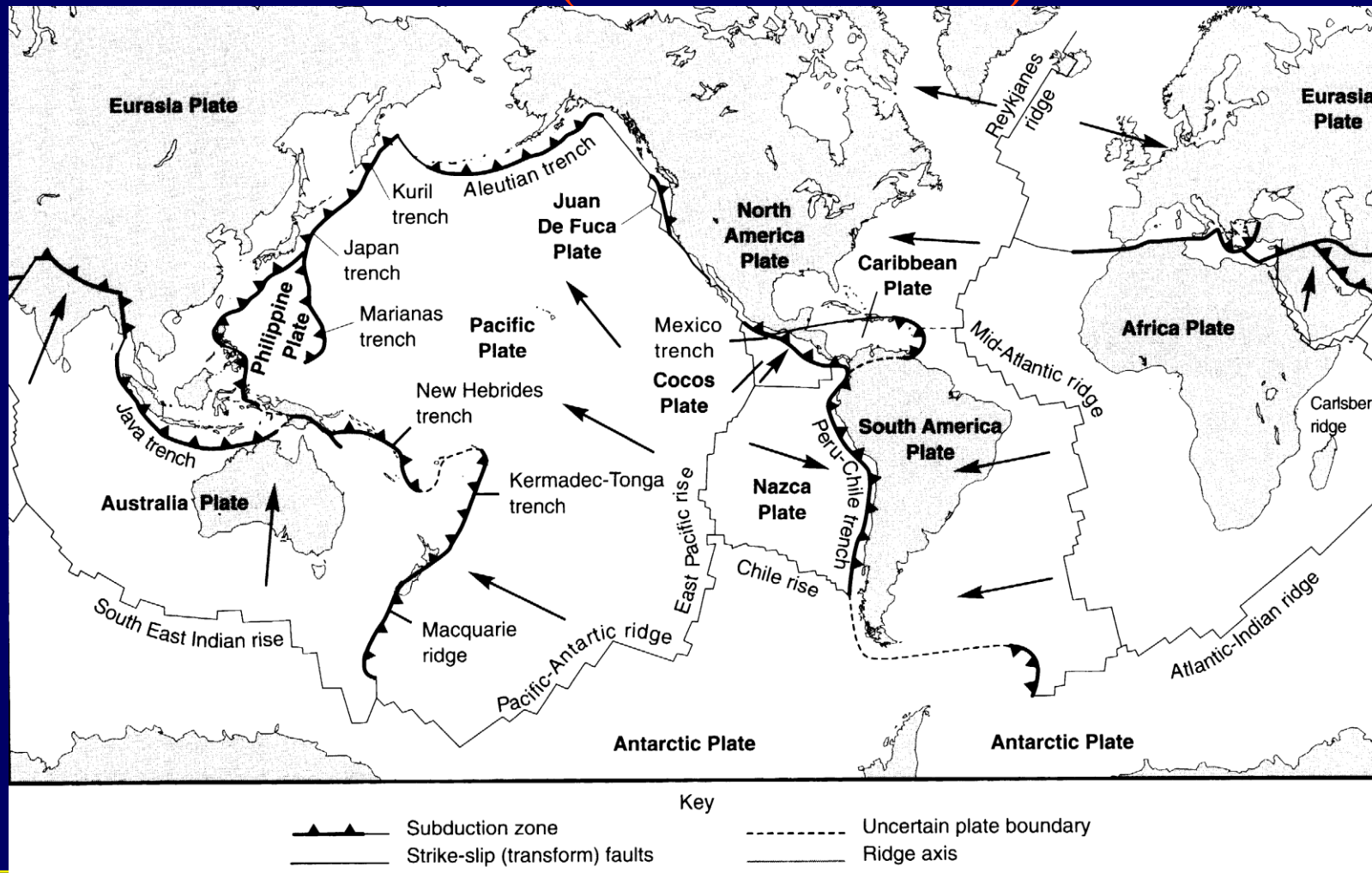
STRUTTURA INTERNA DELLA TERRA



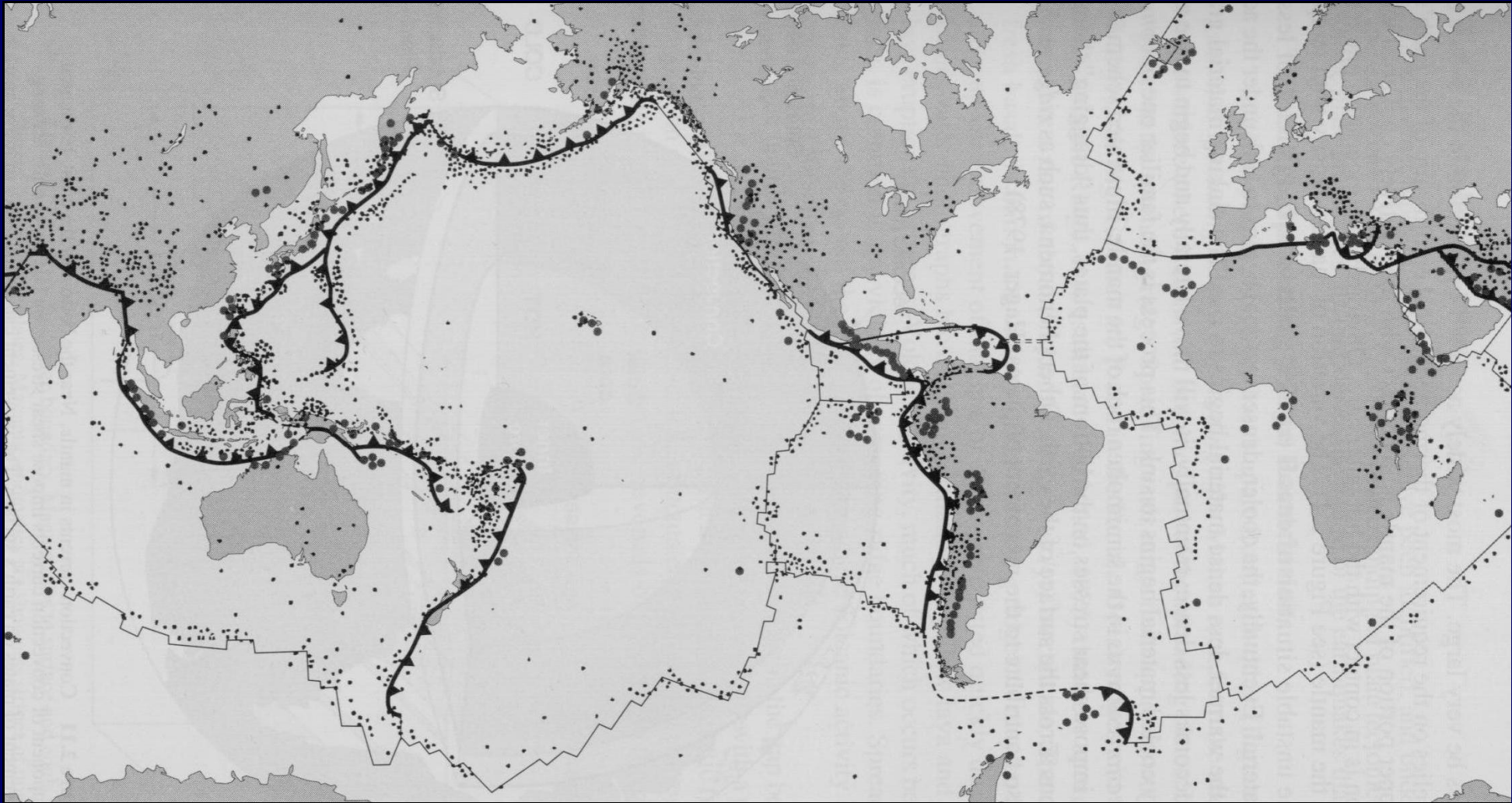
SCHEMA: ATTIVITA' TETTONICA



6 ZOLLE CONTINENTALI, 14 SUB-CONTINENTALI, NUMEROSE MICROZOLLE (FOWLER 1990)

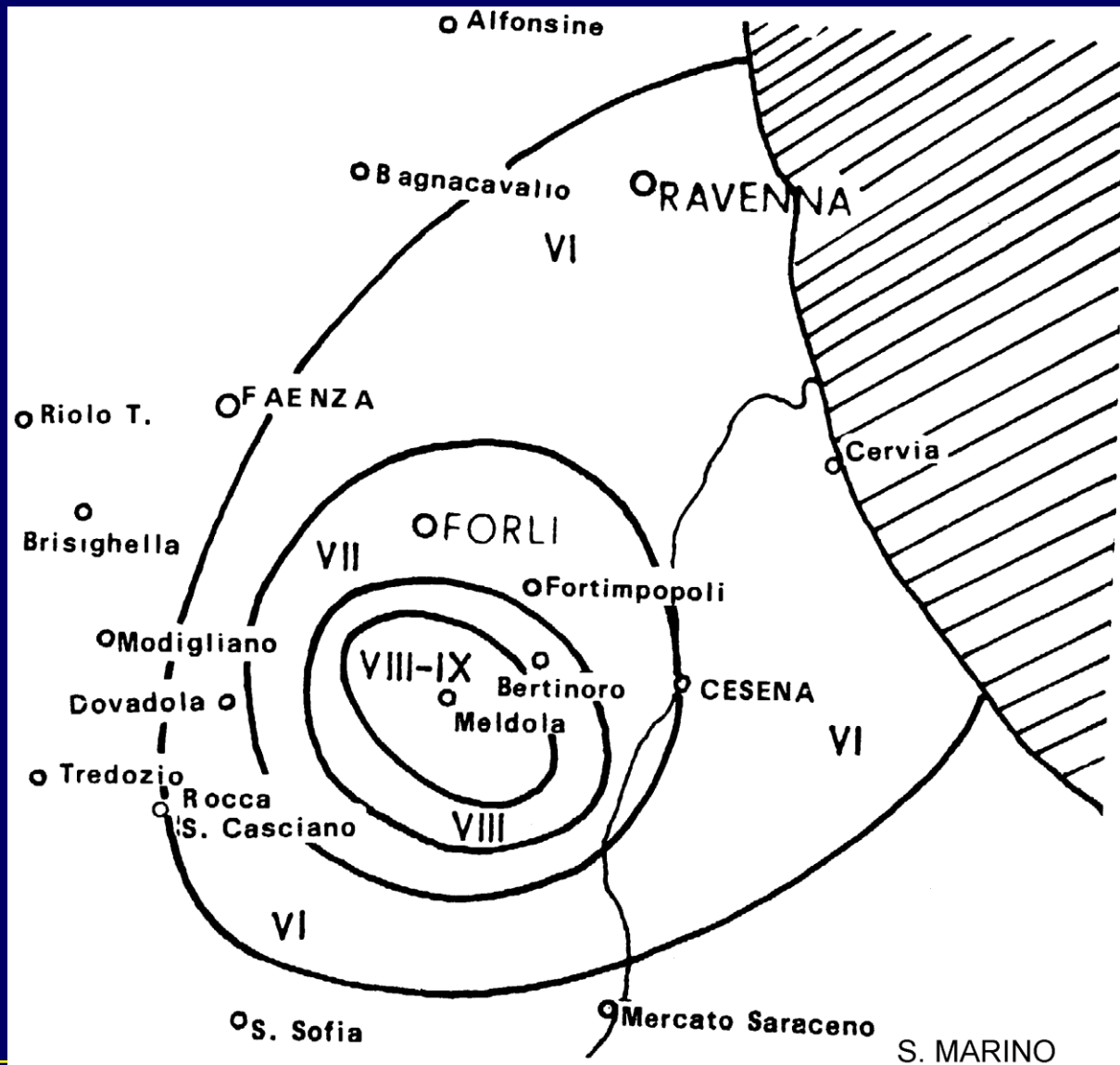


ATTIVITA' SISMICA NEL MONDO (BOLT 1988)



MISURA TERREMOTI

ISOSISME



PARAMETRI MACROSISMICI: INTENSITA'

MMI

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
---	----	-----	----	---	----	-----	------	----	---	----	-----

RF

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
---	----	-----	----	---	----	-----	------	----	---

JMA

I	II	III	IV	V	VI	VII
---	----	-----	----	---	----	-----

MSK

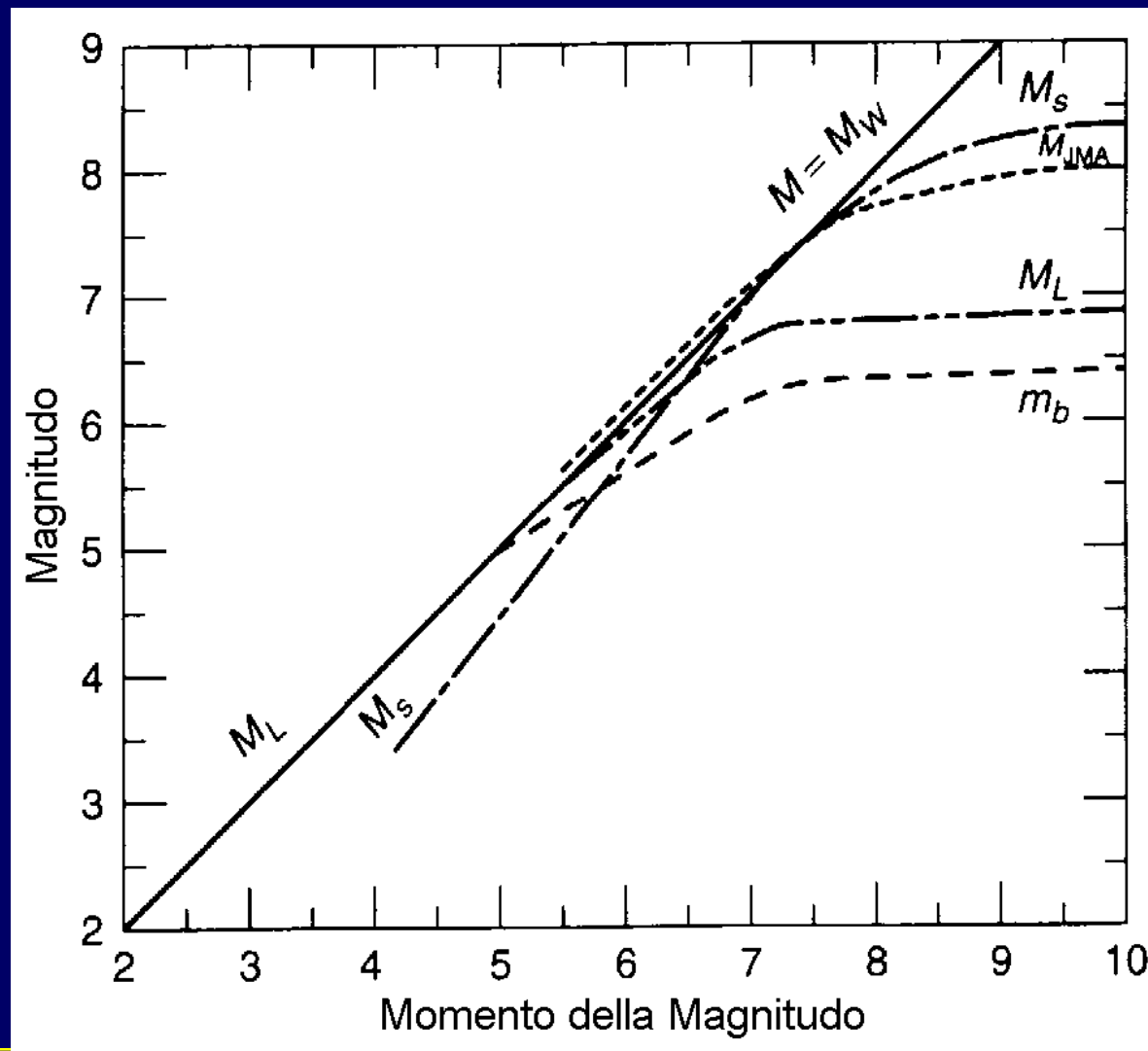
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
---	----	-----	----	---	----	-----	------	----	---	----	-----

MAGNITUDO

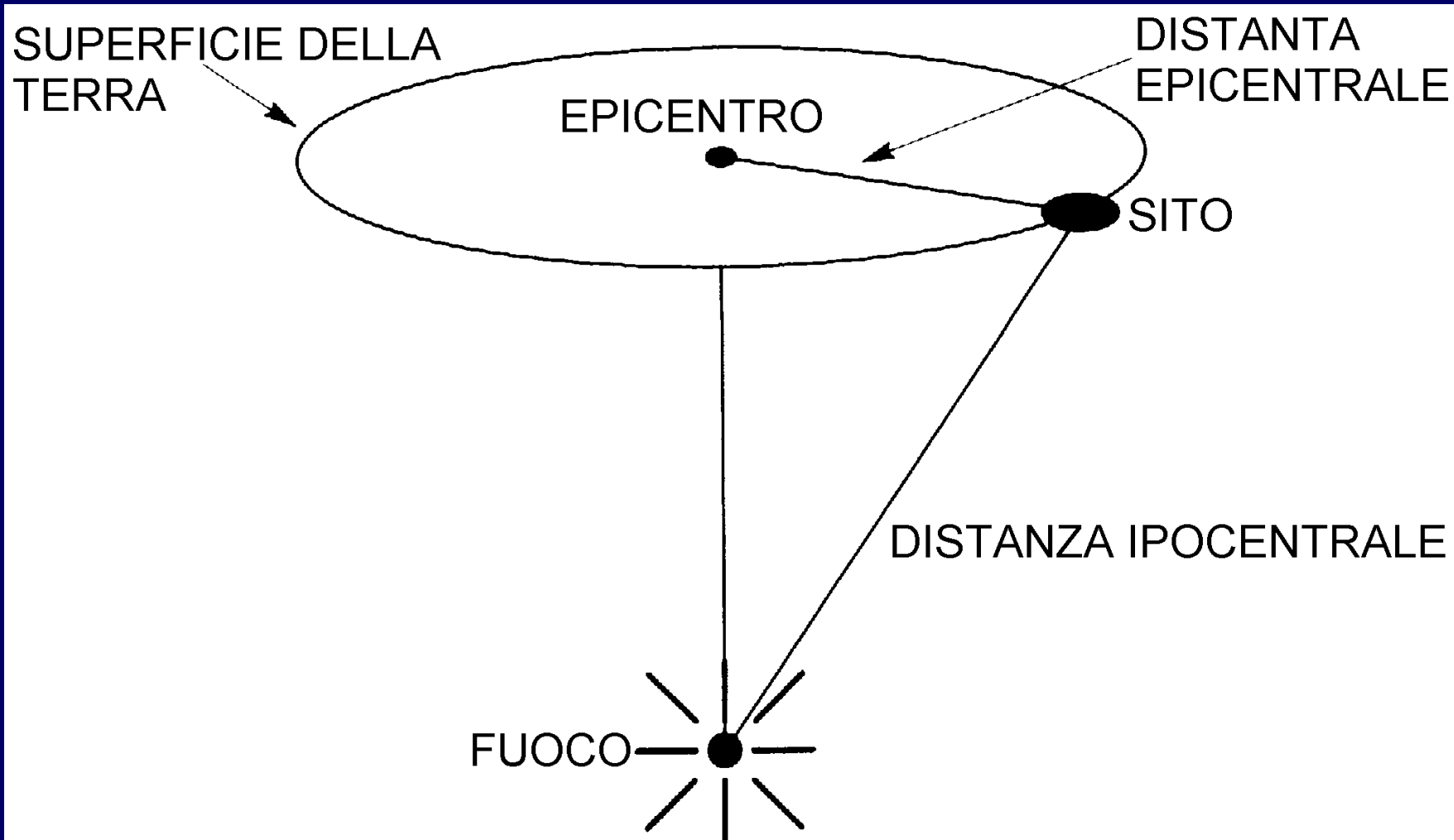
- **Locale (Richter 1935; $d < 600$ Km)**
 - $M_L = \text{LOG}(A_{\text{max}}) - \text{LOG}(A_0)$
- **Onde Superficie (Gutenberg e Richter 1956, $d > 1000$ Km)**
 - $M_S = \text{LOG}(A_{\text{max}}) + 1.66 \cdot \text{LOG}(\Delta) + 2.0$
- **Onde Volume (Gutenberg 1945 fuoco > 70 Km)**
 - $m_b = \text{LOG}(A_{\text{max}}) - \text{LOG}(T) + 0.01 \cdot \Delta + 5.9$
- **Locale (JMA, onde di lungo periodo)**
 - M_{JMA}

MAGNITUDO DEL MOMENTO:

$$M_w = \text{Log}M_0/1.5 - 10.7 \text{ (dyne-cm)}$$

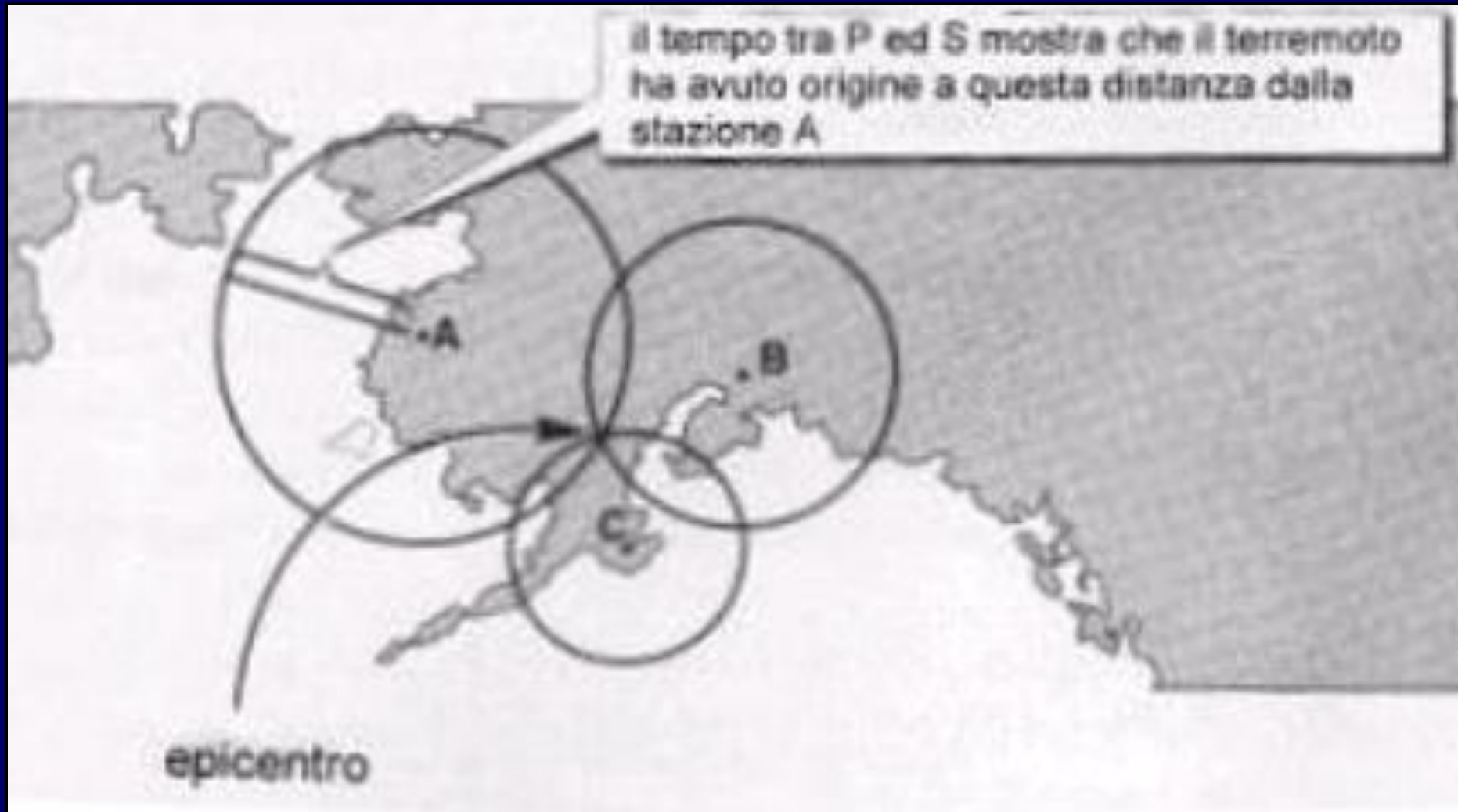


LOCALIZZAZIONE DI UN SISMA: TERMINOLOGIA



LOCALIZZAZIONE DI UN SISMA:

$$d = \Delta t_{p-s} / (1/V_s - 1/V_p)$$



MISURE STRUMENTALI

- **TRE COMPONENTI DI MOTO (EW, NS, UD)**
- **PARAMETRI DI SCUOTIBILITA'**
 - **AMPIEZZA**
 - **FREQUENZA**
 - **DURATA**

MISURE STRUMENTALI

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = -m\ddot{u}_g$$

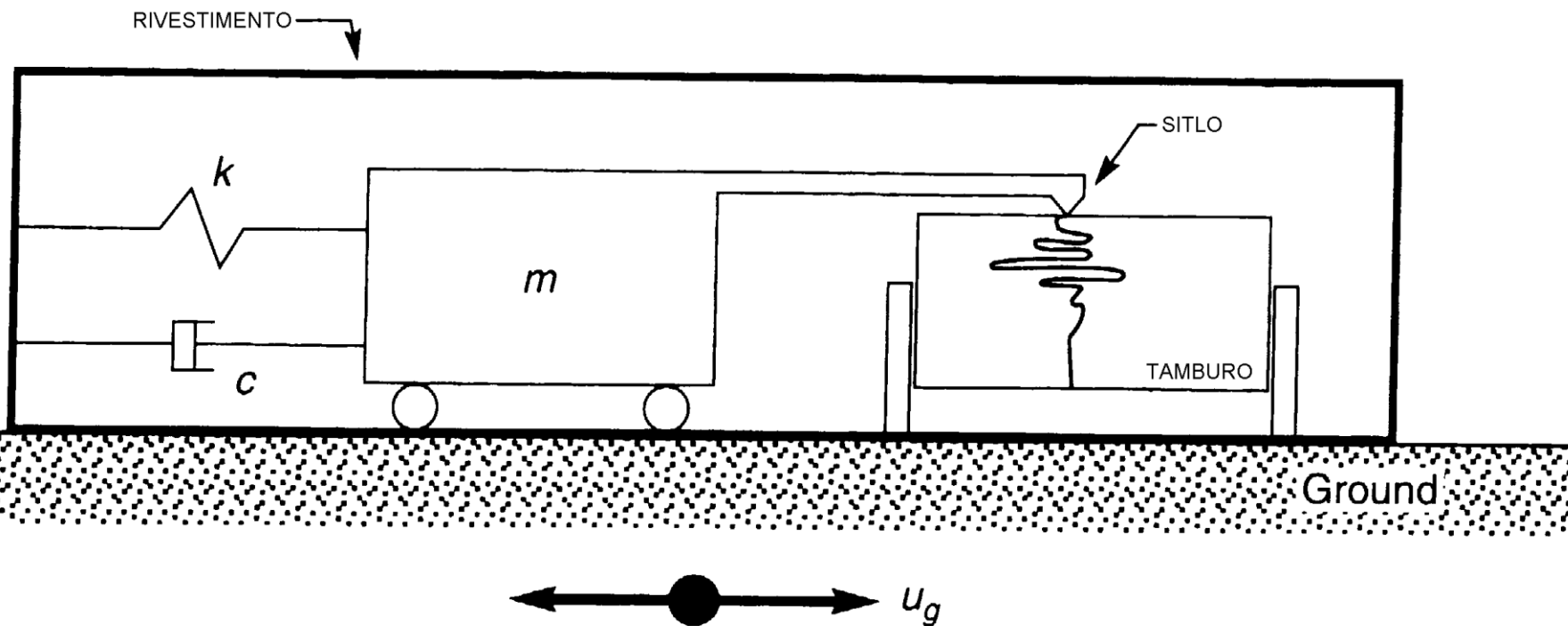
$$\beta = \omega_g / \omega_n$$

$$\omega_n = \sqrt{k/m}$$

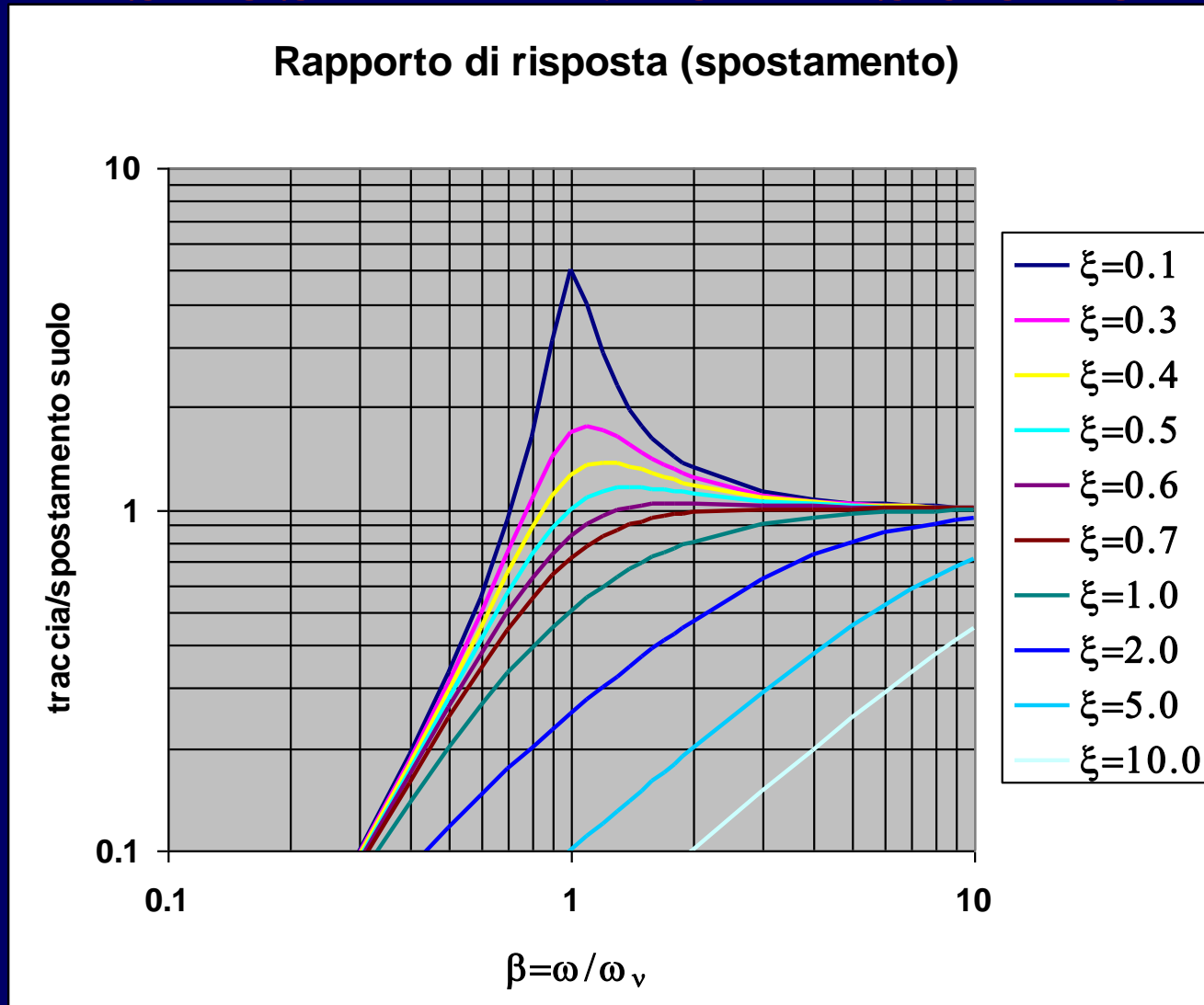
$$\xi = c / 2\sqrt{km}$$

$$\frac{|u|}{|u_g|} = \frac{\beta^2}{\sqrt{(1-\beta^2)^2 + (2\xi\beta)^2}}$$

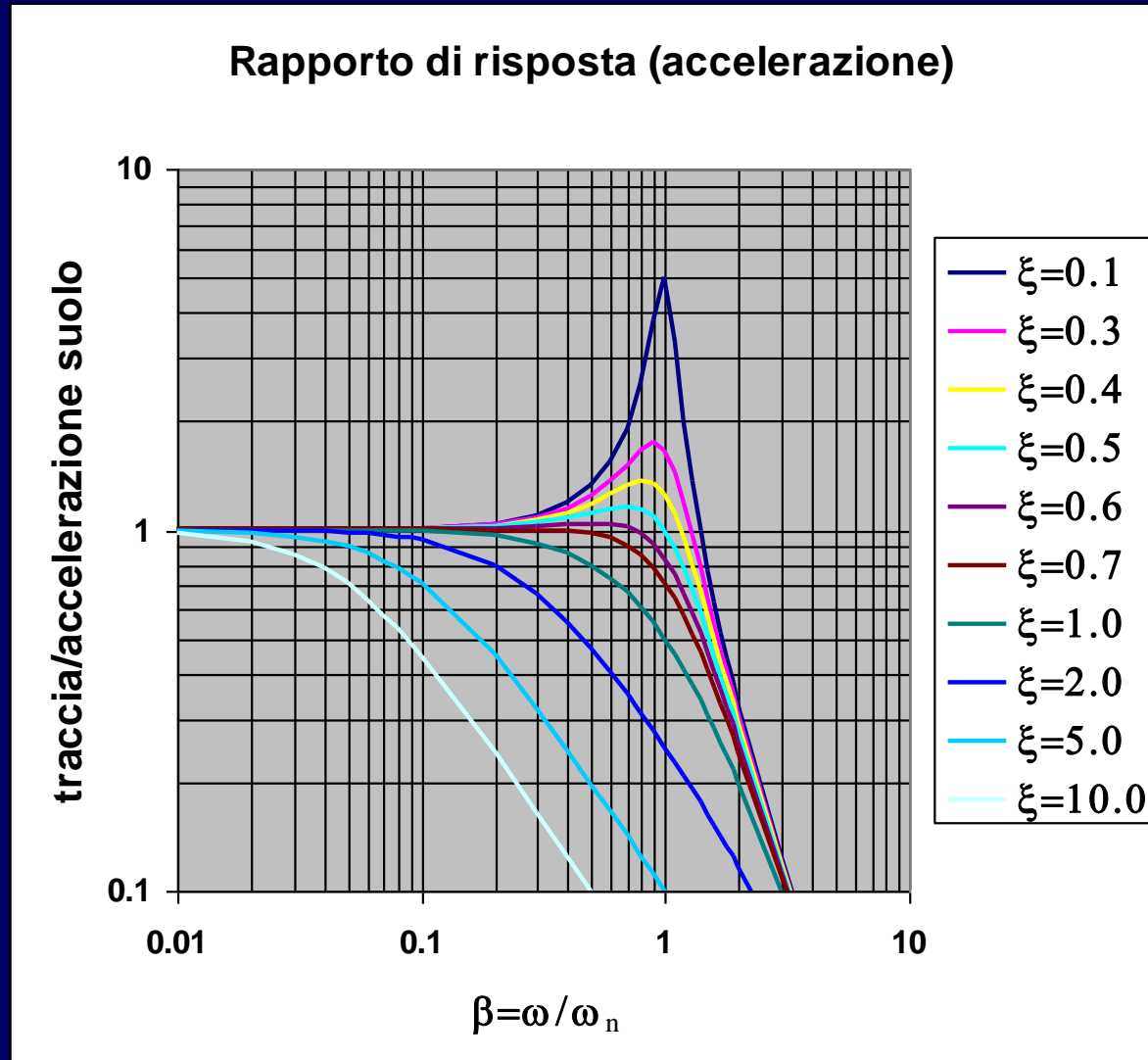
$$\frac{|u|}{|\ddot{u}_g|} = \frac{1}{\sqrt{(1-\beta^2)^2 + (2\xi\beta)^2}}$$



RAPPORTO SPOSTAMENTO TRACCIA – SPOSTAMENTO AL SUOLO



RAPPORTO SPOSTAMENTO TRACCIA – ACCELERAZIONE AL SUOLO



ESEMPIO DI REGISTRAZIONE (DIGITALE)

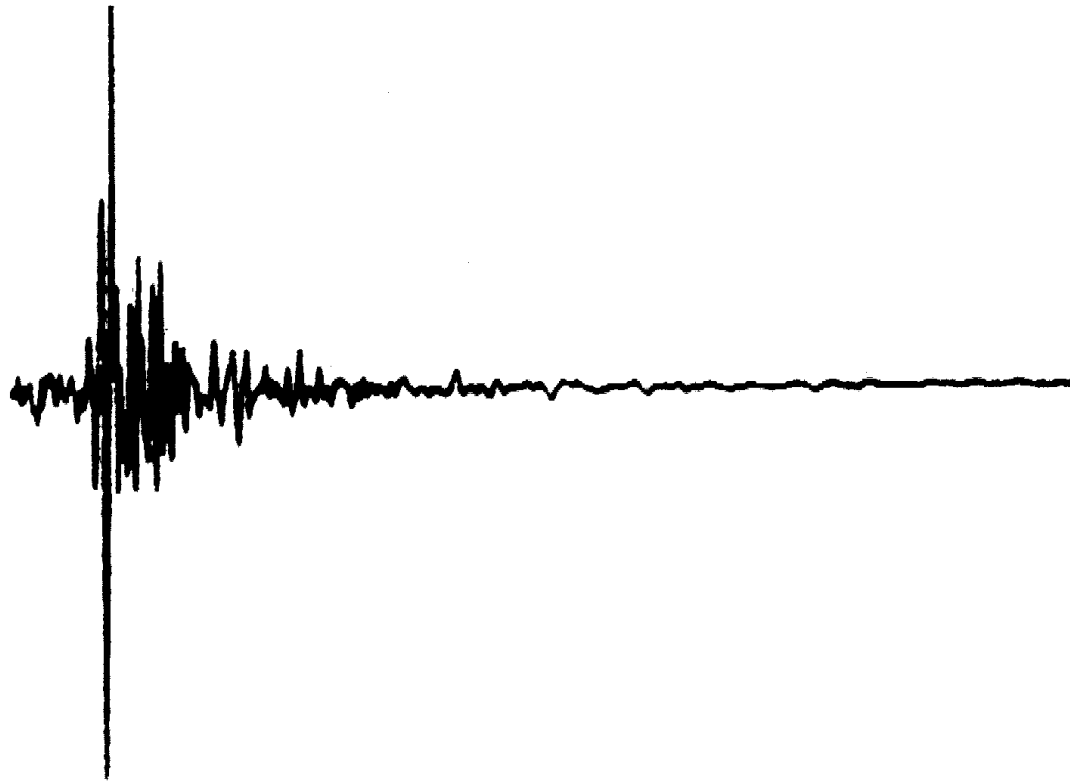
COMP : DU UNCORRECTED DATA 10-10-2000
AUTOMATIC DIG. FIX SAMPLING TIME : 0.00423000

FT AND FC SUBTRACTED .000 .000 HZ

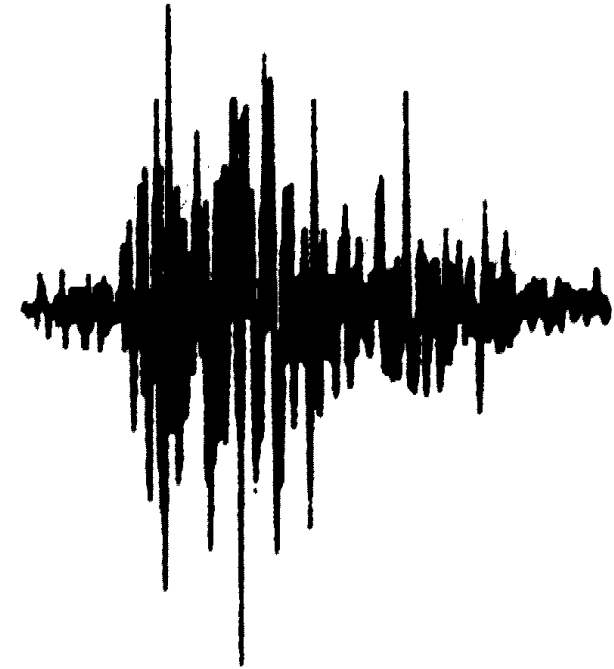
AMAX : -63.976 CM/SEC**2 TIME (AMAX) : 3.060 SEC
TOTAL DURATION : 41.510 SEC RMS : 6.925 CM/SEC**2
UNITS ARE : SEC CM/SEC**2 POINTS : 8303

-16.050000
-21.490000
-22.050000
-17.450000

ESEMPIO DI REGISTRAZIONE (TIME HISTORY)



(a)

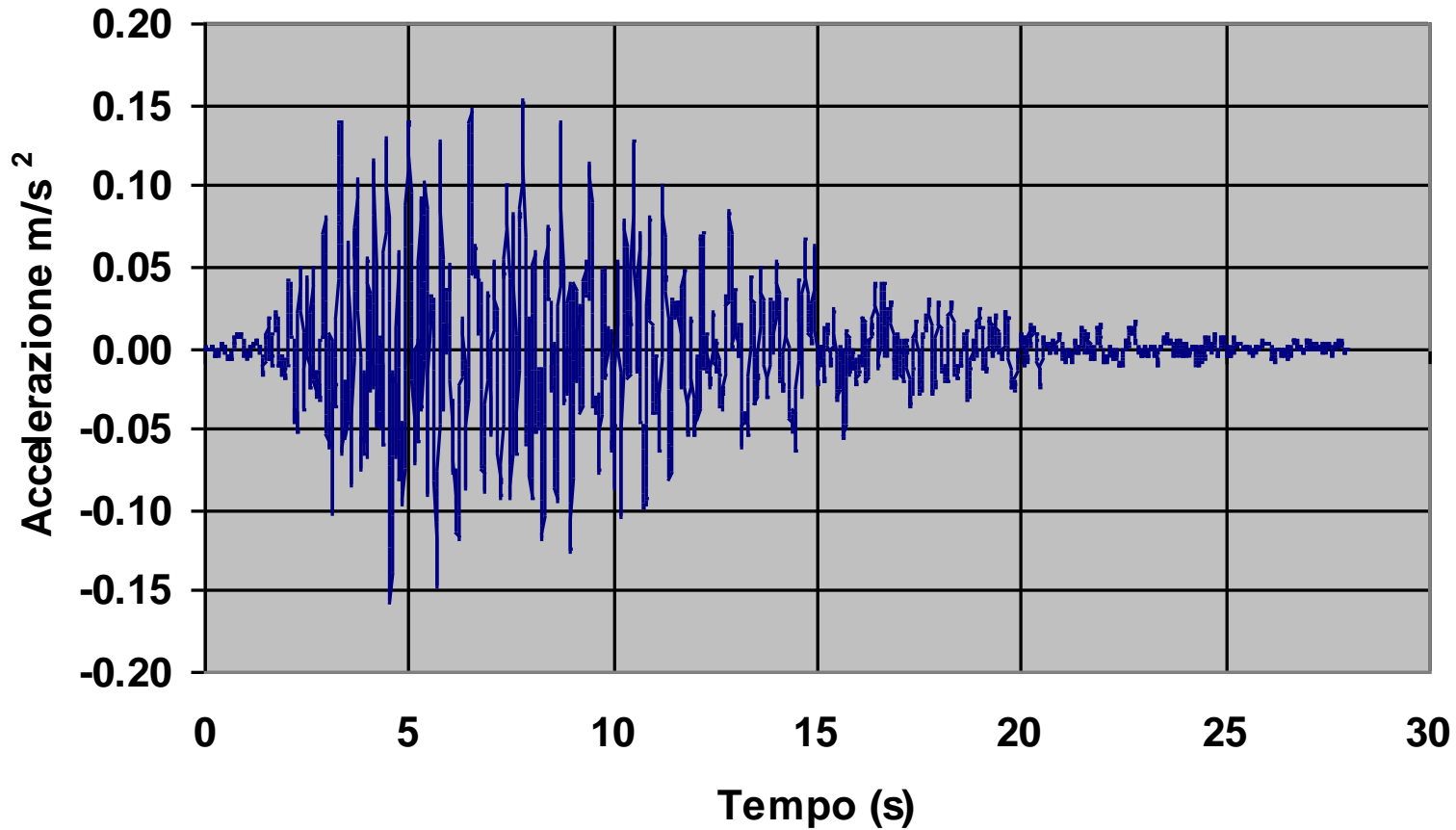


(b)

PARAMETRI DI SCUOTIBILITA': AMPIEZZA (PHA, PVA, PHV, PD)

$$\dot{x}(\omega) = \ddot{x}(\omega) / \omega$$

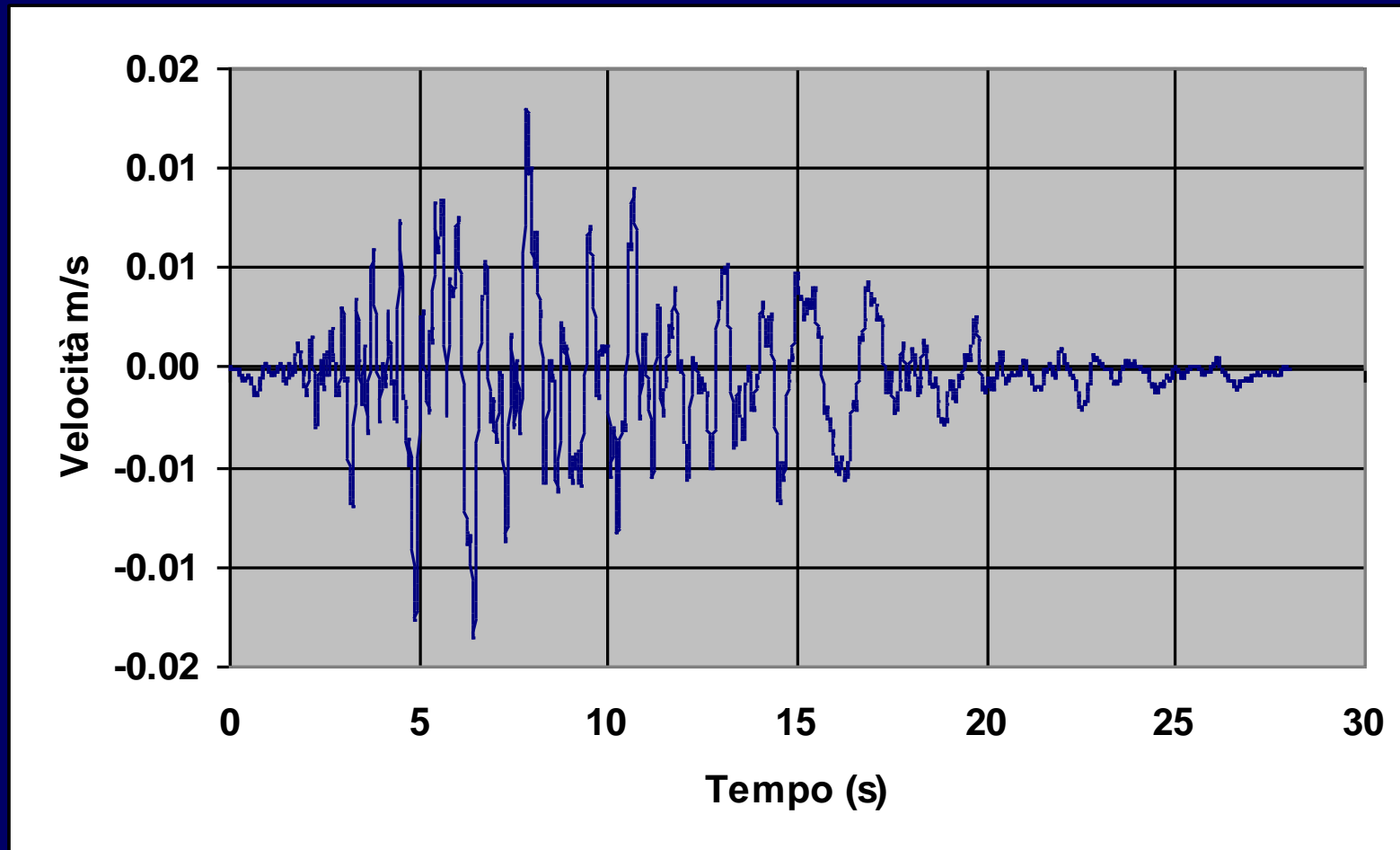
$$x(\omega) = \dot{x}(\omega) / \omega = \ddot{x}(\omega) / \omega^2$$



PARAMETRI DI SCUOTIBILITA': AMPIEZZA (PHA, PVA, PHV, PD)

$$\dot{x}(\omega) = \ddot{x}(\omega) / \omega$$

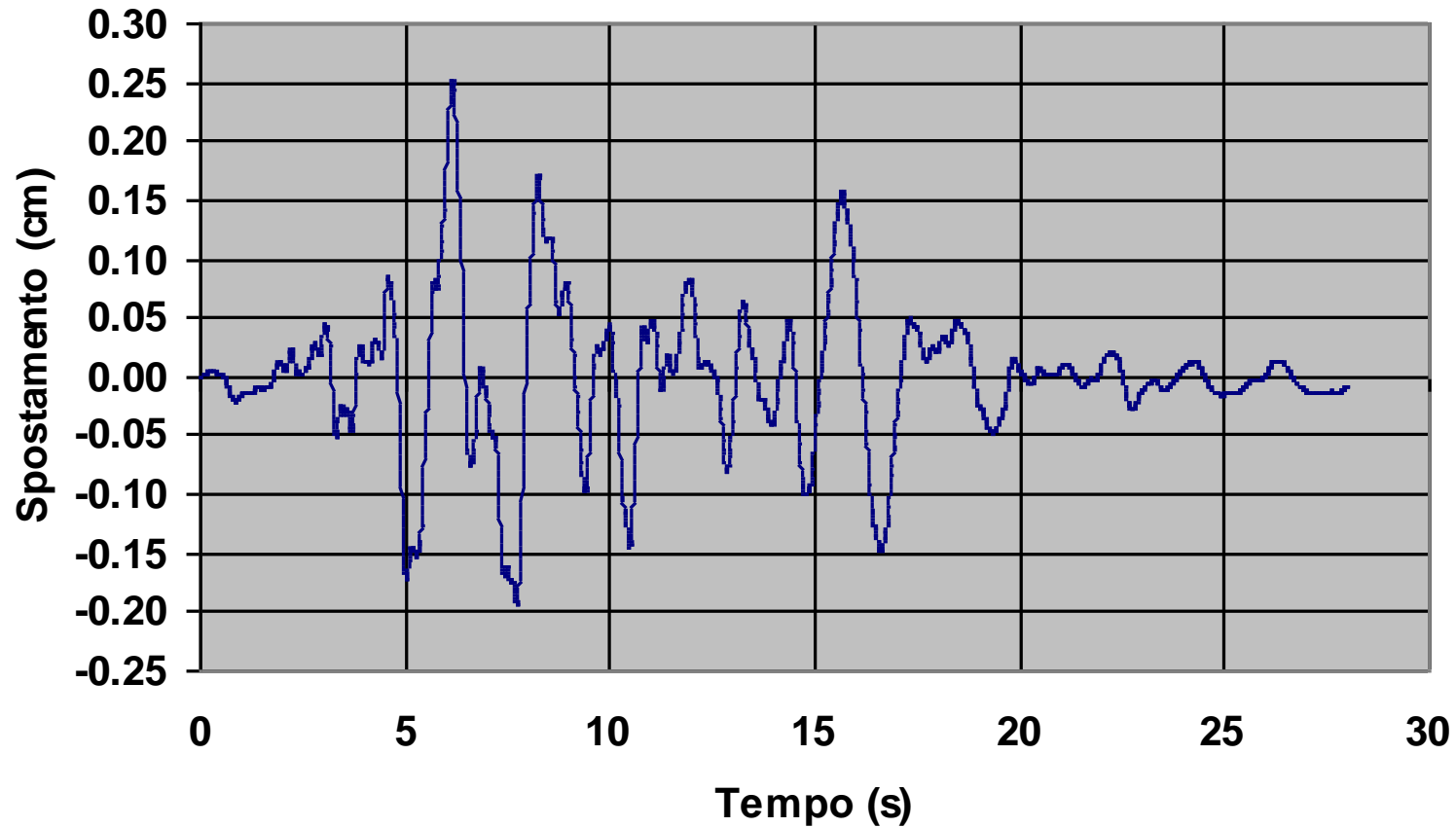
$$x(\omega) = \dot{x}(\omega) / \omega = \ddot{x}(\omega) / \omega^2$$



PARAMETRI DI SCUOTIBILITA': AMPIEZZA (PHA, PVA, PHV, PD)

$$\dot{x}(\omega) = \ddot{x}(\omega) / \omega$$

$$x(\omega) = \dot{x}(\omega) / \omega = \ddot{x}(\omega) / \omega^2$$



PARAMETRI DI SCUOTIBILITA': FREQUENZA

- **SPETTRO DI FOURIER**

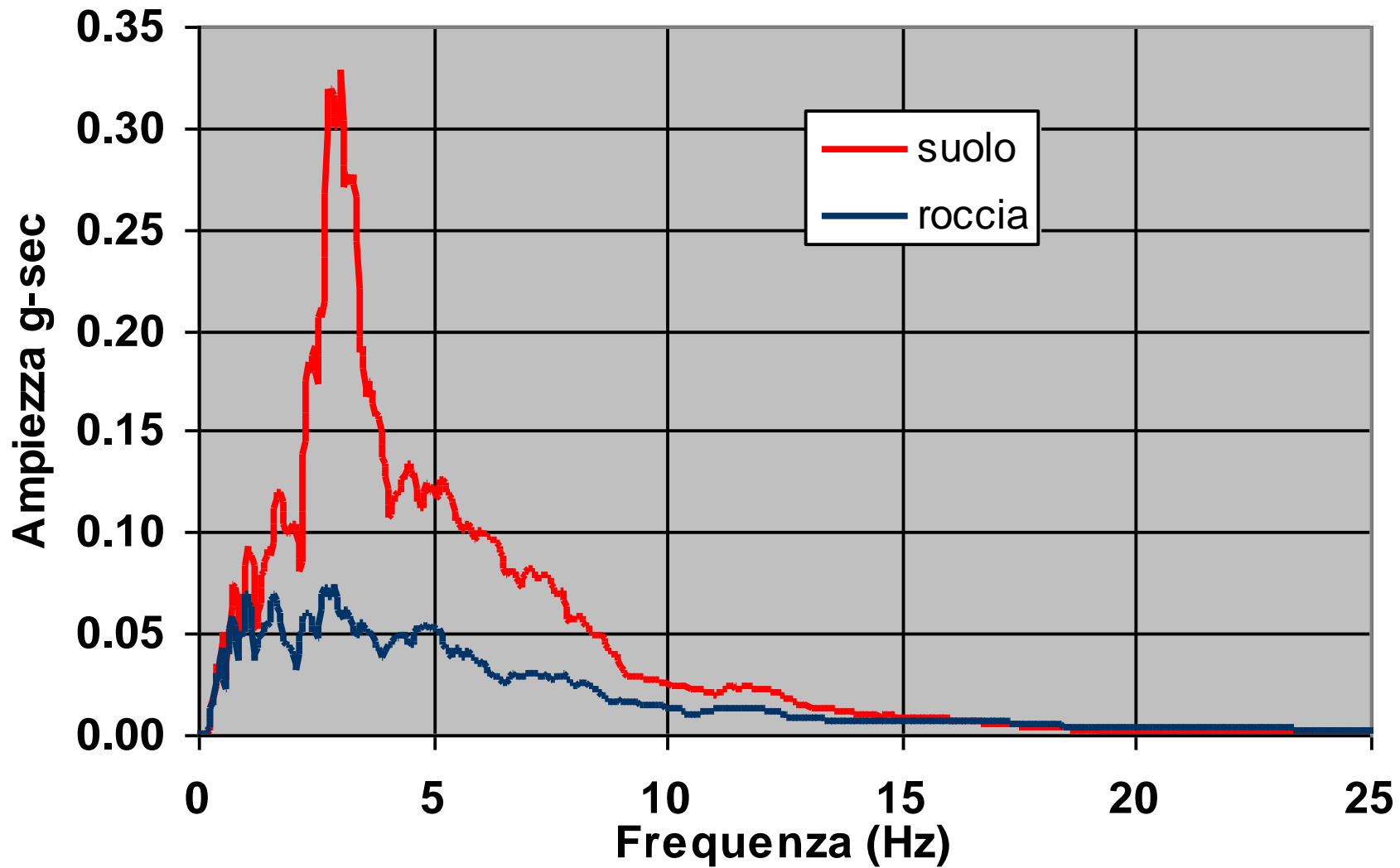
$$x(t) = c_0 + \sum_{n=1}^{\infty} c_n \text{sen}(\omega_n t + \phi_n)$$

- **SPETTRO DI POTENZA**

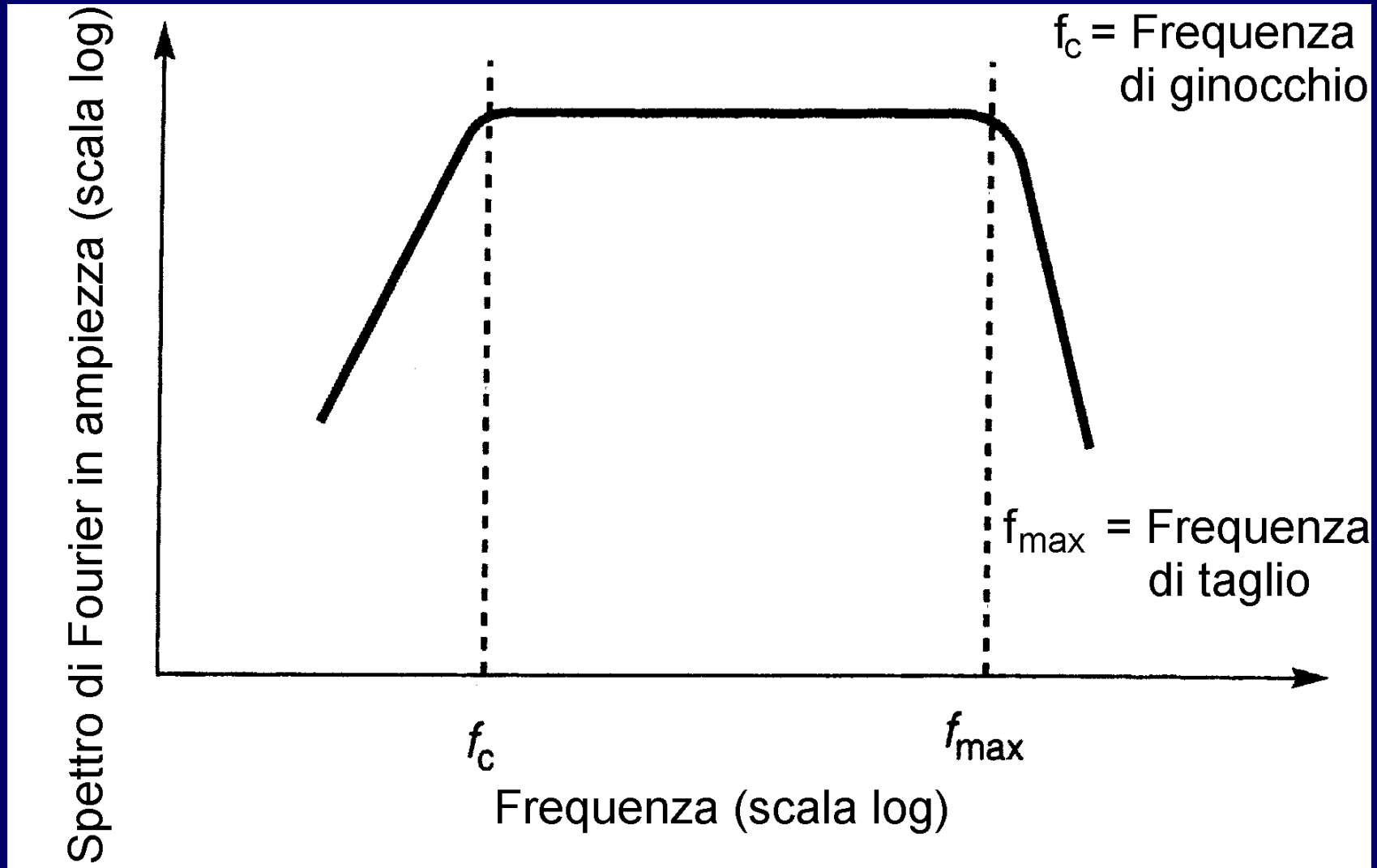
$$G(\omega) = \frac{c_n^2}{\pi \cdot T_d}$$

- **SPETTRO DI RISPOSTA**

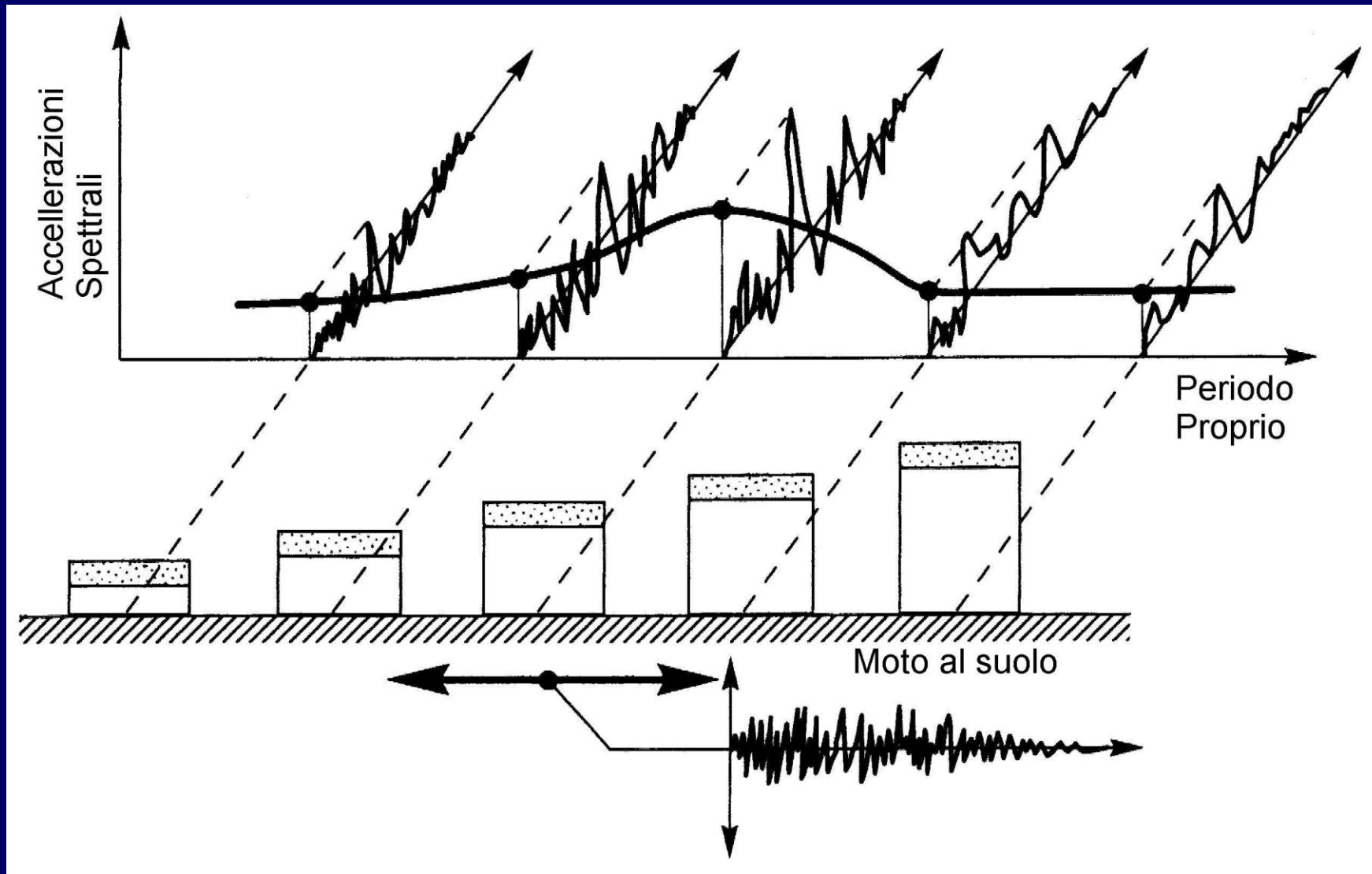
SPETTRO DI FOURIER (AMPIEZZA)



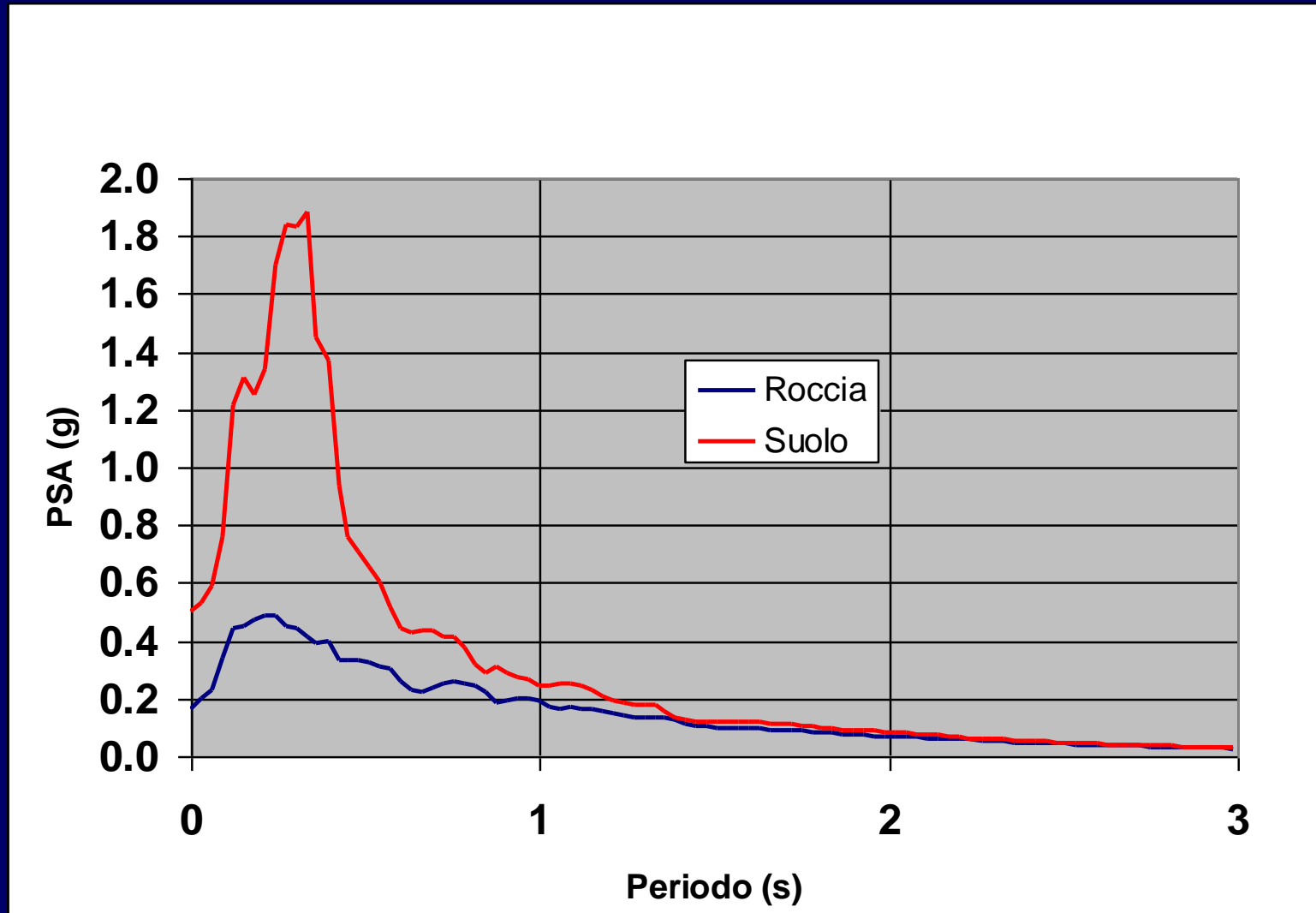
SPETTRO DI FOURIER (FORMA TIPICA)



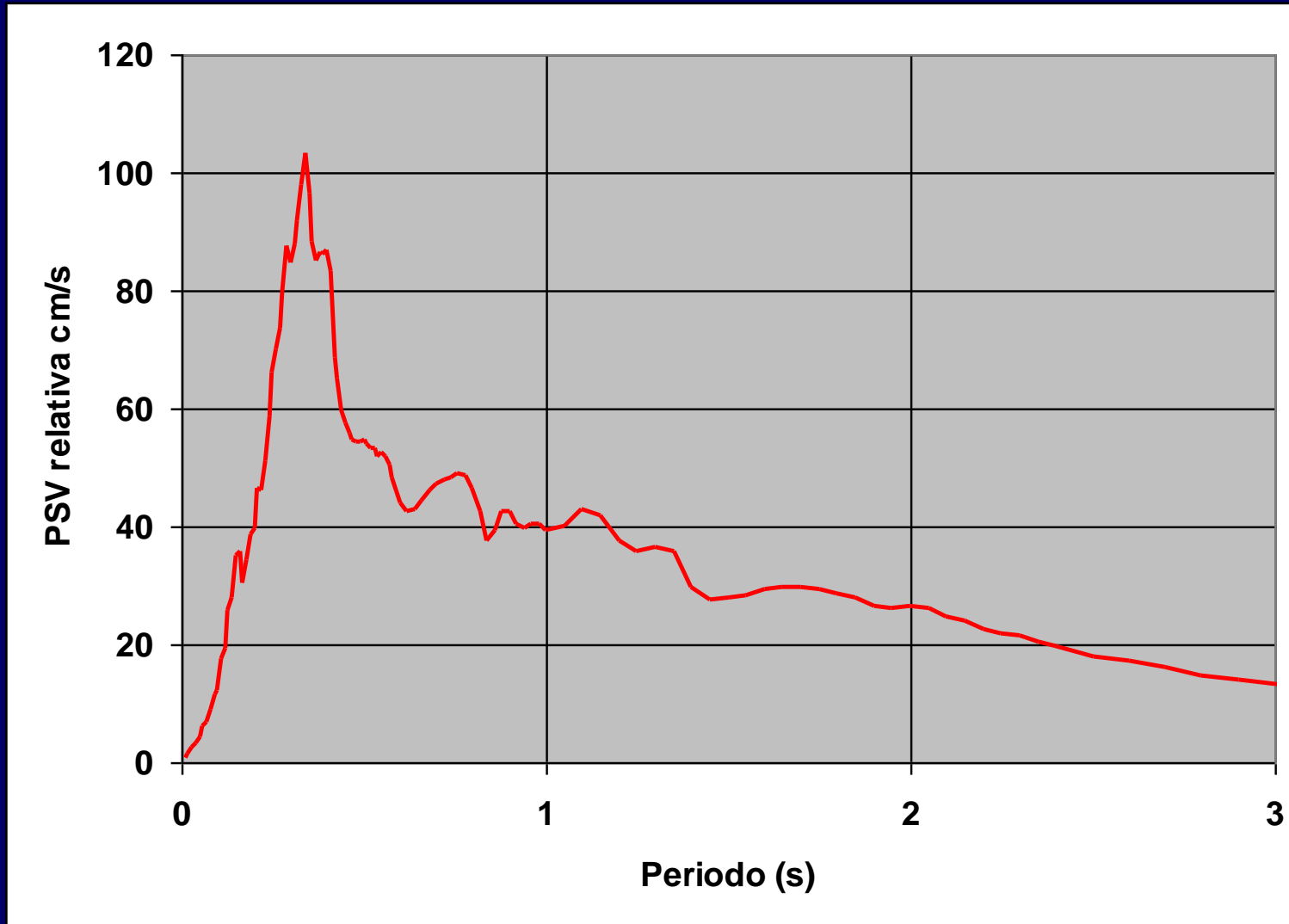
SPETTRO DI RISPOSTA: DEFINIZIONE



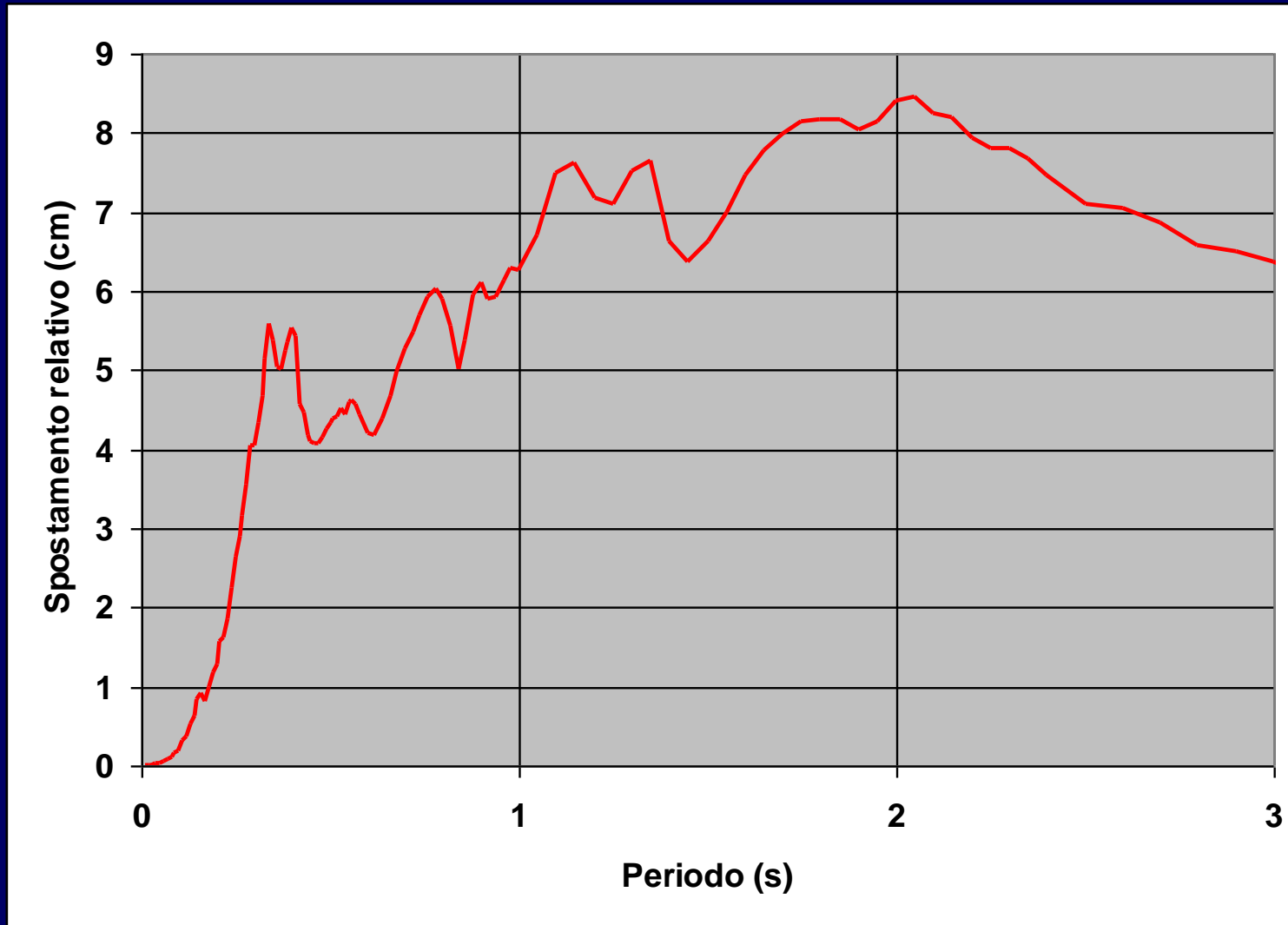
RAPPRESENTAZIONE DELLO SPETTRO DI RISPOSTA



RAPPRESENTAZIONE DELLO SPETTRO DI RISPOSTA



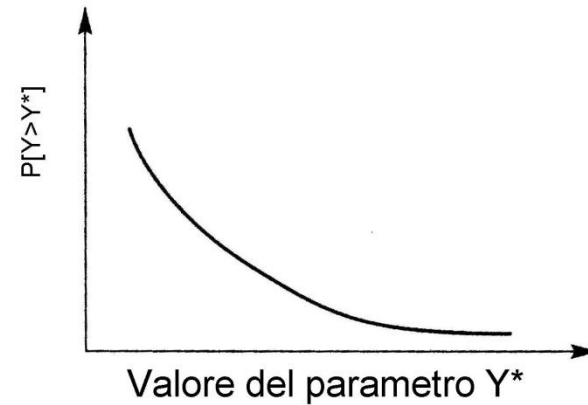
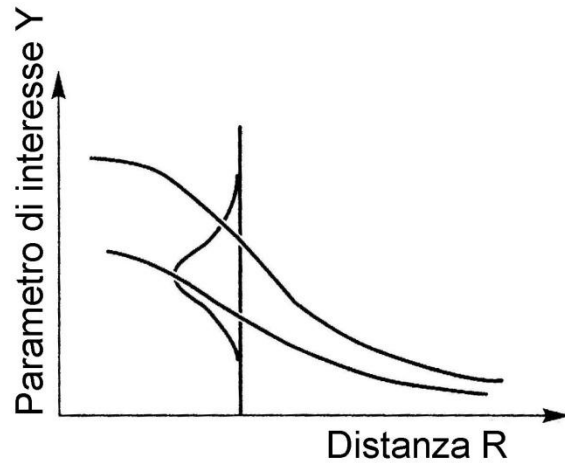
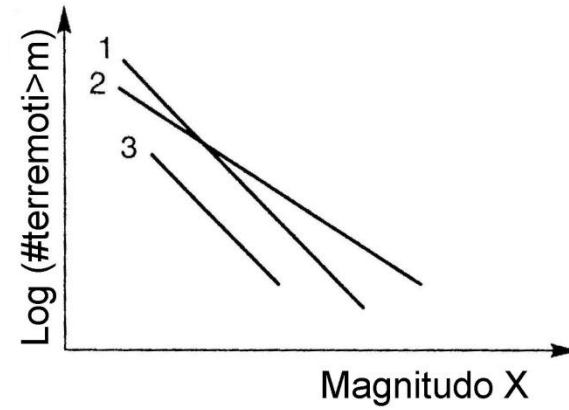
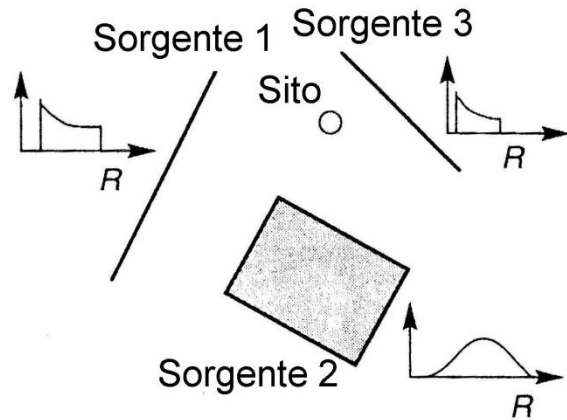
RAPPRESENTAZIONE DELLO SPETTRO DI RISPOSTA



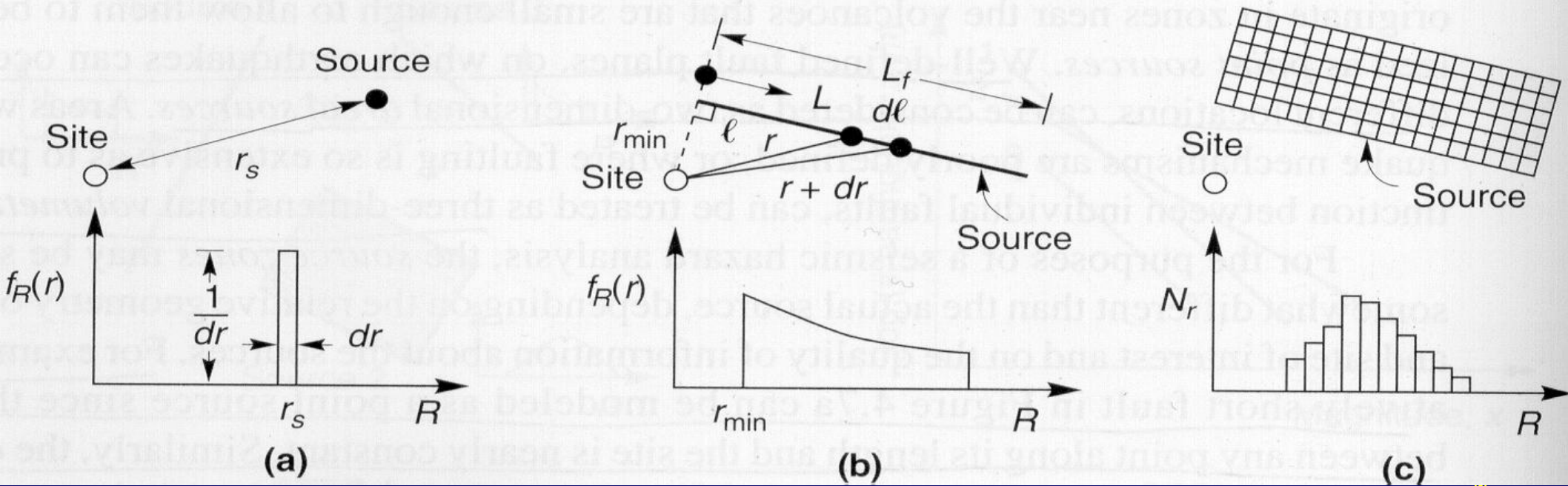
PERICOLOSITA' DI BASE



PERICOLOSITA' (PROBABILISTICO)



INCERTEZZA SPAZIALE: FUNZIONE DENSITA' DI PROBABILITA' (1)



INCERTEZZA SPAZIALE: FUNZIONE DENSITA' DI PROBABILITA' (2)

- Sorgente puntiforme
- Sorgente lineare $f_L(l)dl=f_R(r)dr$
 - $f_L(l)=1/L_f$; $l^2=r^2-r_{\min}^2$; $f_R(r)=r/L_f(r^2-r_{\min}^2)^{0.5}$
- Sorgente areale
 - Approccio numerico

LEGGI DI RICORRENZA (3)

$$\lambda_m = v \frac{\exp[-\beta(m - m_o)] - \exp[-\beta(m_{\max} - m_o)]}{1 - \exp[-\beta(m_{\max} - m_o)]}$$

$$v = \exp(\alpha - \beta \cdot m_o) \quad m_o \leq m \leq m_{\max}$$

$$F_M(m) = \frac{1 - \exp[-\beta(m - m_o)]}{1 - \exp[-\beta(m_{\max} - m_o)]}$$

$$f_M(m) = \frac{\beta \cdot \exp[-\beta(m - m_o)]}{1 - \exp[-\beta(m_{\max} - m_o)]}$$

CORRELAZIONI PER LA STIMA DEI PARAMETRI DI SCUOTIBILITA'

- **RELAZIONI DI ATTENUAZIONE**

– AMBRASEYS ET AL. 1996

$$\text{Log}(y) = b_1 + b_2 M_s + b_4 \text{Log}(d) + b_A S_A + b_S S_s + \sigma P$$

– SABETTA E PUGLIESE 1996

$$\text{Log}(y) = a + bM + c\text{Log}(d) + e_1 S_1 + e_2 S_2 \pm \sigma$$

ZONAZIONE ZS9

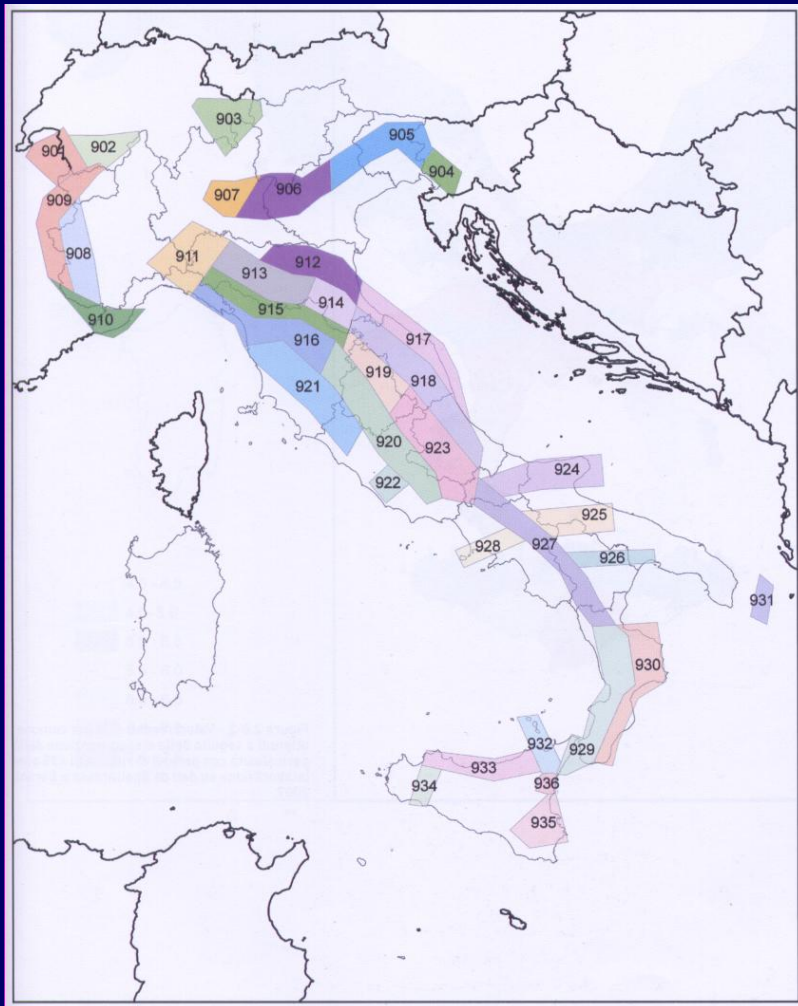
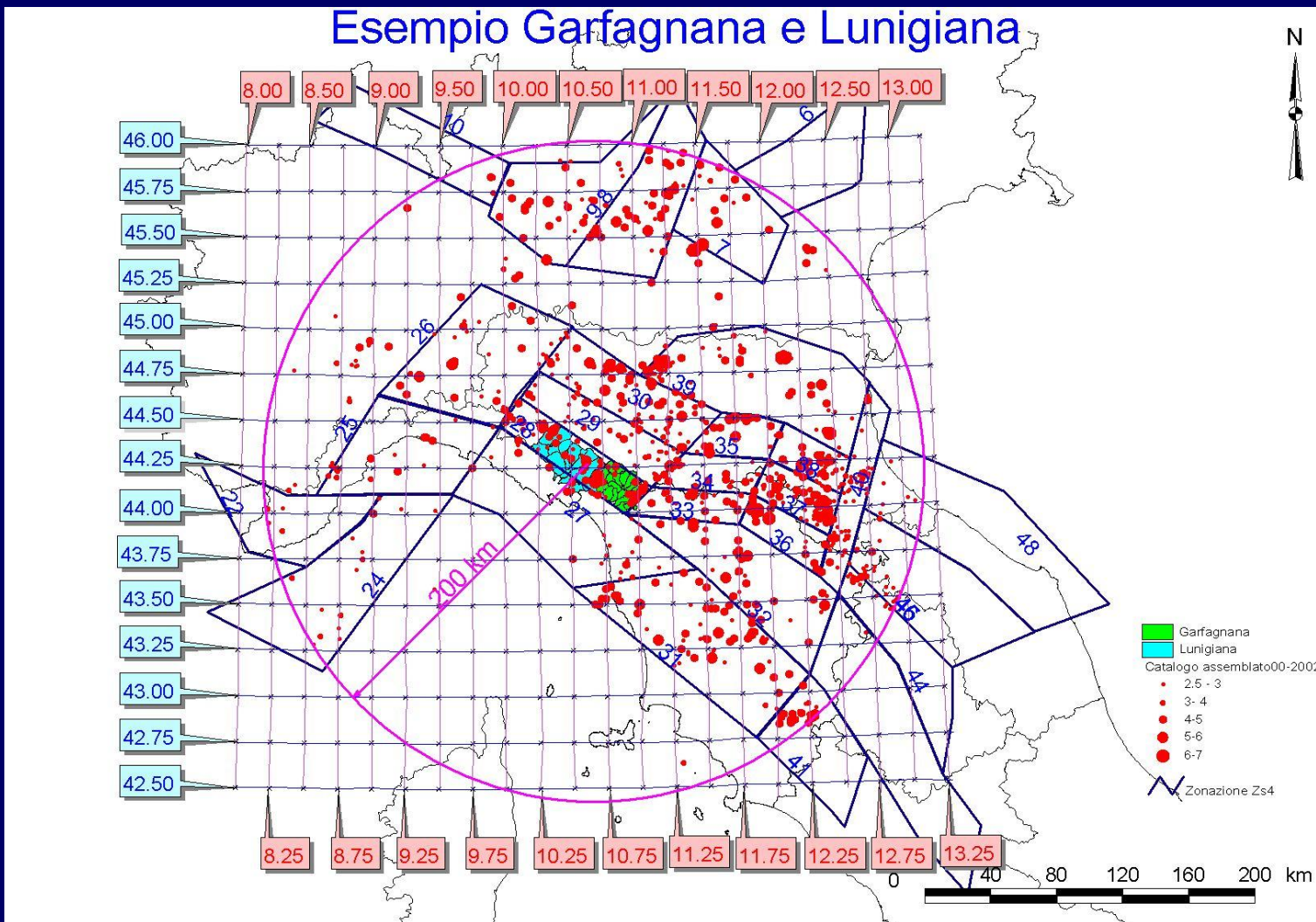


Tabella 2.8-1 – Valori di M_{wmax} per le zone sismogenetiche di ZS9 (estratto da Gruppo di lavoro, 2004)

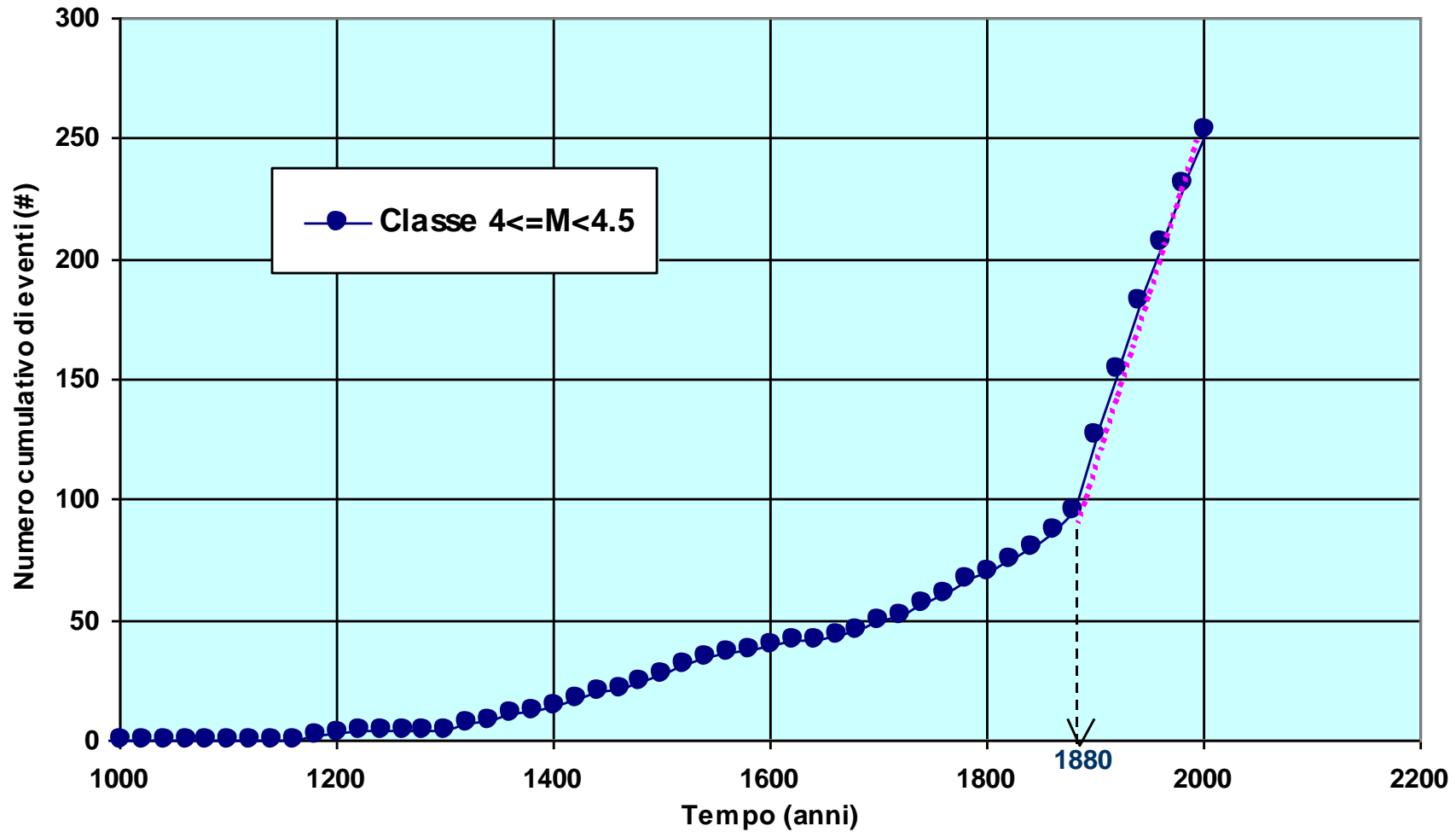
Nome ZS	Numero ZS	M_{wmax}
Colli Albani, Etna	922, 936	5.45
Ischia-Vesuvio	928	5.91
Altre zone	901, 902, 903, 904, 907, 908, 909, 911, 912, 913, 914, 916, 917, 920, 921, 926, 932, 933, 934	6.14
Medio-Marchigiana/Abruzzese, Appennino Umbro, Nizza Sanremo	918, 919, 910	6.37
Friuli-Veneto Orientale, Garda-Veronese, Garfagnana-Mugello, Calabria Jonica	905, 906, 915, 930	6.60
Molise-Gargano, Ofanto, Canale d'Otranto	924, 925, 931	6.83
Appennino Abruzzese, Sannio - Irpinia-Basilicata	923, 927	7.06
Calabria tirrenica, Iblei	929, 935	7.29

PERICOLOSITA' SISMICA: ZONE SISMOGENETICHE (MENSI 2003)

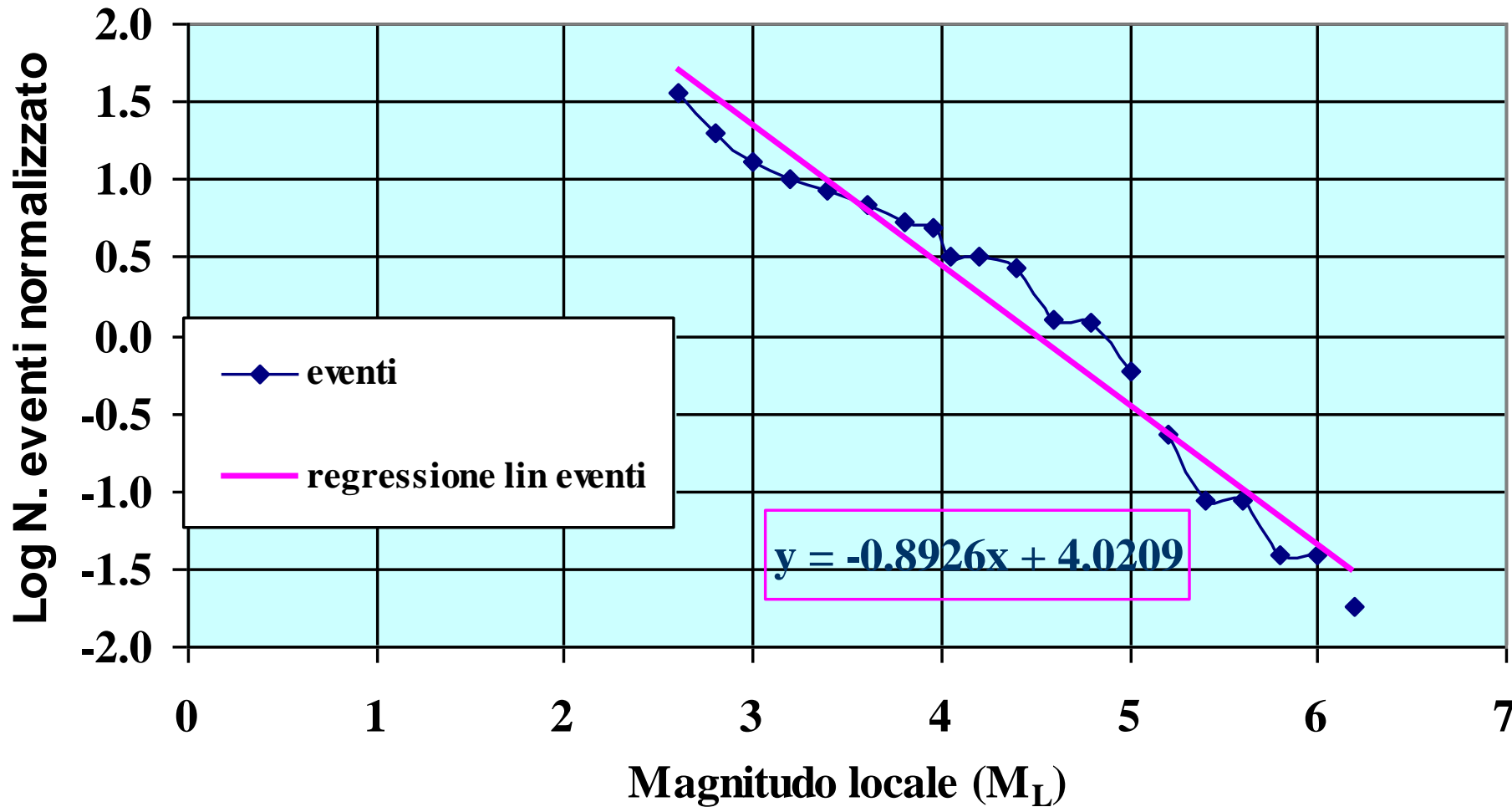


PERICOLOSITA' SISMICA: ANALISI DI COMPLETEZZA (MENSII 2003)

Analisi di completezza Classe II ($4 \leq M < 4.5$)



PERICOLOSITA' SISMICA: LEGGE DI RICORRENZA (MENSI 2003)



ESEMPIO E CURVE DI PERICOLOSITA'

- Probabilità che si verifichi un terremoto (M)
- Probabilità che si verifichi ad una data distanza (R)
- Probabilità che l'accelerazione al suolo (M-R) sia superiore ad un valore di target (distribuzione normale)

$$P(\text{PHA} > a^* | M, R) = 1 - F_z(z^*)$$

$$z^* = \frac{\ln a^* - \ln(\text{PHA})}{(\sigma)_{\ln y}}$$

- Tasso annuale di superamento

$$\lambda_{y^*} = \sum_{i=1}^{N_s} \sum_{j=1}^{N_M} \sum_{k=1}^{N_r} v_i P[Y > y^* | m_j, r_k] f_{M_i}(m_j) f_{R_i}(r_k) \Delta m \Delta r$$

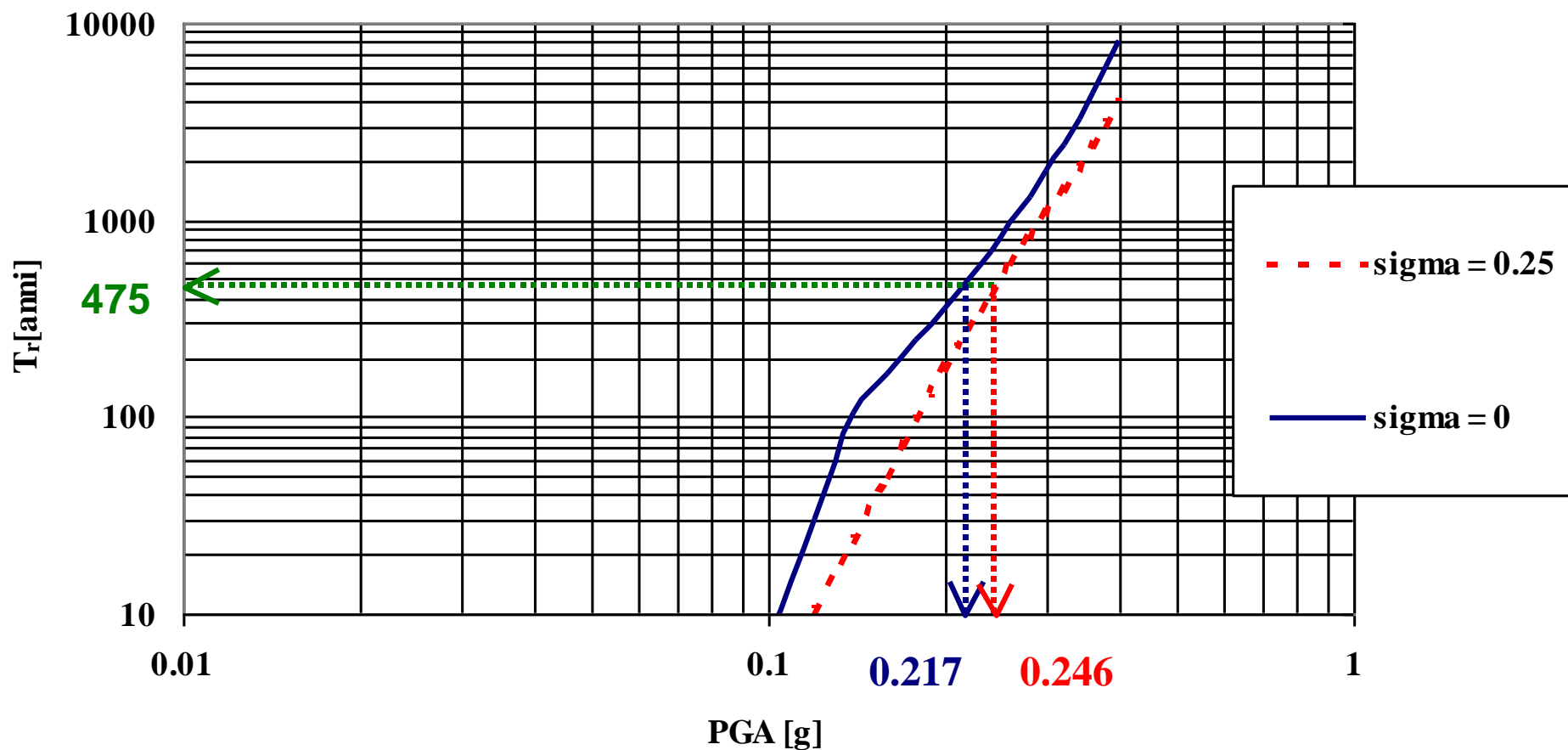
$$v_i [= \exp(\alpha_i - \beta_i m_0)]$$

- Probabilità che un certo livello di accelerazione sia superato in un certo intervallo di tempo (Modello Poisson)

$$\lambda_{y^*} = - \frac{\ln(1 - P[Y_T > y^*])}{T}$$

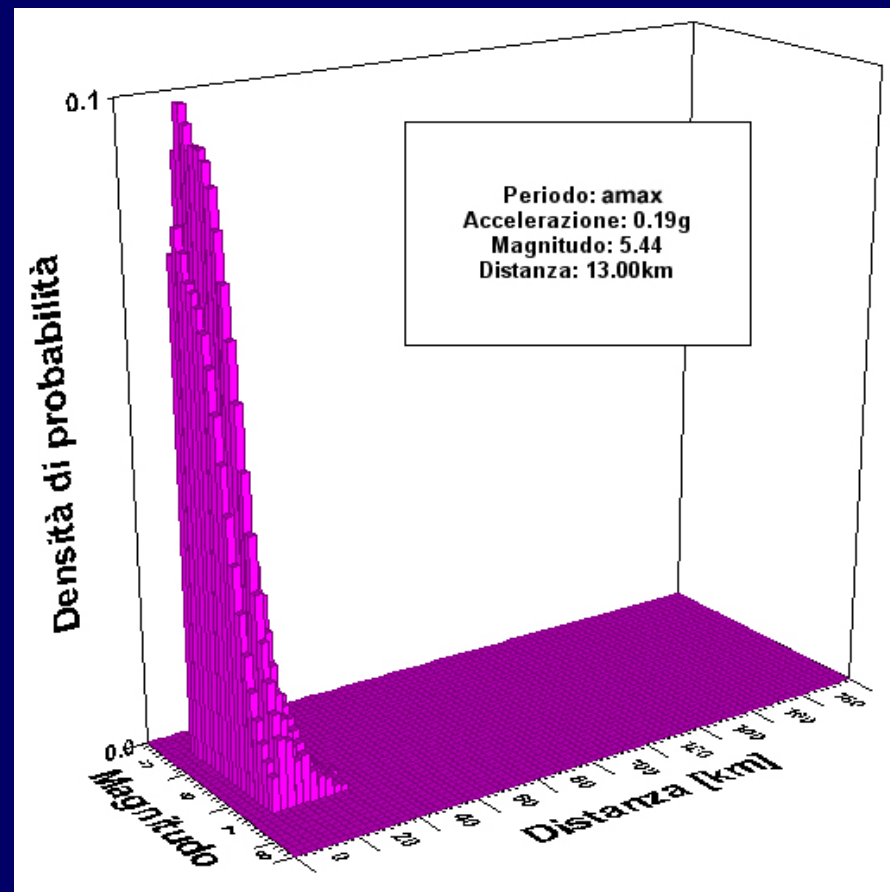
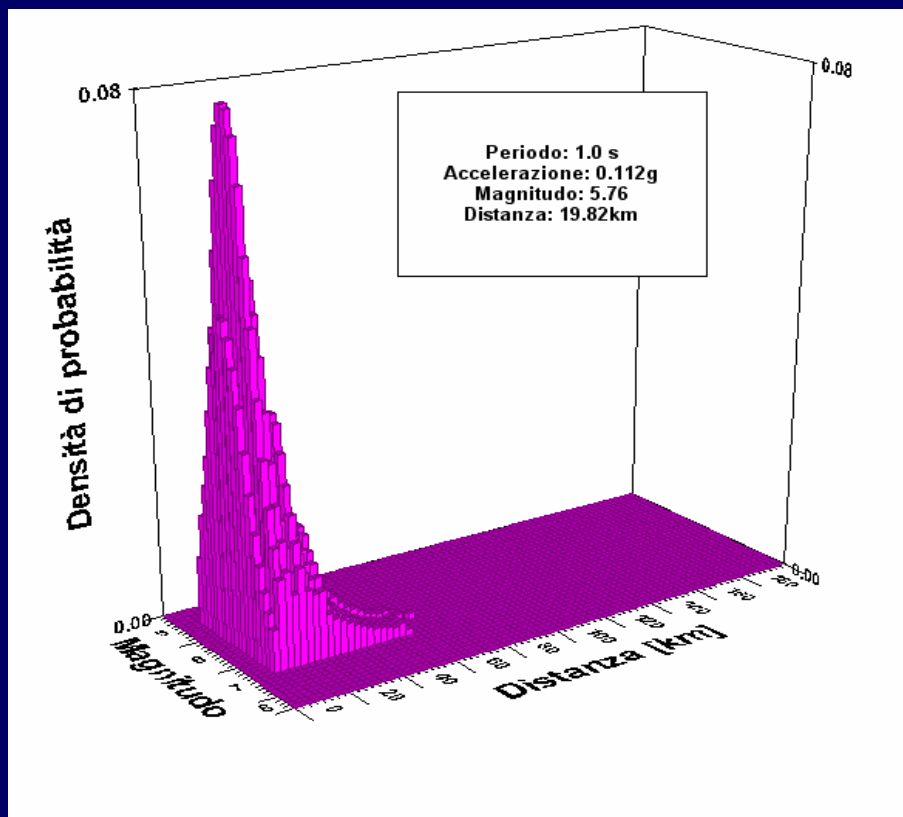
PERICOLOSITA' SISMICA: PHGA (Mensi 2003)

Castelnuovo G.na Analisi di pericolosità sismica

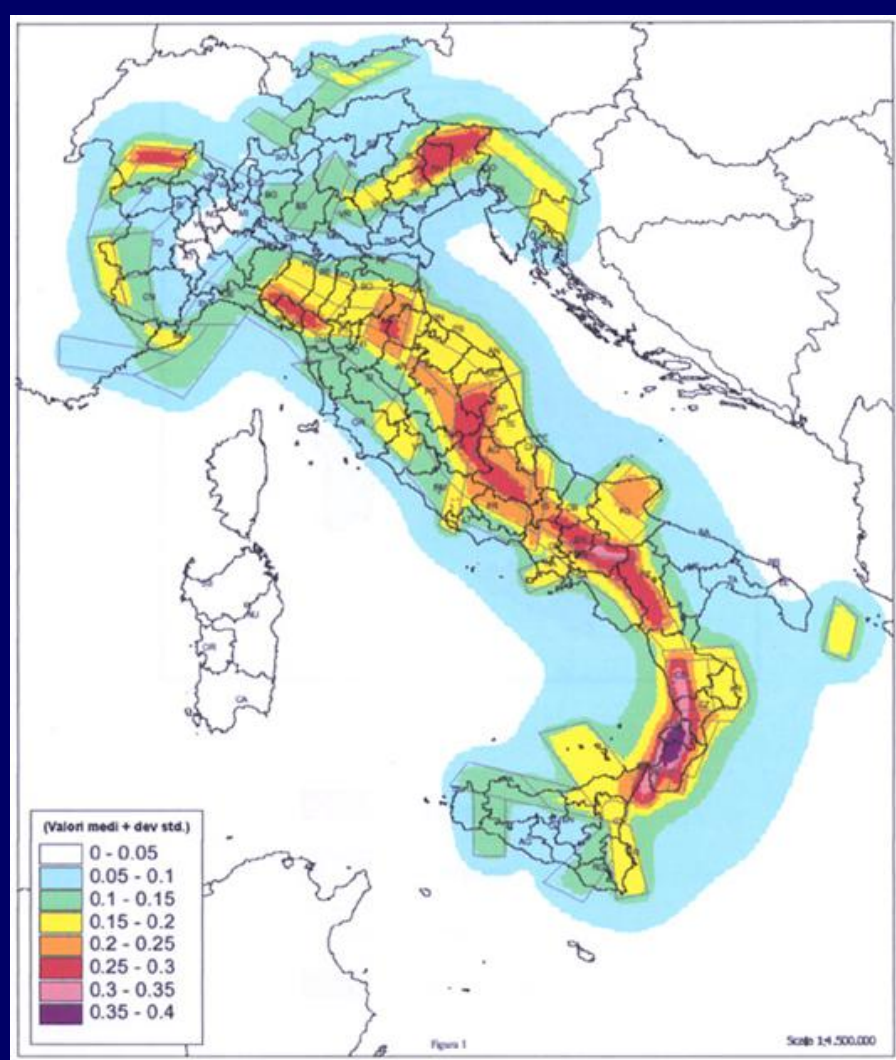
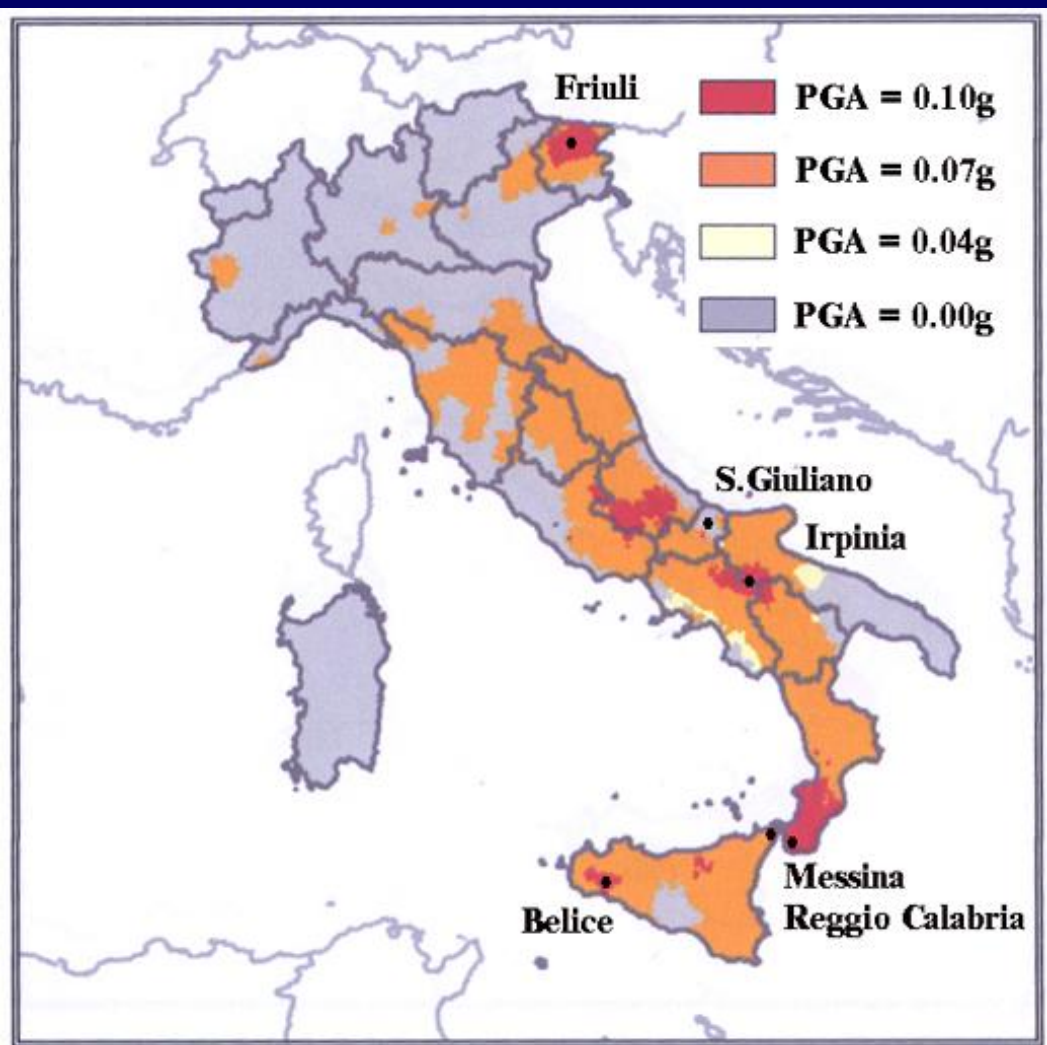


DE AGGREGAZIONE

DE-AGGREGAZIONE PERICOLOSITA' (LAI ET AL: 2005)



VECCHIA E NUOVA ZONAZIONE



ANALISI DI RISPOSTA SISMICA

EFFETTI DI SITO: STRATIGRAFIA



Giornata di studio 15 Dicembre 2009

EFFETTI DI SITO: TOPOGRAFIA



Giornata di studio 15 Dicembre 2009

Amplificazioni PGA osservate e calcolate

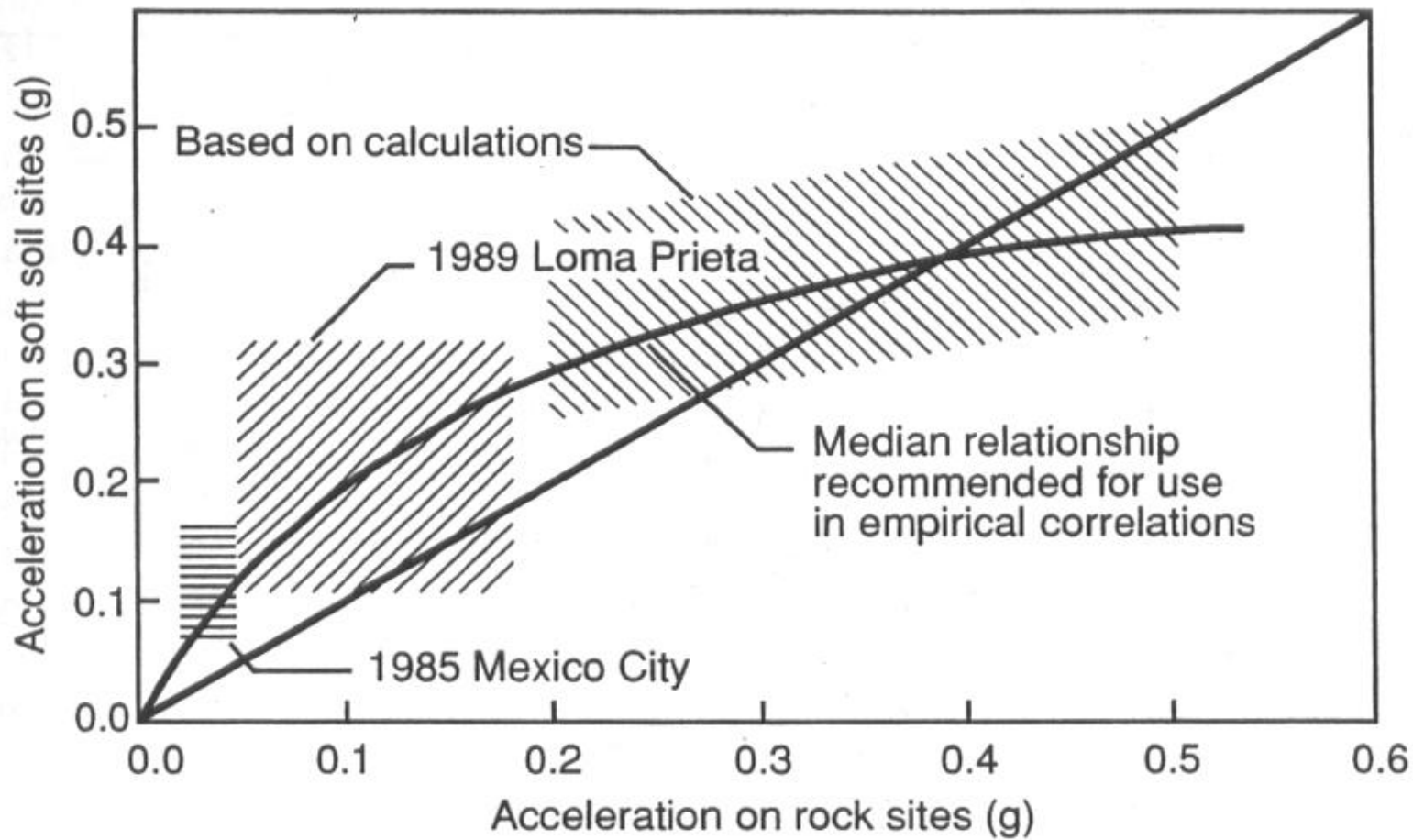
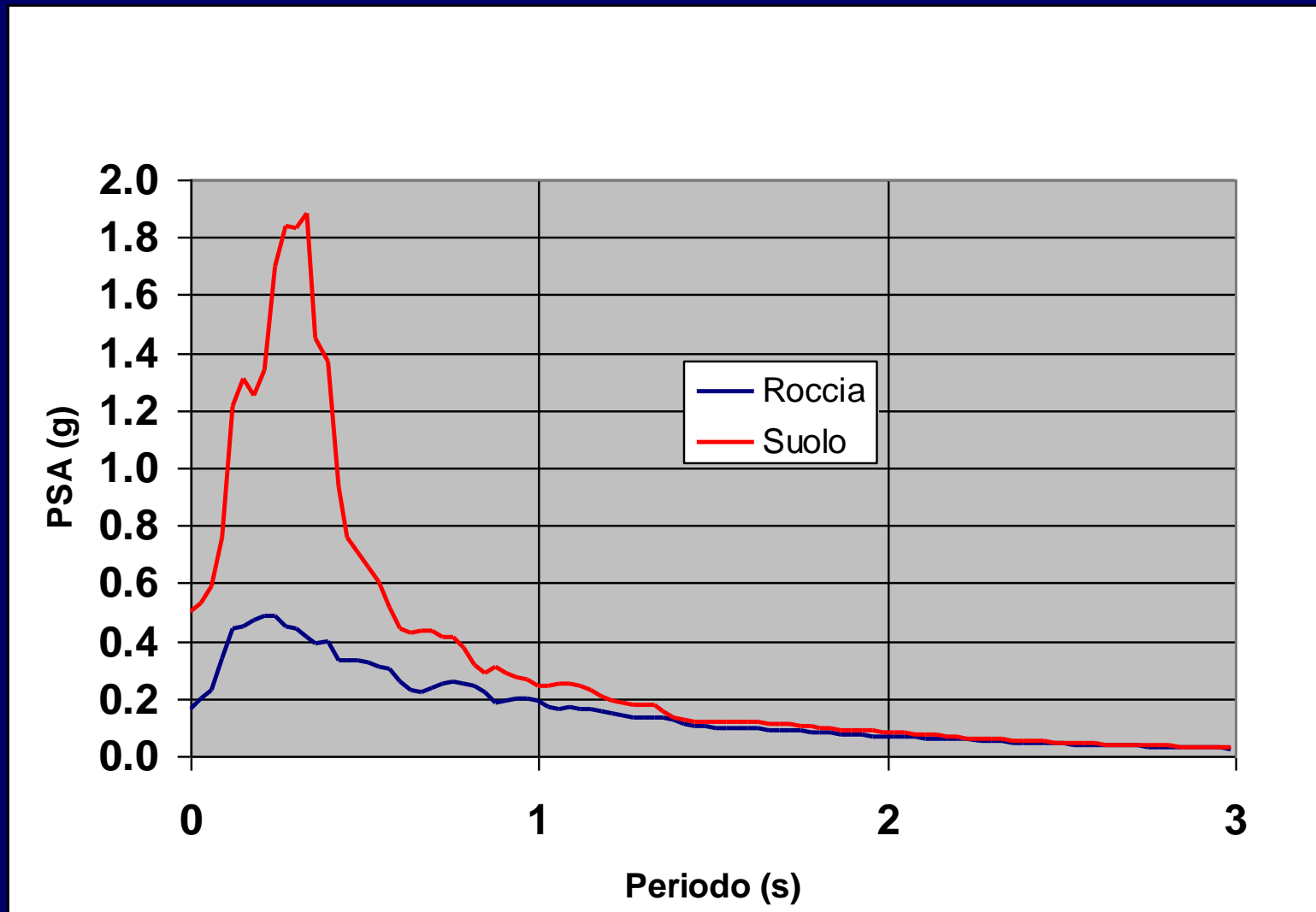
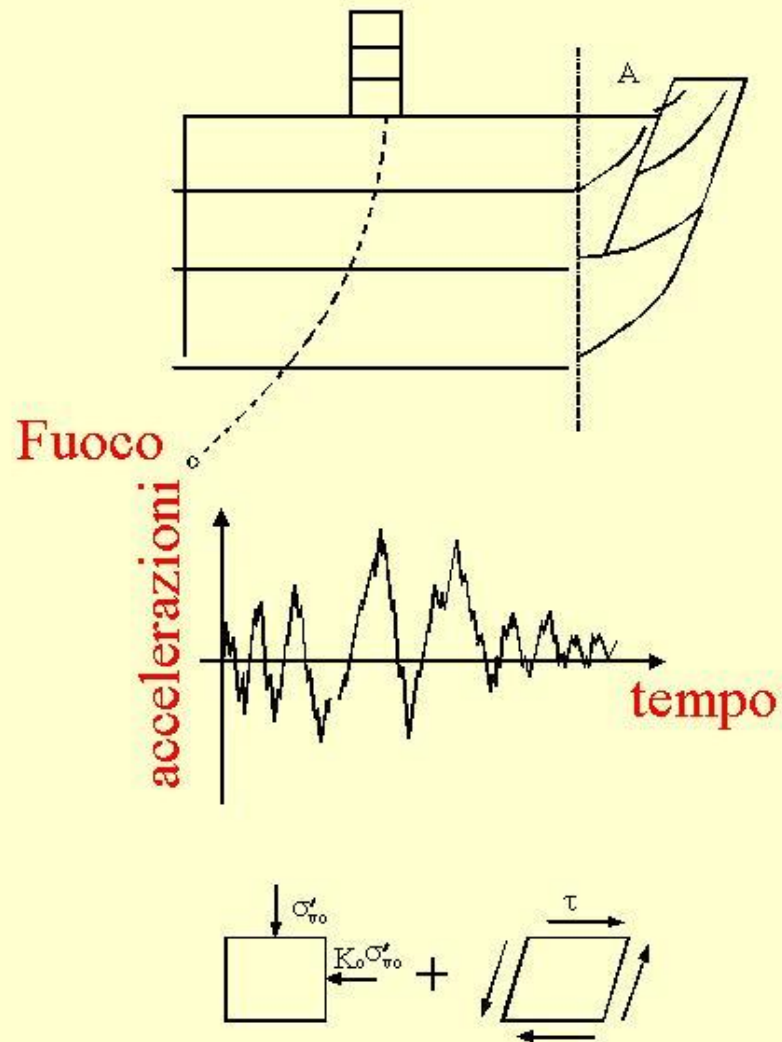


Fig. 3.29 Variation of accelerations on soft soil vs rock sites (Idriss, 1990)

SPETTRO DI RISPOSTA: TERRENO SOFFICE



GEOMETRIA E CINEMATICA 1D



CODICI DI CALCOLO DISPONIBILI

- **1D: GEOMETRIA E CINEMATICA**
 - **LINEARI EQUIVALENTI**
 - **TENSIONI TOTALI (SHAKE, EERA)**
 - **NON-LINEARI**
 - **TENSIONI TOTALI (CHARSOIL, MASH, NONLI3, TESS1, NERA, ONDA);**
 - **TENSIONI EFFICACI (DESRA-2C, DESRAMOD);**
 - **NON-LINEARI AVANZATI (DYNA 1-D, CYCLIC 1-D, CYBERQUAKE)**
- **2D – 3D: (QUAD4M, GEFDYN)**

Figura 5.5.a Base rigida: modello viscoso equivalente

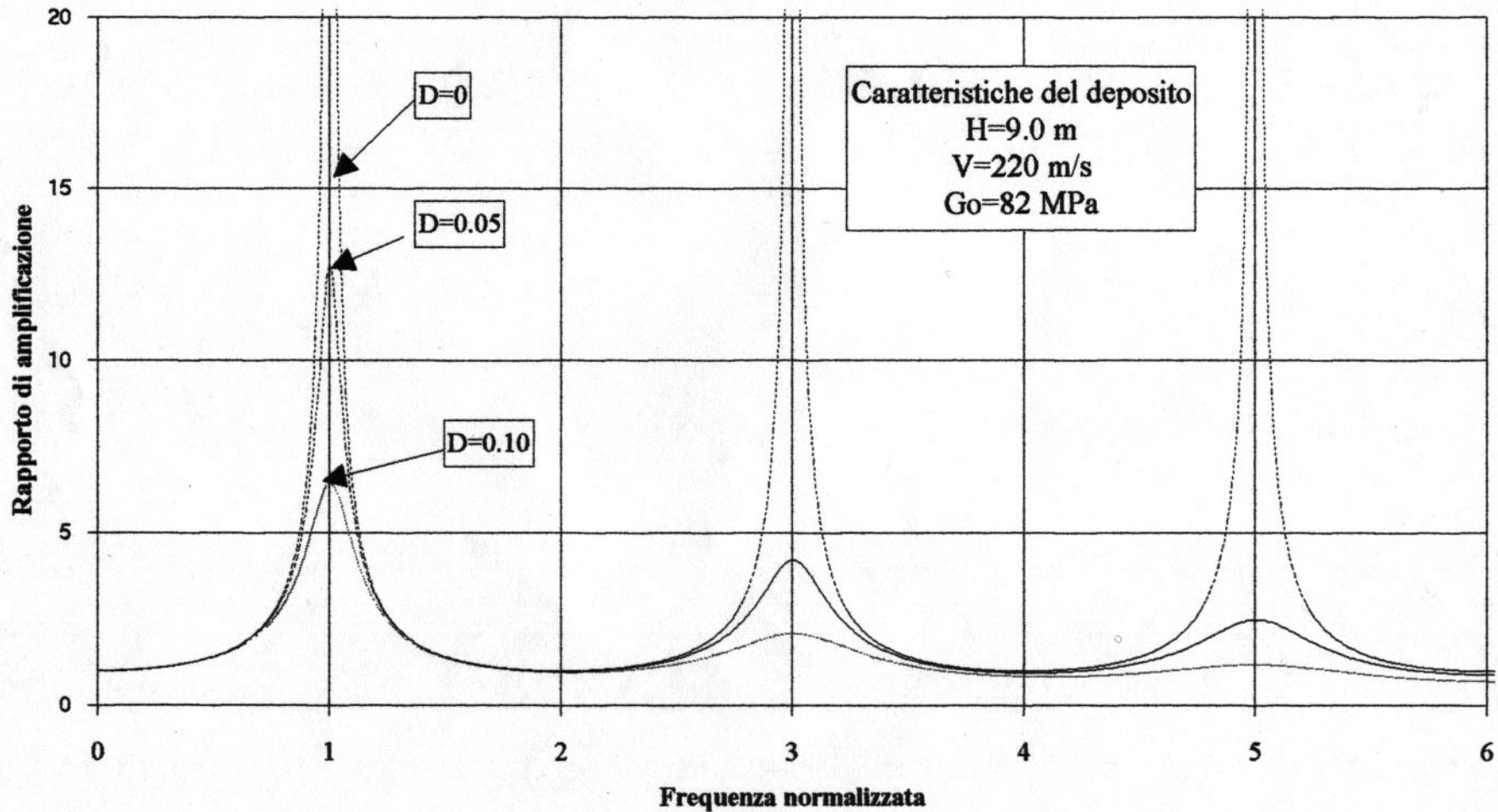


Figura 5.5.b Base rigida: modello Kelvin-Voigt

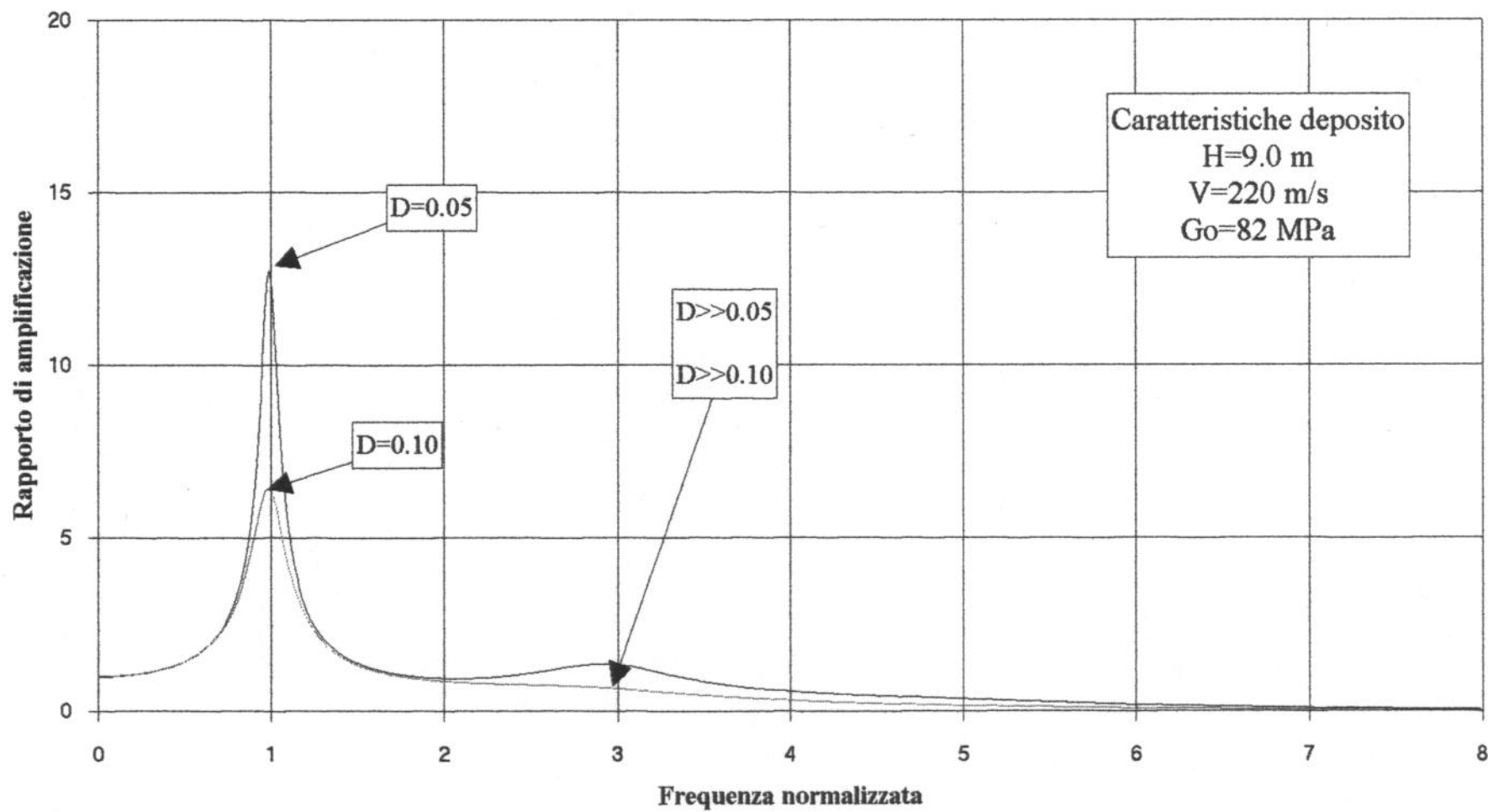
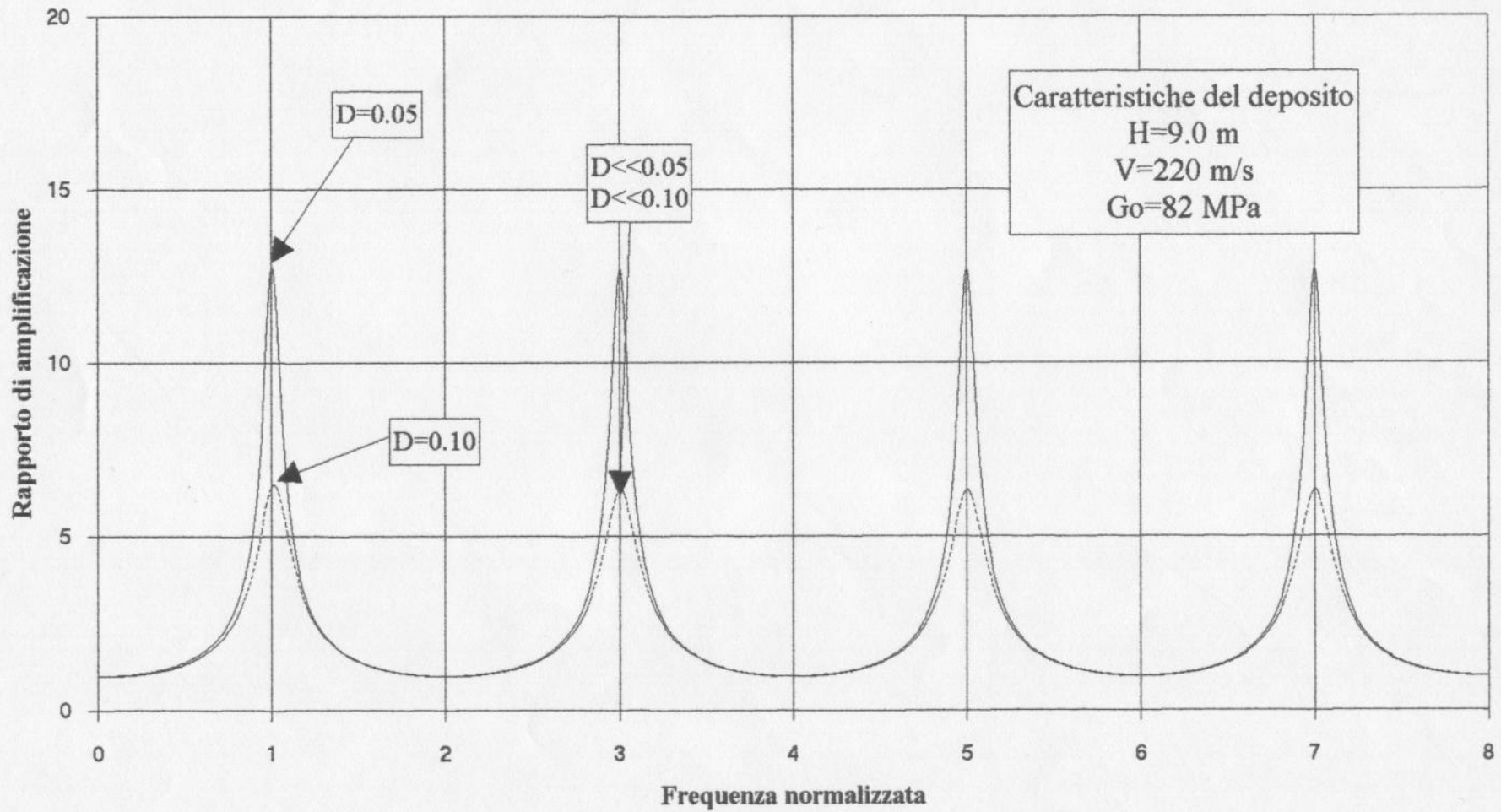


Figura 5.5.c Base rigida: modello di Maxwell



$$A_1(\omega) = \frac{2E_s}{E_R + F_R} \quad A_2(\omega) = \frac{E_s}{E_R} \quad A_3(\omega) = \frac{E_R + F_R}{2E_R}$$

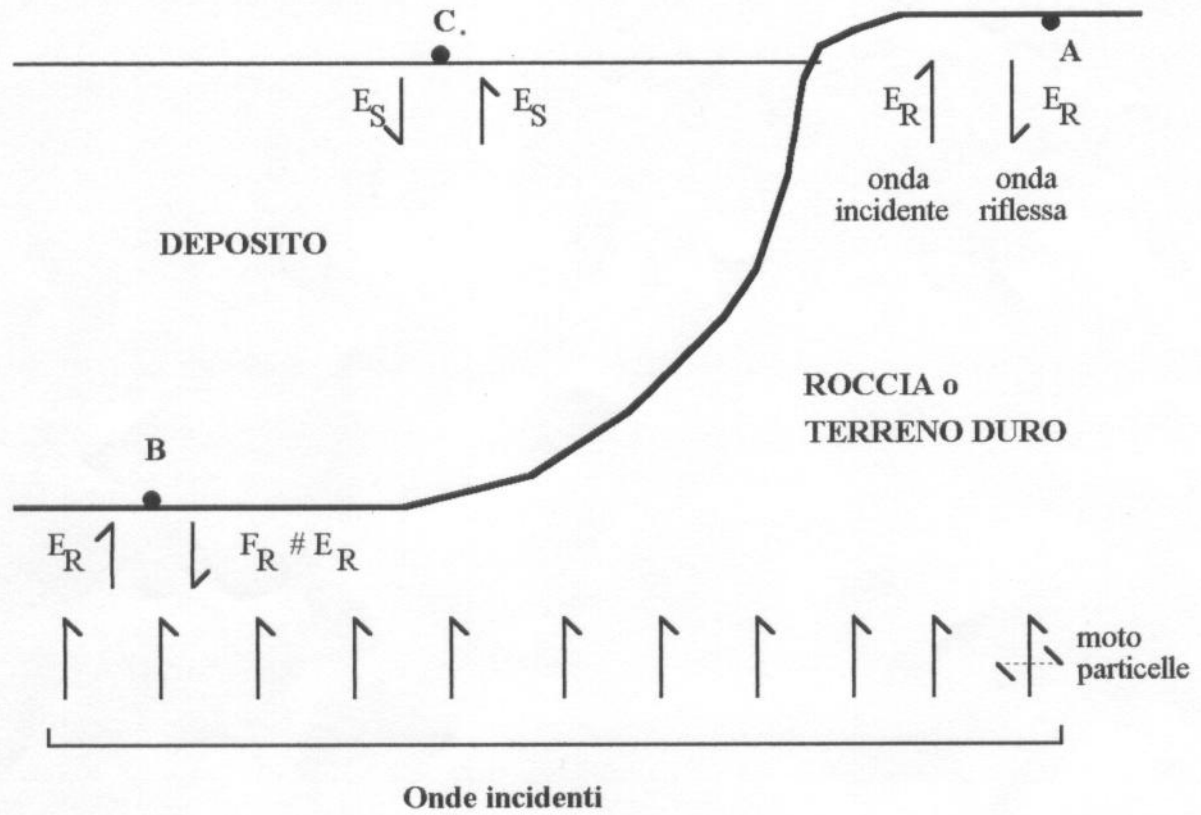


Figura 5.6 Definizione dei rapporti di amplificazione nel caso di base elastica



FIG. 5.7.a Rapporti di amplificazione: base elastica

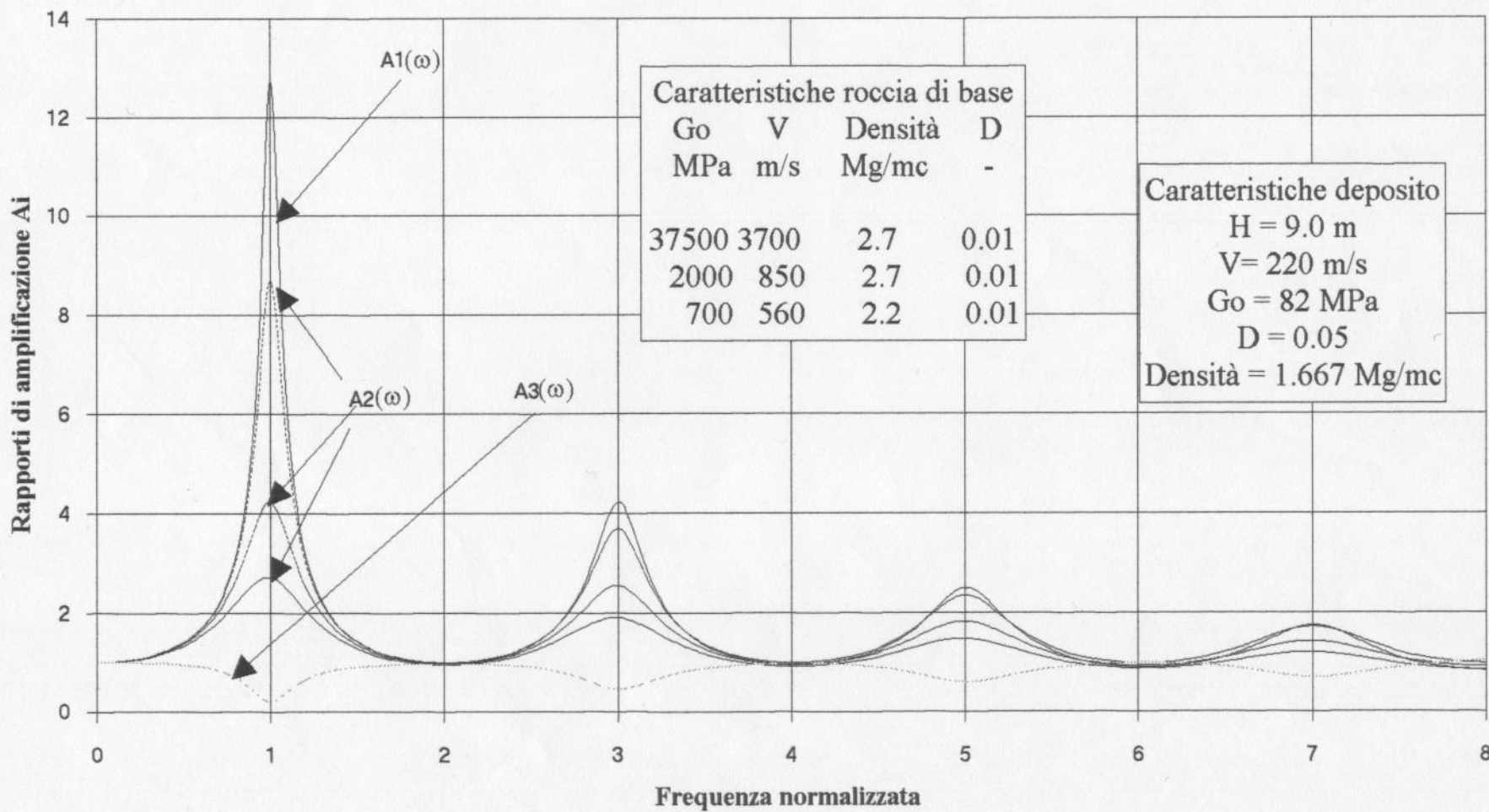
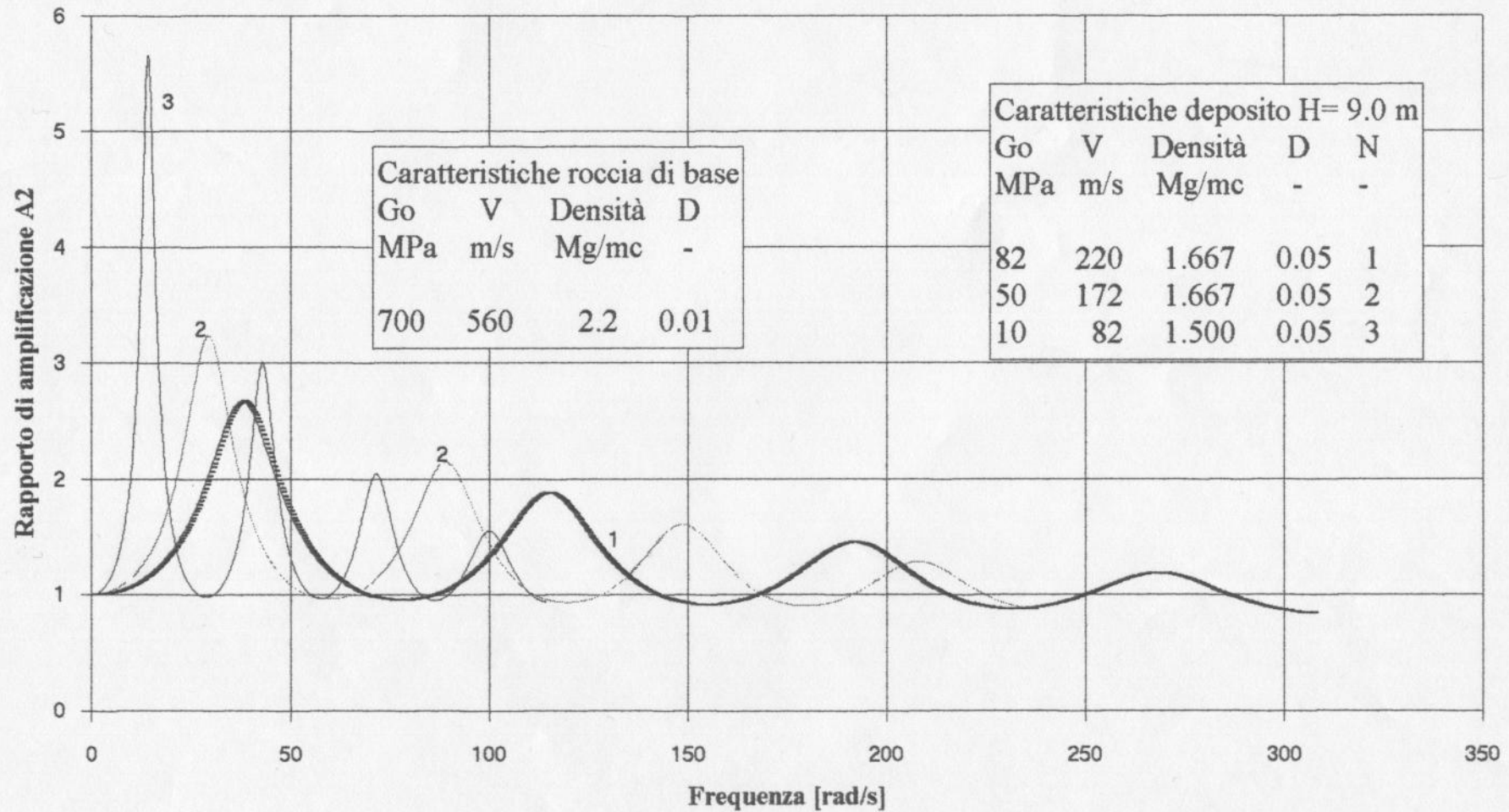


Fig. 5.7.b Esempi relativi al rapporto di amplificazione A2



APPROCCIO SEMPLIFICATO E NORMATIVA

STATI LIMITE – AZIONE SISMICA

- $V_R = V_N * C_U$ (10 – 50 – 100) (0.7 – 1.0 – 1.5 – 2.0) ($V_R > 35$)
- SLO (81%)
- SLD (63 %)
- SLU (10 %)
- SLC (5 %)

NORMATIVA: FORMA SPETTRO (H_1, H_2)

- $0 < T < T_B$ $S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \left[\frac{T}{T_B} + F_o (1 - T/T_B) / \eta \right]$

- $T_B < T < T_C$ $S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$

- $T_C < T < T_D$ $S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o (T_C / T)$

- $T > T_D$ $S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o (T_C \cdot T_D / T^2)$

$$S = S_S \cdot S_T$$

$$T_C = C_C T_C^*$$

$$T_B = T_C / 3$$

$$T_D = 4(a_g / g) + 1.6$$

$$\eta = \sqrt{10 / (5 + \xi)}$$

AZIONE SISMICA

- $a_{gR}(\text{Tr})$
(<http://essel.mi.ingv.it>)
(CSLP - allegato norma)

- $S_s(V_{s30}, F_o)$

- $S_T(1.0 - 1.2 - 1.4)$

$$1.40 - 0.40 \cdot F_o \cdot a_{gR} / g \leq 1.20$$

$$1.70 - 0.60 \cdot F_o \cdot a_{gR} / g \leq 1.50$$

$$2.40 - 1.50 \cdot F_o \cdot a_{gR} / g \leq 1.80$$

$$2.00 - 1.10 \cdot F_o \cdot a_{gR} / g \leq 1.60$$

CATEGORIE DI SUOLO

SUOLO	$V_{s,30}$	$N_{spt} - C_u$ (kPa)
A: (Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi)	> 800	
B: Granulari molto addensati, fini molto consistenti	360 – 800	>50 >250
C: Granulari mediamente addensati, fini mediamente consistenti	180 - 360	15 – 50 70 - 250
D: Granulari poco addensati, coesivi poco consistenti	< 180	< 15 < 70
E: Depositi alluvionali tipo C, D con spessore 5-20 m su suolo tipo A		

ALTRE CATEGORIE

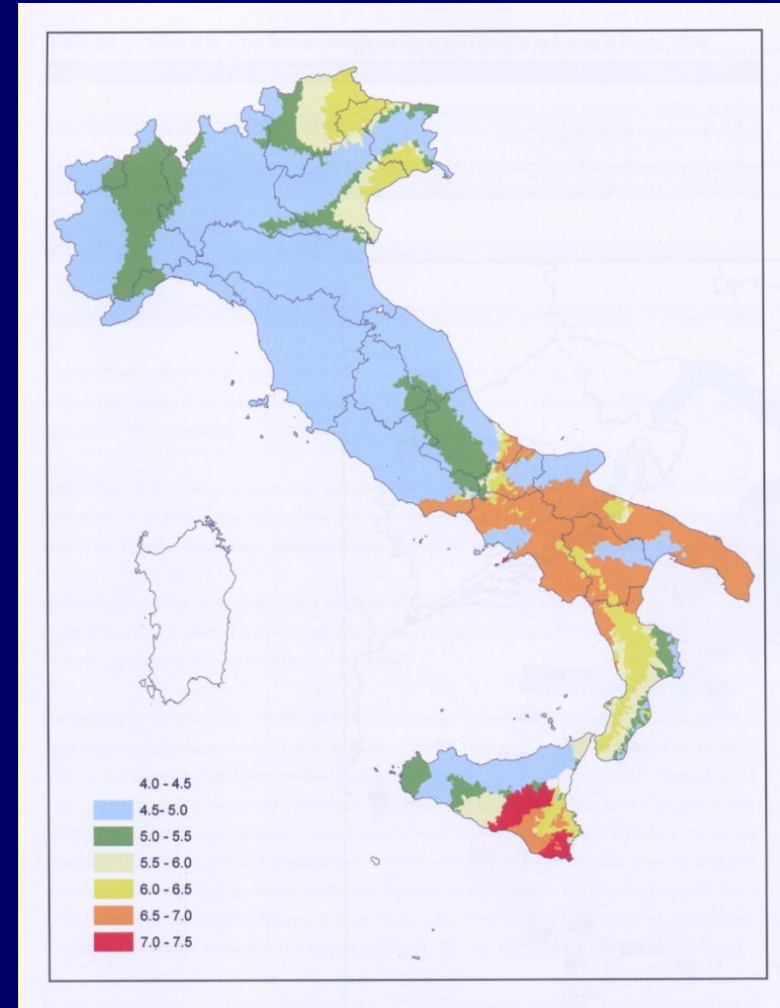
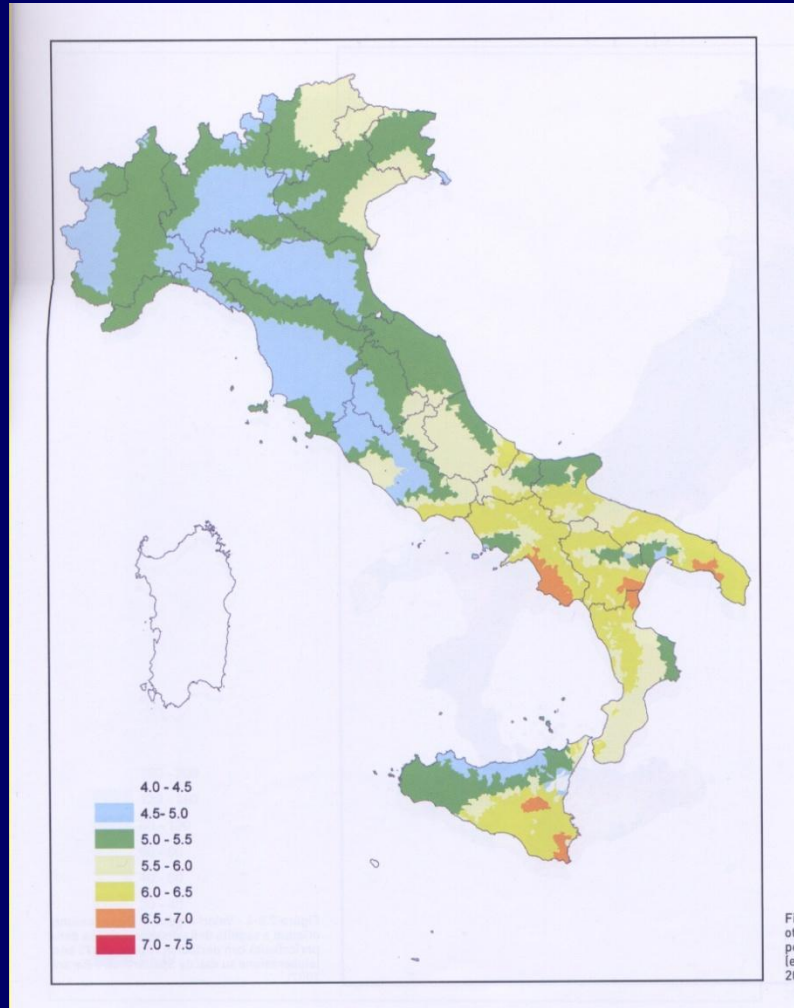
- **S1** $V_{s,30} < 100$ m/s ; $10 < C_{u,30} < 20$ kPa, strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, , oppure almeno 3 m di torba o argille altamente organiche.
- **S2**: depositi liquefacibili o argille sensitive o altre categorie di suolo diverse dalle precedenti

PERICOLOSITA' DI BASE

- NTC XLS
- SPALLAROSSA E BARANI
- REXEL

De – aggregazione (Spallarossa – Barani): MAGNITUDO

1) MEDIA, 2) MODA



De – aggregazione (Spallarossa – Barani): DISTANZA

1) MEDIA, 2) MODA

