

Corso

Progetto di strutture in zona sismica

Catania

ottobre 2017 - gennaio 2018

03 - Terremoti e pericolosità sismica

12 ottobre 2017

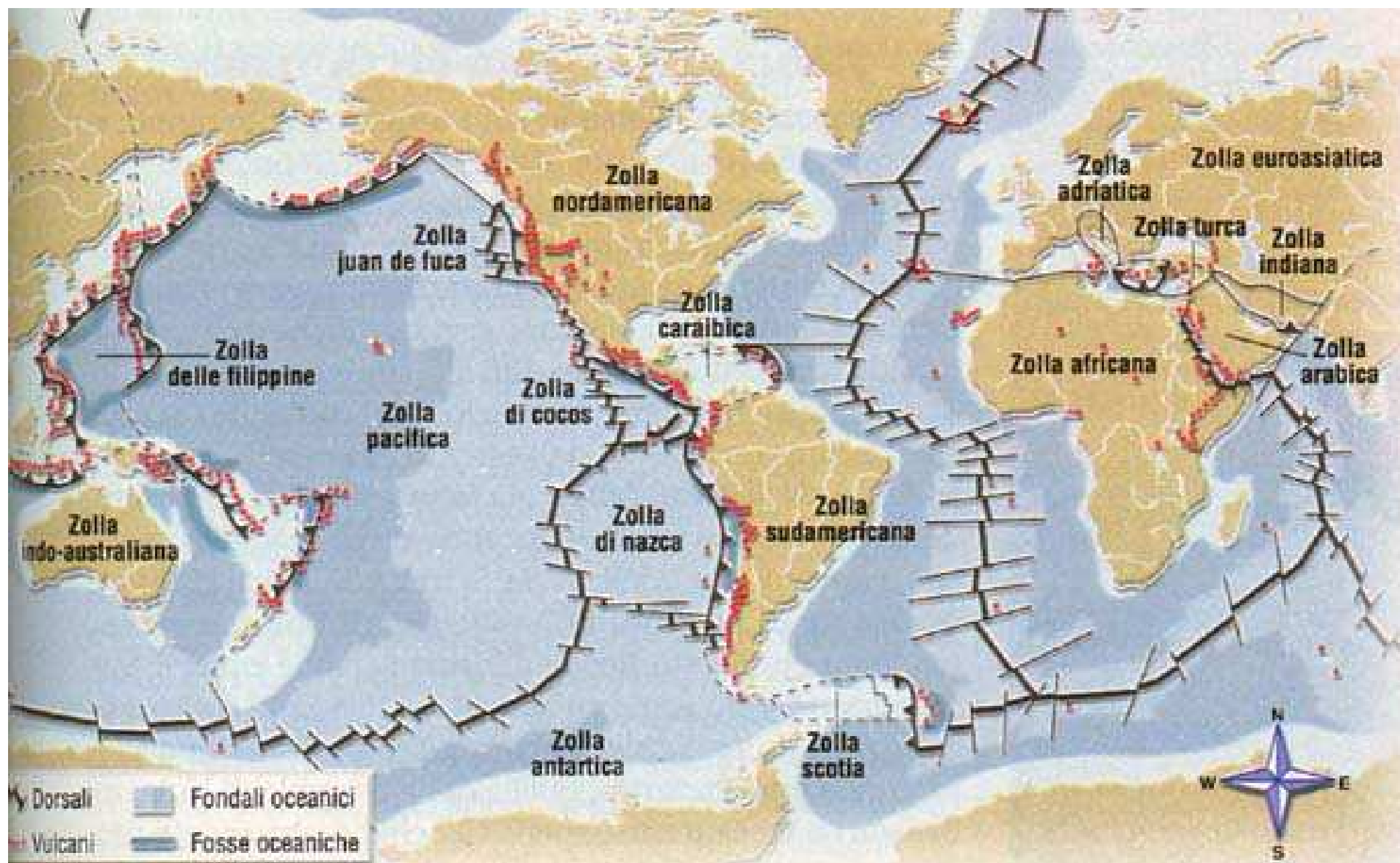
Aurelio Ghersi

I terremoti

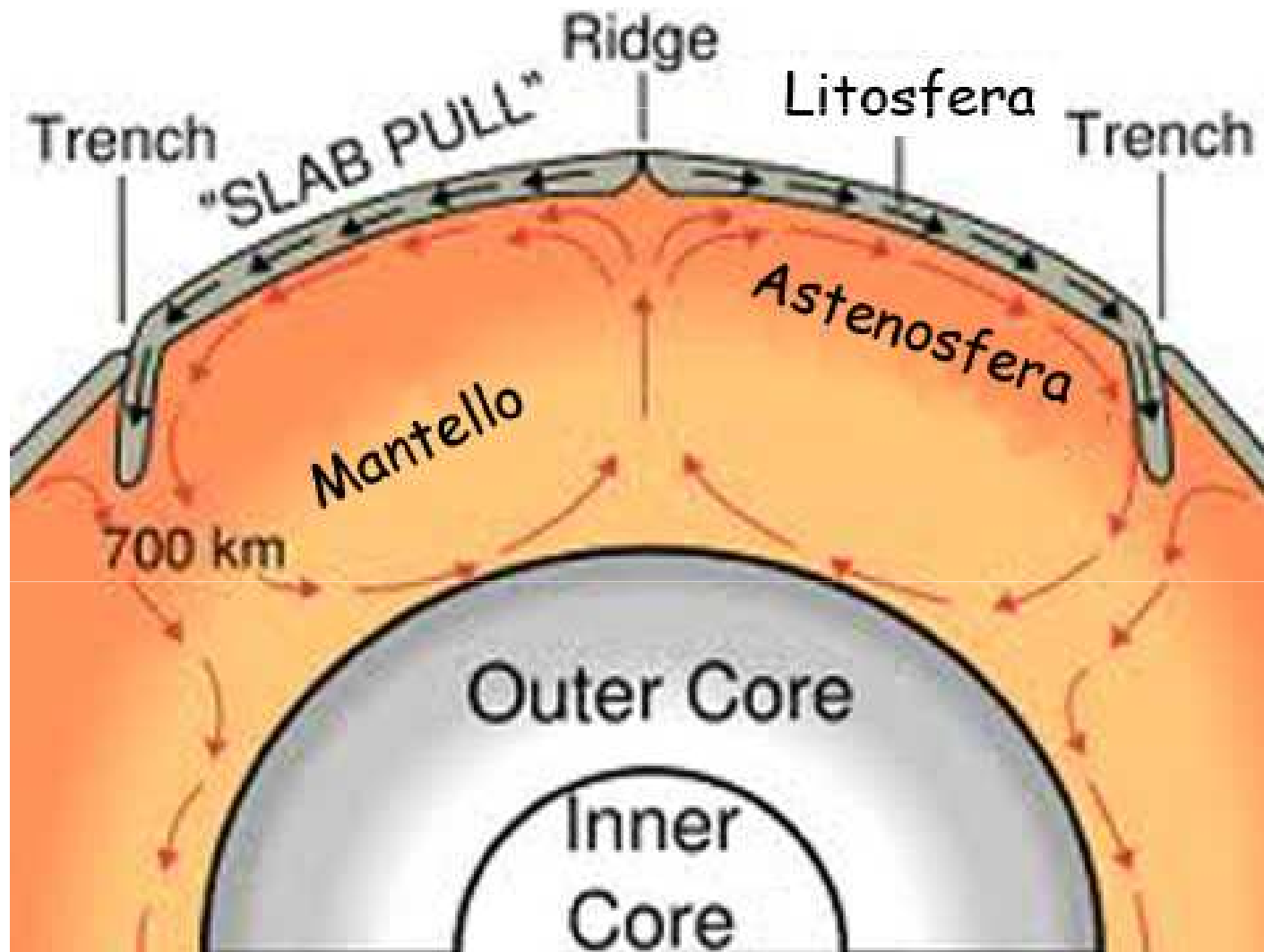
Cosa sono?

Quali terremoti ci
aspettiamo in un
determinato sito?

Zolle crostali, vulcani e terremoti



Moti convettivi nel mantello e movimento delle zolle



Il meccanismo che scatena un terremoto: scorrimento lungo una faglia

1



blocchi di crosta in riposo

2



scorrimento impedito: deformazione
con accumulo di energia

3



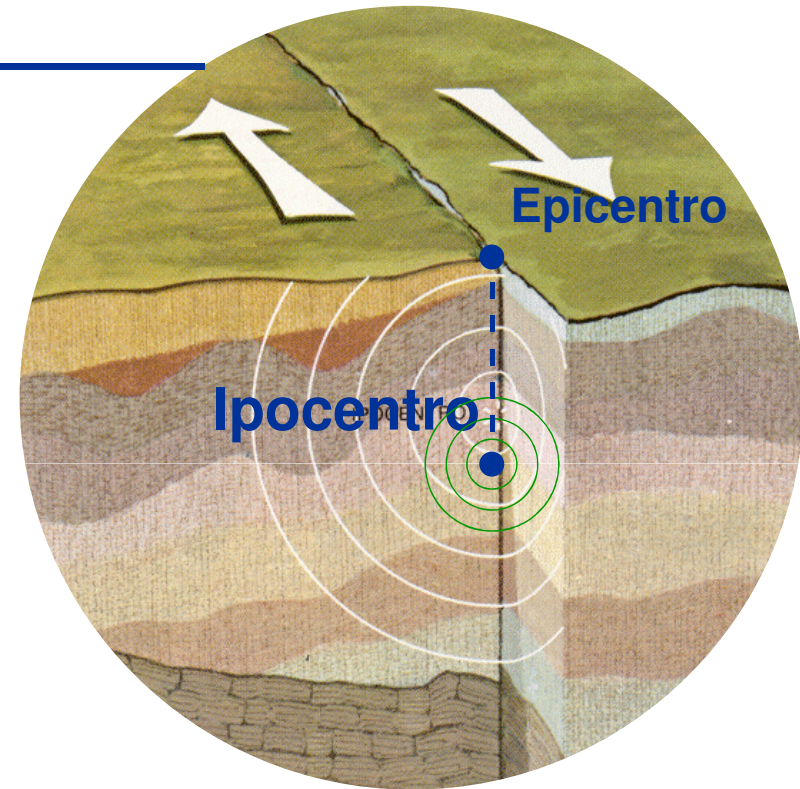
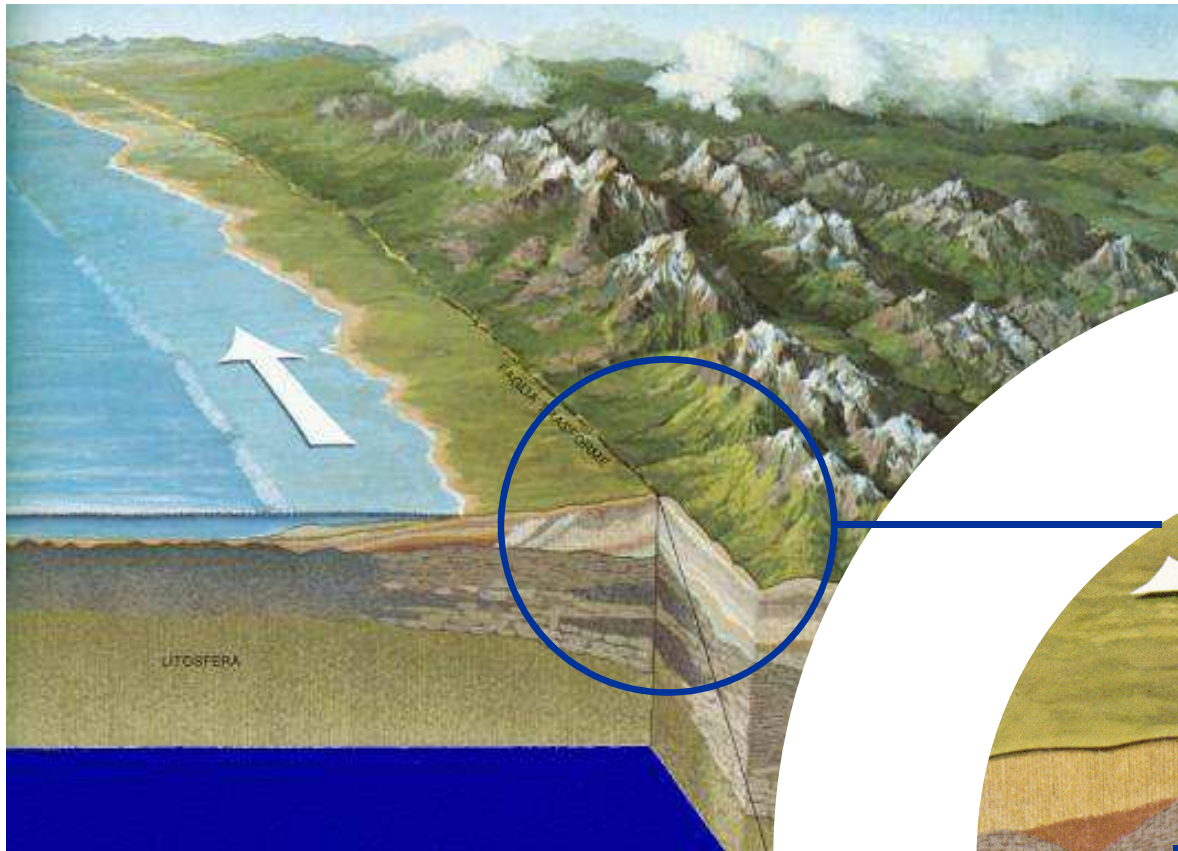
il momento della rottura:
rilascio dell'energia

4



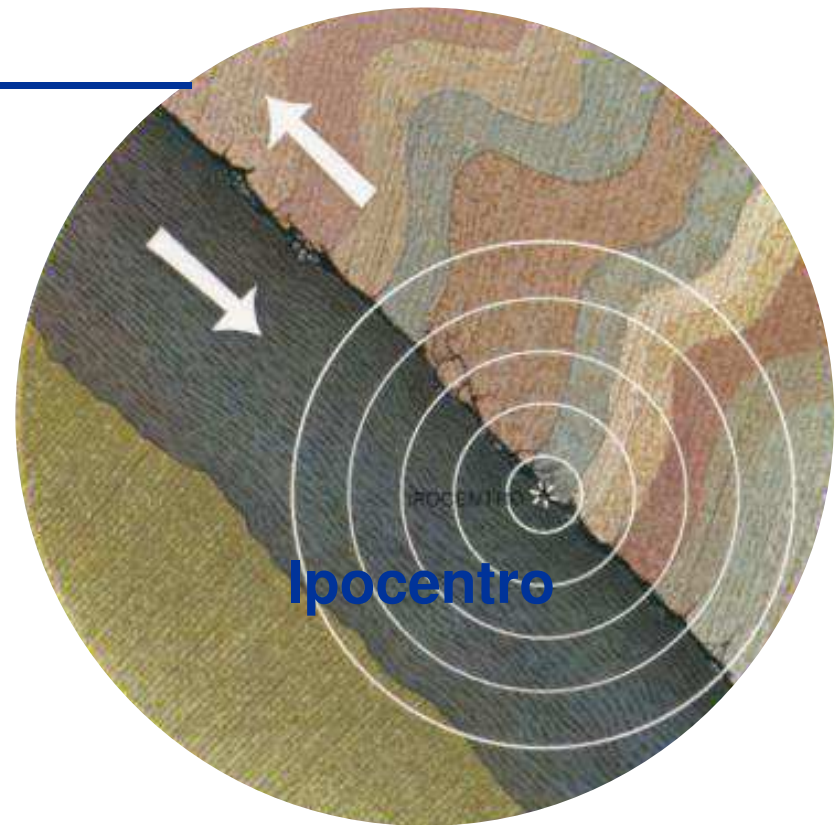
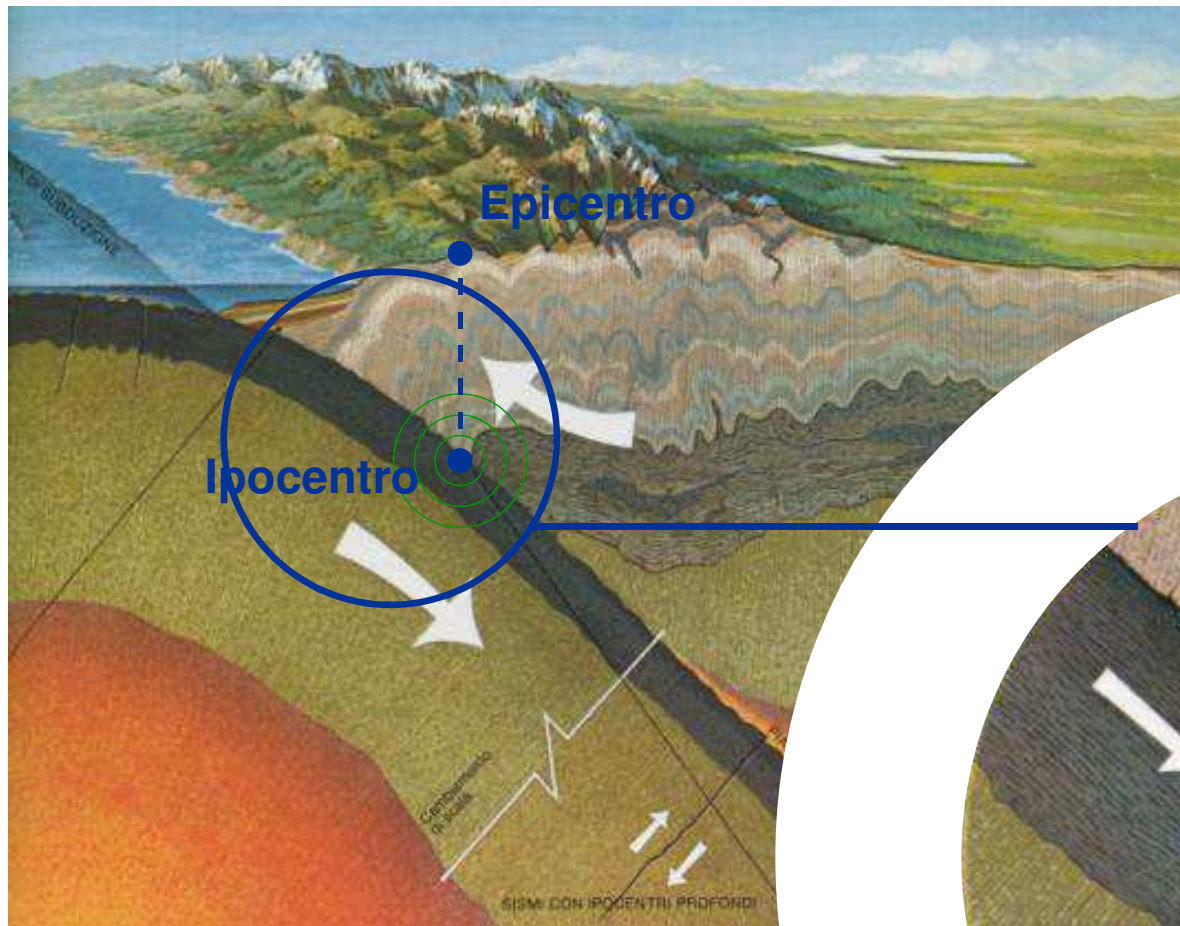
brusco scorrimento, verso un nuovo
equilibrio

Faglie trasformi



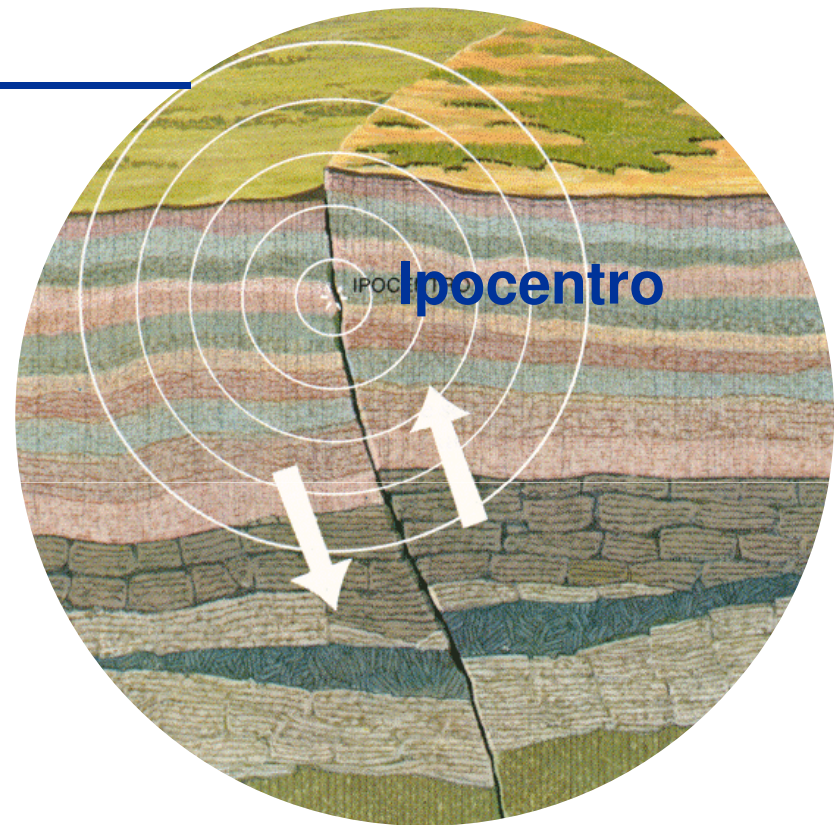
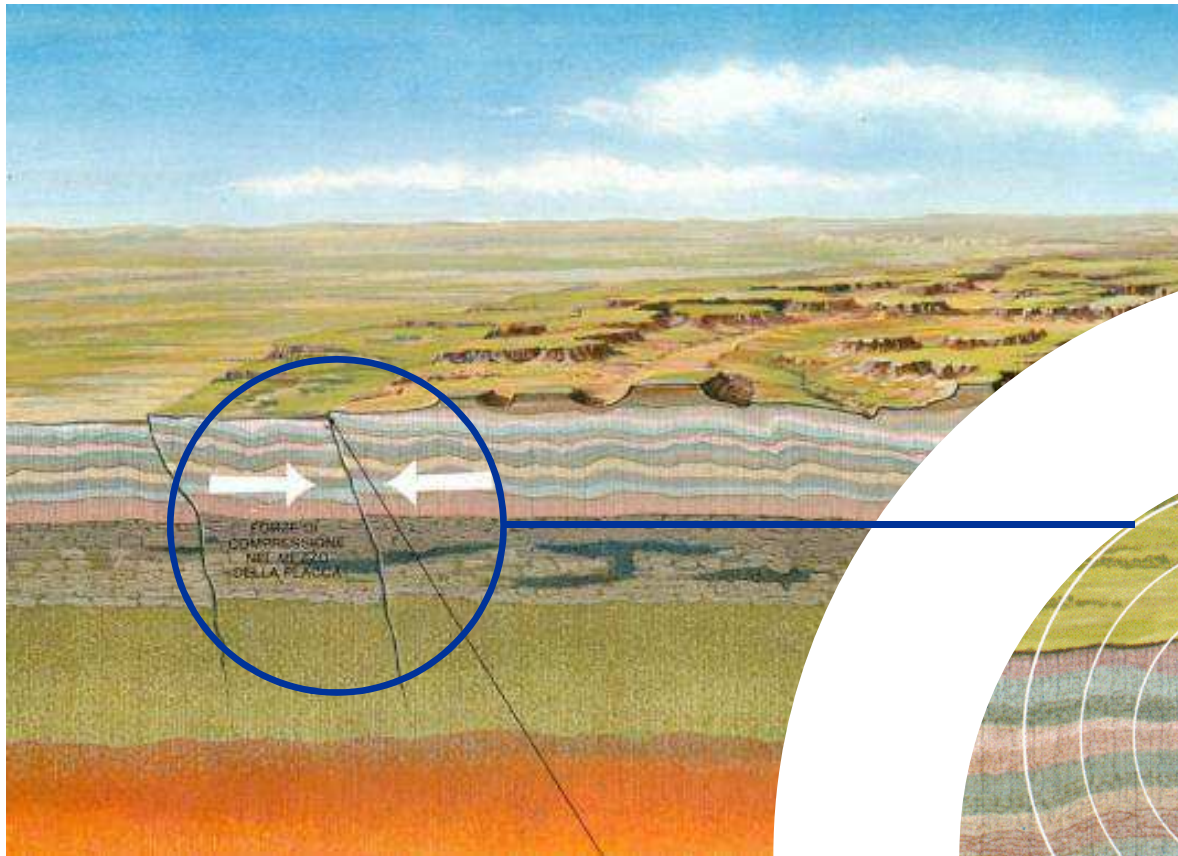
Zolle che scorrono
orizzontalmente, l'una
rispetto all'altra

Zone di subduzione



Zolle in movimento,
l'una verso l'altra:
la più leggera affonda
scorrendo sotto l'altra

Zolle in collisione



Zolle in movimento, l'una
verso l'altra:

se sono entrambe molto
spesse, nessuna affonda

Onde sismiche

L'energia liberata dal sisma si propaga in onde

Esistono più tipi di onda,
che si propagano con differente velocità
ed hanno un diverso contenuto energetico:

- onde di volume, che si propagano per tutto il volume terrestre (più veloci)
- onde di superficie, che si propagano solo nello strato superficiale (maggior contenuto energetico)

Registrazione di un evento sismico

Si fa riferimento all'accelerogramma, che diagramma l'accelerazione in funzione del tempo



Primo parametro di interesse: accelerazione massima

Ma sono importanti anche: durata, contenuto energetico

Misura dell'intensità sismica

Magnitudo (Richter, 1935)

È il logaritmo dell'ampiezza massima di oscillazione (in micron), misurata a 100 km dall'epicentro

Energia rilasciata da un sisma:
è legata alla magnitudo dalla relazione

$$\log E = 4.4 + 1.5 M \quad (E \text{ in joule})$$

Frequenza annua N di terremoti con intensità $\geq M$:

$$\log N = a - b M \quad (a \cong 5.5, b \cong 1.1 \text{ nel Mediterraneo})$$

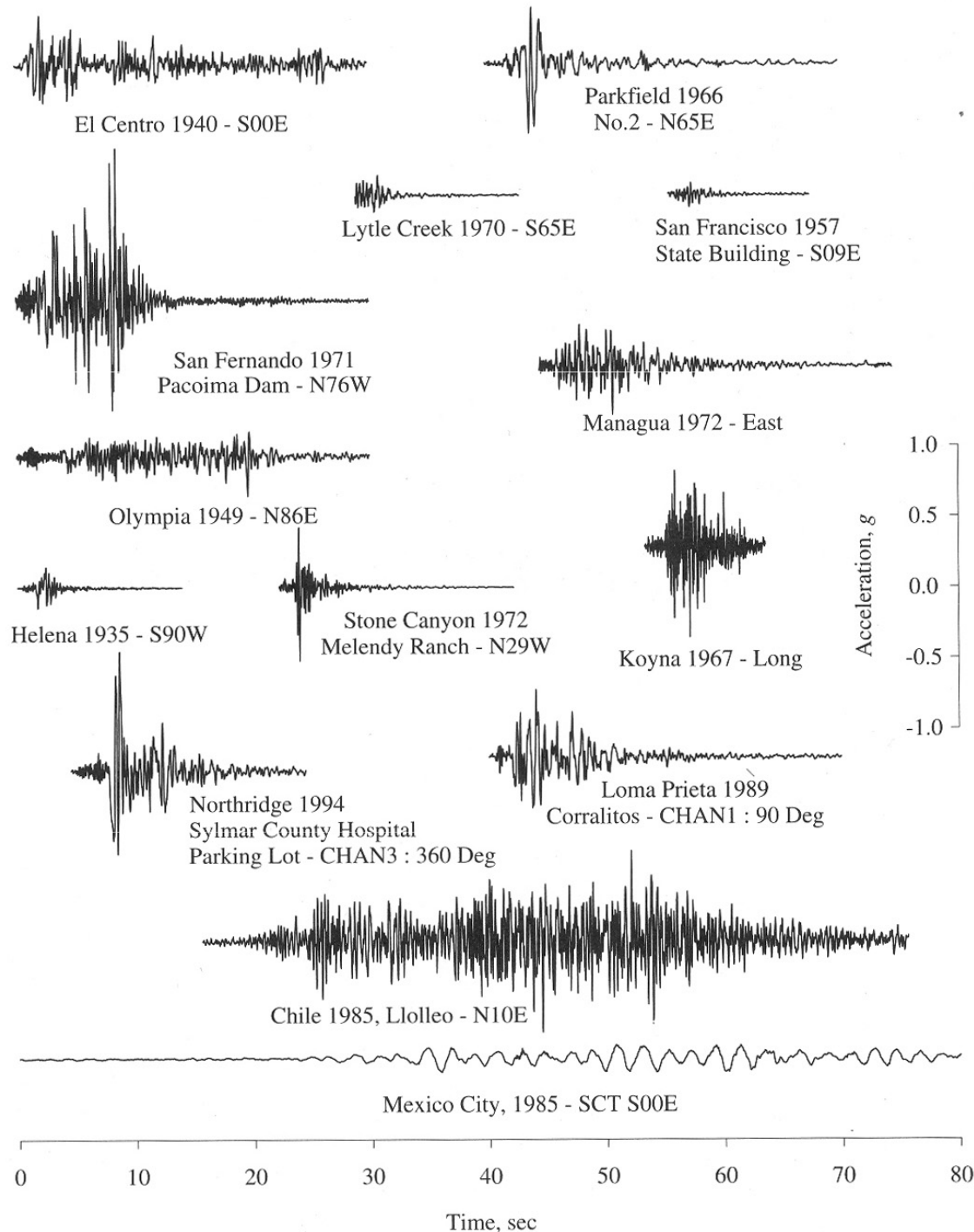
Accelerogrammi

relativi a sismi di forte intensità in America

Notare:

valori del PGA (Peak Ground Acceleration = accelerazione massima) molto alti, da 0.3 a 0.7 g

forti differenze nel contenuto in frequenza e nella durata



Dove trovare accelerogrammi?

Sono disponibili vari database:

- European Strong Motion Database (ESD)
<http://esm.mi.ingv.it/>
http://www.isesd.hi.is/ESD_Local/frameset.htm
- Italian Accelerometric Archive (ITACA)
<http://itaca.mi.ingv.it/>

Si veda anche:

- Selected Input Motions for Displacement-Based Assessment and Design (SIMBAD)
http://wpage.unina.it/iuniervo/SIMBAD_Database_Polimi.pdf

Dove trovare accelerogrammi?

Per selezionare accelerogrammi può essere utile il programma REXEL

- http://www.reluis.it/index.php?option=com_content&view=article&id=118&Itemid=105&lang=it

Questo programma permette la ricerca di combinazioni di accelerogrammi naturali compatibili con gli spettri in accelerazione di normativa o definiti dall'utente arbitrariamente. Gli accelerogrammi possono anche rispecchiare caratteristiche di sorgente di interesse in termini di magnitudo, distanza epicentrale e misure d'intensità del terremoto

Visualizzare e usare gli accelerogrammi

Il programma Oscill

È stato messo a disposizione il file [Oscill_22a.zip](#)

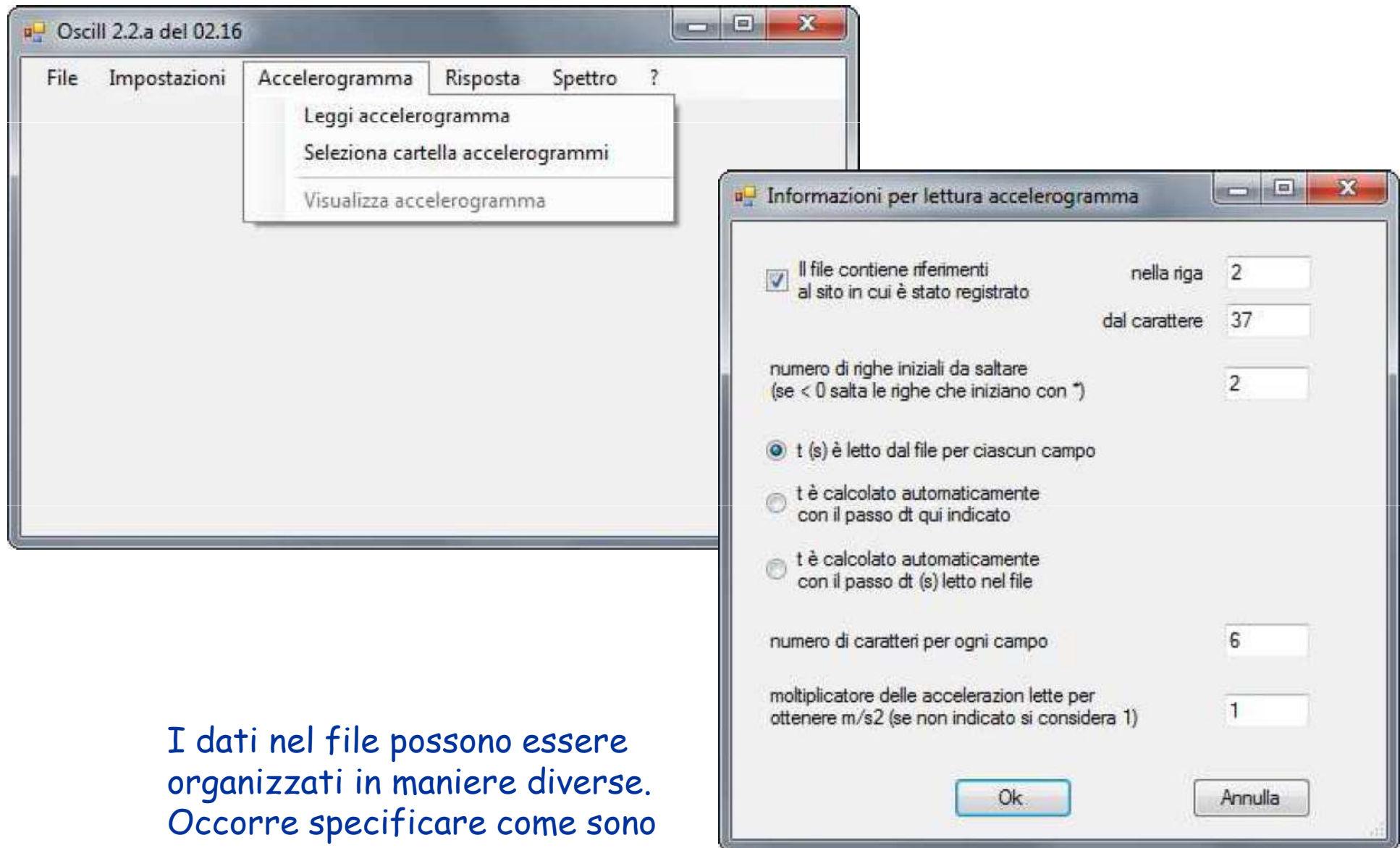
- Unzippare il file
- Dalla cartella [Installazione di Oscill](#) mandare in esecuzione il file [Setup](#)
- Consultare la documentazione di Oscill (in particolare il file [Oscill 22a](#))
- Possono essere utilizzati come esempio gli accelerogrammi contenuti nelle cartelle [5 accelerogrammi](#), [accelerogrammi1](#), [accelerogrammi2](#)

Il programma Oscill



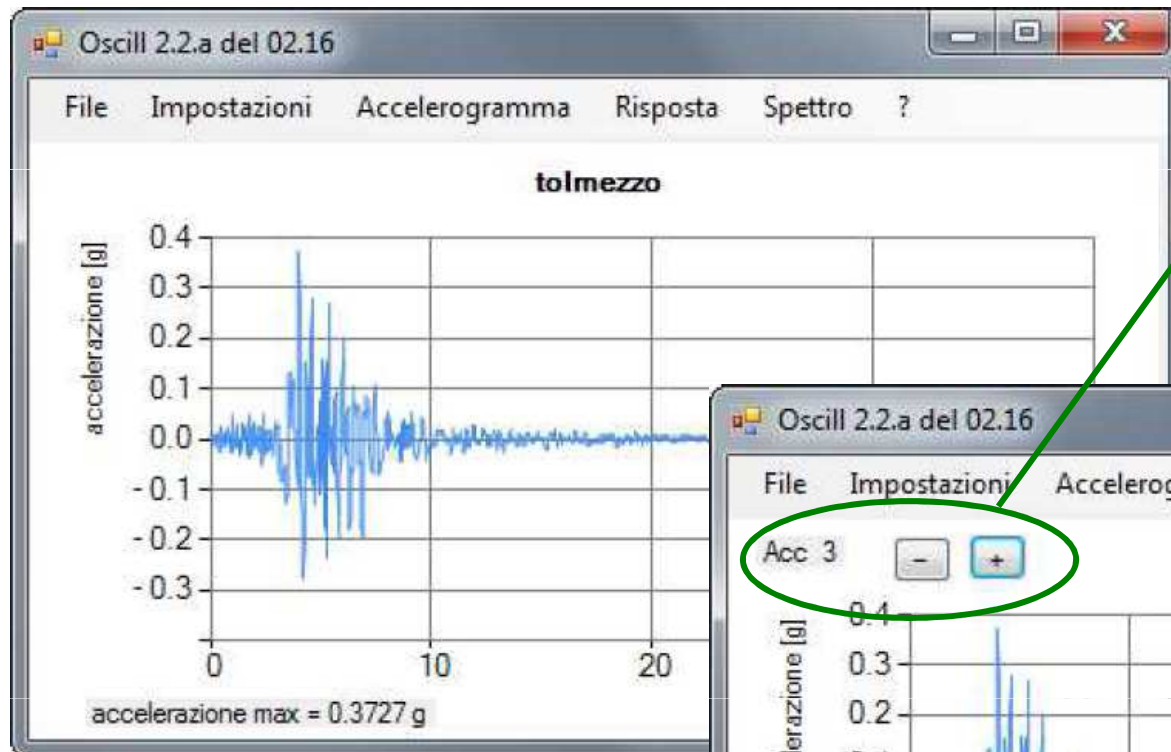
Il programma Oscill

Selezionare accelerogrammi

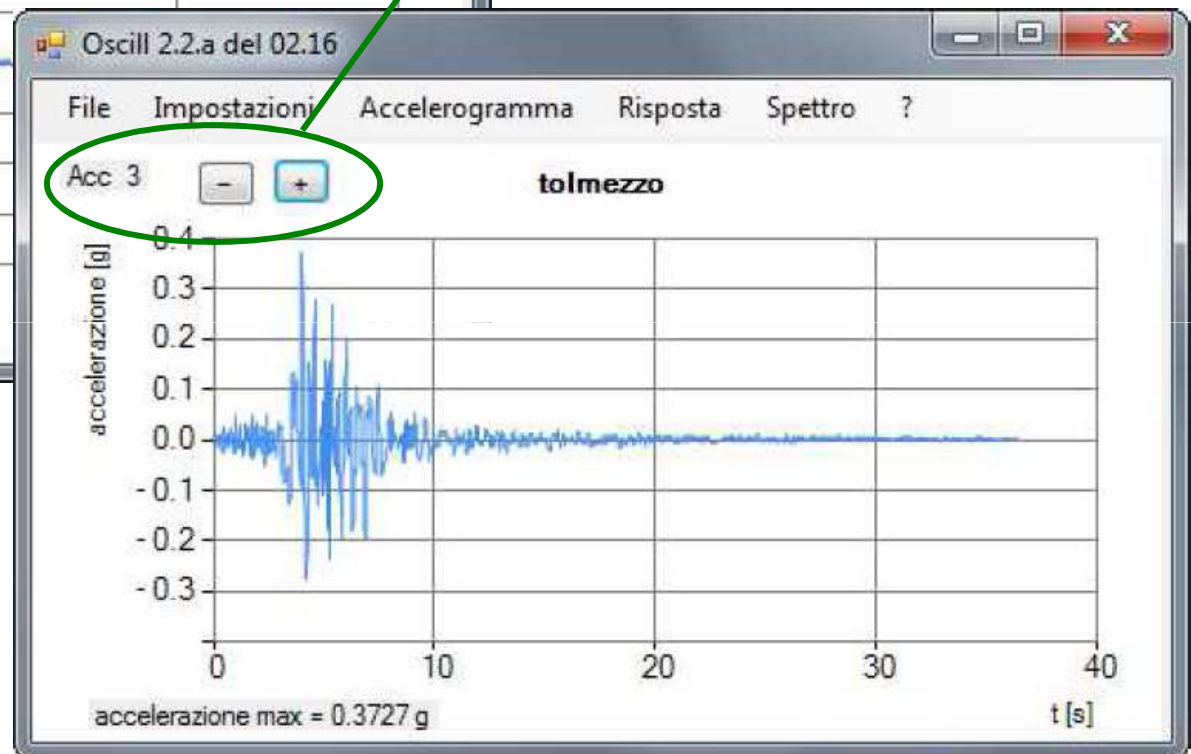


Il programma Oscill

Visualizzare accelerogrammi



Se si è selezionata una cartella, si possono scorrere tutti gli accelerogrammi



I terremoti

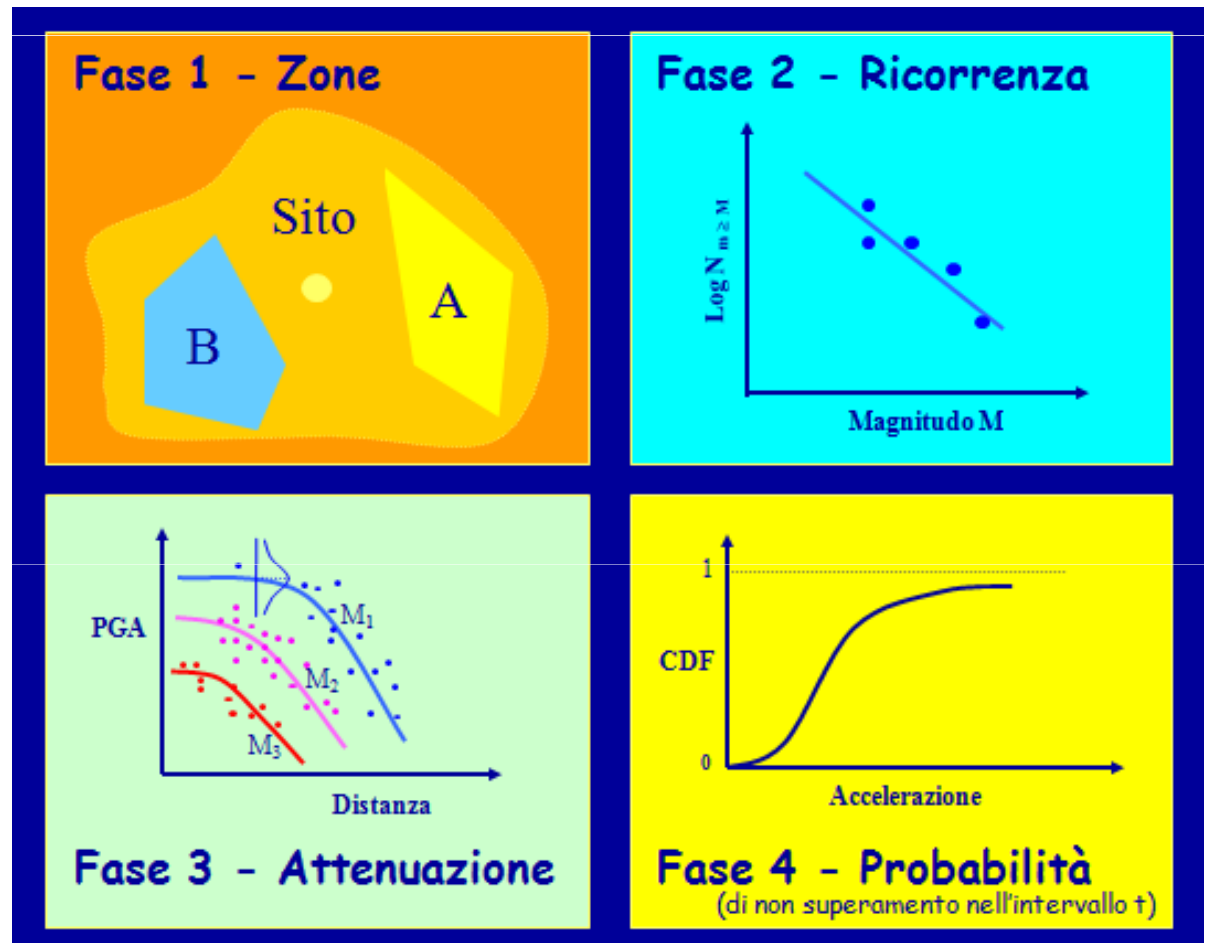
Cosa sono?

Quali terremoti ci aspettiamo in un determinato sito?

Terremoti previsti per un determinato sito

Dopo il terremoto
del Friuli (1976)
parte il Progetto
Finalizzato
Geodinamica (CNR)

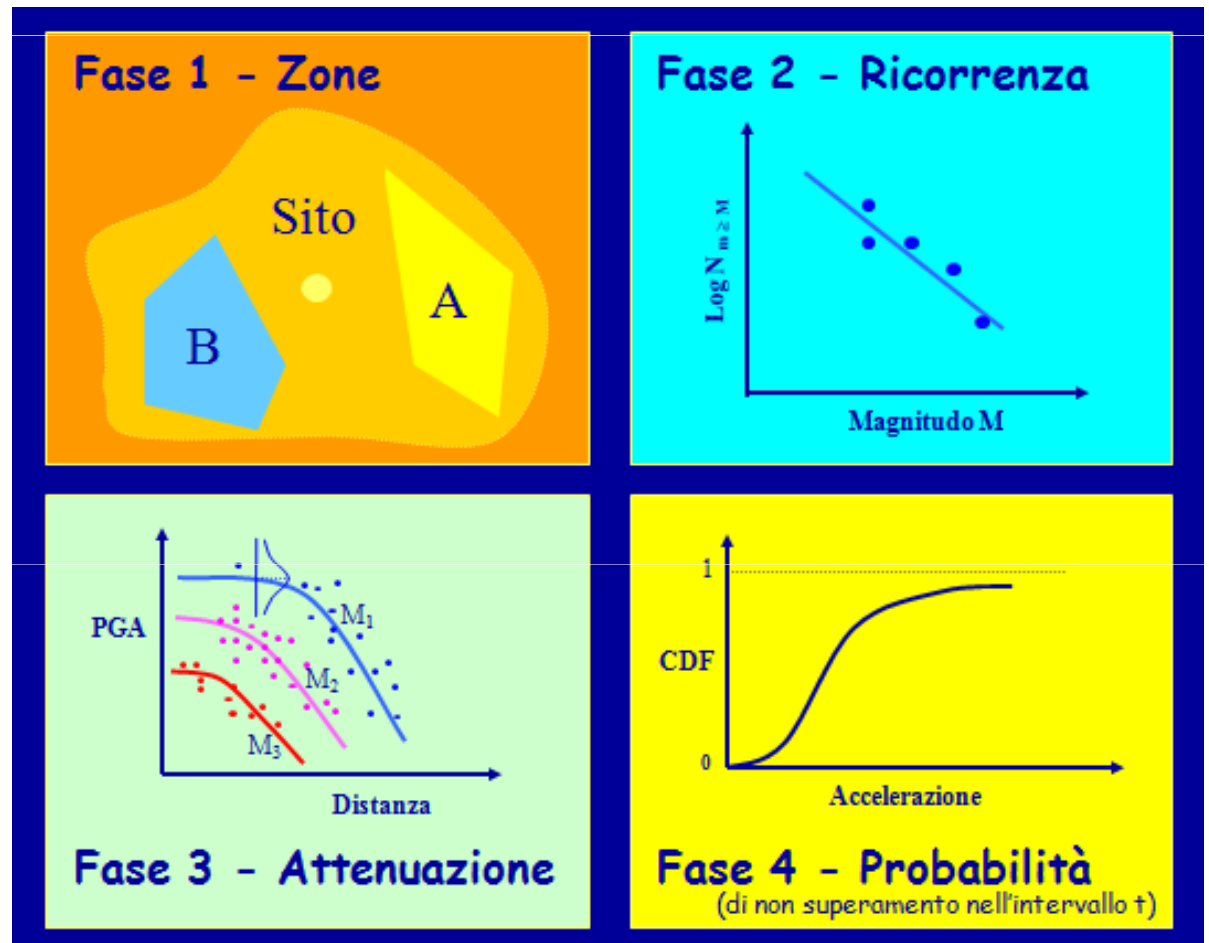
Partendo dallo studio
geologico, dall'individuazione
delle faglie, dalla ricorrenza
degli eventi sismici e dalla
attenuazione delle onde
sismiche con la distanza si
valuta la probabilità di avere
assegnate accelerazioni in
ciascun sito



Terremoti previsti per un determinato sito

Dopo il terremoto
del Friuli (1976)
parte il Progetto
Finalizzato
Geodinamica (CNR)

In anni più recenti si
è avviato in Europa il
Progetto SHARE
(Seismic Hazard
Harmonization in
Europe)



Trattazione probabilistica degli eventi sismici

Distribuzione di Poisson:

- Un evento può accadere in maniera casuale in un qualsiasi istante
- L'occorrenza di un evento in un determinato intervallo di tempo è indipendente da quanto si ha in un qualsiasi altro intervallo
- La probabilità di occorrenza di un evento in un piccolo intervallo Δt è proporzionale a Δt e può essere espressa con $\lambda_s \Delta t$, dove λ_s è la **possibilità media di occorrenza** dell'evento (assunta costante)

Bibliografia: Alfredo H-S. Ang, Wilson H. Tang, Probability concepts in Engineering Planning and Design, John Wiley & Sons

Trattazione probabilistica degli eventi sismici

Distribuzione di Poisson:

Più specificamente, nel caso di eventi sismici

- Un evento può accadere in maniera casuale in un qualsiasi istante
- L'occorrenza di un evento in un determinato intervallo di tempo è indipendente da quanto si ha in un qualsiasi altro intervallo

Queste ipotesi sono in realtà poco realistiche, perché il terremoto è dovuto a fenomeni fisici e la probabilità di avere un evento dipende dalla energia accumulata ...

Ma noi non siamo in grado di tenere conto di questo

Trattazione probabilistica degli eventi sismici

Distribuzione di Poisson:

Più specificamente, nel caso di eventi sismici

- La probabilità di occorrenza di un evento di intensità pari o superiore ad un valore assegnato a_g in un piccolo intervallo Δt (in anni) è proporzionale a Δt e può essere espressa con $\lambda(a_g) \Delta t$, dove $\lambda(a_g)$ è la possibilità media di occorrenza dell'evento (assunta costante)

Occorre sempre fare riferimento all'intensità a_g

Nota:

anche quando scriverò solo λ intenderò sempre $\lambda(a_g)$

Trattazione probabilistica degli eventi sismici

Distribuzione di Poisson:

- Il valore Δt per il quale si ha
 $\lambda(a_g) \Delta t = 1$
rappresenta l'intervallo di tempo per il quale
mediamente si avrà un terremoto di intensità pari o
superiore ad un valore assegnato a_g
- Questo intervallo di tempo è indicato con il simbolo
 $T_R(a_g)$ ed è denominato **periodo di ritorno** (in anni) di
un terremoto di intensità pari o superiore ad un
valore assegnato a_g
- Si ha quindi
$$T_R(a_g) = \frac{1}{\lambda(a_g)} \quad \lambda(a_g) = \frac{1}{T_R(a_g)}$$

Trattazione probabilistica degli eventi sismici

Per una distribuzione di Poisson, la probabilità P di avere n eventi in un intervallo di tempo Δt , indicata con $P(X_i = n)$, è data da:

$$P(X_i = n) = \frac{(\lambda(a_g) \Delta t)^n}{n!} e^{-\lambda(a_g) \Delta t}$$

La probabilità $P(X_i=0)$ che non vi sia alcun evento sismico ($n=0$) in un intervallo di tempo V_R è

$$P(X_i = 0) = \frac{(\lambda(a_g) V_R)^0}{0!} e^{-\lambda(a_g) V_R} = e^{-V_R / T_R(a_g)}$$

Trattazione probabilistica degli eventi sismici

La “probabilità di superamento” P_{VR} , cioè la probabilità che vi sia almeno un evento sismico di intensità pari o superiore ad un valore assegnato a_g in un intervallo di tempo V_R , è

$$P_{VR} = 1 - P(X_i = 0) = 1 - e^{-V_R / T_R}$$

Si ha quindi la seguente relazione tra T_R e P_{VR}

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})}$$

Trattazione probabilistica degli eventi sismici

Relazione tra periodo di ritorno T_R
e probabilità di superamento P_{VR}

È fornita dalla relazione:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})} \cong \frac{V_R}{P_{VR}}$$

Esempio:

probabilità di superamento del 10% in 50 anni

Il periodo di ritorno è:

$$T_R = -\frac{50}{\ln(1 - 0.10)} = 474.6 \cong 475 \text{ anni}$$

Trattazione probabilistica degli eventi sismici

Nell'ambito del Progetto Finalizzato Geodinamica si sono prese in considerazione le seguenti probabilità di superamento, con i periodi di ritorno corrispondenti:

$P(V_R=50 \text{ anni})$	T_R (esatto)	T_R (arrotondato)
81%	30.1	30
63%	50.3	50
50%	72.1	72
39%	101.2	101
30%	140.2	140
22%	201.2	201
10%	474.6	475
5%	974.8	975
2%	2474.9	2475

Trattazione probabilistica degli eventi sismici

Nell'ambito del Progetto Finalizzato Geodinamica si sono prese in considerazione le seguenti probabilità di superamento, con i periodi di ritorno corrispondenti:

$P(V_R=50 \text{ anni})$	T_R	Terremoto
81%	30	Frequente
63%	50	Occasionale
10%	475	Raro
5%	975	Estremamente raro

Hanno particolare rilevanza alcune probabilità di superamento, ai cui eventi è stata assegnata una specifica denominazione

Intensità sismica corrispondente ad una assegnata probabilità di superamento

Dove troviamo, per un qualsiasi sito, l'intensità sismica corrispondente ad una assegnata probabilità di superamento (o a un periodo di ritorno)?

- Deriva dal Progetto Finalizzato Geodinamica
- È riportata in dettaglio nel sito INGV, suddivisa in più fogli di calcolo Excel
- È sintetizzata nelle NTC08, Tabella 1 e 2

Nota: i valori sono riferiti al bedrock, cioè allo strato roccioso. Se al di sopra di questo vi sono strati di terreno deformabile (sabbia, argilla) occorre valutare l'effetto della stratigrafia del sito

Intensità sismica corrispondente ad una assegnata probabilità di superamento

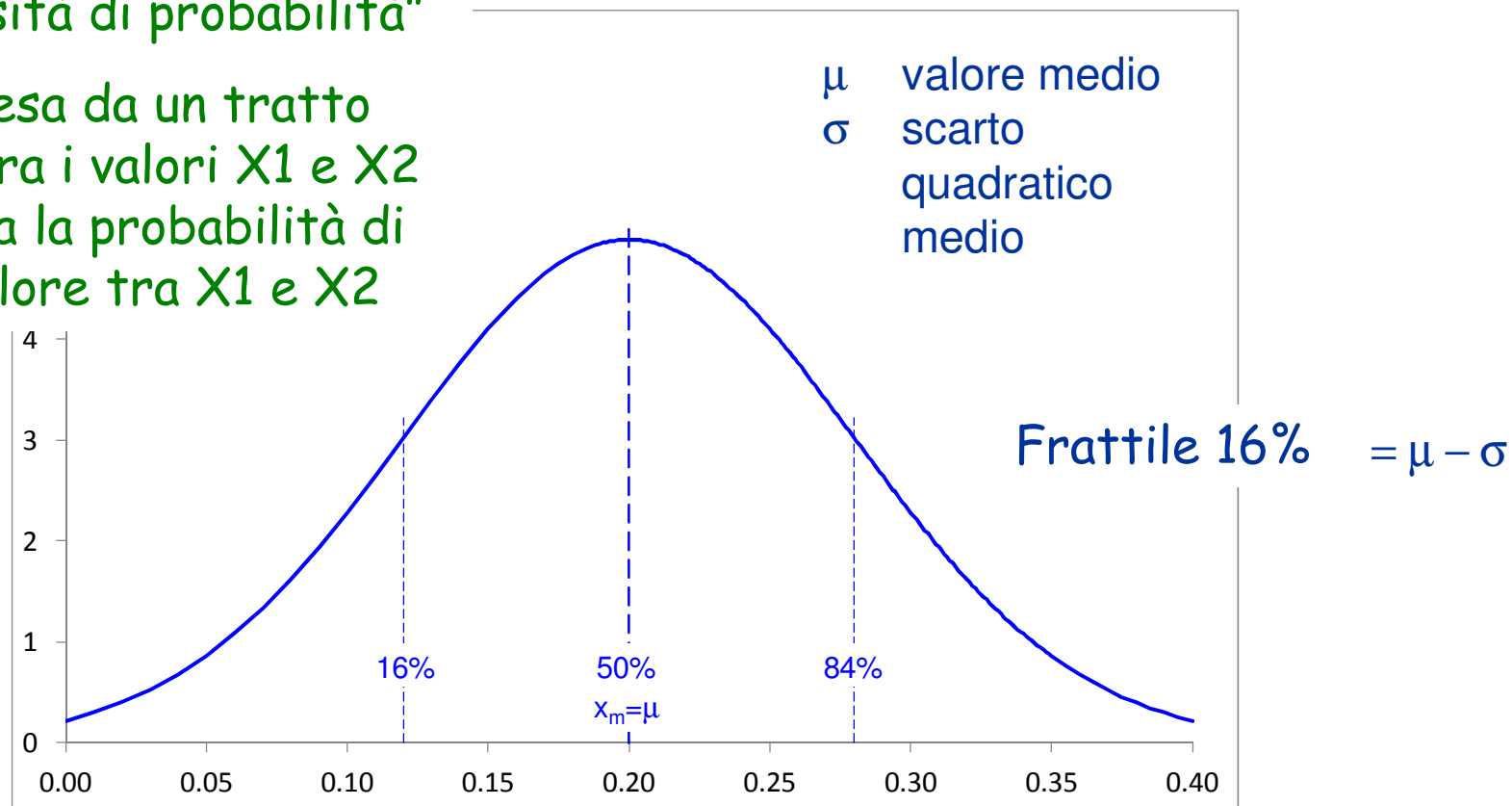
- In realtà il valore dell'accelerazione corrispondente ad una assegnata probabilità di superamento non è definito in maniera certa ma mediante una distribuzione probabilistica lognormale

Distribuzione normale o Gaussiana

- Definita con l'equazione $f_x(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$

Curva "densità di probabilità"

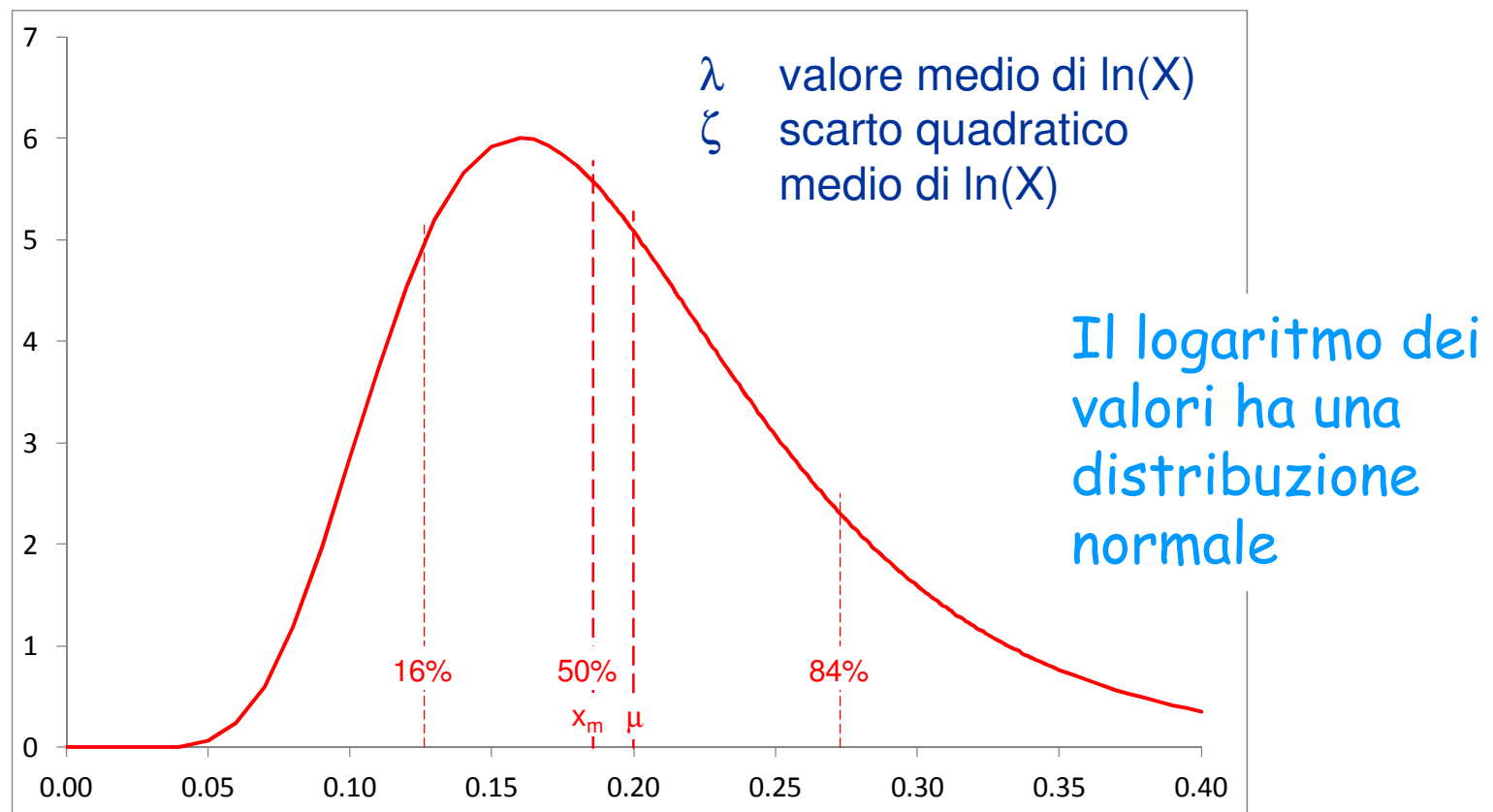
L'area sottesa da un tratto compreso tra i valori X_1 e X_2 rappresenta la probabilità di avere un valore tra X_1 e X_2



Distribuzione simmetrica rispetto al valore medio $\mu = \text{mediano } x_m$

Distribuzione lognormale

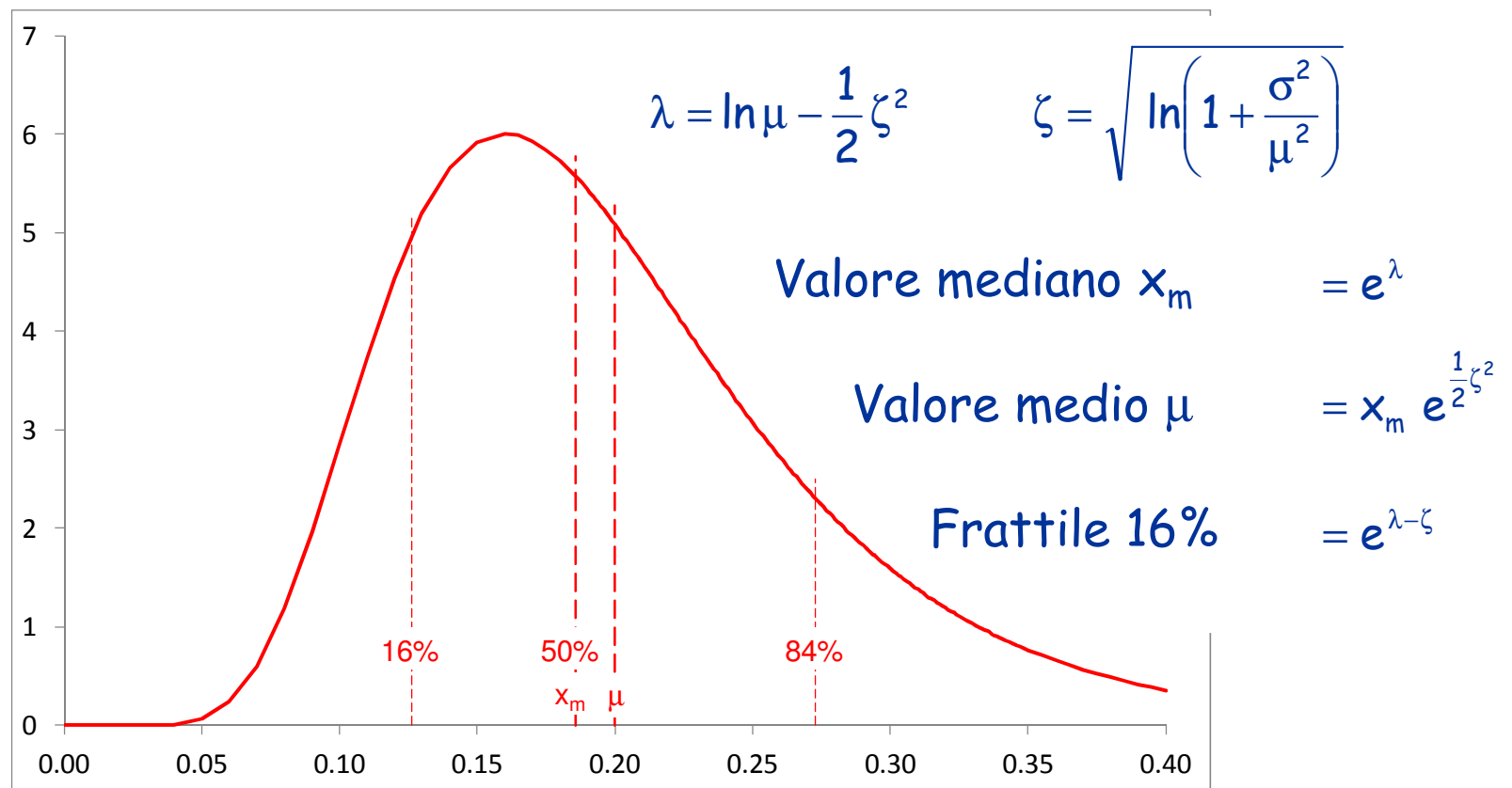
- Definita con l'equazione $f_X(x) = \frac{1}{\zeta x \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln x - \lambda}{\zeta} \right)^2}$



Distribuzione non simmetrica; valore medio $\mu \neq$ mediano x_m

Distribuzione lognormale

- Definita con l'equazione $f_x(x) = \frac{1}{\zeta x \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln x - \lambda}{\zeta} \right)^2}$



Distribuzione non simmetrica; valore medio $\mu \neq$ mediano x_m

Intensità sismica corrispondente ad una assegnata probabilità di superamento

Dal sito
INGV

Foglio 10%

punto di
riferimento
(Spoleto)

I valori sono forniti per
diverse probabilità di
superamento

in 50 anni	TR	$\lambda_s = 1/TR$
81%	30	0.033215
63%	50	0.019885
50%	72	0.013863
39%	101	0.009886
30%	140	0.007133
22%	201	0.004969
10%	475	0.002107
5%	975	0.001026
2%	2475	0.000404

id	lon	lat	ag	84perc	16perc
24735	12.2649	42.7284	0.1504	0.1734	0.1361
24736	12.3330	42.7291	0.1527	0.1761	0.1384
24737	12.4010	42.7298	0.1552	0.1769	0.1400
24738	12.4691	42.7304	0.1590	0.1777	0.1427
24739	12.5372	42.7310	0.1654	0.1790	0.1483
24740	12.6052	42.7315	0.1760	0.1882	0.1586
24741	12.6733	42.7320	0.1938	0.2060	0.1744
24742	12.7414	42.7325	0.2156	0.2344	0.1928
24743	12.8094	42.7329	0.2377	0.2547	0.2107
24744	12.8775	42.7333	0.2531	0.2743	0.2245
24745	12.9455	42.7336	0.2521	0.2792	0.2308
24746	13.0136	42.7339	0.2555	0.2820	0.2332
24747	13.0817	42.7342	0.2572	0.2835	0.2346
24748	13.1497	42.7344	0.2576	0.2838	0.2350
24749	13.2178	42.7346	0.2569	0.2831	0.2341
24750	13.2859	42.7348	0.2541	0.2797	0.2310
24751	13.3540	42.7349	0.2472	0.2668	0.2242

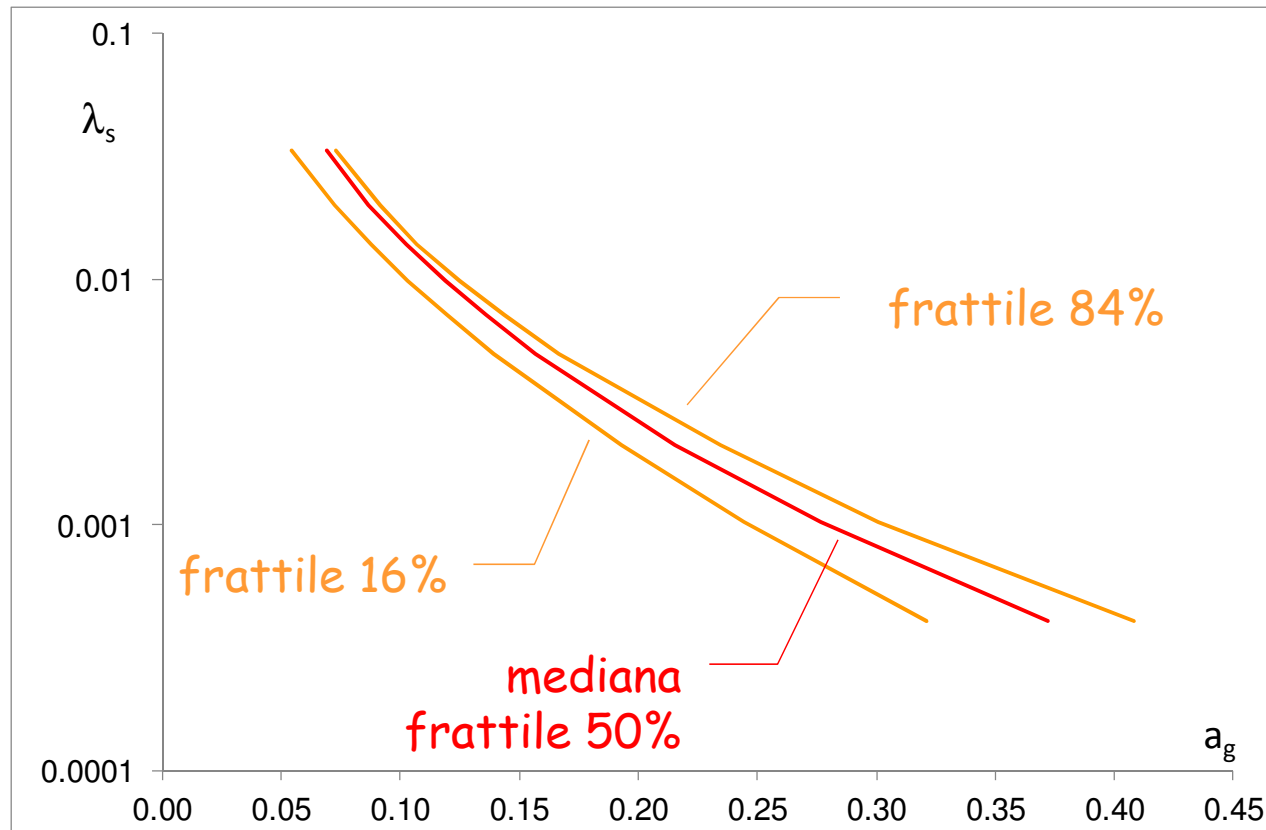
valore di a_g
mediano

frattili
84% e 16%

Foglio Excel spettri e pericolosità

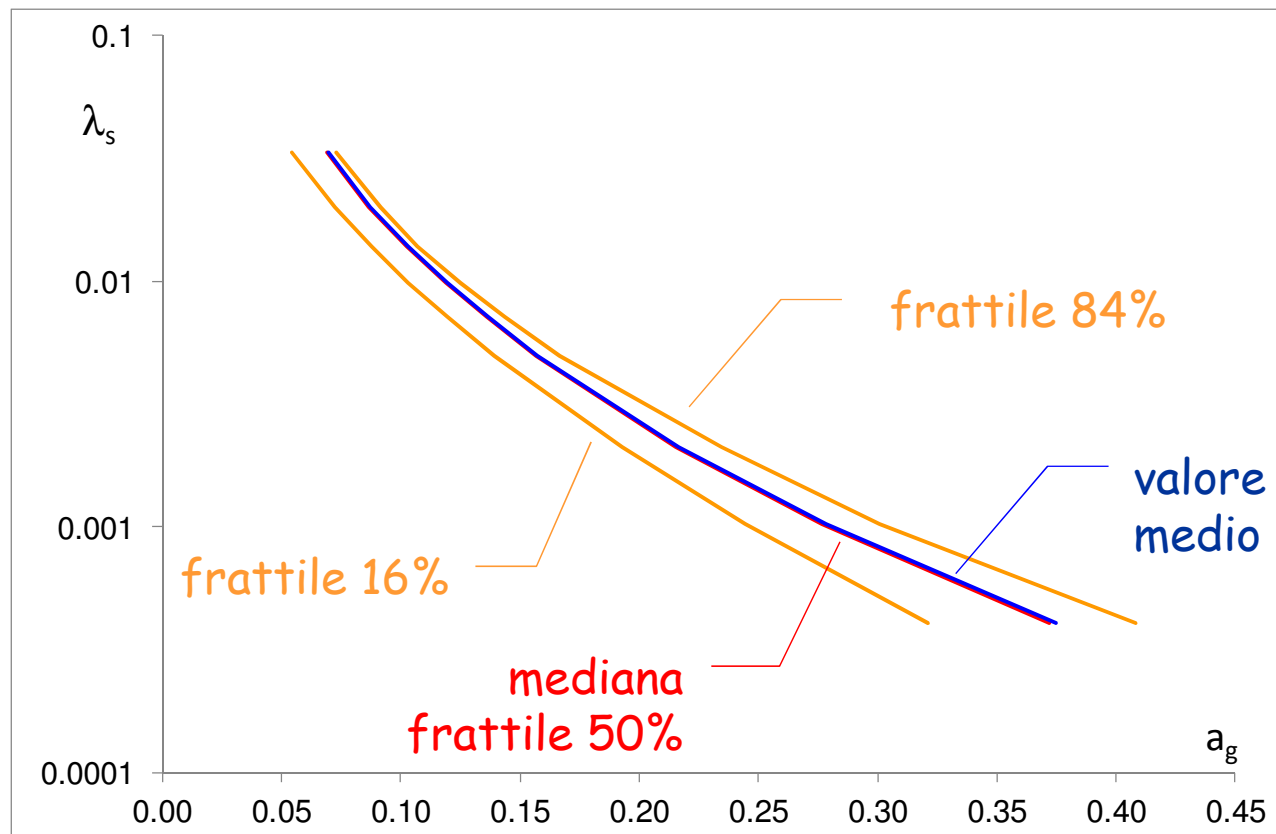
Curva di pericolosità

- La curva di pericolosità mostra la relazione tra la possibilità media di occorrenza $\lambda_s = 1/T_R$ e l'accelerazione a_g (mediana, frattili 16% e 84%)

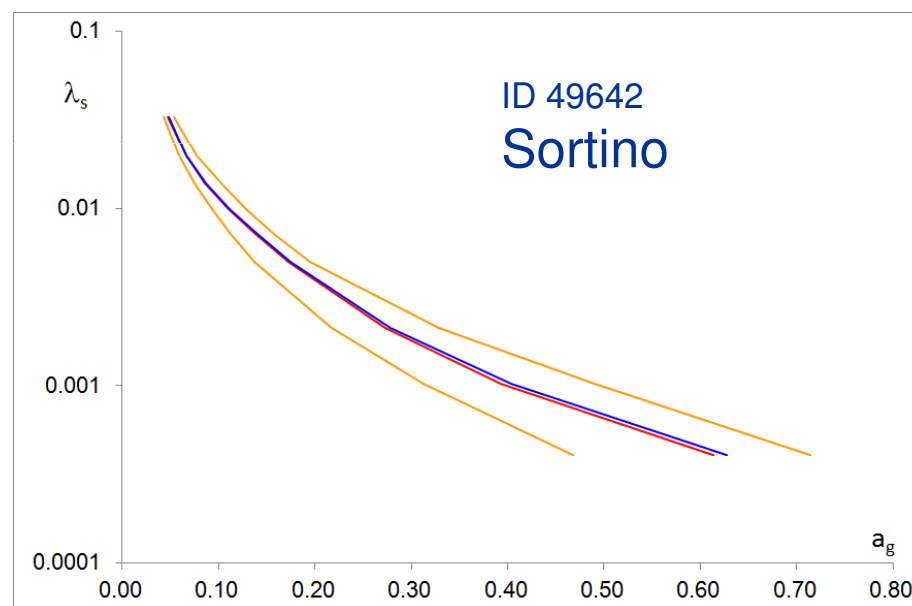
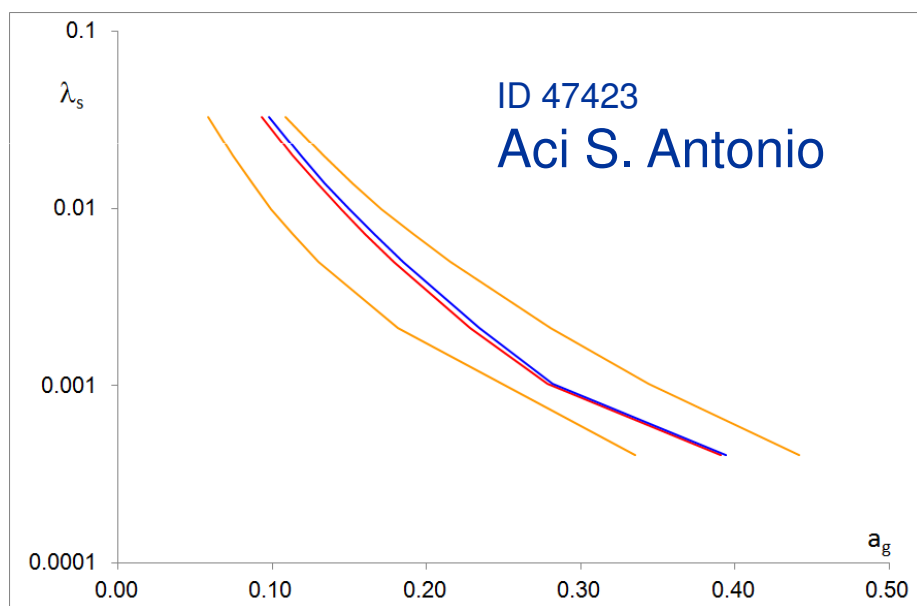
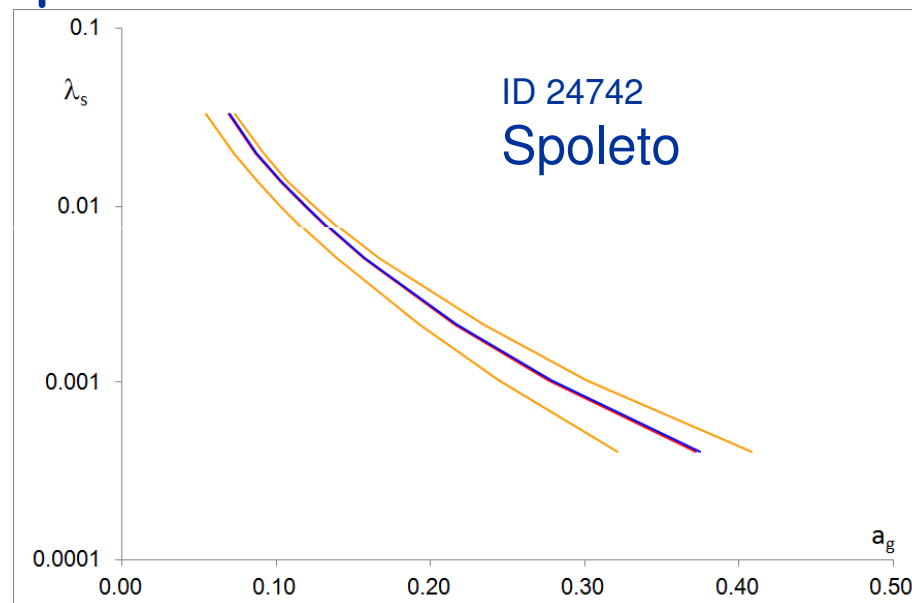
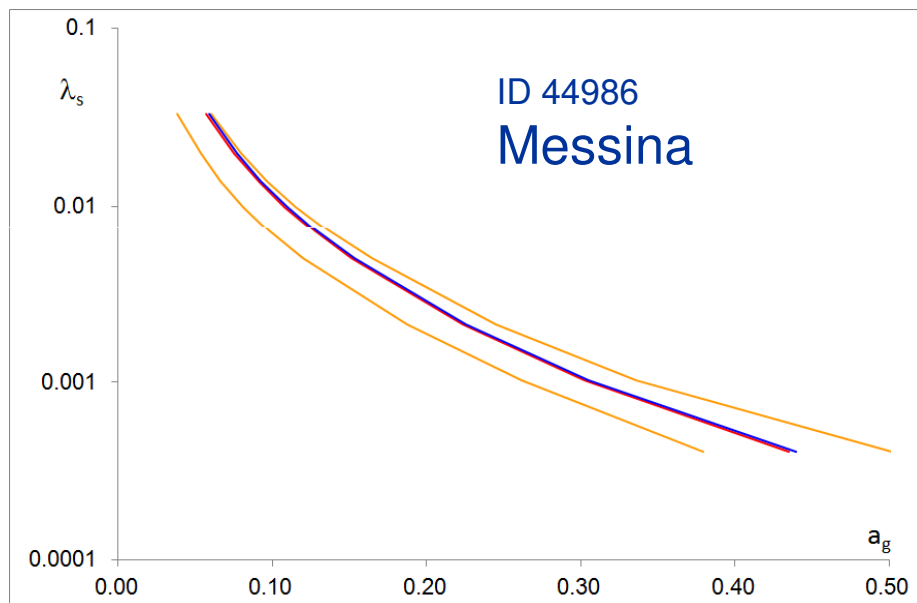


Curva di pericolosità

- È possibile calcolare e diagrammare anche il valore medio, ma questo non differisce in maniera rilevante dal valore mediano

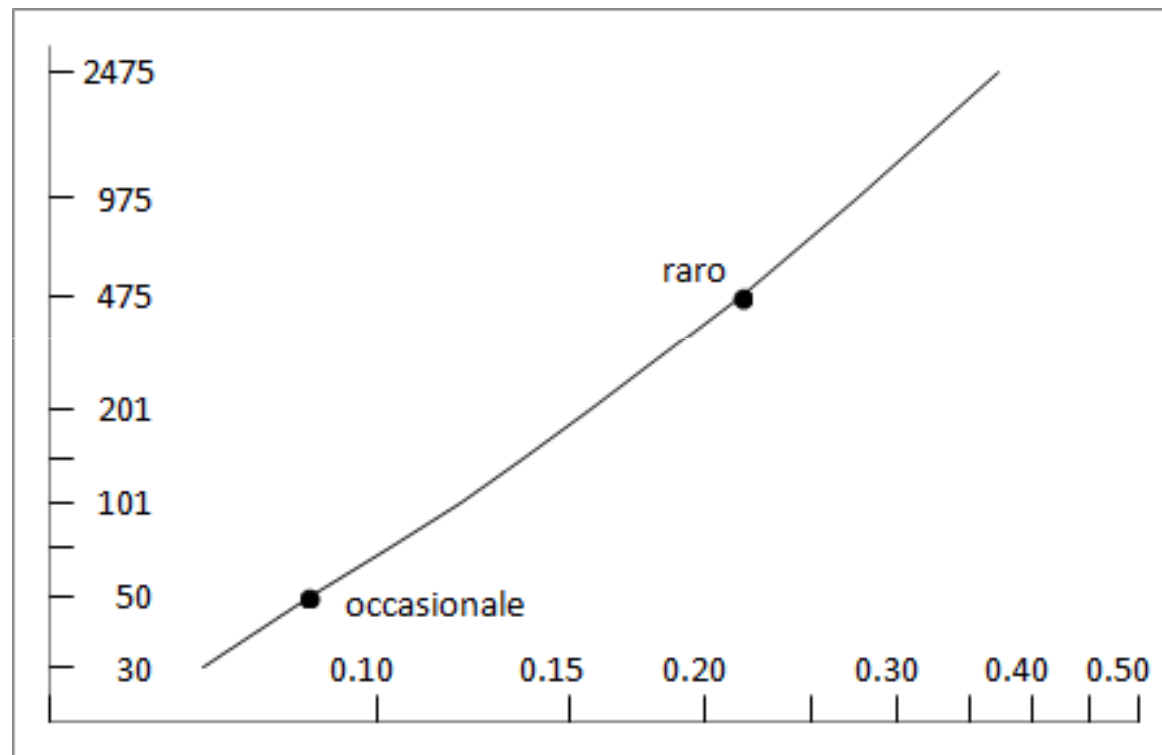


Curva di pericolosità esempi



Accelerazione e periodo di ritorno

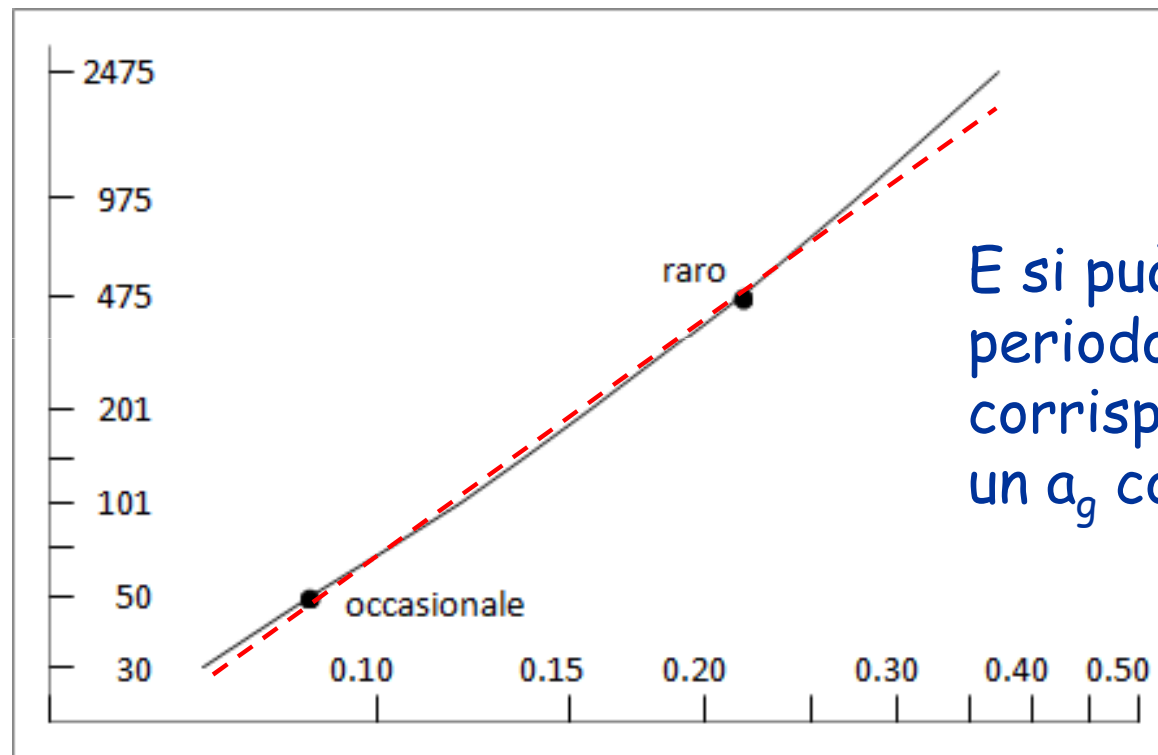
- Si può diagrammare il periodo di ritorno in funzione dell'accelerazione, usando per entrambi una scala logaritmica



Accelerazione e periodo di ritorno

- L'andamento è quasi lineare. La pendenza η può essere calcolata come

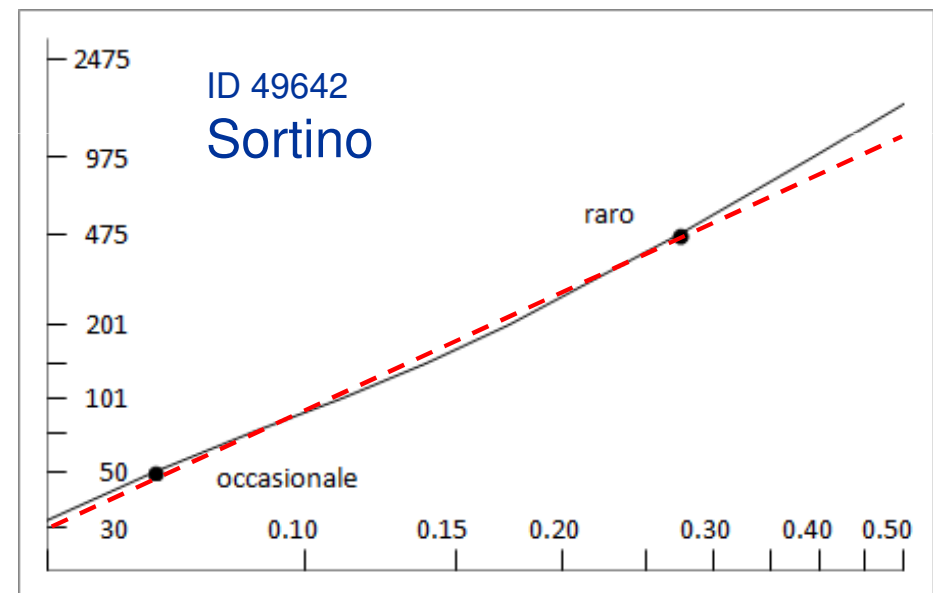
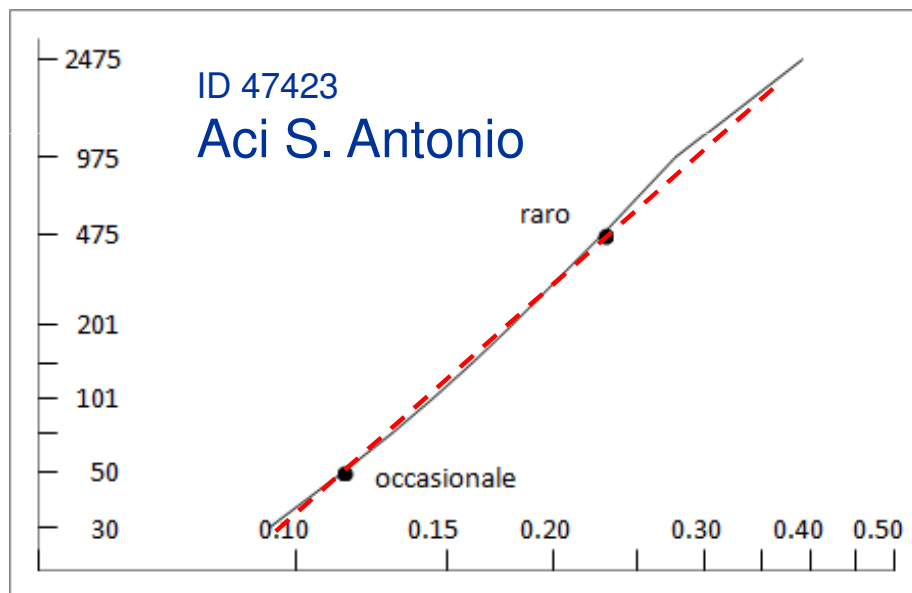
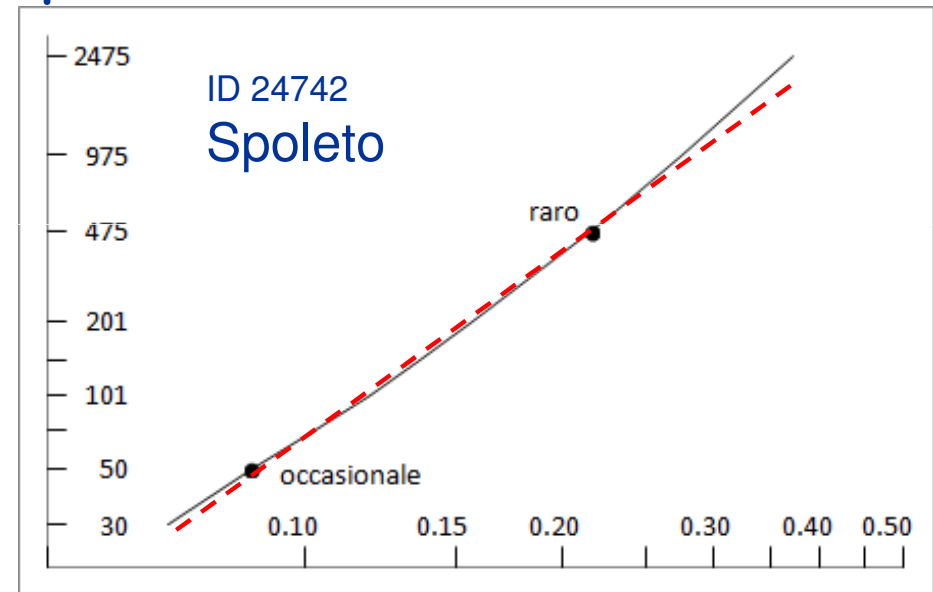
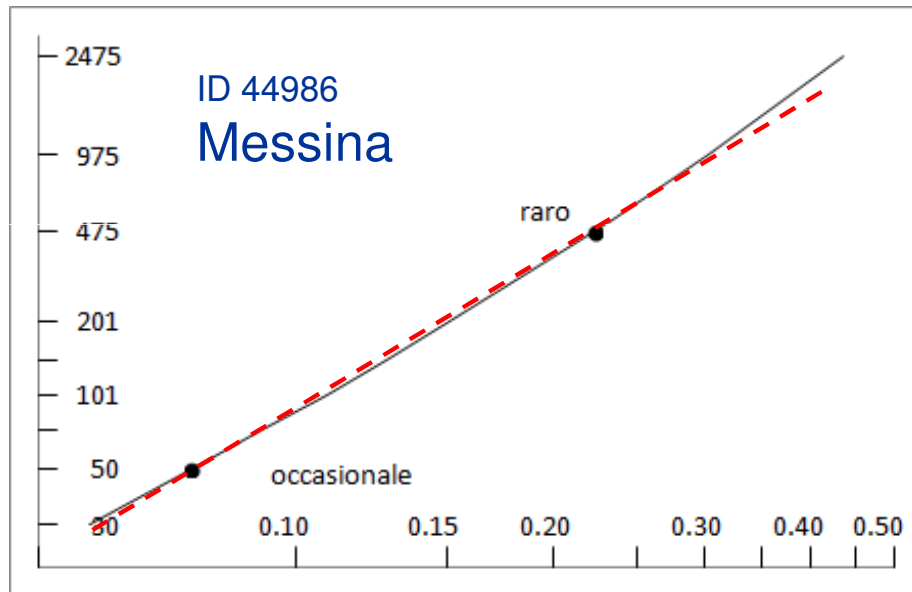
$$\eta = \frac{\ln(T_{R,1} / T_{R,2})}{\ln(a_{g,1} / a_{g,2})}$$



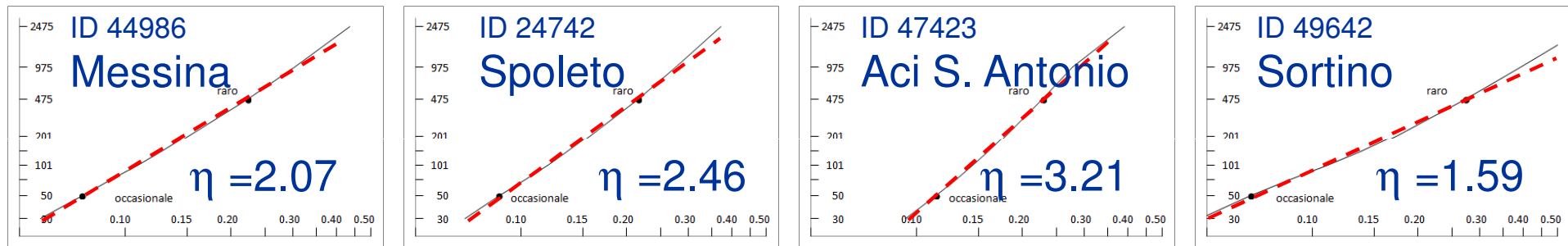
E si può calcolare il periodo di ritorno corrispondente ad un a_g con

$$T_R = T_{R,2} \left(\frac{a_g}{a_{g,2}} \right)^\eta$$

Accelerazione e periodo di ritorno esempi



Accelerazione e periodo di ritorno



- Una norma attuale (DM 28/2/17) suggerisce di usare sempre come esponente $\eta = 1/0.41 = 2.44$ oppure di differenziarlo in funzione di a_g
- Con questa differenziazione si avrebbe nei primi tre casi $\eta = 1/0.43 = 2.33$, nel quarto $\eta = 1/0.49 = 2.04$
- È evidente che l'unico modo corretto per scegliere l'esponente η consiste nel far riferimento ai dati del sito