

Corsi di aggiornamento

Progettiamo insieme
Teoria e pratica della progettazione strutturale

Spoletto
marzo - settembre 2016

Organizzati da Aurelio Gherzi e APICE s.r.l.

Con il patrocinio di:
Ordine degli ingegneri della provincia di
Perugia

Corsi di aggiornamento

Progettiamo insieme

Teoria e pratica della progettazione strutturale

1. Risposta sismica delle strutture

01 - Terremoti e pericolosità sismica

Spoletto

18-19 marzo 2016

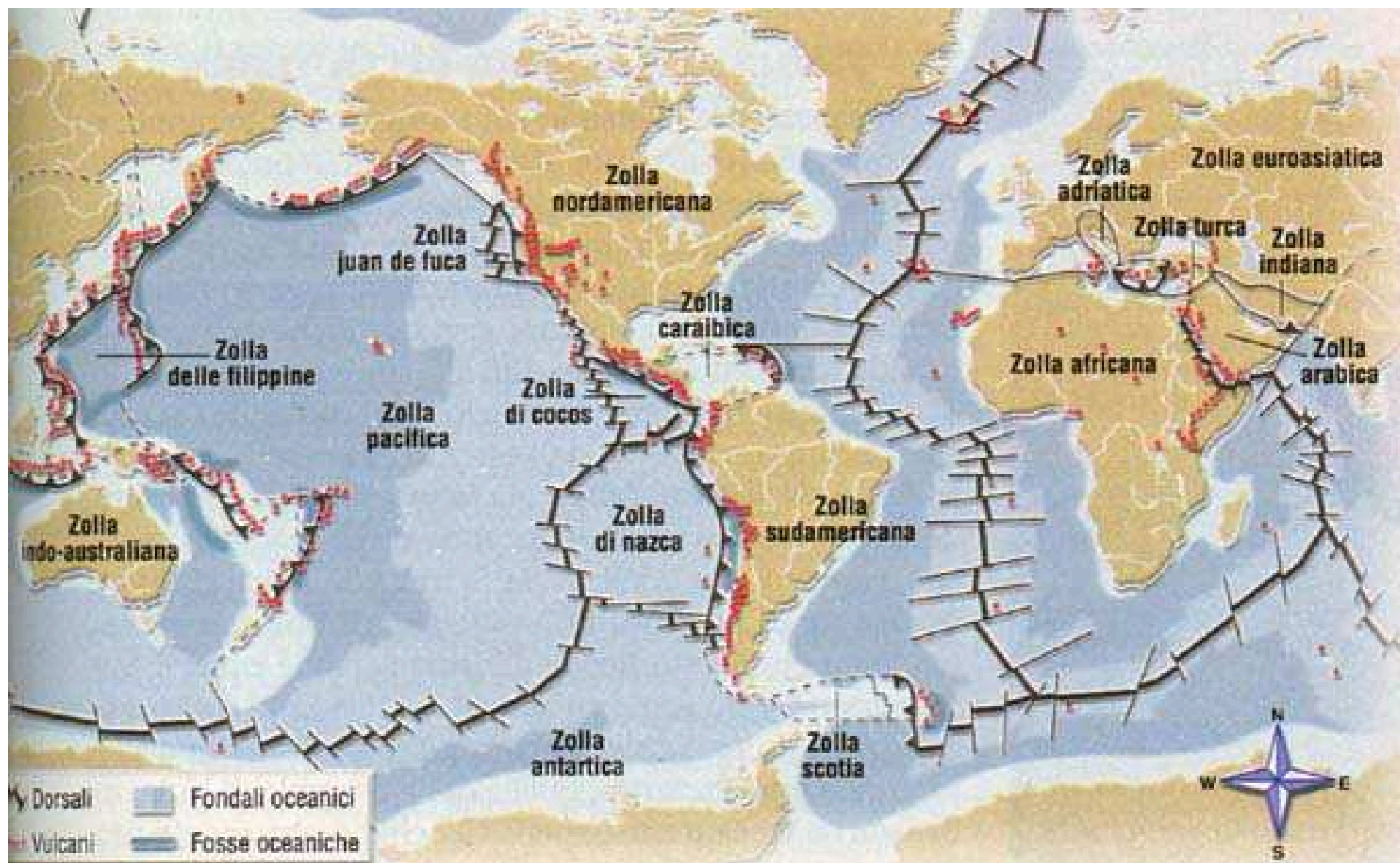
Aurelio Ghersi

I terremoti

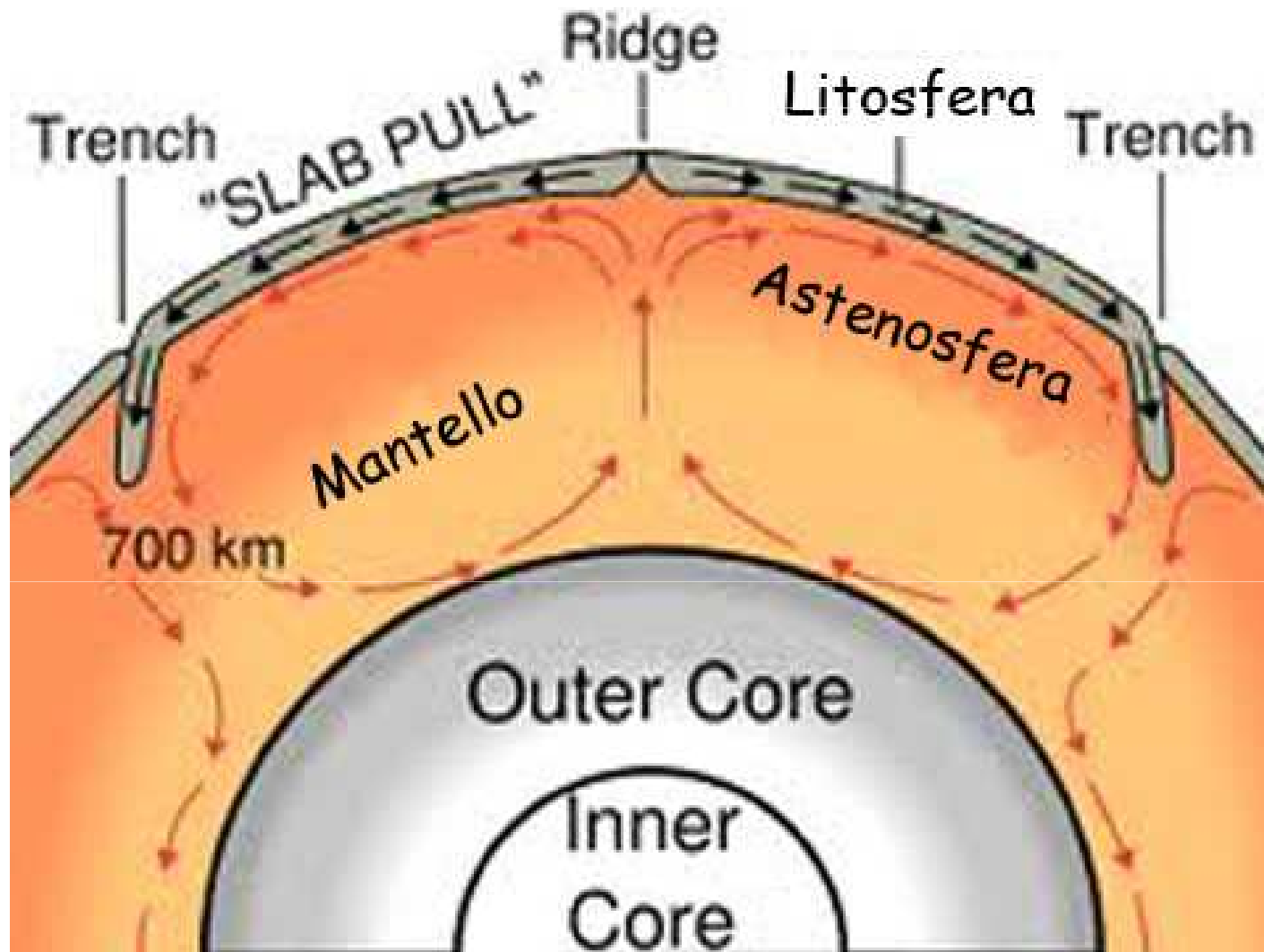
Cosa sono?

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



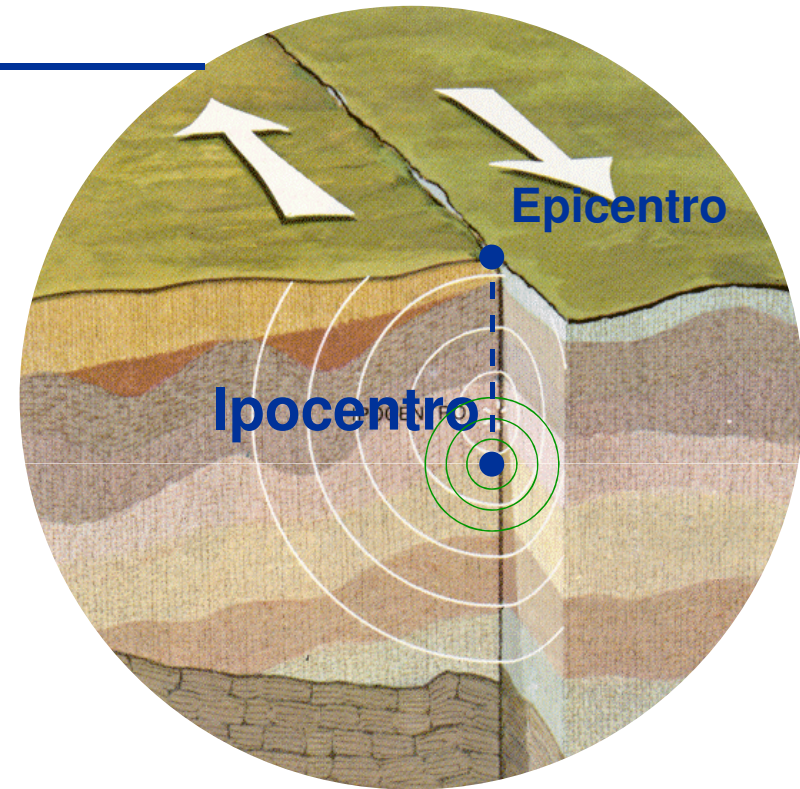
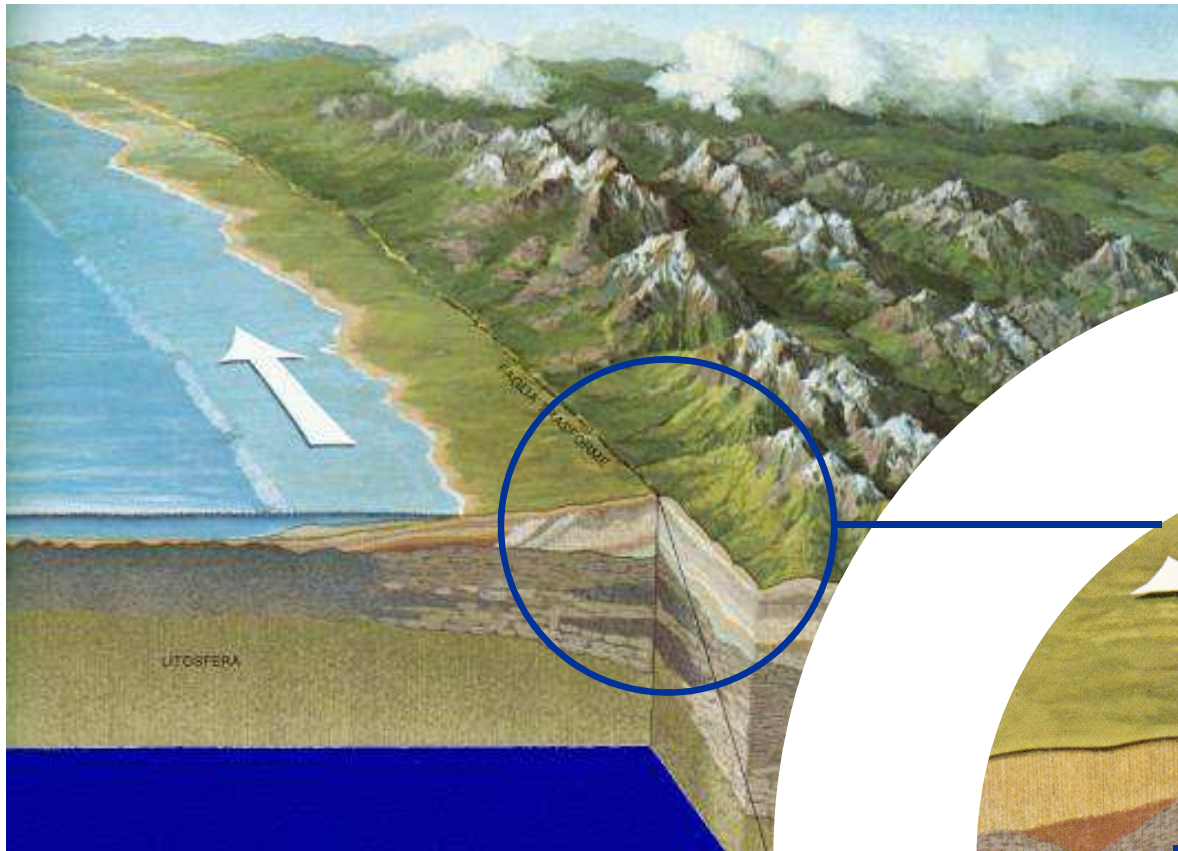
il momento della rottura:
rilascio dell'energia

4



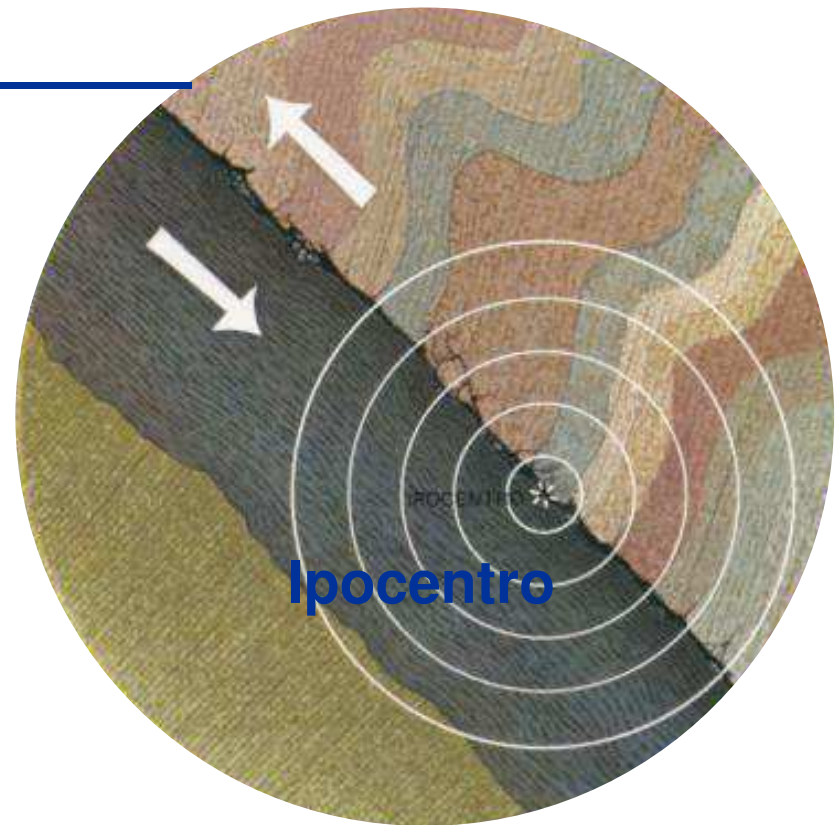
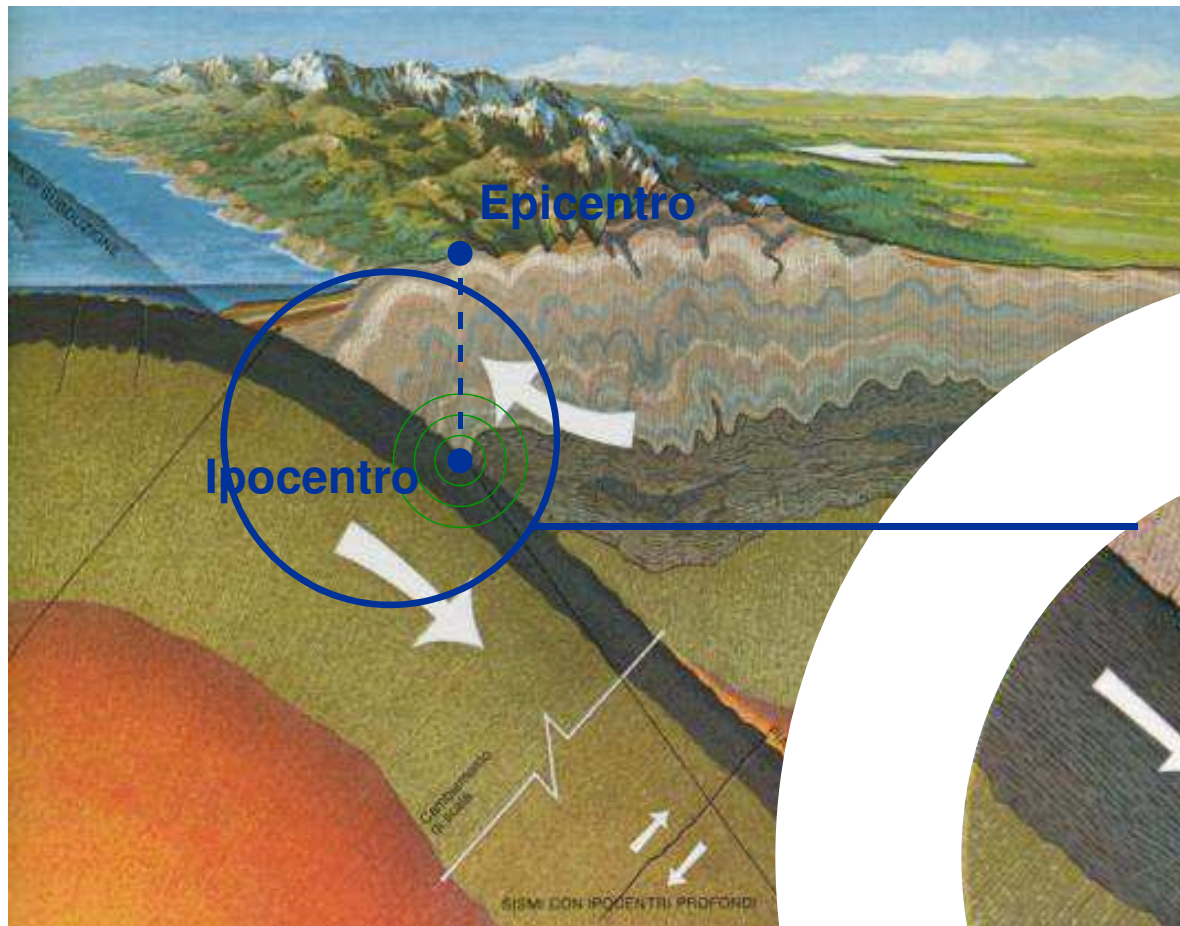
brusco scorrimento, verso un nuovo
equilibrio

Faglie trasformi



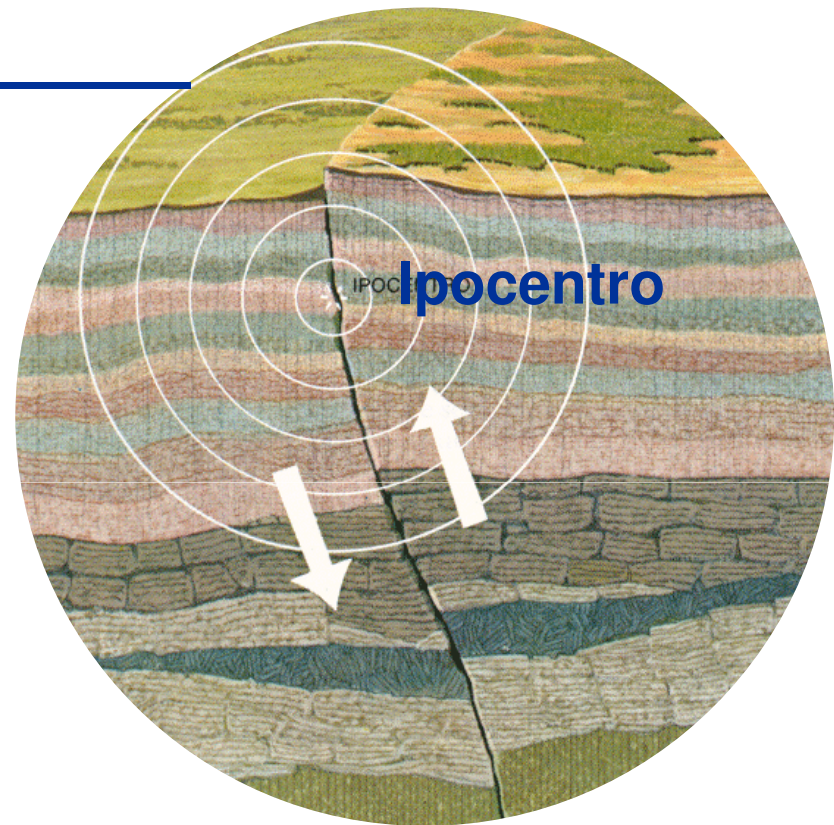
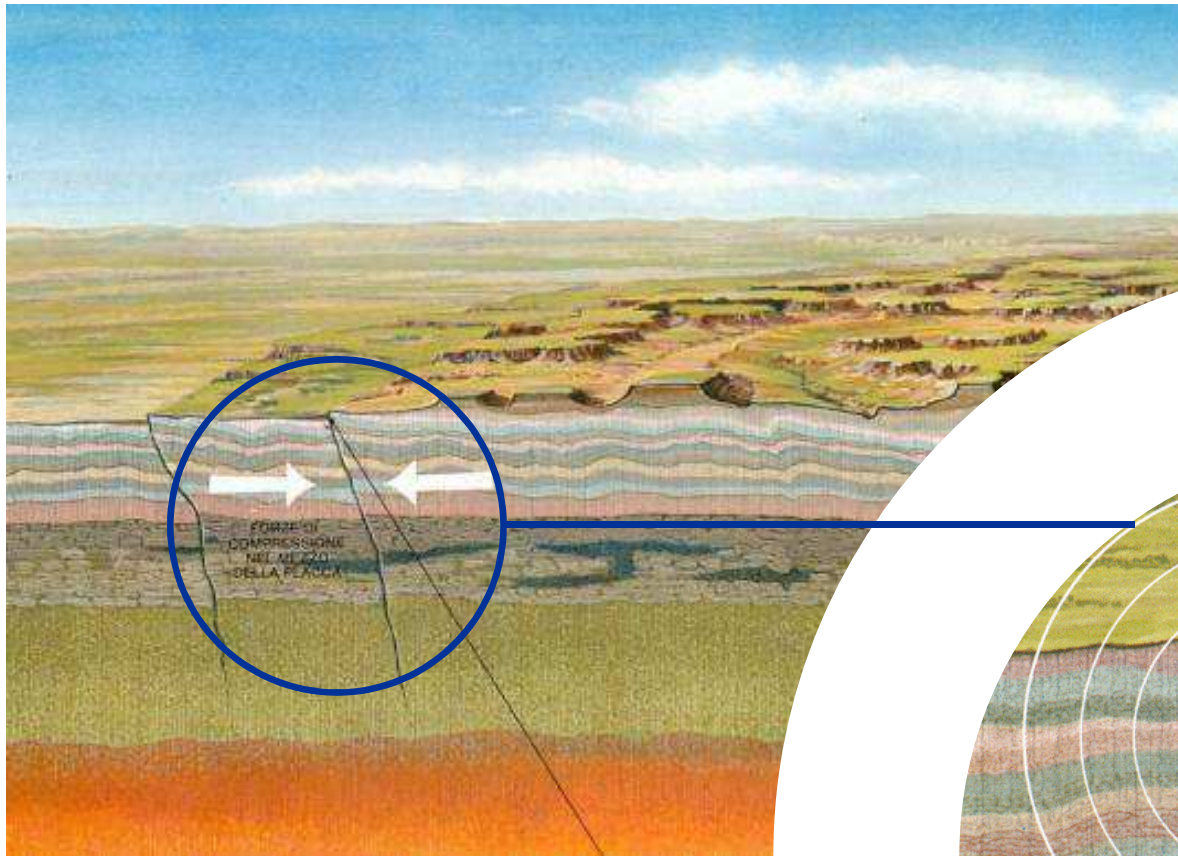
Zolle che scorrono
orizzontalmente, l'una
rispetto all'altra

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 $\geq M$:

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

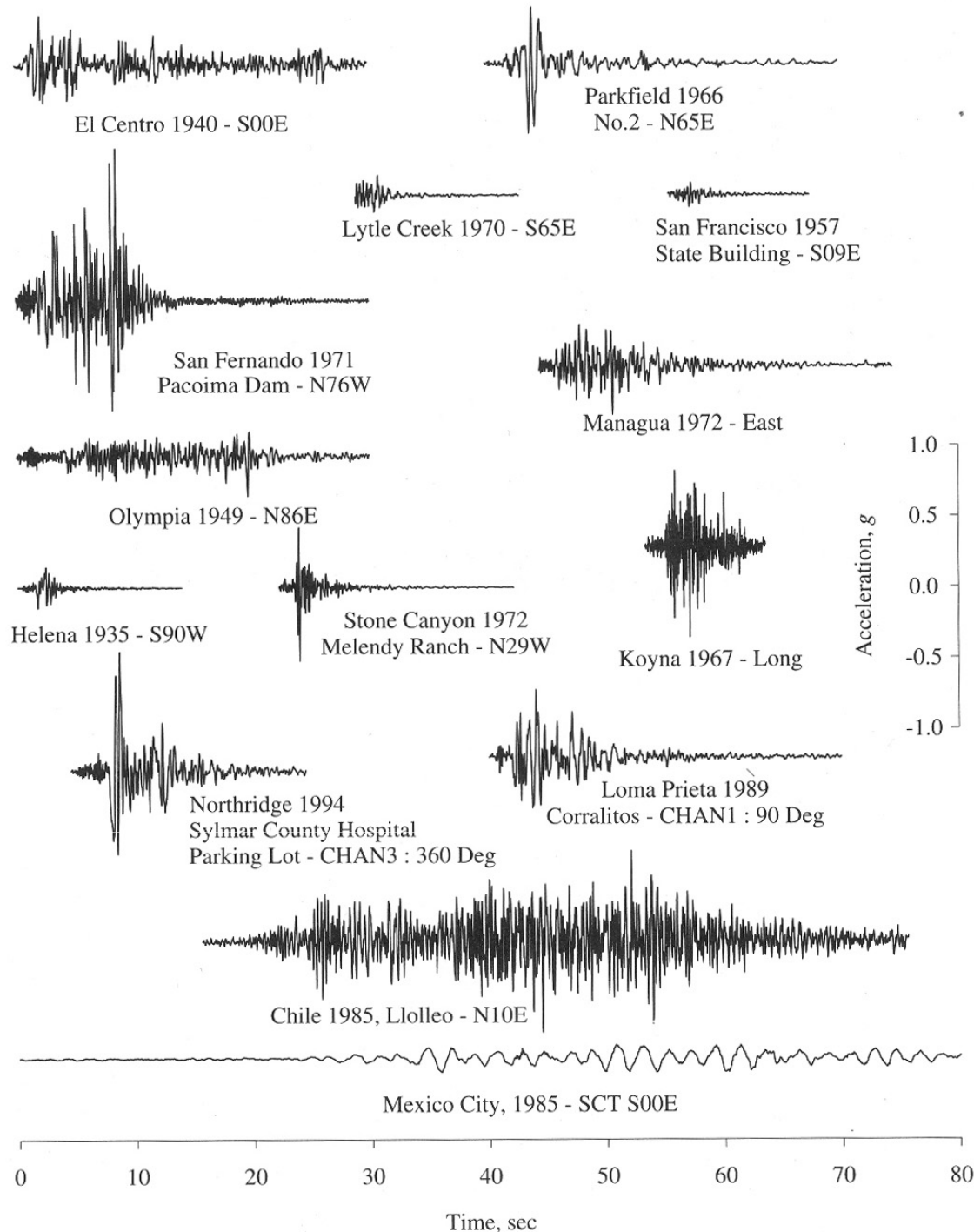
Accelerogrammi

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

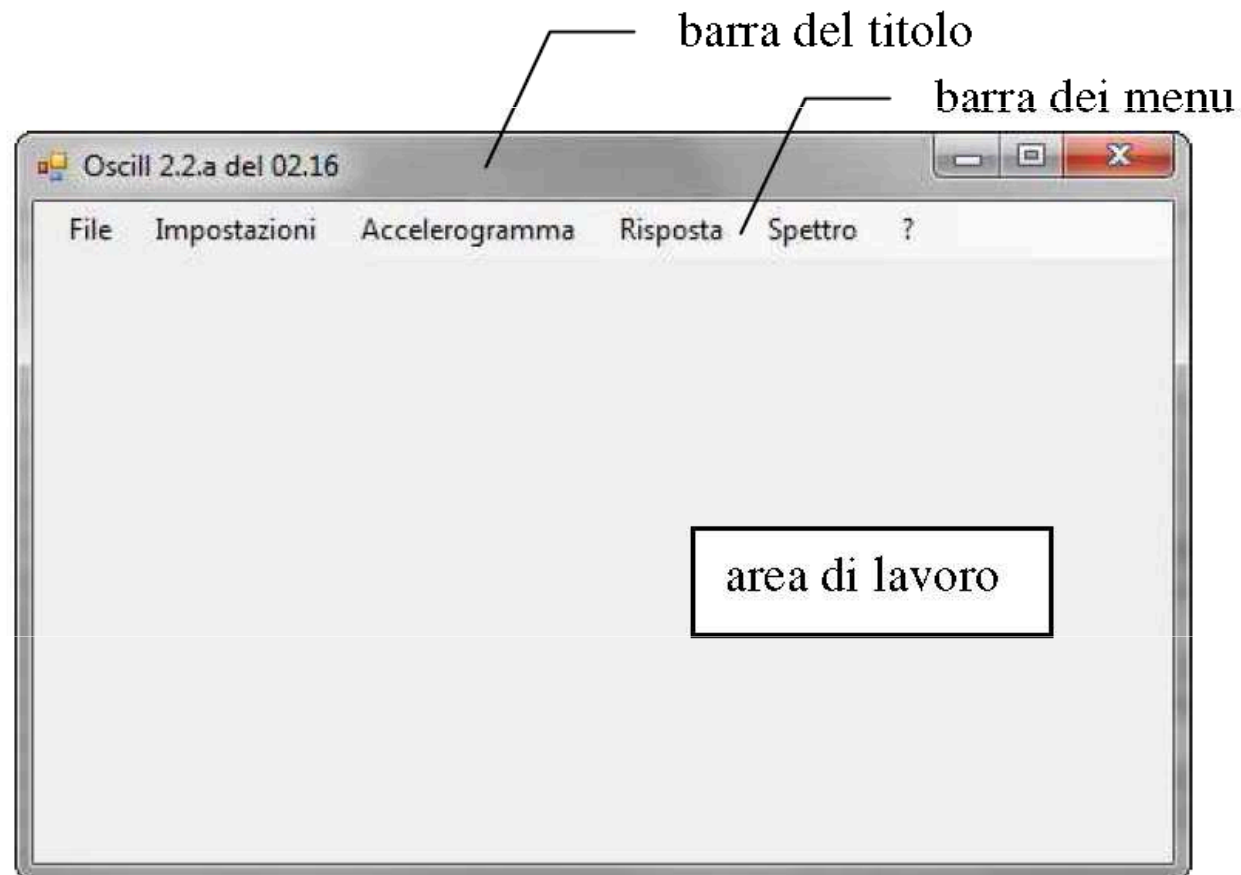
Visualizzare e usare gli accelerogrammi

Il programma Oscill

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

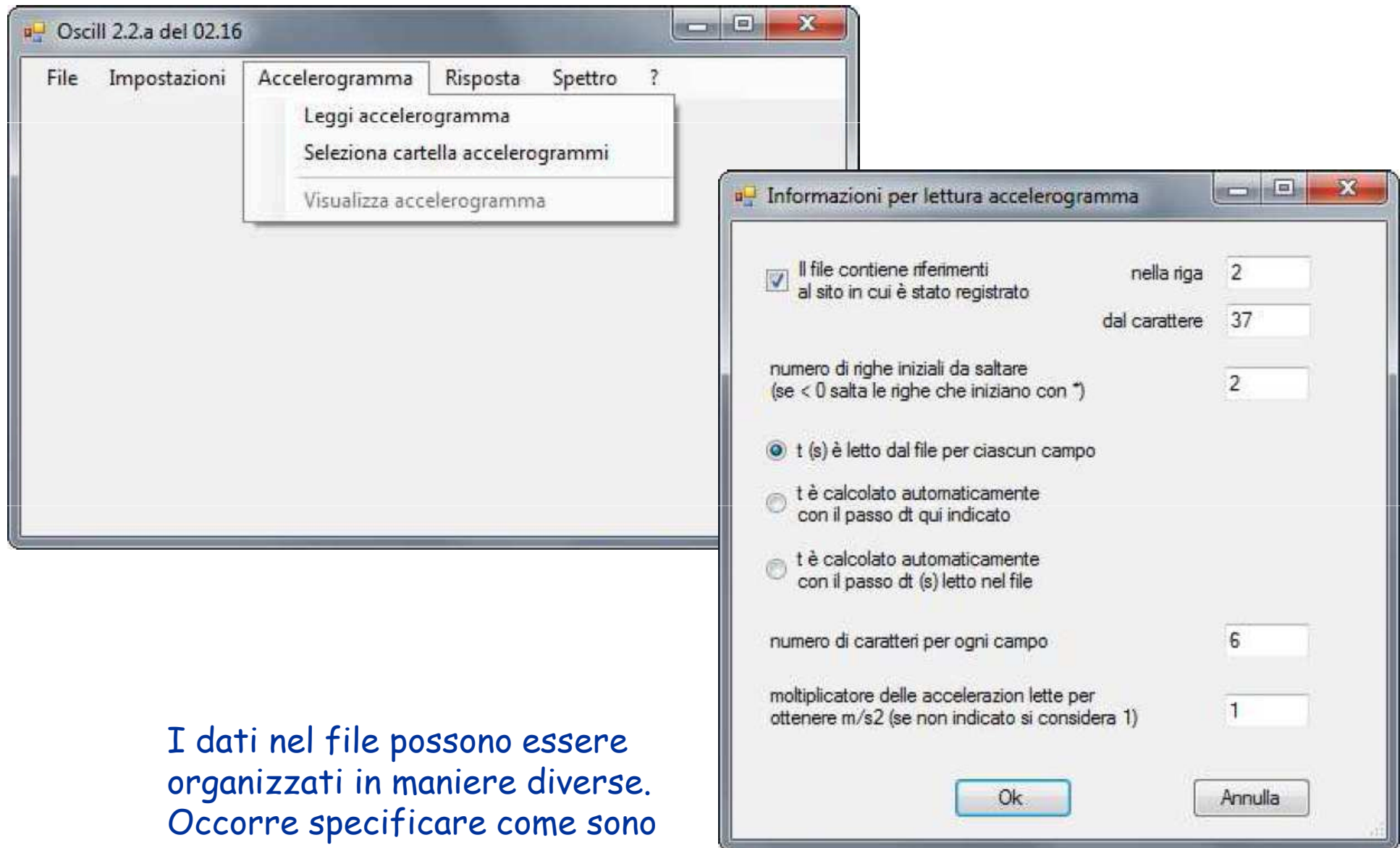
- Unzippare il file
- Dalla cartella [Installazione di Oscill](#) mandare in esecuzione il file [Setup](#)
- Consultare la documentazione di Oscill (in particolare il file [Oscill 22a](#))
- Possono essere utilizzati come esempio gli accelerogrammi contenuti nelle cartelle [5 accelerogrammi](#), [accelerogrammi1](#),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

Il programma Oscill



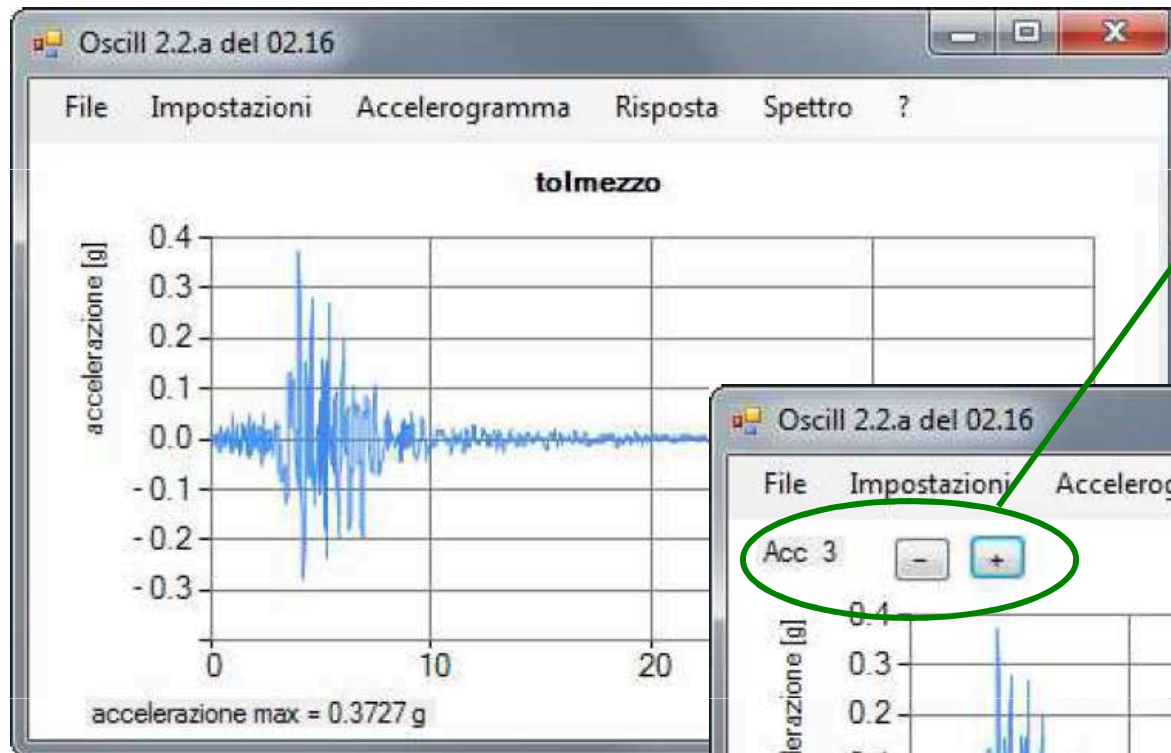
Il programma Oscill

Selezionare accelerogrammi

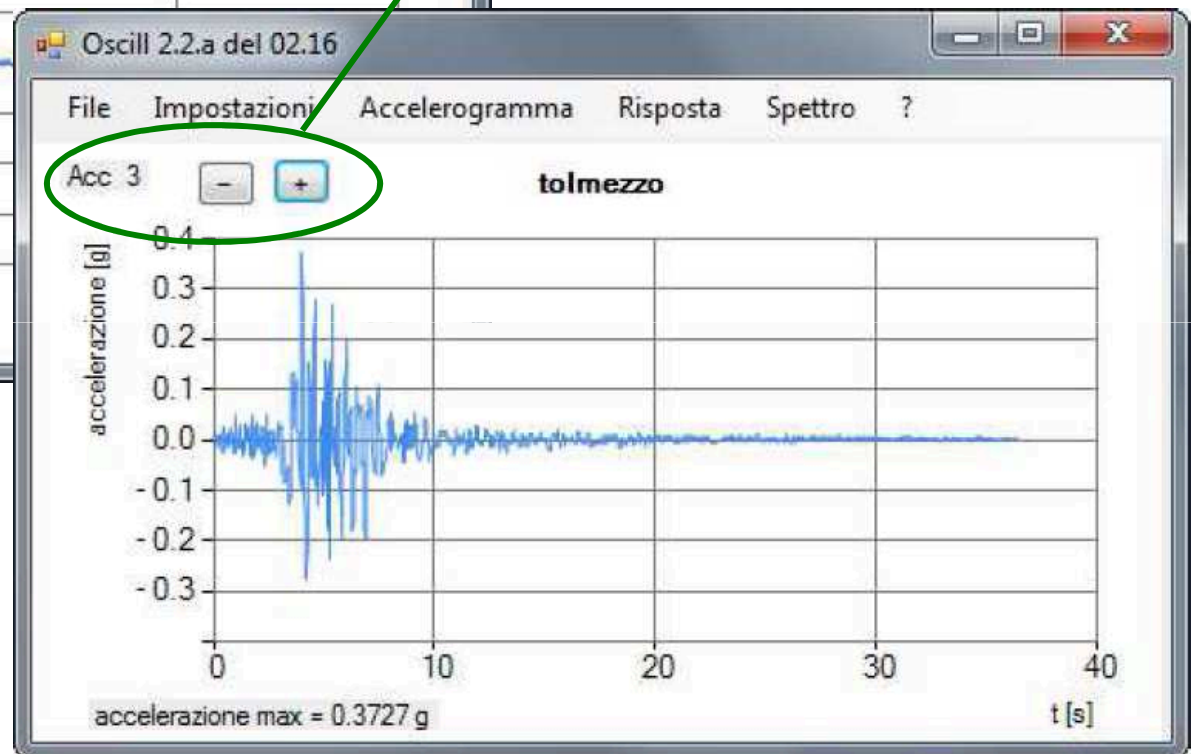


Il programma Oscill

Visualizzare accelerogrammi



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



I terremoti

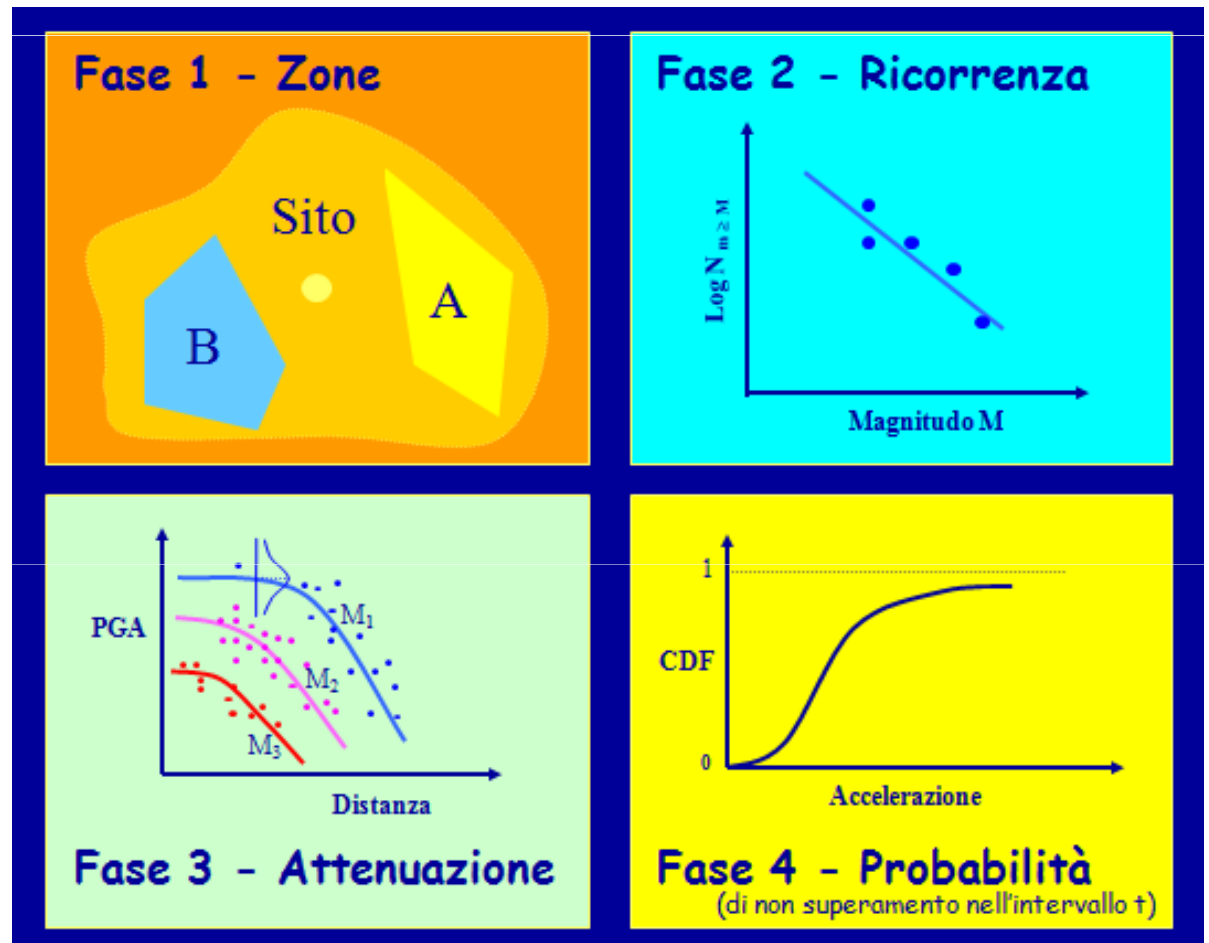
Cosa sono?

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



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:

- Si indica con $T_{R,i}$ il **periodo di ritorno** (in anni) di un terremoto di intensità pari o superiore ad un valore assegnato s_i
- Si ha quindi $\lambda_s(s_i) = \frac{1}{T_{r,i}}$

Trattazione probabilistica degli eventi sismici

- Per ciascuna struttura può essere definita una “**vita di riferimento**” V_R
ovvero il periodo di tempo per il quale vogliamo che la struttura si mantenga idonea allo scopo per il quale è stata progettata
- È quindi importante conoscere che probabilità vi sia di avere, durante tale periodo, eventi sismici di intensità pari o superiore ad un certo valore (ovvero quale accelerazione sismica ha una determinata probabilità di essere superata)

Vita di riferimento V_R

La vita di riferimento è definita dalla normativa (Norme Tecniche per le costruzioni 2008, NTC08) e dipende da:

- Vita nominale V_N
- Classe d'uso

Vita nominale V_N

- **Vita nominale:**
numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata

	TIPI DI COSTRUZIONE	Vita nominale V_N
1	Opere provvisorie - Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva	≤ 10 anni
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50 anni
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100 anni

Classe d'uso

- **Classe d'uso:**
è legata alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso in presenza di azioni sismiche

TIPI DI COSTRUZIONE	Classe d'uso
Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli	I
Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali	II
Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi	III
Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità	IV

Vita di riferimento V_R

Dipende da:

- Vita nominale V_N
- Classe d'uso

$$V_R = V_N \times C_U \geq 35 \text{ anni}$$

Il coefficiente d'uso C_U dipende dalla classe d'uso

Classe d'uso	I	II	III	IV
C_U	0.7	1.0	1.5	2.0

Periodo di riferimento V_R per l'azione sismica

Classe d'uso Vita nominale	I	II	III	IV
10	35	35	35	35
50	35	50	75	100
100	70	100	150	200

Esempio: edificio per abitazione di nuova realizzazione

Opera ordinaria

Normale affollamento

Trattazione probabilistica degli eventi sismici

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

$$P(X_i = x) = \frac{(\lambda_s t)^x}{x!} e^{-\lambda_s t}$$

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

$$P(X_i = 0) = \frac{(\lambda_s V_R)^0}{0!} e^{-\lambda_s V_R} = e^{-V_R / T_{R,i}}$$

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 s_i in un intervallo di tempo V_R , è

$$P_{VR} = 1 - P(X_i = 0) = 1 - e^{-V_R / T_{R,i}}$$

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

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

Livelli di intensità sismica

Sono legati alla "vita di riferimento" V_R
della struttura

Livello	Probabilità di superamento
Frequente	81% in V_R anni
Occasionale	63% in V_R anni
Raro	10% in V_R anni
Estremamente raro	5% in V_R anni

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:

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

Livelli di intensità sismica

Sono legati alla "vita di riferimento" V_R
della struttura

Livello	Probabilità di superamento	Periodo di ritorno *
Frequente	81% in V_R anni	30 anni
Occasionale	63% in V_R anni	50 anni
Raro	10% in V_R anni	475 anni
Estremamente raro	5% in V_R anni	975 anni

Evoluzione del concetto di protezione sismica

Prime normative

Unico obiettivo

- Evitare perdite
di vite umane

nel caso di terremoto
con periodo di ritorno molto alto





ovvero terremoto "raro"

Evoluzione del concetto di protezione sismica

Normative più recenti

Doppio livello di protezione

- Evitare perdite di vite umane
nel caso di terremoto con periodo di ritorno molto alto

ovvero terremoto "raro"
- Limitare i danni
nel caso di terremoto con periodo di ritorno più basso

ovvero terremoto "occasionale"

Normativa italiana, a partire dal 1996 - Normativa europea (Eurocodice 8)

Evoluzione del concetto di protezione sismica

Performance based design

Tendenza della normativa:

Più livelli di prestazione

- Evitare il crollo
- Evitare perdite di vite umane
- Consentire un rapido ripristino dell'operatività
- Mantenere l'operatività

associati a diversi livelli di intensità sismica

Livelli di prestazione

Ovvero Stati Limite da rispettare

Stati Limite di Esercizio

Stato Limite di Operatività - SLO

Danni ad elementi strutturali, non strutturali e impianti talmente modesti da non creare interruzioni d'uso significative

Stato Limite di Danno - SLD

Danni ad elementi strutturali, non strutturali e impianti modesti, tali da non compromettere significativamente resistenza e rigidità. L' opera dopo il sisma deve rimanere utilizzabile, pur se con limitazione d'uso di attrezzature

Livelli di prestazione

Ovvero Stati Limite da rispettare

Stati Limite Ultimi

Stato Limite di salvaguardia della Vita - SLV

Rottura di elementi non strutturali e impianti, danni significativi agli elementi strutturali con perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali. Esiste ancora un margine di sicurezza nei confronti del collasso.

Stato Limite di prevenzione del Collasso - SLC

Rottura di elementi non strutturali e impianti, danni molto gravi agli elementi strutturali. Esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso.

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?

- 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

Intensità sismica corrispondente ad una assegnata probabilità di superamento

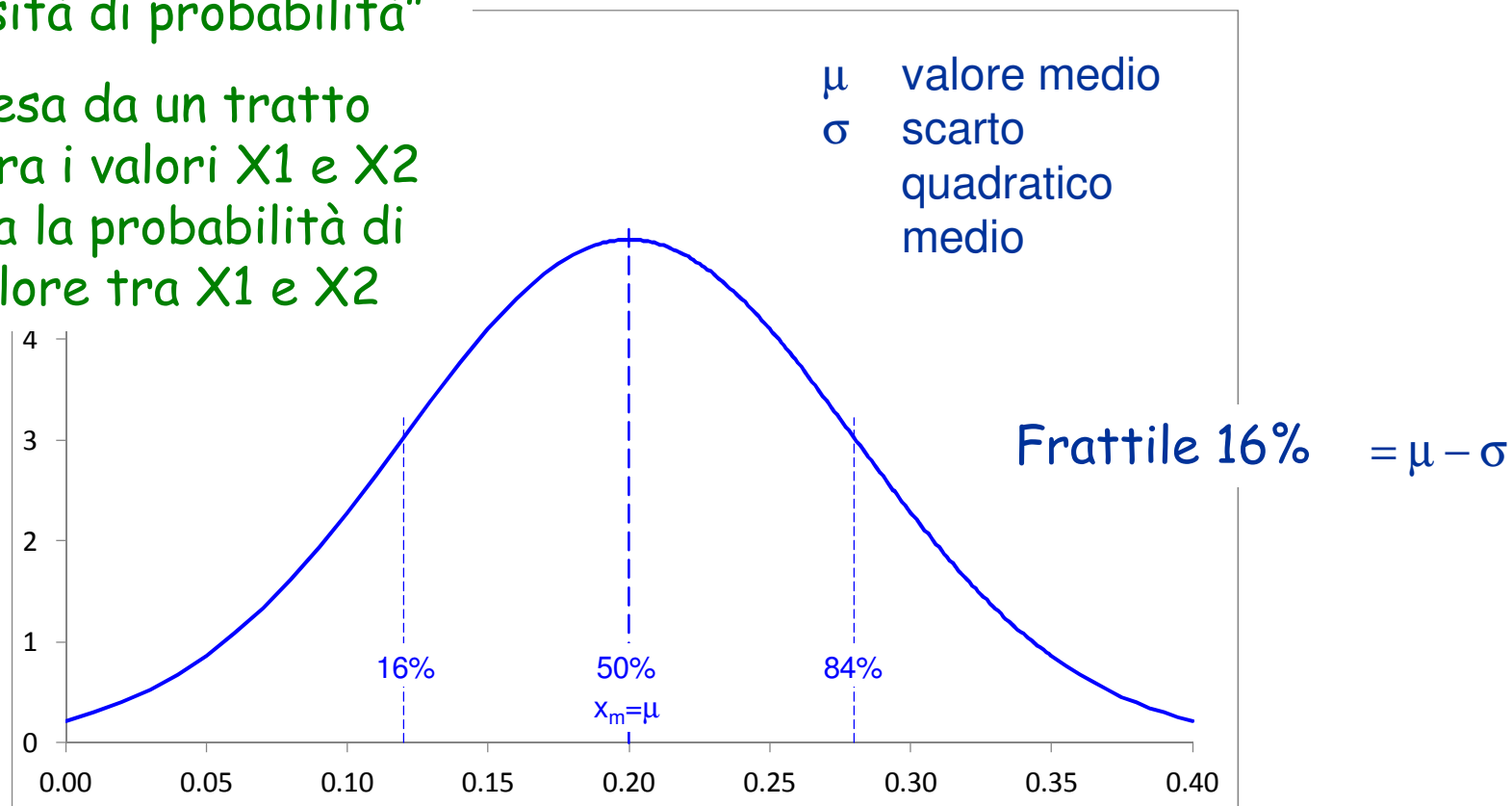
- In realtà il valore dell'accelerazione corrispondente ad una assegnata probabilità di superamento non è definito in maniera certa ma mediante una distribuzione probabilistica lognormale

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"

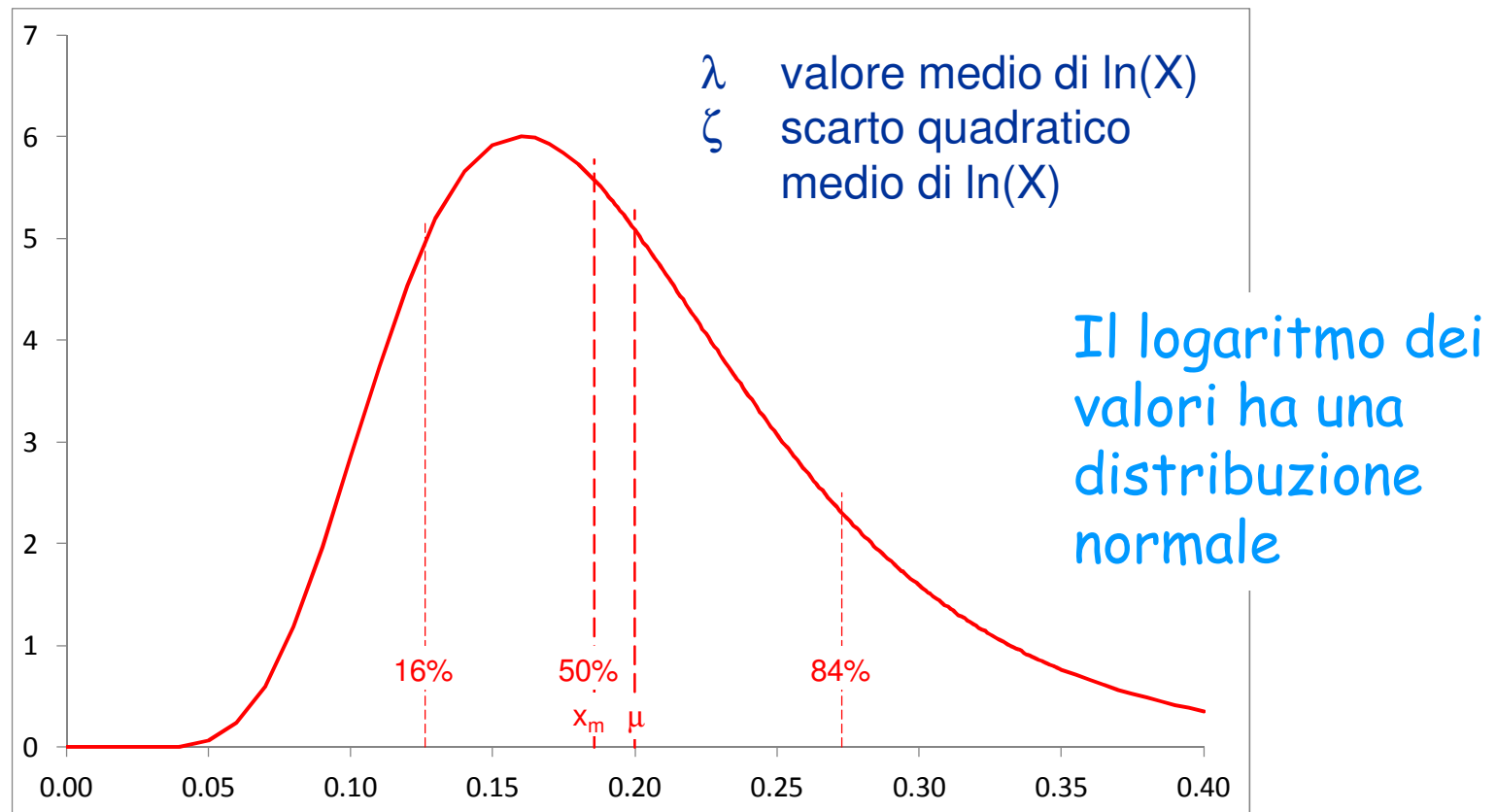
L'area sottesa da un tratto compreso tra i valori X_1 e X_2 rappresenta la probabilità di avere un valore tra X_1 e X_2



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

Distribuzione lognormale

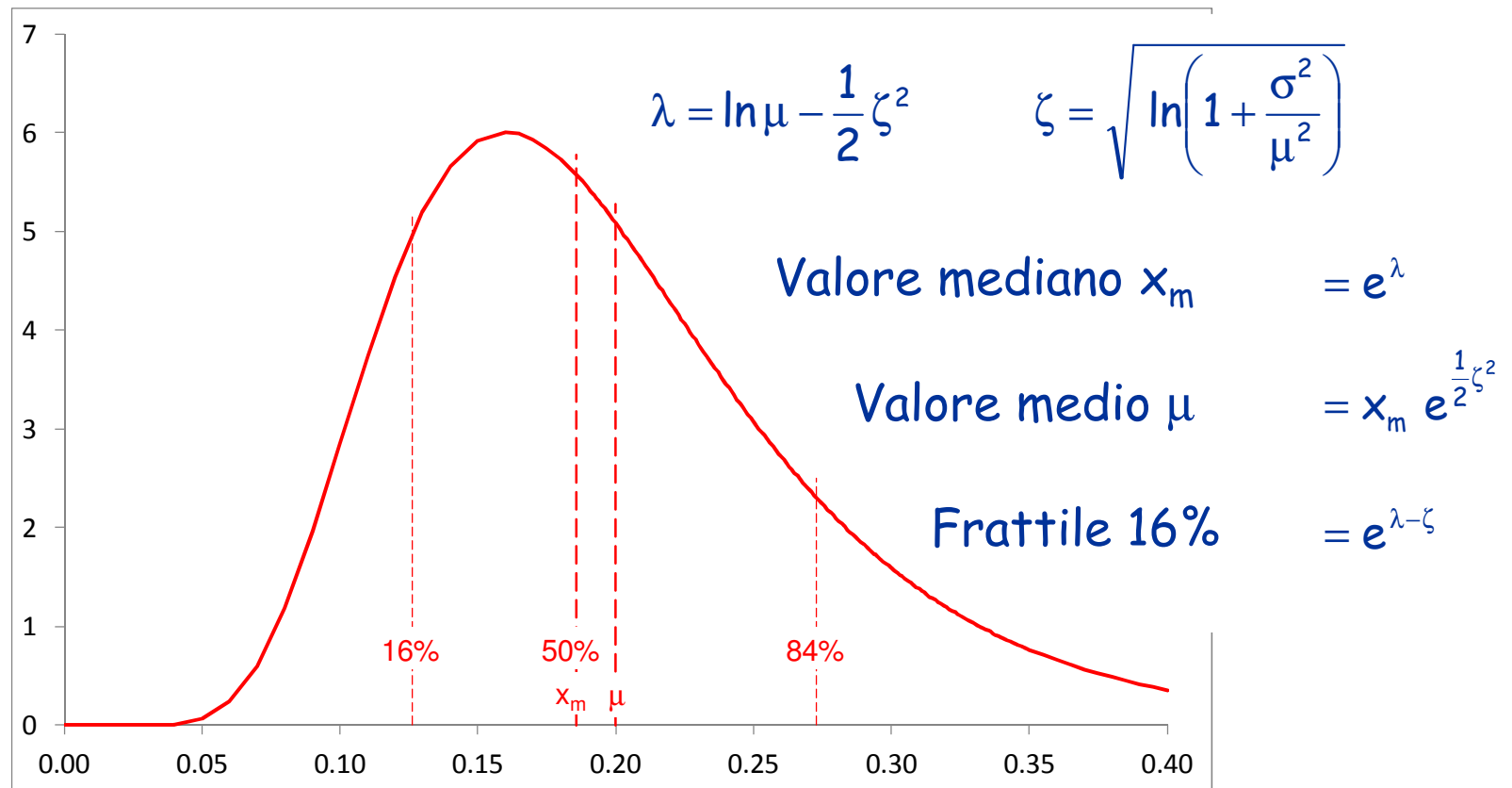
- Definita con l'equazione $f_X(x) = \frac{1}{\zeta x \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln x - \lambda}{\zeta} \right)^2}$



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

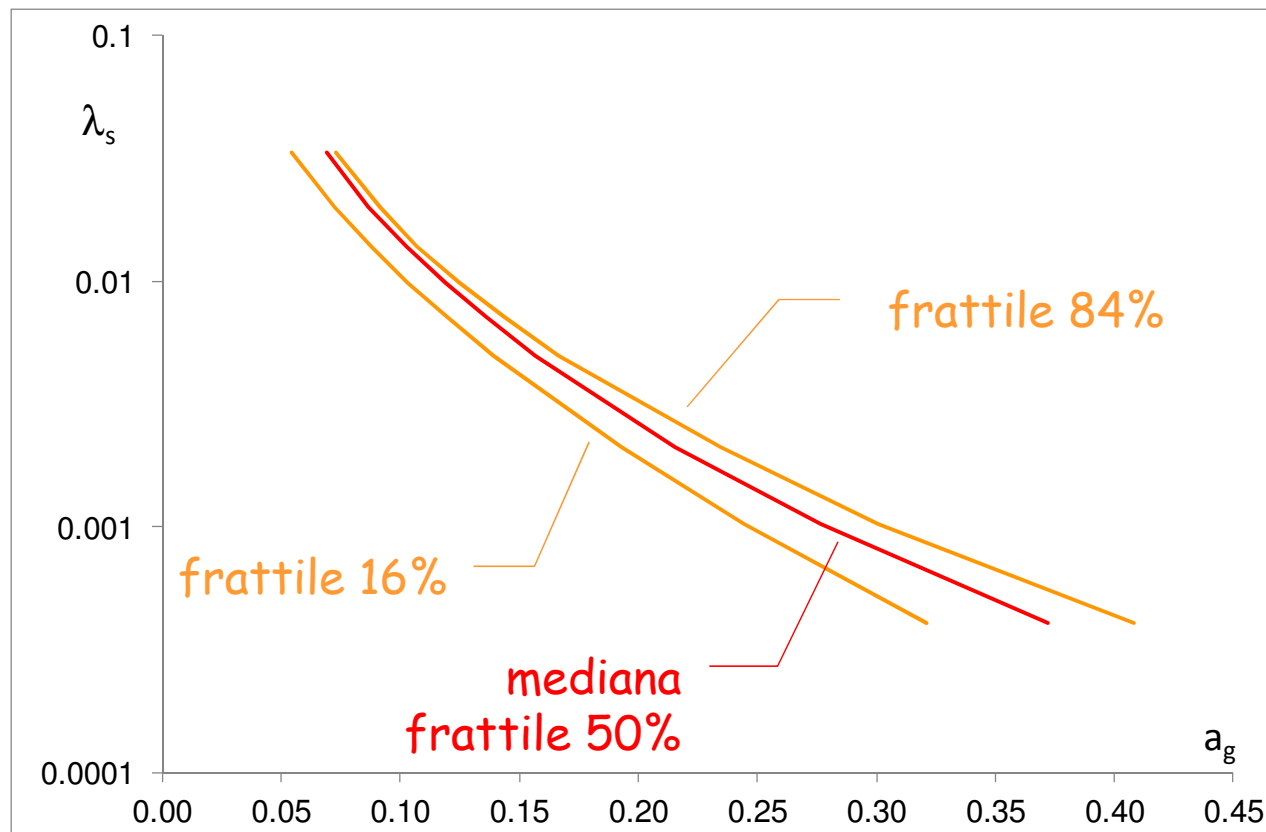
valore di a_g
mediano

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

