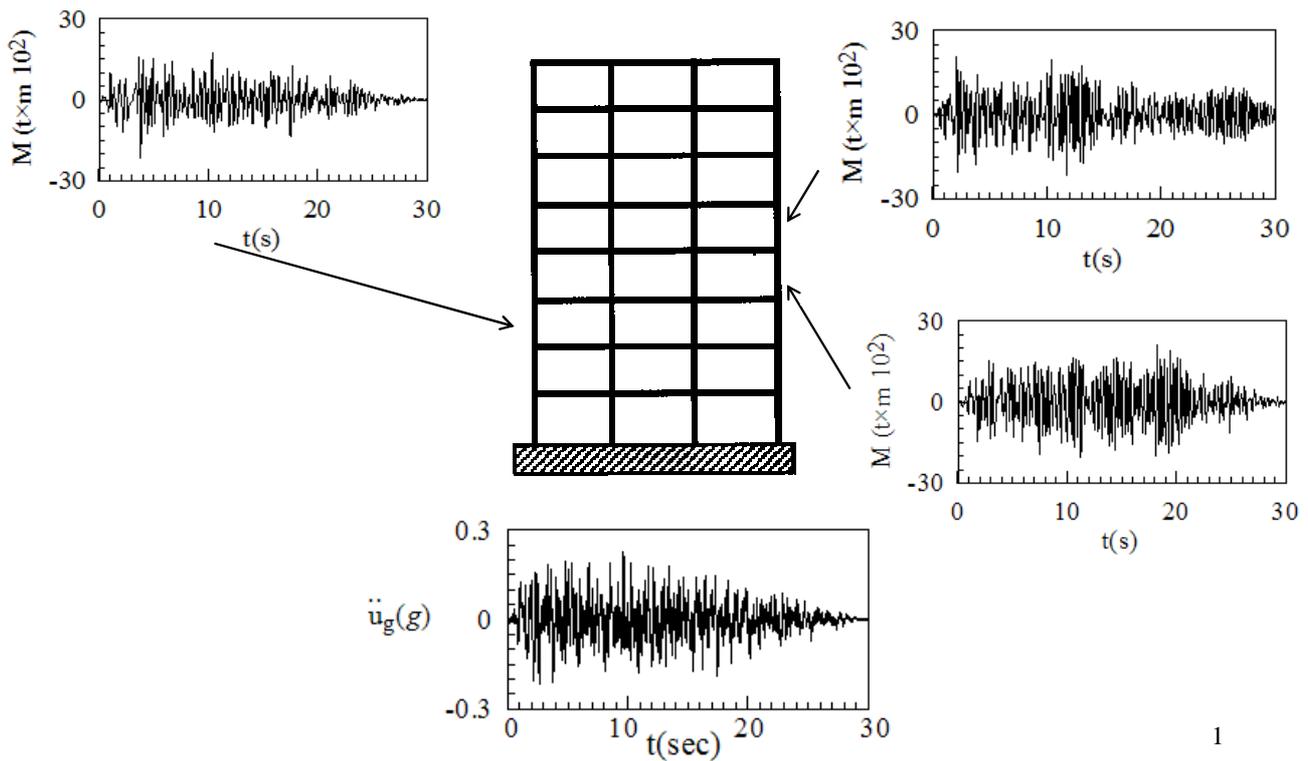
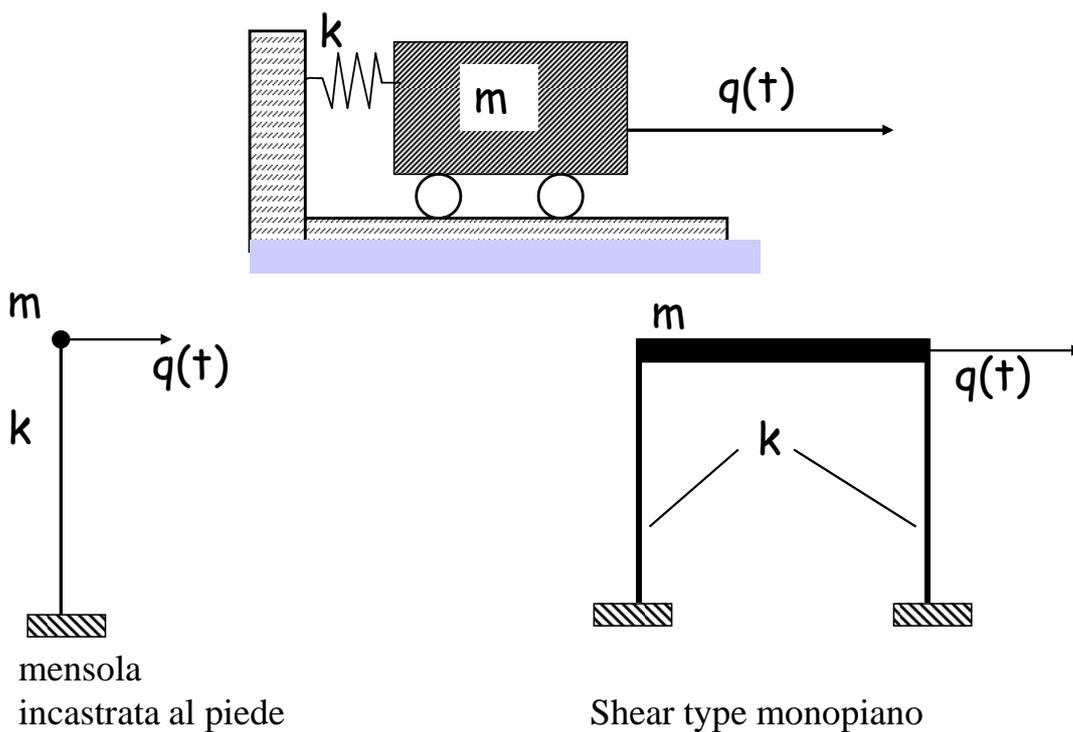
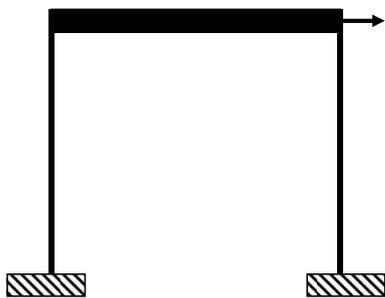
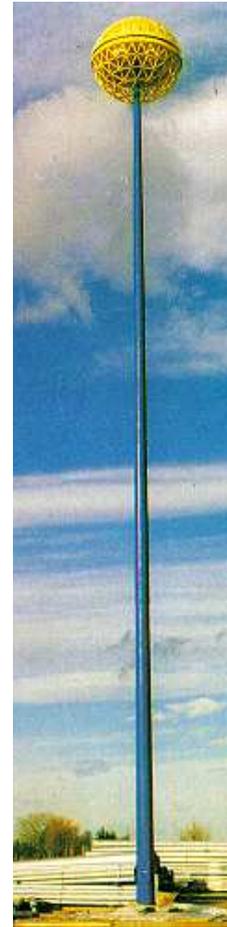
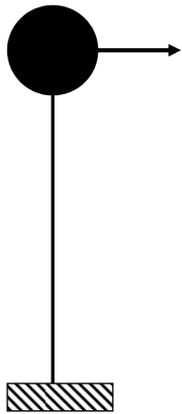


Sistemi a un grado di libertà: l'oscillatore semplice



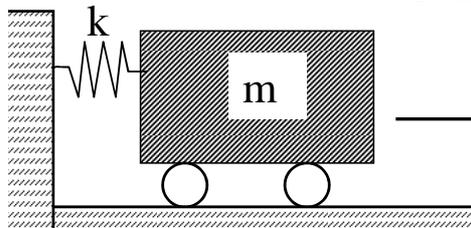
Sistemi a un grado di libertà: l'oscillatore semplice





3

vibrazioni libere non smorzate



2° legge di Newton:
 $F = ma$

$$F(t) = -kq(t) \quad \rightarrow \quad m\ddot{q}(t) + kq(t) = 0 \quad \rightarrow \quad \ddot{q}(t) + \frac{k}{m}q(t) = 0$$

$a(t) = \ddot{q}(t)$

$$\begin{aligned} \ddot{q}(t) + \omega_0^2 q(t) &= 0 \\ q(0) = q_0; \dot{q}(0) &= \dot{q}_0 \end{aligned}$$

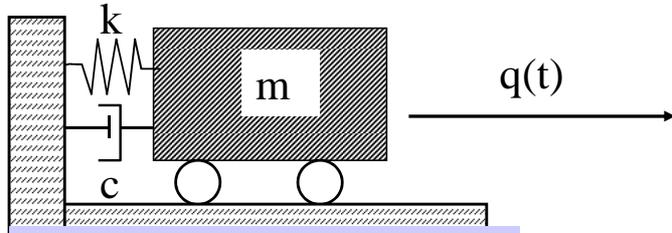
$$q(t) = (A \cos \omega_s t + B \sin \omega_s t)$$

(A, B dalle condizioni iniziali)

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

4

vibrazioni libere smorzate



2° legge di Newton:

$$F = ma$$

$$F(t) = -kq(t) - c\dot{q}(t) \rightarrow m\ddot{q}(t) + c\dot{q}(t) + kq(t) = 0 \rightarrow \ddot{q}(t) + \frac{c}{m}\dot{q}(t) + \frac{k}{m}q(t) = 0$$

$a(t) = \ddot{q}(t)$

$$\ddot{q}(t) + 2\xi\omega_0\dot{q}(t) + \omega_0^2q(t) = 0$$

$$q(0) = q_0; \dot{q}(0) = \dot{q}_0$$

$$q(t) = e^{-\omega_0\xi t} (A\cos\omega_s t + B\sin\omega_s t)$$

(A, B dalle condizioni iniziali)

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$\frac{c}{m} = \frac{2c}{2\sqrt{km}} \sqrt{\frac{k}{m}} = 2\xi\omega_0^2$$

5

$$\ddot{q}(t) + 2\xi\omega_0\dot{q}(t) + \omega_0^2q(t) = 0$$

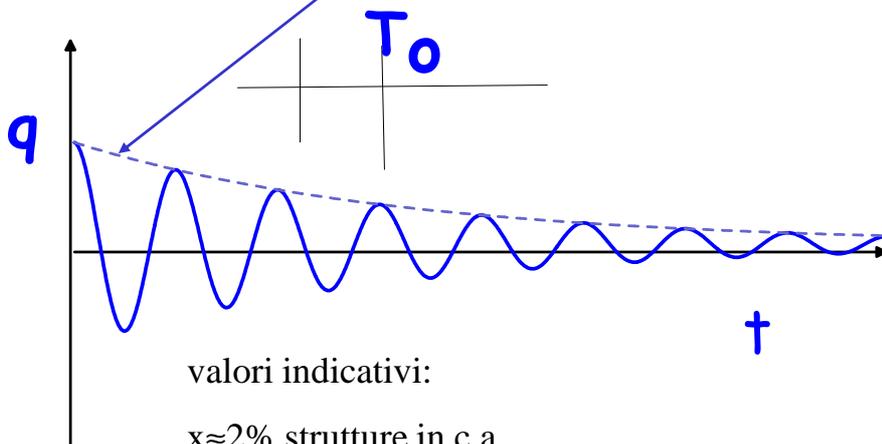
$$q(0) = q_0; \dot{q}(0) = \dot{q}_0$$

$$\xi \ll 1$$

$$q(t) = e^{-\omega_0\xi t} (A\cos\omega_s t + B\sin\omega_s t)$$

A, B dalle condizioni iniziali

$$\omega_s = \omega_0\sqrt{1-\xi^2} \approx \omega_0$$



valori indicativi:

$x \approx 2\%$ strutture in c.a.

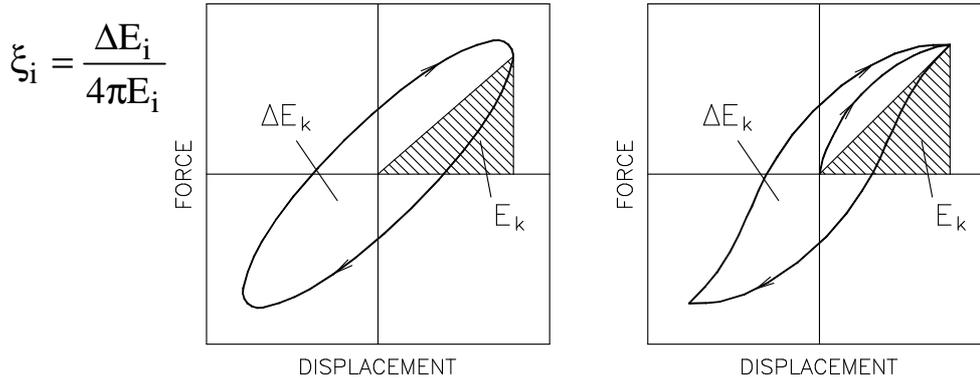
$x \approx 1\%$ strutture in acciaio

6

Termine dissipativo non lineare:

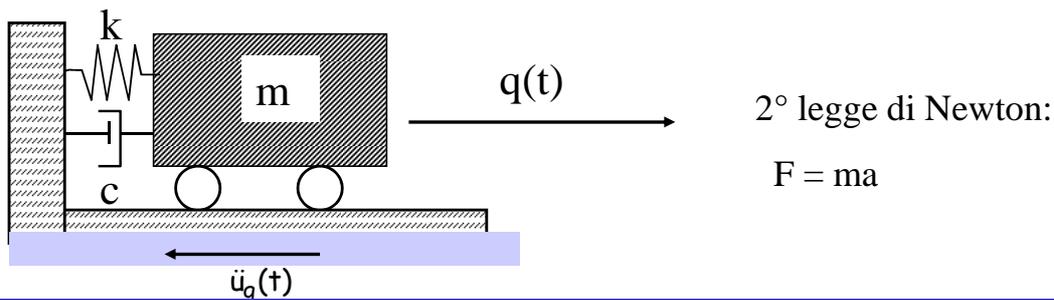
quando la capacità dissipativa non risulta più proporzionale alla velocità. In realtà, già per piccoli spostamenti, la capacità dissipativa dei sistemi strutturali risulta di tipo isteretico, poco dipendente da essa.

Nell'ambito di non linearità poco marcate, si possono rappresentare le dissipazioni isteretiche mediante un opportuno coefficiente di viscosità equivalente. Esso viene determinato imponendo l'uguaglianza, in condizioni risonanti, tra l'energia dissipata in un ciclo di isteresi e quella che dissiperebbe il modello viscoso.



7

Sistema a un grado di libertà soggetto a moto sismico



$$F(t) = -kq(t) - c\dot{q}(t)$$

$$a(t) = \ddot{q}(t) + \ddot{u}_g(t) \rightarrow m\ddot{q}(t) + c\dot{q}(t) + kq(t) = -m\ddot{u}_g(t) \rightarrow \ddot{q}(t) + \frac{c}{m}\dot{q}(t) + \frac{k}{m}q(t) = -\ddot{u}_g(t)$$

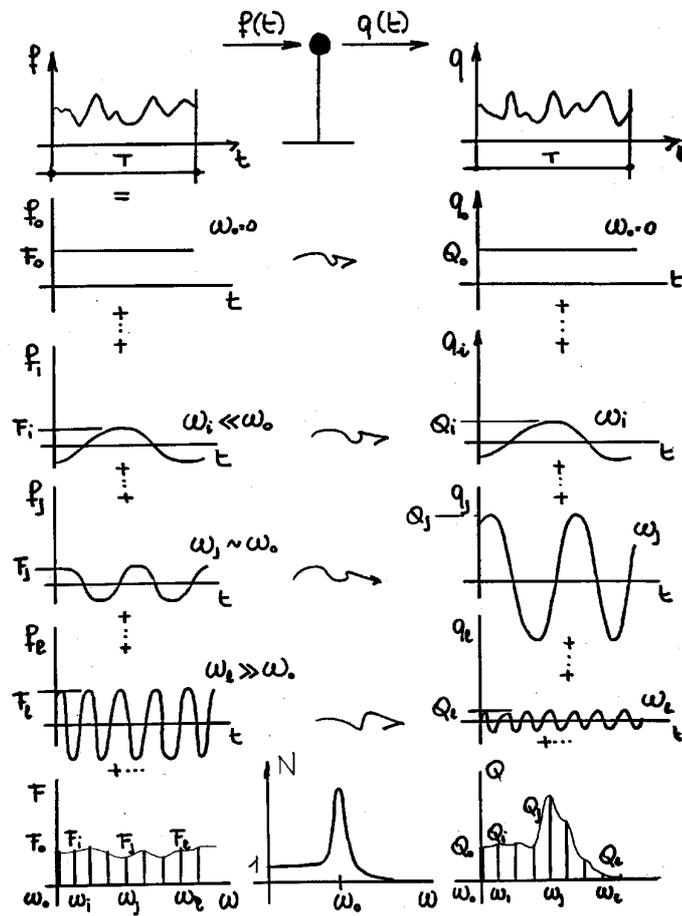
$$\ddot{q}(t) + 2\xi\omega_0\dot{q}(t) + \omega_0^2q(t) = -\ddot{u}_g(t)$$

$$q(0) = 0, \dot{q}(0) = 0$$

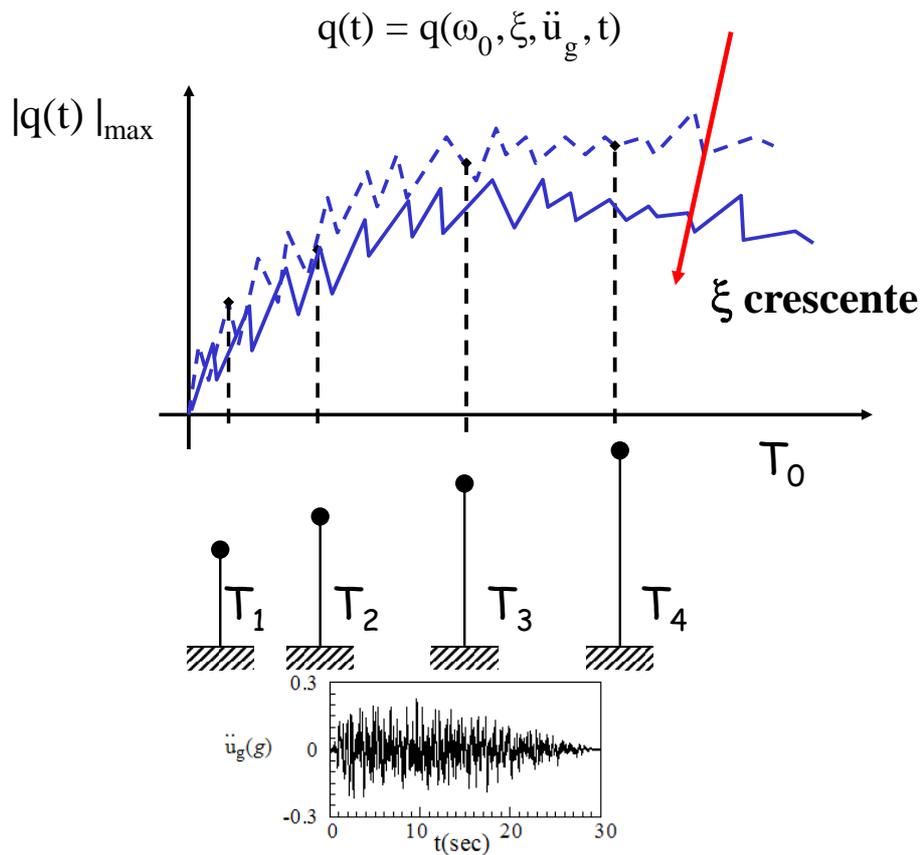
$$q(t) = \frac{1}{\omega_s} \int_0^t e^{-\omega_0\xi(t-\tau)} \text{sen}[\omega_s(t-\tau)] \ddot{u}_g(\tau) d\tau$$

$$\omega_s = \omega_0\sqrt{1-\xi^2}$$

8



spettro di risposta sismico

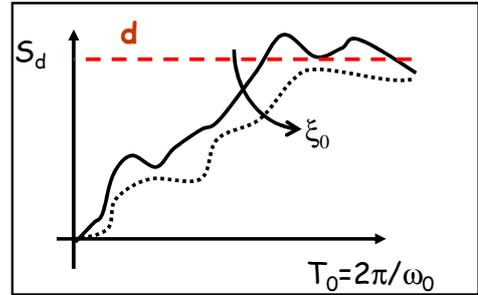


spettro di risposta sismico

$$q(t) = q(\omega_0, \xi, \ddot{u}_g, t)$$

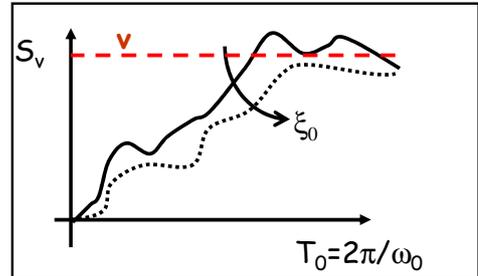
Spettro di risposta
dello spostamento relativo

$$S_d = |q(t)|_{\max}$$



Spettro di risposta
della velocità relativa

$$S_v = |\dot{q}(t)|_{\max}$$

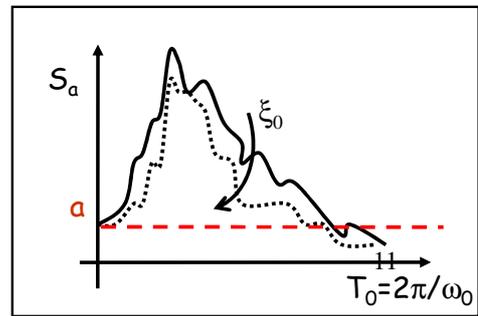


$$S_a \approx \omega_0^2 S_d$$

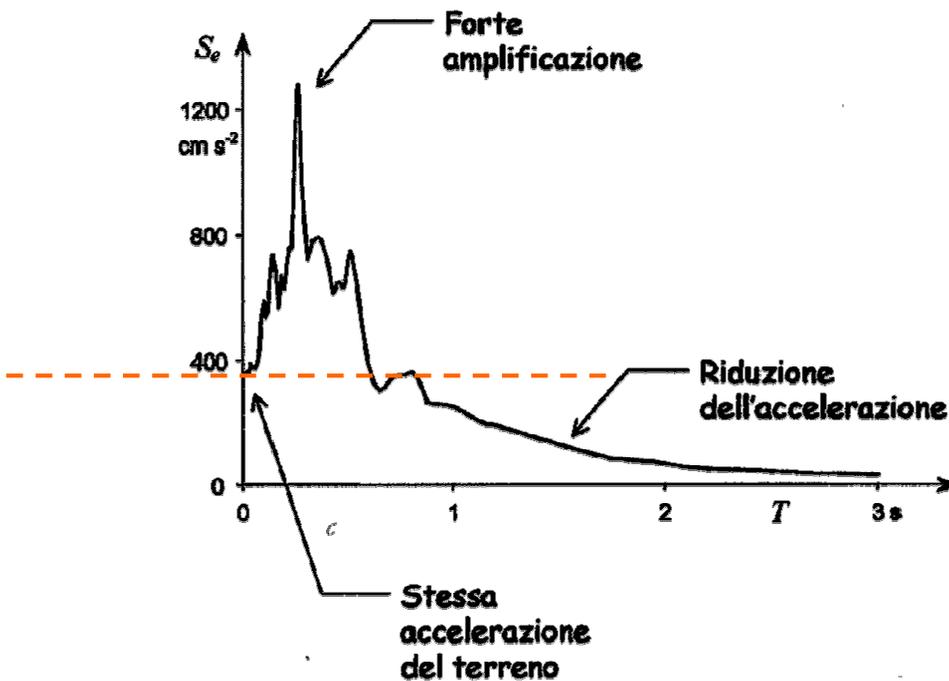
$$S_v \approx \omega_0 S_d$$

Spettro di risposta della
accelerazione assoluta:

$$S_a = |\ddot{q}(t) + \ddot{u}_g(t)|_{\max}$$



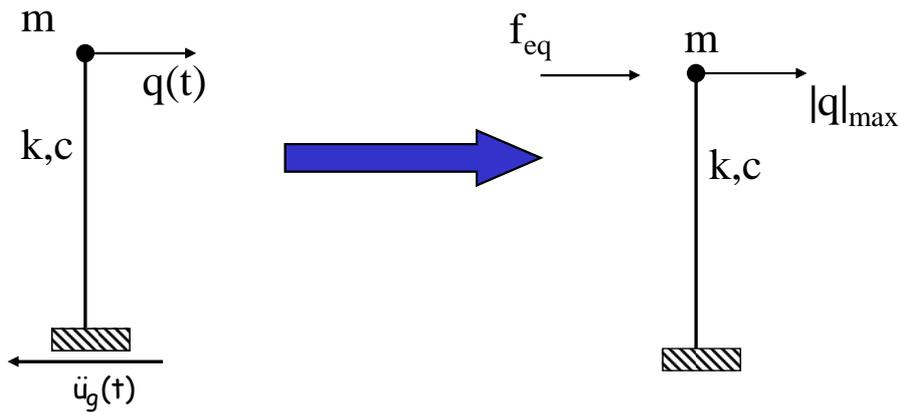
Spettro di risposta della accelerazione



≈ 0.3-0.4s per i terreni più rigidi

≈ 0.8-1s per i terreni più soffici

Analisi statica equivalente



$$F_{eq} = k|q(t)|_{max} = k S_d = k S_a / \omega_0^2$$

$$k = m \omega_0^2 \implies F_{eq} = m S_a$$

13

REQUISITI DI SICUREZZA DM 14 GENNAIO 2008

Gli stati limite di esercizio sono:

- Stato Limite di Operatività (SLO):
- Stato Limite di Danno (SLD):

V_r : PERIODO DI RIFERIMENTO

V_n : VITA NOMINALE

C_u : COEFF D'USO

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

Gli stati limite ultimi sono:

- Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)
- Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC)

Tabella 3.2.I – Probabilità di superamento P_{V_R} al variare dello stato limite considerato

Stati Limite		P_{V_R} : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R	
Stati limite di esercizio	SLO	81%	T=30 ANNI
	SLD	63%	T=50 ANNI
Stati limite ultimi	SLV	10%	T=475 ANNI
	SLC	5%	T=975 ANNI

Qualora la protezione nei confronti degli stati limite di esercizio sia di prioritaria importanza, i valori di P_{V_R} forniti in tabella devono essere ridotti in funzione del grado di protezione che si vuole raggiungere.

14

DM 14 gennaio 2008 (TESTO UNICO)

$$0 \leq T < T_B$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Spettro elastico in accelerazione delle componenti orizzontali

Sia la forma spettrale che il valore di a_g variano con la probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR}

$$S = S_S \cdot S_T,$$

essendo S_S il coefficiente di amplificazione stratigrafica (vedi Tab. 3.2.V) e S_T il coefficiente di amplificazione topografica (vedi Tab. 3.2.VI);

F_0 è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2,2;

T_C è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro, dato da

$$T_C = C_C \cdot T_C^*, \quad (3.2.7)$$

dove T_C^* è definito al § 3.2 e C_C è un coefficiente funzione della categoria di sottosuolo (vedi Tab. 3.2.V);

T_B è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante,

$$T_B = T_C / 3, \quad (3.2.8)$$

T_D è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro, espresso in secondi mediante la relazione:

$$T_D = 4,0 \cdot \frac{a_g}{g} + 1,6. \quad (3.2.9)$$

In allegato alla norma, per tutti i siti considerati, sono forniti i valori di a_g , F_0 e T_C

15

<http://www.infrastrutture.gov.it/consuplp/>
<http://www.mit.gov.it>

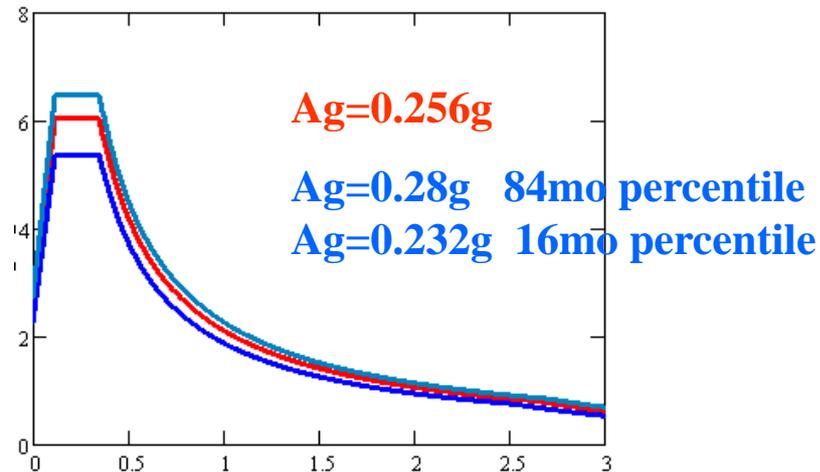
The screenshot shows a web browser window displaying the website of the Italian Ministry of Infrastructure and Transport. The page features the logo of the Ministry and the Council of Public Works. A main article titled "AZIONI SISMICHE - SPETTRI DI RISPOSTA VER. 1.03" is highlighted, with a sub-header "Azioni sismiche - Spettri di risposta ver. 1.03". The article text states: "E' in linea ed è possibile scaricare la NUOVA VERSIONE 1.03 del programma sperimentale "Spettri di risposta" che fornisce gli spettri di risposta rappresentativi delle componenti (orizzontali e verticale) delle azioni sismiche di progetto per il generico sito del territorio nazionale. [leggi tutto ...](#)". The page also includes a navigation menu with items like "HOME", "CHI SIAMO", "COSA FACCIAMO", "ATTIVITÀ CONSULTIVA E NORMATIVA", "CERTIFICAZIONI E QUALIFICAZIONI", and "CONTATTI". A sidebar on the left contains a "Home" link and a "Chi siamo" section. A "CALENDARIO SEDUTE" section on the right shows a calendar for December 2008, with the 2nd of the month highlighted. The browser's address bar shows the URL "http://www.infrastrutture.gov.it/consuplp/".

SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO DM 14 GENNAIO 2008

SULMONA

Ag=0.256g, Fo=2.36, Tc=0.35s

sisma T=475 anni



17

Calcolo della forza sismica con la tecnica dello spettro di risposta (sistema a un DOF)

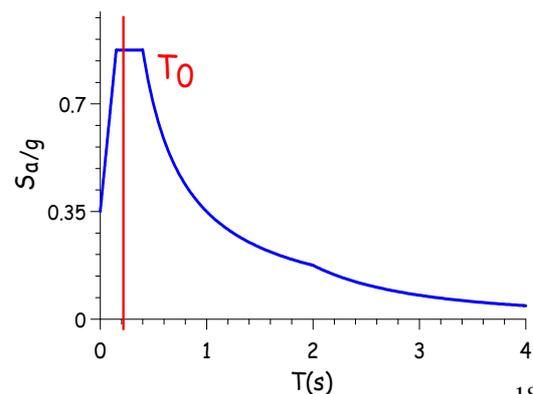
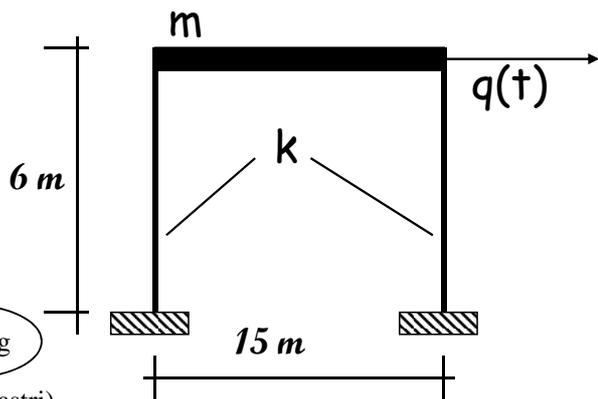
Interasse tra i telai: 5m
spessore soletta: 14 cm
dimensioni trave 30x150cm
dimensione pilastri 30 x 80cm

$$m = 2500 \times 0.14 \times 5.00 \times 15.0 + \text{(soletta)} \\ + 2500 \times 0.3 \times 1.50 \times 15.0 + \text{(trave)} \\ + 2500 \times 2 \times 0.3 \times 0.8 \times 6.0 / 2 \text{ (quota pilastri)} = 46725 \text{ Kg}$$

$$J_p = \frac{1}{12} \times 0.3 \times 0.8^3 = 0.0128 \text{ m}^4 \text{ (momento di inerzia dei pilastri)}$$

$$k = 2 \frac{12EJ_p}{H^3} = 2 \frac{12 \times 0.3 \times 10^{11} \times 0.0128}{6^3} = 0.427 \times 10^8 \text{ N/m}$$

$$w_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} = 30 \text{ rad/s}, \quad T_0 = \frac{2\pi}{w_0} = 0.21 \text{ s}, \quad n_0 = 4.8 \text{ Hz}$$



$$F = m S_a(T_0) = 46725 \times 0.875 = 400 \text{ kN}$$

18

Calcolo della forza sismica con la tecnica dello spettro di risposta (sistema a un DOF)



$$H=30\text{m}$$

$$\text{diametro: } 0.56\text{m} \div 0.20\text{m}$$

$$\text{spessore: } 10 \text{ mm}$$

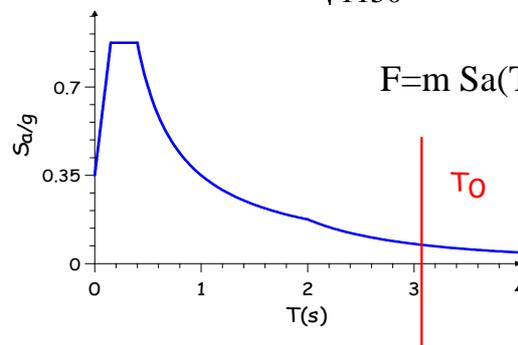
$$M=800\text{kg}$$

$$m = 1150\text{kg} \quad (\text{sfera + quota fusto})$$

$$J = 0.2 \times 10^{-3};$$

$$k = \frac{3EJ}{H^3} = \frac{3 \times (0.21 \times 10^{12}) \times 0.2 \times 10^{-3}}{30^3} = 4670 \text{ N / m}$$

$$w_0 = \sqrt{\frac{4670}{1150}} = 2.0 \text{ rad / s}; \quad T_0 = 3.1\text{s}; \quad n_0 = 0.32\text{Hz}$$



$$F = m S_a(T_0) = 1150 \times 0.075\text{g} = 0.85\text{kN}$$

19

ACCELEROGRAMMI SISMICI

Accelerogrammi naturali o simulati

Sono accelerogrammi registrati o generati mediante simulazione fisica della sorgente e della propagazione

Il loro uso è ammesso, a condizione che:

- siano adeguatamente giustificate le ipotesi relative alle caratteristiche sismogenetiche della sorgente
- siano adeguatamente giustificate le ipotesi relative alle condizioni del suolo del sito
- siano soddisfatte le condizioni di coerenza con lo spettro di riferimento”

20

ACCELEROGRAMMI SISMICI

Accelerogrammi naturali

Registrazioni storiche di accelerogrammi.

Possono essere reperiti da cataloghi.

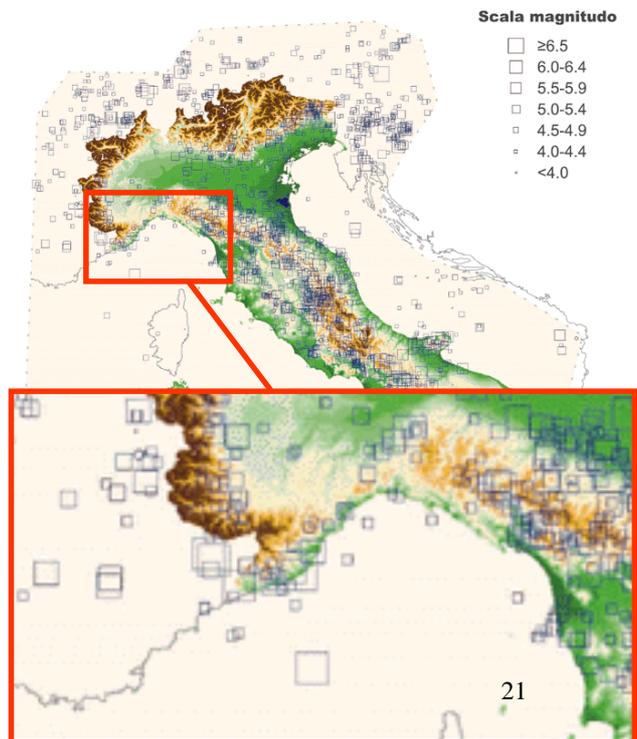
Tra questi, il più recente è stato proposto dall' Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia CPTI04 contiene 2550 sismi italiani registrati fino al 2002.

Sulla base di tali serie storiche sono stati dedotti i parametri simologici riportati nell'OPCM 3274.

Il catalogo è disponibile all'indirizzo telematico:

<http://emidius.mi.ingv.it/CPTI/>

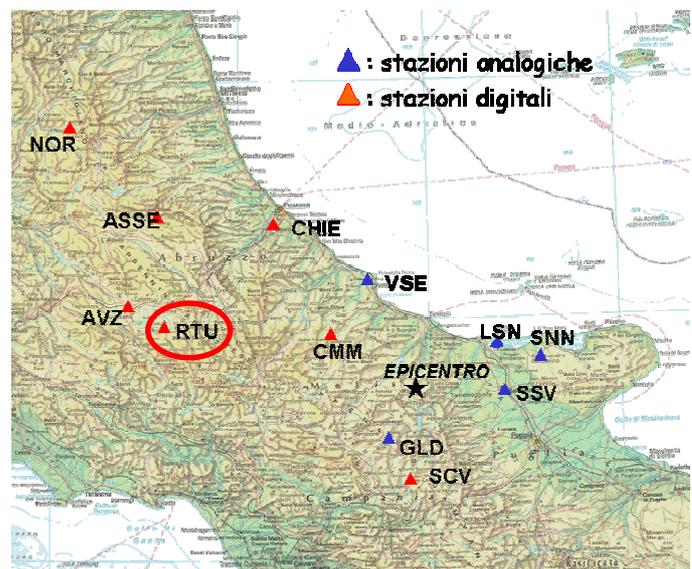
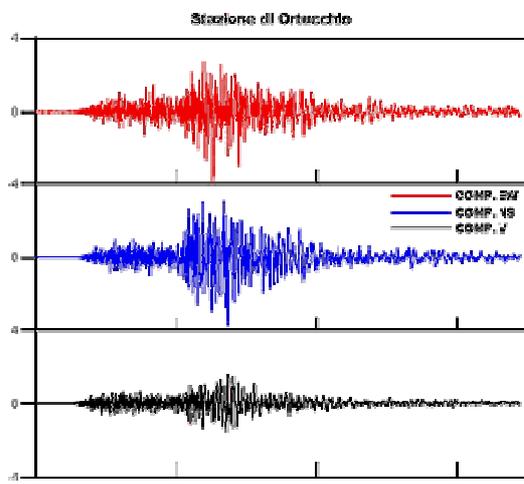
Distribuzione dei terremoti riportati nel
Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani



ACCELEROGRAMMI SISMICI

Accelerogrammi naturali

Esempio: Molise (scossa delle 11:32 del 31 Ottobre 2002):



Accelerogrammi sismici relativi ai maggiori eventi:
<http://peer.berkeley.edu/smcat/search.html>

ACCELEROGRAMMI SISMICI

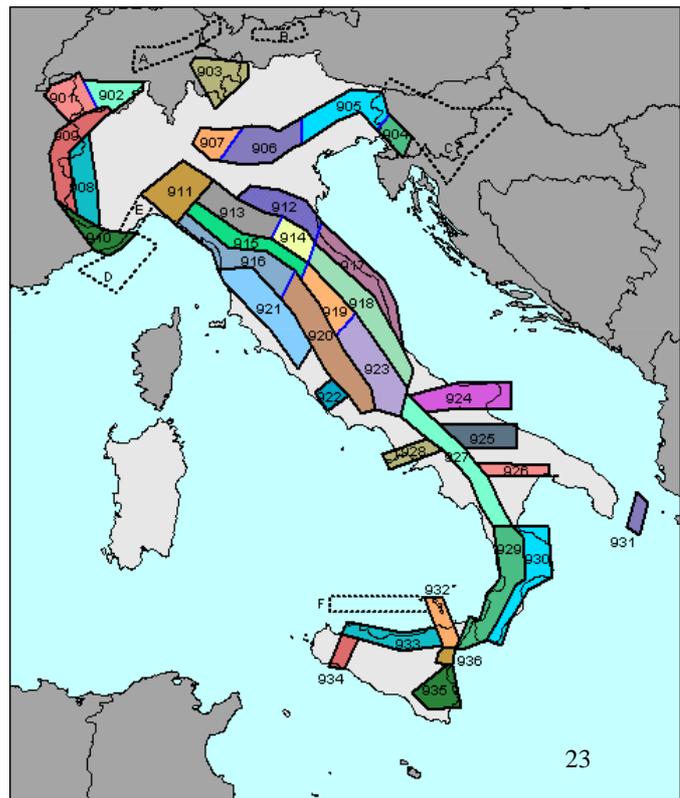
Accelerogrammi simulati

Accelerogrammi generati mediante simulazione fisica della sorgente e della propagazione o mediante elaborazione di terremoti lievi registrati

L'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia ha proposto una mappa di zone sismogenetiche uniformi

Zona 910: poco caratterizzata dal punto di vista sismo-tettonico, attualmente oggetto di studi.

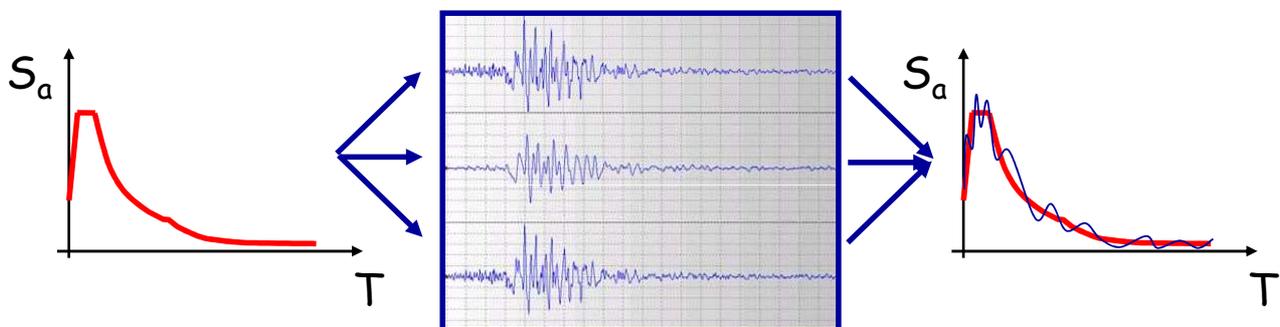
Caratterizzata da sismicità più elevata rispetto a zone circostanti



ACCELEROGRAMMI SISMICI artificiali

Impiego di accelerogrammi:

1) A partire da spettro elastico si scelgono almeno 3 accelerogrammi spettro-compatibili (gruppi da 3 se occorre un modello spaziale)



2) Analisi strutturale temporale, mediante integrazione numerica delle equazioni del moto

3) Scelta dei valori finali:

- almeno 7 accelerogrammi: valori medi delle analisi
- almeno 3 accelerogrammi: valori più sfavorevoli

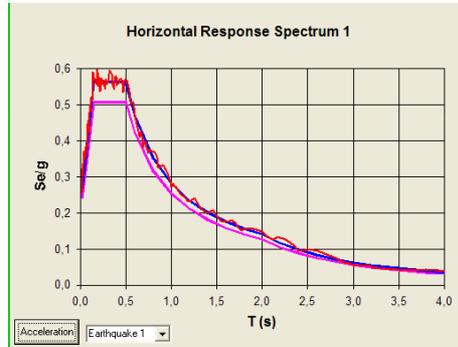
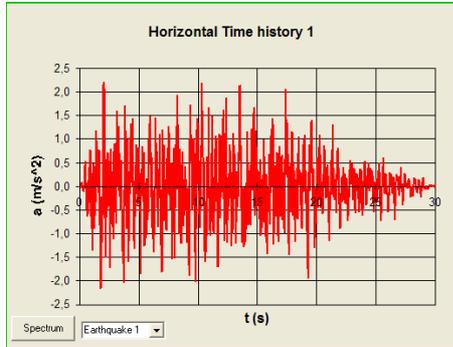
ACCELEROGRAMMI SISMICI

Accelerogrammi artificiali : Sono ottenuti mediante simulazione numerica a partire da uno spettro di partenza.

Programma SIMQKE disponibile su web:

http://dicata.ing.unibs.it/gelfi/software/simqke/simqke_gr.htm

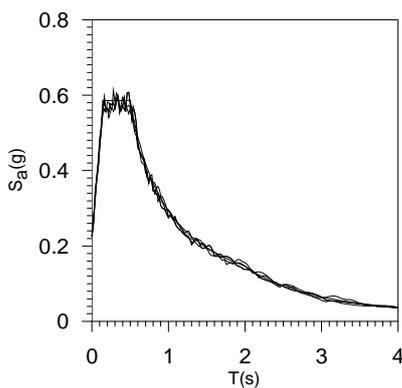
Esempio 1: Spettro Zona 2, Suolo E



“La coerenza con lo spettro elastico è da verificare in base alla media delle ordinate spettrali ottenute con i diversi accelerogrammi per un coefficiente di smorzamento viscoso equivalente ξ del 5%”

25

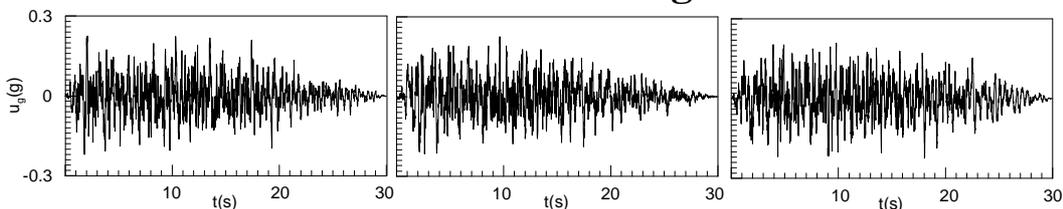
Analisi sismica con accelerogrammi artificiali



spettro degli accelerogrammi



accelerogrammi artificiali generati



26

Analisi sismica con accelerogrammi artificiali

