

Corso di aggiornamento
Progettazione strutturale e
Norme Tecniche per le Costruzioni

Progetto di edifici antisismici in c.a.

3 - Risposta elastica e spettri di risposta elastica

Spoletto
17-19 gennaio 2013
Aurelio Ghersi

In che modo valutiamo
l'effetto del sisma su una struttura?

Risposta sismica

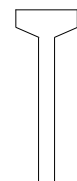
Schemi a un grado di libertà
in campo elastico

Struttura a un grado di libertà

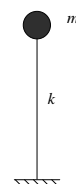
Serbatoio pensile



Foto



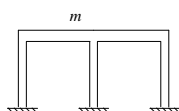
Disegno
schematico



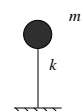
Modello
di calcolo

Struttura a un grado di libertà

Telaio monopiano



Disegno
schematico



Modello di
calcolo

Oscillazioni libere

Esempio: altalena



Spostando il sedile
dell'altalena e poi
lasciandolo libero,
esso oscilla con un
periodo T
ben preciso

Oscillazioni libere

Esempio: altalena



Spostando il sedile dell'altalena e poi lasciandolo libero, esso oscilla con un periodo T ben preciso

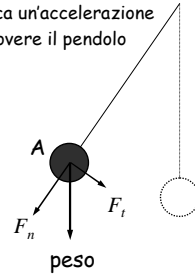


Oscillazioni libere pendolo (esempio: altalena)

A) Il peso è scomposto nelle forze

F_n assorbita dall'asta del pendolo

F_t che provoca un'accelerazione che fa muovere il pendolo

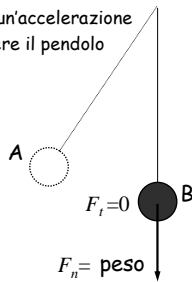


Oscillazioni libere pendolo (esempio: altalena)

A) Il peso è scomposto nelle forze

F_n assorbita dall'asta del pendolo

F_t che provoca un'accelerazione che fa muovere il pendolo

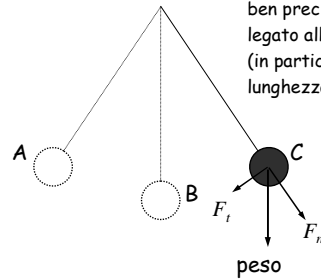


B) In questa posizione la velocità è massima (quando inizia a risalire rallenta) ma l'accelerazione è nulla perché $F_t = 0$



Oscillazioni libere pendolo (esempio: altalena)

Il pendolo oscilla con un periodo T ben preciso, legato alla geometria (in particolare, alla lunghezza dell'asta)



Oscillazioni libere telaio monopiano

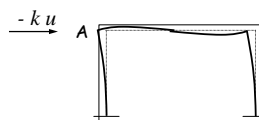


A) Per deformare il telaio in questa posizione occorre applicare una forza F , uguale ed opposta alla forza elastica che tende a riportare il telaio alla posizione indeformata (forza di richiamo elastico).

Equilibrio statico
 $F = k u$



Oscillazioni libere telaio monopiano



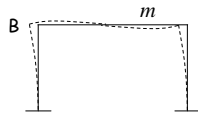
Quando si lascia libero il telaio, agisce solo la forza di richiamo elastico, che provoca un'accelerazione.

Equilibrio dinamico
 $-k u = m a$

$m \ddot{u} + k u = 0$



Oscillazioni libere telaio monopiano



Equazione del moto:

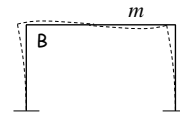
$$m \ddot{u} + k u = 0$$

equilibrio dinamico

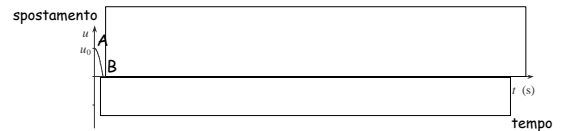
L'equazione differenziale può essere risolta analiticamente.

La soluzione è una funzione trigonometrica (seno, coseno)

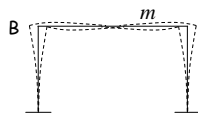
Oscillazioni libere telaio monopiano



B) Tornato nella posizione indeformata, la velocità è massima e l'accelerazione nulla (come la forza di richiamo elastico).

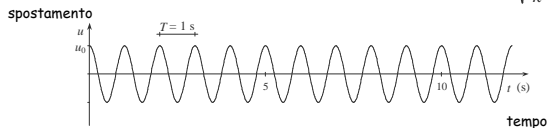


Oscillazioni libere telaio monopiano

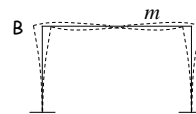


Il telaio oscilla con un periodo ben preciso, legato alla massa ed alla rigidità del telaio

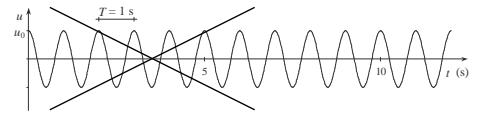
$$T = 2 \pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$



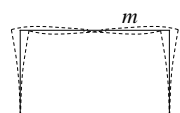
Oscillazioni libere con smorzamento telaio monopiano



In realtà il moto non continua così, a causa della dissipazione di energia (smorzamento)



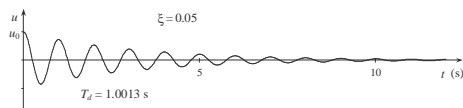
Oscillazioni libere con smorzamento telaio monopiano



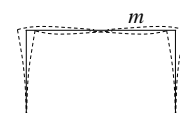
Equazione del moto:

$$m \ddot{u} + c \dot{u} + k u = 0$$

Lo smorzamento è legato alla variazione di spostamento (velocità)



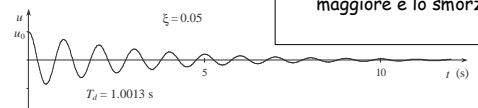
Oscillazioni libere con smorzamento telaio monopiano



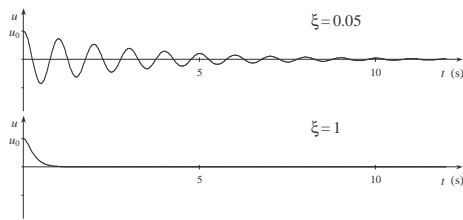
Equazione del moto:

$$m \ddot{u} + c \dot{u} + k u = 0$$

L'ampiezza del moto si riduce tanto più rapidamente quanto maggiore è lo smorzamento



Oscillazioni libere con smorzamento telaio monopiano



Si indica col termine "smorzamento critico" quel valore per il quale il sistema raggiunge lo stato di quiete senza oscillare

Lo smorzamento viene di solito indicato come percentuale ξ dello smorzamento critico

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

Smorzamento - negli edifici

Dipende da:

- Elementi non strutturali (tramezzi, torgagni) molto
- Non linearità del materiale poco

Edifici in cemento armato, con tramezzi in muratura:

- Si può assumere un valore di smorzamento percentuale $\xi = 0.05$

Edifici in acciaio, con tramezzatura leggera:

- È consigliabile usare un valore minore di $\xi = 0.05$

Edifici isolati alla base, con isolatori in gomma:

- Si può usare un valore maggiore di $\xi = 0.05$

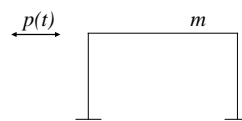
Oscillazioni forzate

Esempio: altalena



Dando (in maniera periodica) una piccola spinta al sedile dell'altalena, le oscillazioni si amplificano sempre di più

Oscillazioni forzate telaio monopiano



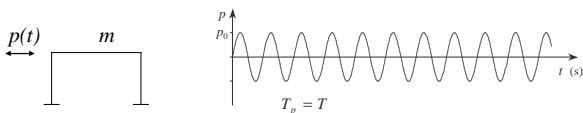
Equazione del moto:

$$m \ddot{u} + c \dot{u} + k u = p(t)$$

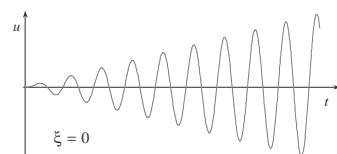
Nell'equazione del moto compare un nuovo termine (l'azione forzante)

Se la forzante è armonica (seno, coseno) è possibile risolvere analiticamente l'equazione differenziale

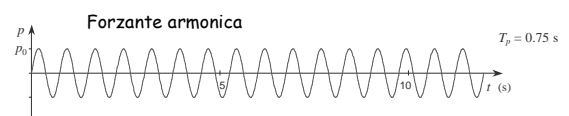
Oscillazioni forzate telaio monopiano, forzante armonica (periodica)

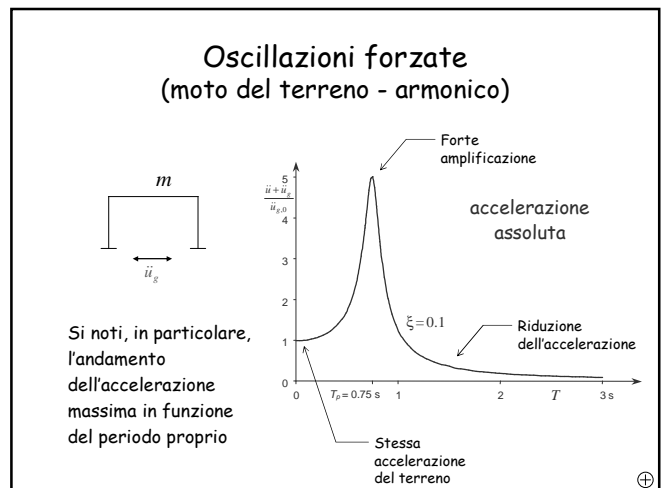
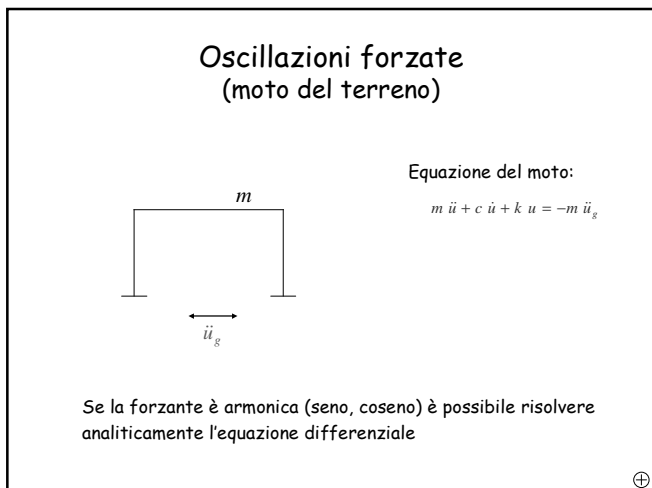
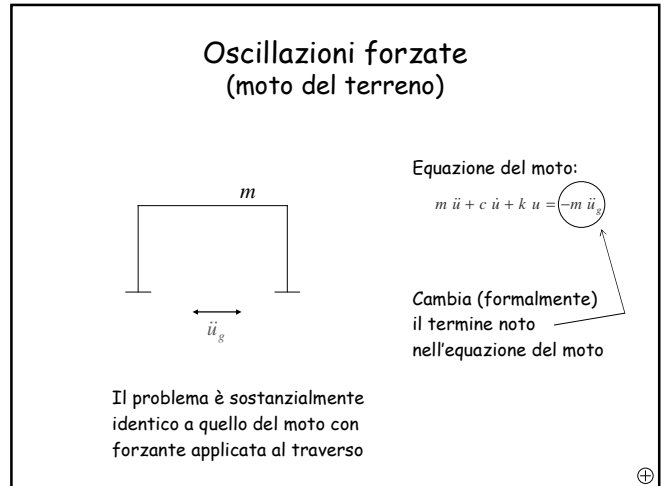
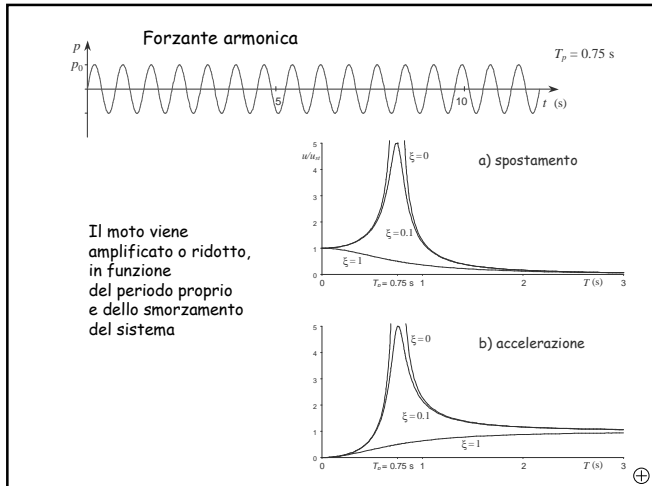
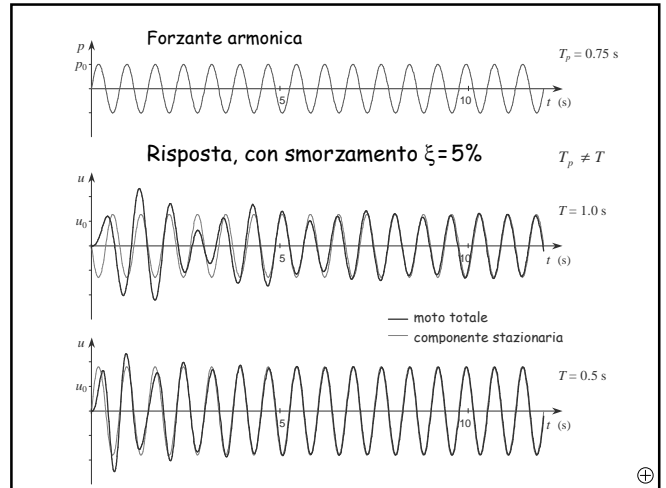
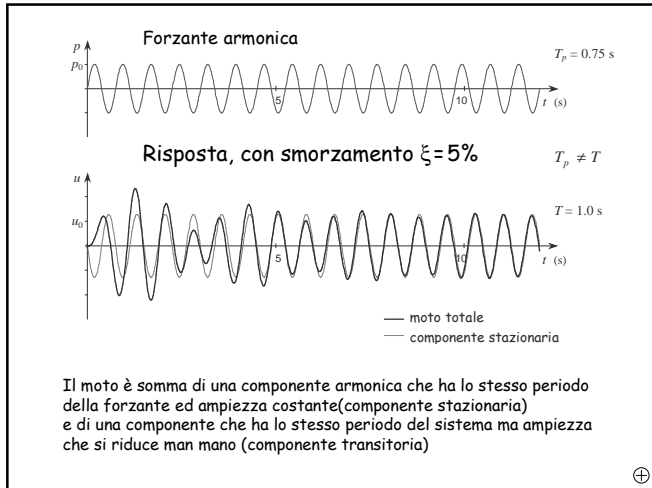


Se il periodo della forzante coincide con quello del sistema, in assenza di smorzamento il moto si amplifica sempre più

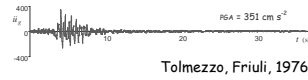
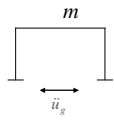


risonanza





Oscillazioni forzate (moto del terreno - accelerogramma)

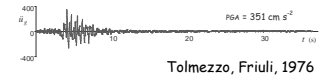
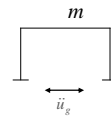


Input sismico: accelerogramma

Equazione del moto:

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

Oscillazioni forzate (moto del terreno - accelerogramma)

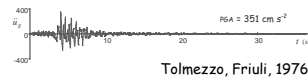
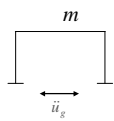


È possibile determinare numericamente la risposta ad un accelerogramma

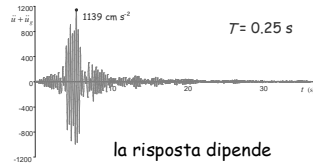
Noti i valori di u, \dot{u}, \ddot{u} in un certo istante t_1 ed il valore di \ddot{u}_g tra t_1 e $t_1 + \Delta t$ si possono ricavare i valori di u, \dot{u}, \ddot{u} nell'istante $t_1 + \Delta t$

Si ottiene la risposta nel tempo (time history)

Oscillazioni forzate (moto del terreno - accelerogramma)

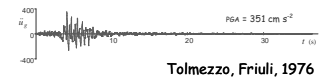
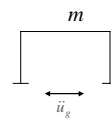


È possibile determinare numericamente la risposta ad un accelerogramma

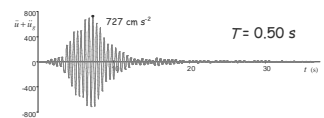


la risposta dipende dal periodo T dell'oscillatore

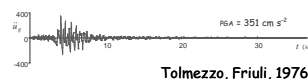
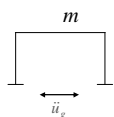
Oscillazioni forzate (moto del terreno - accelerogramma)



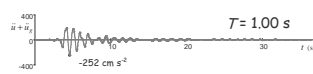
Cambiando il periodo dell'oscillatore, cambia la risposta



Oscillazioni forzate (moto del terreno - accelerogramma)

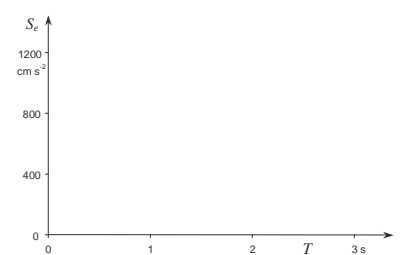


Cambiando il periodo dell'oscillatore, cambia la risposta



Oscillazioni forzate (moto del terreno - accelerogramma)

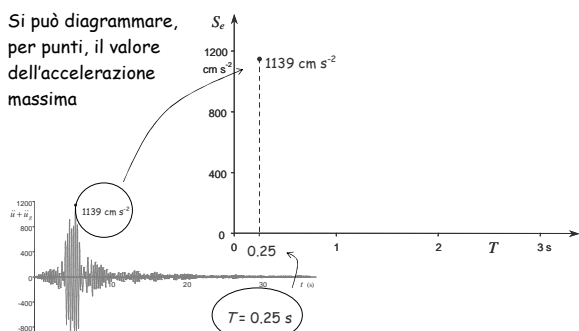
Si può diagrammare, per punti, il valore dell'accelerazione massima per schemi con periodo diverso



In genere ci interessa la risposta massima, non quello che succede istante per istante

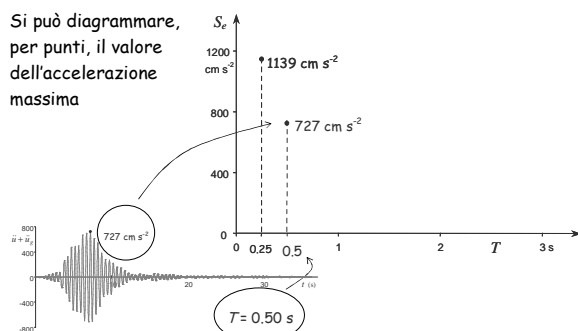
Oscillazioni forzate (moto del terreno - accelerogramma)

Si può diagrammare, per punti, il valore dell'accelerazione massima



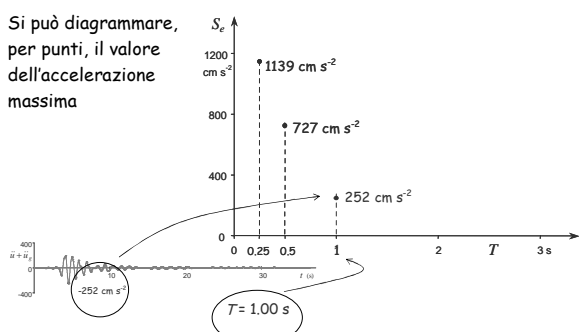
Oscillazioni forzate (moto del terreno - accelerogramma)

Si può diagrammare, per punti, il valore dell'accelerazione massima



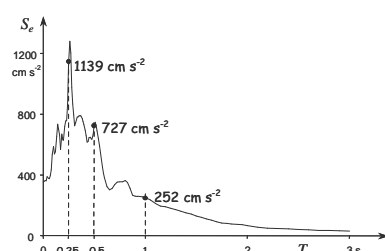
Oscillazioni forzate (moto del terreno - accelerogramma)

Si può diagrammare, per punti, il valore dell'accelerazione massima



Oscillazioni forzate Spettro di risposta

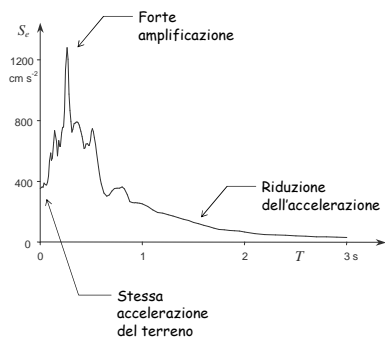
Si può diagrammare, per punti, il valore dell'accelerazione massima



Il diagramma ottenuto unendo i vari punti viene detto "spettro di risposta" (in termini di accelerazione)

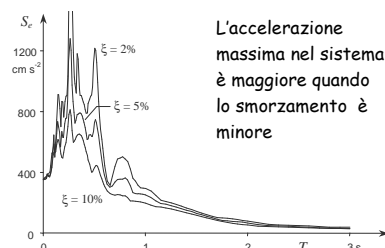
Oscillazioni forzate Spettro di risposta (accelerazione)

L'andamento dell'accelerazione massima in funzione del periodo proprio ha un andamento ben preciso



Oscillazioni forzate Spettro di risposta (accelerazione)

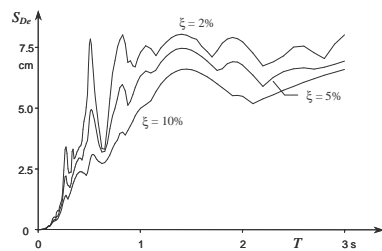
Al variare dello smorzamento si ottengono diverse curve



L'accelerazione massima nel sistema è maggiore quando lo smorzamento è minore

Oscillazioni forzate Spettro di risposta (spostamento)

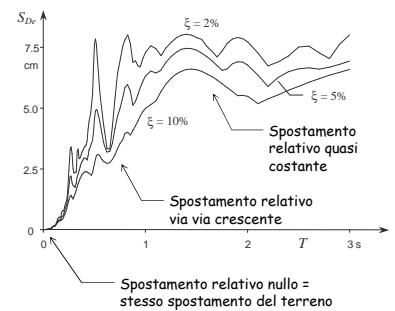
Allo stesso modo si può diagrammare lo spostamento relativo massimo in funzione del periodo



Il diagramma così ottenuto viene detto "spettro di risposta" (in termini di spostamento)

Oscillazioni forzate Spettro di risposta (spostamento)

Si noti l'andamento dello spostamento relativo massimo in funzione del periodo proprio



Lo spostamento massimo nel sistema è maggiore quando lo smorzamento è minore

Oscillazioni forzate Spettri di risposta (accelerazione-spostamento)

Nota:

- Se lo smorzamento fosse nullo, accelerazione massima e spostamento massimo si raggiungerebbero nello stesso istante
- Con i reali smorzamenti il valore massimo dell'accelerazione assoluta è vicino ma non identico al valore che si ha nell'istante in cui si ha lo spostamento massimo (questo è detto pseudo-accelerazione massima). La differenza è comunque trascurabile
- I valori dello spettro in termini di spostamento e pseudo-accelerazione sono legati analiticamente dalla relazione

$$|\ddot{u} + \ddot{u}_g| = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 u$$

Relazione tra i valori massimi di spostamento relativo e accelerazione assoluta

Equazione del moto:

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

Quando lo spostamento relativo u è massimo la sua derivata è nulla

$$u = u_{\max} \Rightarrow \dot{u} = 0$$

Si ha allora:

$$m \ddot{u} + k u_{\max} = -m \ddot{u}_g$$

$$k u_{\max} = -m (\ddot{u} + \ddot{u}_g)$$

$$|\ddot{u} + \ddot{u}_g| = \frac{k}{m} u_{\max} = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 u_{\max} \quad \text{perché} \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

⊕

Relazione tra i valori massimi di spostamento relativo e accelerazione assoluta

La quantità $\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 u$ viene detta pseudoaccelerazione

Essa coincide con l'accelerazione assoluta quando lo smorzamento è nullo

L'accelerazione assoluta massima e la pseudoaccelerazione massima a rigore sono diverse, ma in sostanza sono praticamente coincidenti

La relazione $|\ddot{u} + \ddot{u}_g| = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 u$

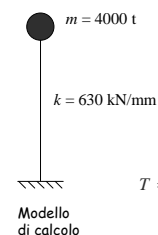
consente di passare dai valori massimi dello spostamento a quelli massimi dell'accelerazione assoluta, e viceversa

⊕

A cosa servono gli spettri?



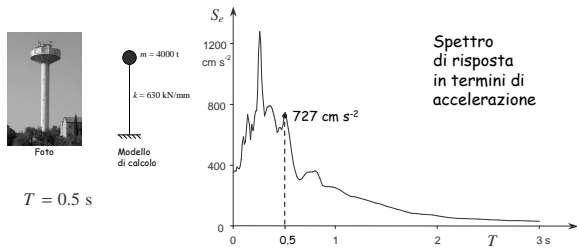
Foto



Conoscendo massa e rigidità possiamo determinare il periodo proprio

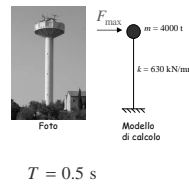
$$\begin{aligned} T &= 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} = \\ &= 2 \times 3.14 \times \sqrt{\frac{4000 \times 10^3}{630 \times 10^6}} = \\ &= 0.5 \text{ s} \end{aligned}$$

A cosa servono gli spettri?



Noto il periodo proprio, possiamo leggere dallo spettro l'accelerazione assoluta massima $a_{\max} = 7.27 \text{ m s}^{-2} = 0.74 \text{ g}$

A cosa servono gli spettri?



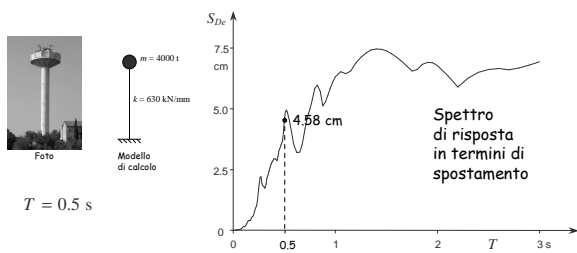
Ma dall'accelerazione possiamo ricavare anche la massima forza d'inerzia

$$F_{\max} = m a_{\max} = 4000 \times 7.27 = 29000 \text{ kN}$$

e quindi le massime sollecitazioni nella struttura, i massimi spostamenti, ecc.

Idea base del calcolo sismico: valutare il comportamento dinamico applicando forze statiche

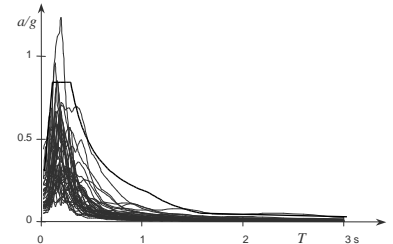
A cosa servono gli spettri?



Lo spostamento relativo massimo può essere calcolato risolvendo lo schema strutturale con le forze orizzontali applicate oppure dallo spettro di risposta in termini di spostamento $u_{\max} = 4.58 \text{ cm}$

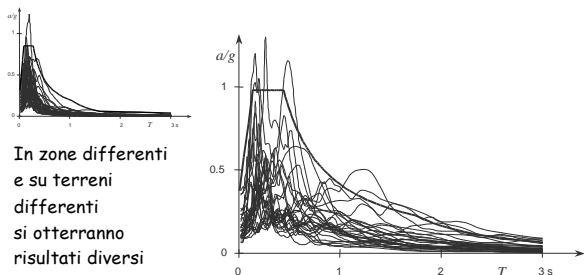
Spettri di risposta

L'analisi di oscillatori semplici può essere ripetuta per diversi accelerogrammi (con un assegnato smorzamento)



Si può quindi definire una curva che involupa tutti gli spettri di risposta, o che viene superata solo occasionalmente

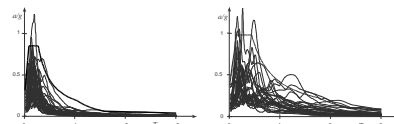
Spettri di risposta



In zone differenti e su terreni differenti si otterranno risultati diversi

Si può quindi definire una curva che involupa tutti gli spettri di risposta, o che viene superata solo occasionalmente

Spettri di risposta

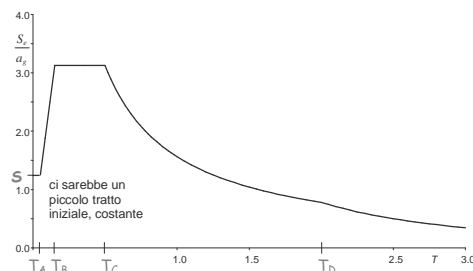


In zone differenti e su terreni differenti si otterranno risultati diversi

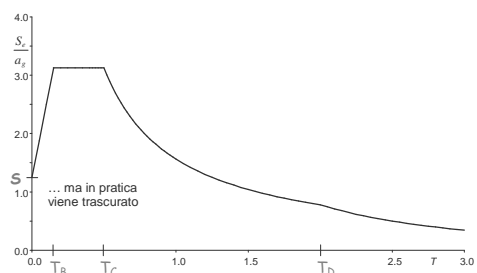
La normativa fornisce quindi spettri di risposta differenziati in funzione delle caratteristiche del suolo e della zona in cui è ubicata la struttura

Spettri di risposta elastica NTC 08 (D.M. 14/1/2008)

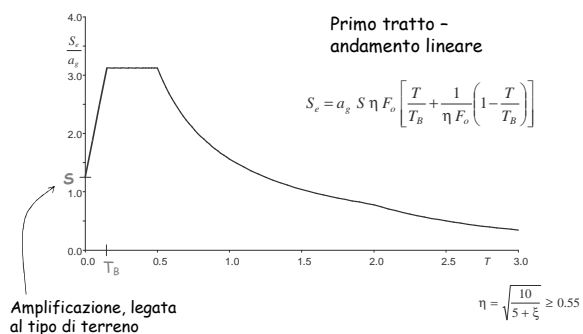
Forma generale degli spettri di risposta elastica



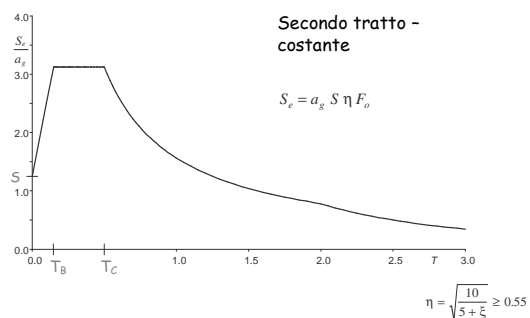
Forma generale degli spettri di risposta elastica



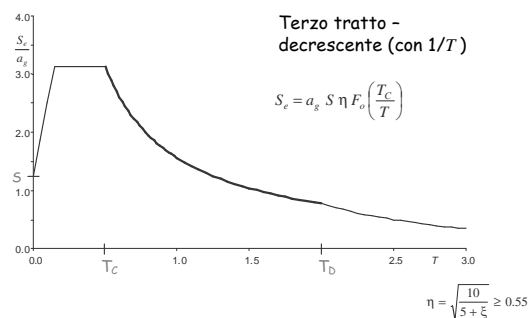
Spettri di risposta elastica di normativa accelerazioni orizzontali



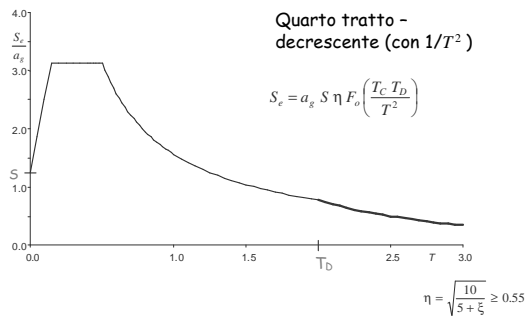
Spettri di risposta elastica di normativa accelerazioni orizzontali



Spettri di risposta elastica di normativa accelerazioni orizzontali



Spettri di risposta elastica di normativa accelerazioni orizzontali



Spettri di risposta elastica di normativa accelerazioni orizzontali

Per definire uno spettro di risposta elastico occorre indicare i parametri

- a_g accelerazione del terreno (su roccia)
- S amplificazione dovuta al tipo di terreno
- T_B T_C T_D periodi che separano i diversi tratti
- ξ smorzamento della struttura

S T_B T_C T_D si ricavano a partire dai tre parametri

$$a_g F_0 T_C^*$$

(che sono legati al sito e al periodo di ritorno T_r)
e dipendono anche dalle caratteristiche del terreno

Classificazione dei suoli e spettri di risposta

NTC08

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi, come indicato nel § 7.11.3. In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (Tab. 3.2.II e 3.2.III)

Fatta salva la necessità della caratterizzazione geotecnica dei terreni nel volume significativo, ai fini della identificazione della categoria di sottosuolo, la classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente $V_{s,30}$ di propagazione delle onde di taglio (definita successivamente) entro i primi 30 m di profondità.

Nei casi in cui tale determinazione non sia disponibile, la classificazione può essere effettuata in base ai valori di $N_{SPT,30}$ nei terreni prevalentemente a grana grossa e di $c_{u,30}$ nei terreni prevalentemente a grana fina.

NTC08, punto 3.2.2

Classificazione dei suoli e spettri di risposta

NTC13

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si deve valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3. In alternativa si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite in Tab. 3.2.II.

Fatta salva la necessità della caratterizzazione geotecnica dei terreni nel volume significativo, intesa come la parte di sottosuolo influenzata, direttamente o indirettamente, dalla costruzione del manufatto e che influenza il manufatto stesso, la misura diretta della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s , è fortemente raccomandata ai fini della classificazione del sottosuolo.

NTC13, punto 3.2.2

Classificazione dei suoli e spettri di risposta

Confronto NTC08 - NTC13

- In NTC13 scompare il riferimento a N_{SPT} e c_u
- In NTC13 scompare la tabella 3.2.III che descriveva le categorie aggiuntive S1 e S2
- In NTC13 si parla di $V_{s,eq}$ valutata nella profondità H del substrato roccioso, ovvero con $V_s \geq 800$ m/s (ma se $H > 30$ m si fa riferimento a 30 m)

$$V_{s,eq}$$

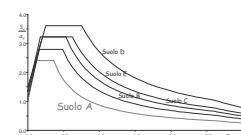
Velocità media di propagazione delle onde di taglio negli H m superiori del suolo

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum \frac{h_i}{V_{si}}}$$

NTC08, punto 3.2.2

NTC13, punto 3.2.2

Classificazione dei suoli e spettri di risposta



Suolo A

Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi

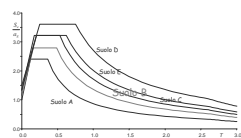
$$V_{s,30} > 800 \text{ m/s}$$

eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m

Valori orientativi per terremoti con alto periodo di ritorno

$$S = 1 \quad T_B = 0.15 \text{ s} \quad T_C = 0.4 \text{ s} \quad T_D = 2.5 \text{ s}$$

Classificazione dei suoli e spettri di risposta



Valori orientativi per terremoti con alto periodo di ritorno
 $S = 1.20$ $T_B = 0.15$ s $T_C = 0.5$ s

Suolo B

Rocce tenere, depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, con miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità

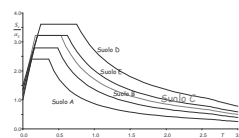
$360 \text{ m/s} < V_{S30} < 800 \text{ m/s}$

Per NTC08 anche:

Resistenza penetrometrica $N_{SPT} > 50$

Coesione non drenata $c_u > 250 \text{ kPa}$

Classificazione dei suoli e spettri di risposta



Valori orientativi per terremoti con alto periodo di ritorno
 $S = 1.30$ $T_B = 0.15$ s $T_C = 0.5$ s

Suolo C

Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità

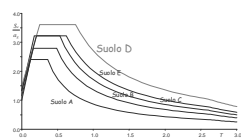
$180 \text{ m/s} < V_{S30} < 360 \text{ m/s}$

Per NTC08 anche:

Resistenza penetrometrica $15 < N_{SPT} < 50$

Coesione non drenata $70 < c_u < 250 \text{ kPa}$

Classificazione dei suoli e spettri di risposta



$S = 1.45$ $T_B = 0.25$ s $T_C = 0.8$ s
 Valori orientativi per terremoti con alto periodo di ritorno

Suolo D

Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti, con miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità

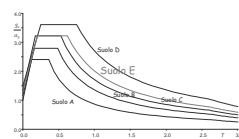
$V_{S30} < 180 \text{ m/s}$

Per NTC08 anche:

Resistenza penetrometrica $N_{SPT} < 15$

Coesione non drenata $c_u < 70 \text{ kPa}$

Classificazione dei suoli e spettri di risposta



$S = 1.30$ $T_B = 0.2$ s $T_C = 0.6$ s
 Valori orientativi per terremoti con alto periodo di ritorno

Suolo E

Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m

V_{S30}

Velocità media di propagazione delle onde di taglio nei 30 m superiori del suolo

Classificazione dei suoli e spettri di risposta

Suolo S1

Depositi con strato di almeno 10 m di argille di bassa consistenza ed elevato indice di plasticità e contenuto di acqua

$V_{S30} < 100 \text{ m/s}$

Coesione non drenata $10 < c_u < 20 \text{ kPa}$

Suolo S2

Depositi di terreni soggetti a liquefazione

I suoli S1 e S2 non esistono più nelle NTC13

Per questi tipi di terreno occorrono studi speciali

Classificazione sismica oggi (NTC 08)

La normativa fornisce a_g, F_o, T_C^*

A che servono?

- consentono di definire lo spettro di risposta

I valori sono forniti per ogni punto e per qualsiasi periodo di ritorno

Serve veramente tutta questa precisione?

Determinazione dei dati sismici

Periodo di riferimento V_R

EdiLus-MS
Mappe Sismiche

indirizzo classe vita nominale

EdiLus-MS è il software ACCA per individuare la pericolosità sismica di tutte le località italiane direttamente dalla mappa. Sono richiesti solo pochi click e il risultato sul sito che ti interessa è ottenuto dinamicamente tutti i parametri di pericolosità sismica.

via di Villa Redenta, Spoleto (PG)

Mappe Satellite Ibrida

Periodo di riferimento per l'azione sismica

Parametri di pericolosità Sismica

"Stato Limite"	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T^*_c [s]
Operatività	30	0.071	2.422	0.270
Danno	50	0.089	2.414	0.280
Salvaguardia Vita	475	0.222	2.385	0.320
Prevenzione Collasso	975	0.284	2.392	0.332

ACCA software S.p.A.
Il software per l'edilizia
Tel. (0872) 93.526 - Fax (0872) 93.12.35
P.DVA 01853740647 - E-mail: info@acca.it

Determinazione dei dati sismici

Periodo di riferimento V_R

EdiLus-MS
Mappe Sismiche

indirizzo classe vita nominale

EdiLus-MS è il software ACCA per individuare la pericolosità sismica di tutte le località italiane direttamente dalla mappa. Sono richiesti solo pochi click e il risultato sul sito che ti interessa è ottenuto dinamicamente tutti i parametri di pericolosità sismica.

via di Villa Redenta, Spoleto (PG)

Mappe Satellite Ibrida

Periodo di riferimento per l'azione sismica

Dati corrispondenti

Stato limite e periodo di ritorno

Parametri di pericolosità Sismica

"Stato Limite"	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T^*_c [s]
Operatività	30	0.071	2.422	0.270
Danno	50	0.089	2.414	0.280
Salvaguardia Vita	475	0.222	2.385	0.320
Prevenzione Collasso	975	0.284	2.392	0.332

ACCA software S.p.A.
Il software per l'edilizia
Tel. (0872) 93.526 - Fax (0872) 93.12.35
P.DVA 01853740647 - E-mail: info@acca.it

Spettri di risposta NTC08

S - amplificazione dovuta al terreno

- Dipende da
 - S_S - Categoria di sottosuolo
 - S_T - Categoria topografica

$$S = S_S \times S_T$$

Intervengono anche F_o e a_g

Categoria sottosuolo	S_S
A	1.00
B	$1.00 \leq 1.4 - 0.4 F_o \frac{a_g}{g} \leq 1.20$
C	$1.00 \leq 1.7 - 0.6 F_o \frac{a_g}{g} \leq 1.50$
D	$0.90 \leq 2.4 - 1.5 F_o \frac{a_g}{g} \leq 1.80$
E	$1.00 \leq 2.0 - 1.1 F_o \frac{a_g}{g} \leq 1.60$

Vedere foglio Excel "Spettri" per applicazioni

Spettri di risposta NTC08

S - amplificazione dovuta al terreno

- Dipende da
 - S_S - Categoria di sottosuolo
 - S_T - Categoria topografica

$$S = S_S \times S_T$$

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica	
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$	
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$	
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$	

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera	S_T
T1	...	1.0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1.2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1.2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1.4

Spettri di risposta NTC08

T_B, T_C, T_D - periodi

- T_C dipende dal suolo e da T_C^*

$$T_C = C_C \times T_C^*$$

Categoria sottosuolo	C_C
A	1.00
B	$1.10 (T_C^*)^{-0.20}$
C	$1.05 (T_C^*)^{-0.33}$
D	$1.25 (T_C^*)^{-0.50}$
E	$1.15 (T_C^*)^{-0.40}$

Vedere foglio Excel "Spettri" per applicazioni

Spettri di risposta NTC08

T_B, T_C, T_D - periodi

- T_C dipende dal suolo e da T_C^*
- T_B dipende da T_C

$$T_B = T_C / 3$$
- T_D dipende da a_g

$$T_D = 4.0 \times \frac{a_g}{g} + 1.6$$

Vedere foglio Excel "Spettri" per applicazioni

Spettri di risposta NTC 08

Esempio: Messina (sito di riferimento per l'esempio)

Per $T_r=475$ anni $a_g=0.250$ g $F_o=2.410$ $T_c^*=0.360$ s
 Per $T_r=50$ anni $a_g=0.082$ g $F_o=2.316$ $T_c^*=0.292$ s

Valori che definiscono lo spettro di risposta elastico
 Accelerazioni orizzontali, terremoto con $T_r=475$ anni (SLV)

Categoria suolo	PGA su roccia a_g	S	$S a_g$	F_o	T_B	T_C	T_D
A	0.250 g	1.000	0.250 g	2.410	0.120 s	0.360 s	2.600 s
B		1.159	0.290 g		0.162 s	0.486 s	2.600 s
C		1.339	0.335 g		0.177 s	0.530 s	2.600 s
D		1.496	0.374 g		0.250 s	0.750 s	2.600 s
E		1.337	0.334 g		0.208 s	0.623 s	2.600 s

Spettri di risposta NTC 08

Esempio: Messina (sito di riferimento per l'esempio)

Per $T_r=475$ anni $a_g=0.250$ g $F_o=2.410$ $T_c^*=0.360$ s
 Per $T_r=50$ anni $a_g=0.082$ g $F_o=2.316$ $T_c^*=0.292$ s

Valori che definiscono lo spettro di risposta elastico
 Accelerazioni orizzontali, terremoto con $T_r=50$ anni (SLD)

Categoria suolo	PGA su roccia a_g	S	$S a_g$	F_o	T_B	T_C	T_D
A	0.082 g	1.000	0.082 g	2.316	0.097 s	0.292 s	1.928 s
B		1.200	0.098 g		0.137 s	0.411 s	1.928 s
C		1.500	0.123 g		0.153 s	0.460 s	1.928 s
D		1.800	0.148 g		0.225 s	0.675 s	1.928 s
E		1.600	0.131 g		0.183 s	0.549 s	1.928 s

Spettri di risposta NTC08 accelerazioni verticali

- Lo spettro ha la stessa forma, cambiano i parametri

Categoria di sottosuolo	S_s	T_B	T_C	T_D
A, B, C, D, E	1.0	0.05	0.15	1.00

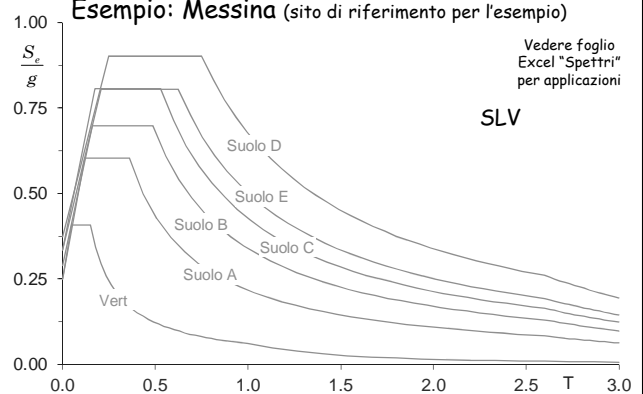
$$F_v = 1,35 \cdot F_o \cdot \left(\frac{a_g}{g} \right)^{0,5}$$

NTC08, punto 3.2.3.2.2

Spettri di risposta NTC08

Esempio: Messina (sito di riferimento per l'esempio)

Vedere foglio
Excel "Spettri"
per applicazioni



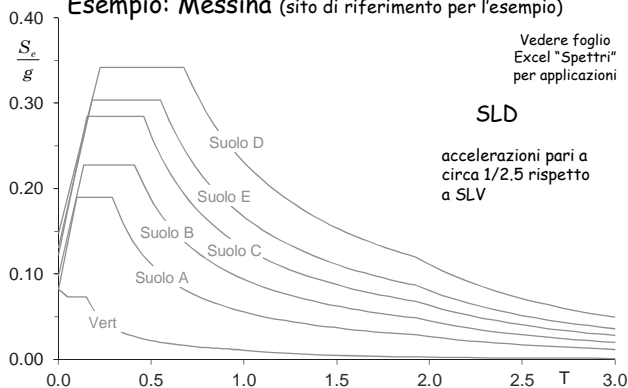
Spettri di risposta NTC08

Esempio: Messina (sito di riferimento per l'esempio)

Vedere foglio
Excel "Spettri"
per applicazioni

SLD

accelerazioni pari a
circa 1/2.5 rispetto
a SLV



Normativa europea considerazioni

I valori di S , F_o , T_B , T_C , T_D sono definiti indipendentemente dal sito. Per terremoti con magnitudo superiore a 5.5 si utilizza uno spettro Tipo 1, con parametri sotto indicati

Valori che definiscono lo spettro di risposta elastico (Messina)
 Accelerazioni orizzontali, terremoto con $T_r=475$ anni (SLV)

Categoria suolo	PGA su roccia a_g	S	$S a_g$	F_o	T_B	T_C	T_D
A	0.250 g	1.00	0.250 g	2.5	0.15 s	0.40 s	2.00 s
B		1.20	0.300 g		0.15 s	0.50 s	2.00 s
C		1.15	0.288 g		0.20 s	0.60 s	2.00 s
D		1.35	0.338 g		0.20 s	0.80 s	2.00 s
E		1.40	0.350 g		0.15 s	0.50 s	2.00 s

EC8, punto 3.2.2.2

