VERIFICA DI EDIFICI ESISTENTI IN CEMENTO ARMATO

Catania, 25 giugno – 2 luglio 2019

01 – Rischio sismico degli edifici esistenti

Docente del corso

AURELIO GHERSI

Corso organizzato da: FONDAZIONE DELL'ORDINE DEGLI INGEGNERI
DELLA PROVINCIA DI CATANIA

Quando ci occupiamo di edifici esistenti?

Quando siamo chiamati ad occuparci
di edifici esistenti?

- Esprimere un giudizio sull'agibilità per dissesti (reali o presunti) indipendenti da eventi sismici
  - L'analisi del quadro fessurativo fornisce indicazioni sulle possibili cause dei dissesti
  - L'obiettivo principale è giudicare se i dissesti hanno ridotto o compromesso gravemente la capacità di portare carichi verticali
  - Il giudizio è sostanzialmente indipendente dalla capacità della struttura di sostenere l'azione sismica, ma questo deve essere precisato chiaramente nella relazione

Quando siamo chiamati ad occuparci
di edifici esistenti?

- Esprimere un giudizio sull'agibilità per dissesti (reali o presunti) indipendenti da eventi sismici
- Esprimere un giudizio sull'agibilità dopo un evento sismico
  - Occorre principalmente valutare se la struttura ha subito danni che riducono in maniera sensibile la sua capacità portante nei confronti di azioni orizzontali
  - Esistono numerose schede (AeDES, FAST) per raccogliere informazioni sullo stato della struttura
  - Occorre però fondamentalmente comprendere il comportamento sismico della struttura per giudicare se il sisma lo ha modificato e peggiorato

Quando siamo chiamati ad occuparci
di edifici esistenti?

- Esprimere un giudizio sull'agibilità per dissesti (reali o presunti) indipendenti da eventi sismici
- Esprimere un giudizio sull'agibilità dopo un evento sismico
  - Nel giudizio, precisare sempre che si tratta di una valutazione comparativa (prima - dopo il danneggiamento da sisma) e non assoluta
  - Attenzione alle carenze strutturali gravi, che possono comunque rendere la struttura estremamente insicura nei confronti del sisma, anche se non ha subito danni

Quando siamo chiamati ad occuparci
di edifici esistenti?

- Esprimere un giudizio sull'agibilità per dissesti (reali o presunti) indipendenti da eventi sismici
- Esprimere un giudizio sull'agibilità dopo un evento sismico
- Valutare il rischio sismico o la vulnerabilità sismica per ampi insiemi di edifici
  - È basato su una analisi sommaria, principalmente tipologica, degli edifici
  - Si tratta di una valutazione di tipo probabilistico, usata per scelte generali, "politiche"

Quando siamo chiamati ad occuparci
di edifici esistenti?

- Esprimere un giudizio sull'agibilità per dissesti (reali o presunti) indipendenti da eventi sismici
- Esprimere un giudizio sull'agibilità dopo un evento sismico
- Valutare il rischio sismico o la vulnerabilità sismica per ampi insiemi di edifici
- Valutare il grado di sicurezza di un edificio nei confronti delle azioni sismiche
  - È basato su una analisi numerica che individua le debolezze della struttura e le quantifica con una indicazione finale numerica

Quando siamo chiamati ad occuparci
di edifici esistenti?

- Esprimere un giudizio sull'agibilità per dissesti (reali o presunti) indipendenti da eventi sismici
- Esprimere un giudizio sull'agibilità dopo un evento sismico
- Valutare il rischio sismico o la vulnerabilità sismica per ampi insiemi di edifici
- Valutare il grado di sicurezza di un edificio nei confronti delle azioni sismiche
- Valutare la classe di rischio sismico di un edificio
  - Classificazione istituita col D.M. 28/2/2017

Quando siamo chiamati ad occuparci
di edifici esistenti?

- Esprimere un giudizio sull'agibilità per dissesti (reali o presunti) indipendenti da eventi sismici
- Esprimere un giudizio sull'agibilità dopo un evento sismico
- Valutare il rischio sismico o la vulnerabilità sismica per ampi insiemi di edifici
- Valutare il grado di sicurezza di un edificio nei confronti delle azioni sismiche
- Valutare la classe di rischio sismico di un edificio
- Progettare interventi per migliorare la classe di rischio sismico di un edificio o adeguarlo sismicamente

Riferimenti normativi

- Eurocodice 8, parte 3
  Progettazione delle strutture per la zona sismica. Valutazione e adeguamento sismico degli edifici
  - È fondamentale perché da questo deriva le NTC, che a volte sono una copia con omissione di parti e quindi meno chiara
- Norme Tecniche per le Costruzioni 2018, DM 17 gennaio 2018
  - Capitolo 8, molto sintetico
- Circolare 21 gennaio 2019, n. 7
  - Molto più dettagliata rispetto a NTC
- Normative del passato recente:
  Ordinanza 3274 del 2003

Rischio sismico

Rischio sismico

Un sistema (struttura, infrastruttura ...) ubicato in una zona sismica è soggetto alla possibilità di subire danni per effetto di un terremoto e quindi che questi danni inducano perdite alla collettività in termini economici, culturali e di vite umane

Rischio sismico:

relazione tra il verificarsi di un evento sismico e le perdite socio-economiche del sistema funzionale in esame

Rischio sismico

Rischio sismico:

relazione tra il verificarsi di un evento sismico e le perdite socio-economiche del sistema funzionale in esame

Il rischio sismico è determinato dalla contemporanea presenza di tre contributi:

1. Pericolosità sismica

   È una misura della potenzialità distruttive del terremoto atteso in una data area

Rischio sismico

Rischio sismico:

relazione tra il verificarsi di un evento sismico e le perdite socio-economiche del sistema funzionale in esame

Il rischio sismico è determinato dalla contemporanea presenza di tre contributi:

1. Pericolosità sismica
2. Vulnerabilità sismica

   È una misura della propensione al danneggiamento strutturale, a prescindere dalla sismicità dell'area

Rischio sismico

Rischio sismico:

relazione tra il verificarsi di un evento sismico e le perdite socio-economiche del sistema funzionale in esame

Il rischio sismico è determinato dalla contemporanea presenza di tre contributi:

1. Pericolosità sismica
2. Vulnerabilità sismica
3. Esposizione

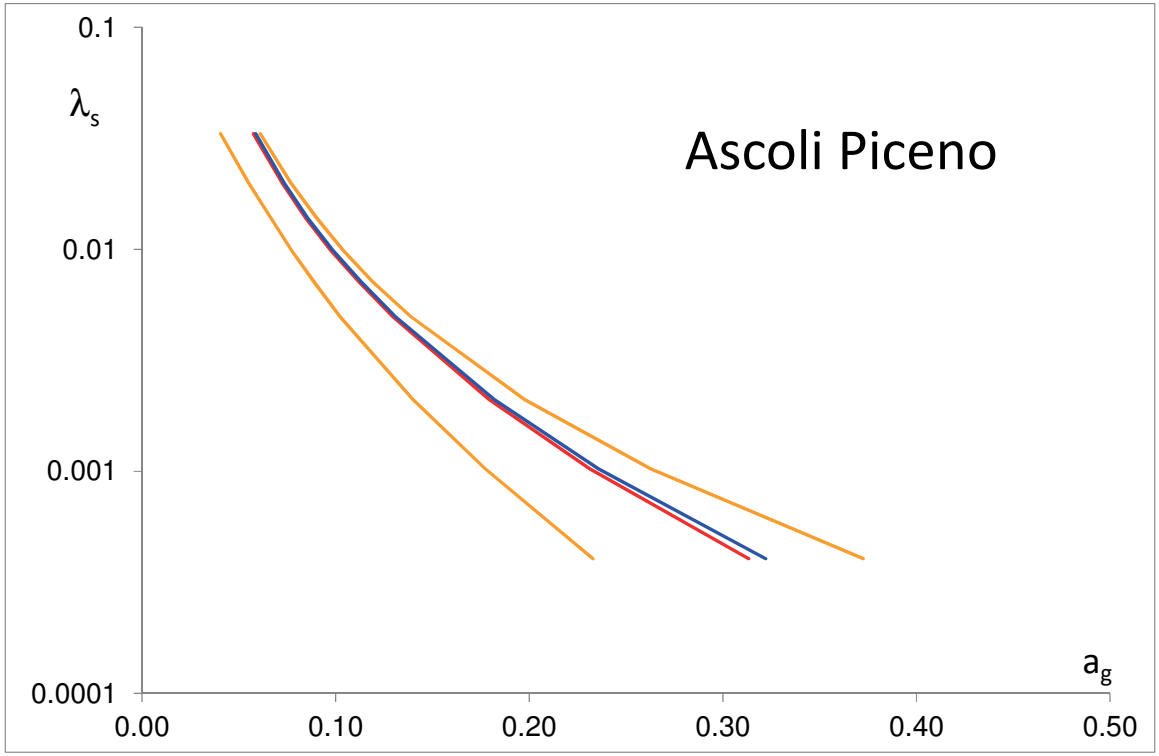
   È una misura della perdita (economica, di vite umane, ecc.) associata ad un livello di danno

1. Pericolosità sismica

Pericolosità sismica

quali terremoti ci aspettiamo in un determinato sito?

- Le indicazioni generali sulla pericolosità sismica e i dati al bedrock sono forniti dalla normativa



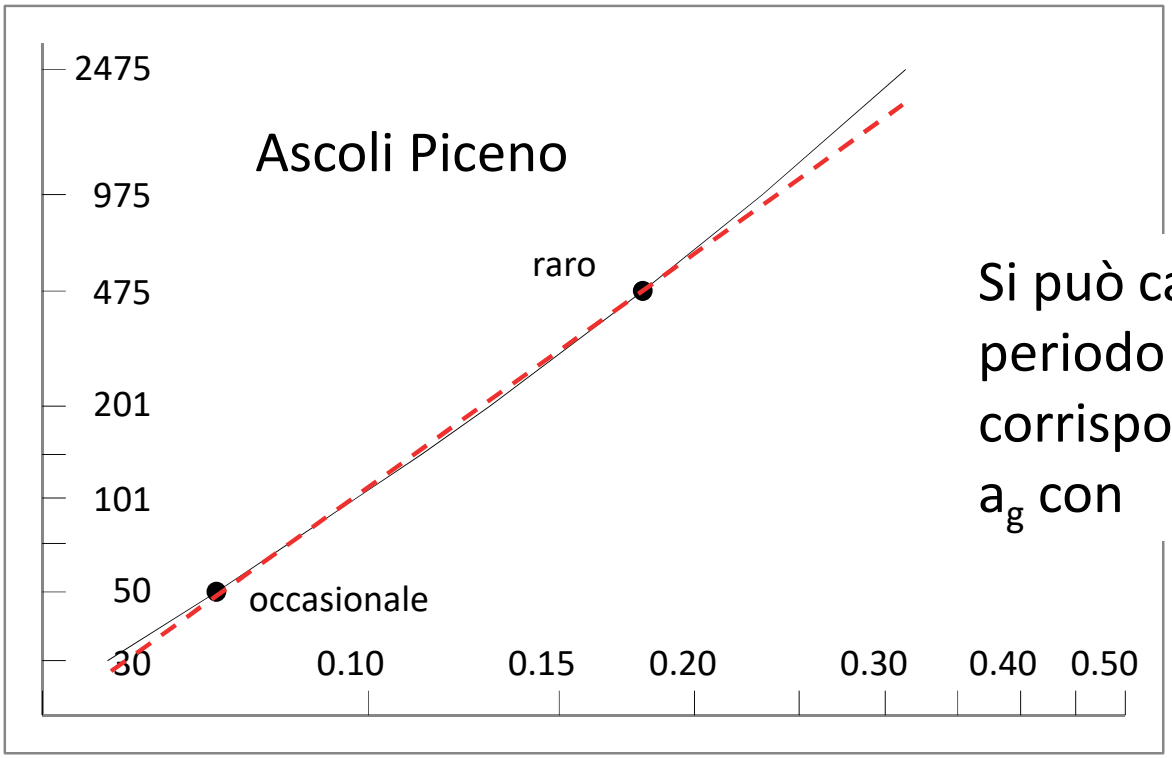
Relazione tra accelerazione (su bedrock) e possibilità media di occorrenza

Pericolosità sismica

quali terremoti ci aspettiamo in un determinato sito?

- Le indicazioni generali sulla pericolosità sismica e i dati al bedrock sono forniti dalla normativa

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



Si può calcolare il periodo di ritorno corrispondente ad un a_g con

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

Relazione tra accelerazione (su bedrock) e periodo di ritorno

Pericolosità sismica

considerazioni (1)

- Le indicazioni generali sulla pericolosità sismica e i dati al bedrock sono forniti dalla normativa
  - Occorre però determinare i dati relativi alla effettiva stratigrafia del terreno su cui sorge la costruzione
  - Questo può essere fatto classificando il terreno in una delle categorie standard previste dalla normativa (modeste variazioni in NTC18)
  - Questo può essere fatto, in alternativa, mediante studi specifici sulla risposta locale dei terreni

Pericolosità sismica

considerazioni (2)

- Le indicazioni generali sulla pericolosità sismica e i dati al bedrock sono forniti dalla normativa

- I dati di pericolosità sismica possono essere utilizzati:
  - Seguendo un approccio probabilistico, cioè tenendo espressamente conto nel calcolo della possibile distribuzione probabilistica delle accelerazioni sismiche
  - Seguendo un approccio semiprobabilistico, cioè operando in maniera apparentemente deterministica, ma usando come riferimento valori corrispondenti ad opportuni frattili della distribuzione probabilistica

2. Vulnerabilità sismica

Vulnerabilità sismica

quale danno produce un assegnato evento sismico?

L'evento sismico può essere definito:

- In maniera probabilistica, come insieme di accelerogrammi che rappresentano i possibili eventi sismici
- In maniera semiprobabilistica, come valore di accelerazione (o meglio, come spettro di risposta)

Le proprietà meccaniche della struttura possono essere definite:

- In maniera probabilistica, considerando valori differenti della resistenza secondo una distribuzione statistica
- In maniera semiprobabilistica, come valore di resistenza corrispondente ad un assegnato frattile

Vulnerabilità sismica

valutazione probabilistica

- Se l'evento sismico è assegnato come insieme di accelerogrammi (anche se la resistenza del materiale strutturale è definita con riferimento ad un assegnato frattile) occorre operare in maniera probabilistica per determinare la probabilità che per un livello di intensità sismica a_g si verifichi un livello di danneggiamento D_j

$$V = p(a_g, D_j)$$

Vulnerabilità sismica

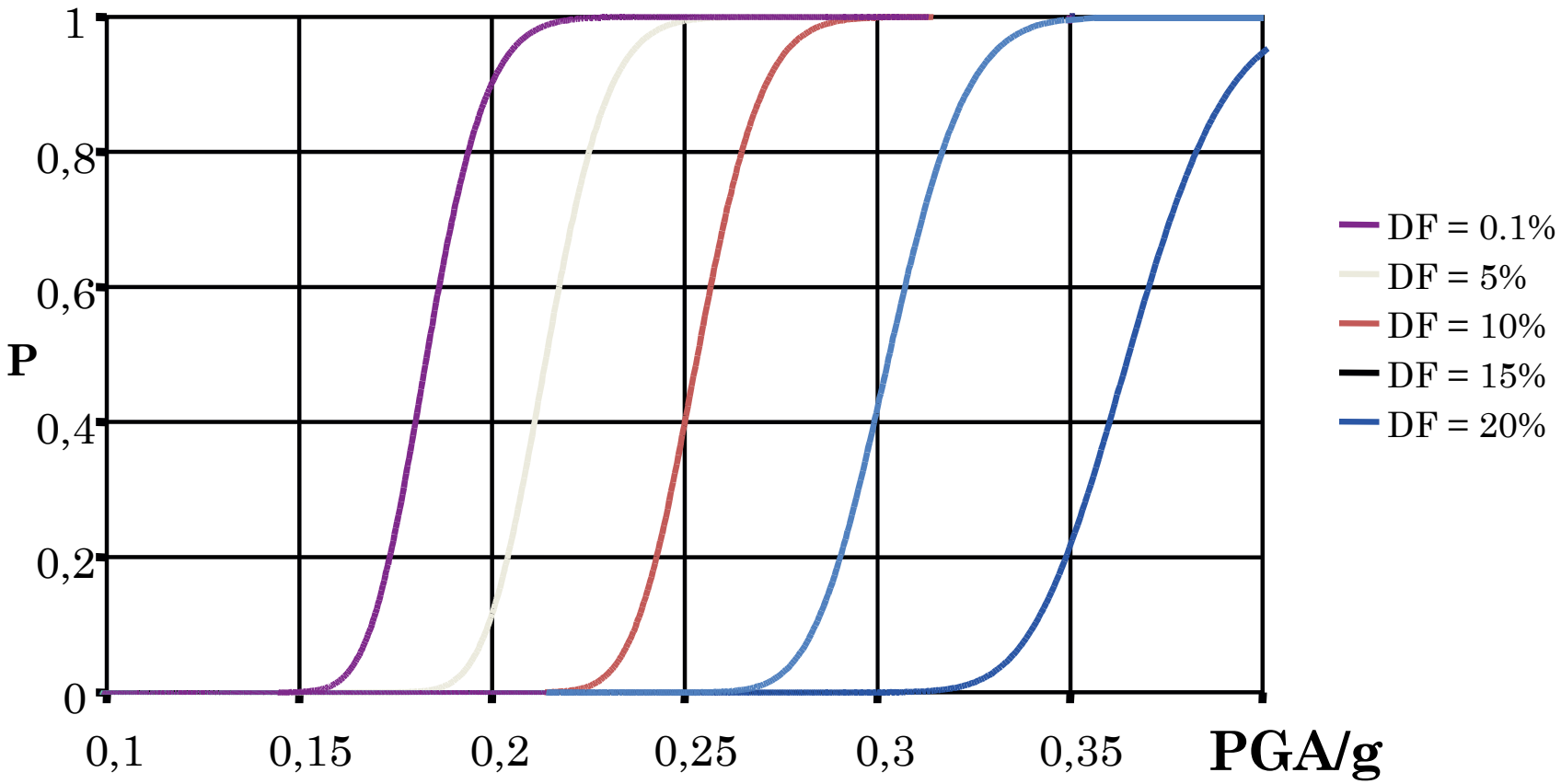
valutazione probabilistica

- Si utilizza un insieme di accelerogrammi
- Si valuta la risposta dinamica incrementale per ciascun accelerogramma
- Per ciascun valore di a_g si determina media e scarto quadratico medio del parametro usato per valutare il danneggiamento (rotazione plastica, rotazione alla corda, spostamento di interpiano)
- Ipotizzando che la distribuzione sia lognormale, si valuta la probabilità di avere un valore del parametro superiore a quello ultimo
- Si riporta in grafico questa probabilità (numero tra 0 e 1) in funzione di a_g

Vulnerabilità sismica

curva di fragilità

- La relazione tra danno e intensità sismica in termini probabilistici è definita curva di fragilità



Vulnerabilità sismica

valutazione probabilistica

- Unendo le informazioni fornite dalla curva di pericolosità (che indica la probabilità di avere certi valori dell'accelerazione sismica) e dalla curva di fragilità (che indica la probabilità di superamento di uno stato limite in funzione dell'accelerazione sismica) si può calcolare la frequenza media annua di superamento dello stato limite
- Si può esprimere un giudizio confrontando tale frequenza con valori limite per valutarne l'accettabilità

Vulnerabilità sismica

valutazione semiprobabilistica

- Se l'evento sismico è assegnato come spettro di risposta e la resistenza del materiale strutturale è definita con riferimento ad un assegnato frattile si effettua una "tradizionale" verifica della struttura
- Occorre però tener presente che l'azione sismica probabilmente porterà al superamento della resistenza del materiale
  - L'uso di modelli lineari con fattore di comportamento q (con verifiche di resistenza) è affidabile se la struttura rispetta i criteri di gerarchia delle resistenze e di duttilità locale
  - In caso contrario diventa fondamentale l'uso di modelli non lineari (e si devono effettuare verifiche di duttilità)

Vulnerabilità sismica

considerazioni (1)

- Sarebbe interessante affrontare l'approccio probabilistico, che tiene espressamente conto anche della variabilità dell'azione sismica
  - Indicazioni in tal senso sono fornite dalle Istruzioni CNR-DT 212 "Istruzioni per la Valutazione Affidabilistica della Sicurezza Sismica di Edifici Esistenti"
  - È un tema da affrontare più a livello di ricerca che per scopi professionali

- La vulnerabilità sismica è l'argomento maggiormente approfondito in questo corso
  - Si segue l'approccio semiprobabilistico

Vulnerabilità sismica
considerazioni (2)

- La vulnerabilità sismica è l'argomento maggiormente approfondito in questo corso
- Si segue l'approccio semiprobabilistico, cioè si assegna l'evento sismico come spettro di risposta e la resistenza della struttura sulla base di opportuni frattili delle proprietà dei materiali
- Nel farlo si possono seguire diversi tipi di analisi
  - Analisi lineari possono essere utili per ricavare una prima idea del comportamento della struttura
  - Analisi non lineari sono fondamentali per avere una migliore conoscenza del comportamento della struttura

Vulnerabilità sismica

considerazioni (3)

- La vulnerabilità sismica è l'argomento maggiormente approfondito in questo corso
- Si segue l'approccio semiprobabilistico

- Pur mantenendosi in questo ambito occorre tener conto in qualche modo di:
  - Influenza delle incertezze di tipo aleatorio (variabilità delle resistenza del materiale) sulla risposta non lineare della struttura
  - Influenza delle incertezze di tipo epistemico (possibili variazioni del modello con cui si rappresenta la struttura, ad esempio contributo delle tamponature)
  - Influenza della scelta del modello di comportamento non lineare (modelli a plasticità concentrata o a plasticità diffusa)

3. Esposizione

Esposizione

- È una misura della perdita (economica, di vite umane, ecc.) associata ad un livello di danno

- In termini probabilistici è la probabilità che che per un livello di danneggiamento D_j si verifichi una livello di perdita L_i

$$E = p(D_j, L_i)$$

Esposizione
considerazioni

- L’esposizione non viene direttamente presa in considerazione in questo corso
- Dell’esposizione si tiene in qualche modo conto:
  - Mediante la definizione di classi d’uso delle costruzioni, che prescrive l’uso di accelerazioni sismiche maggiori per struttura di maggiore importanza
  - Mediante l’attribuzione di un costo convenzionale di riparazione della costruzione, in relazione al raggiungimento degli stati limite indicati in normativa

Classificazione del rischio sismico

Concetti generali

DM 28/2/2017

Classificazione del rischio sismico degli edifici

- È definita una classificazione del rischio sismico degli edifici
- Analogamente a quella relativa alle prestazioni energetiche degli edifici, le classi vanno da A^+ a G
- La classe di rischio fa riferimento:
  - All'accelerazione per il quale l'edificio raggiunge lo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)
    Indice di sicurezza (IS-V)
  - Al costo di riparazione, che dipende dalle varie intensità di sisma che possono colpire l'edificio
    Perdita Annuale Media attesa (PAM)

DM 28/2/2017

Classificazione del rischio sismico degli edifici

- È definita una classificazione del rischio sismico degli edifici
- Analogamente a quella relativa alle prestazioni energetiche, le classi vanno da A^+ a G
- La classe di rischio fa riferimento a:
  - Indice di sicurezza (IS-V)
  - Perdita Annuale Media attesa (PAM)
- I due aspetti vengono valutati separatamente, determinando per ciascuno dei due una classe di rischio sismico
- La classe di rischio sismico dell'edificio è la peggiore tra le due

  … ma sarebbe opportuno esaminarle separatamente, perché forniscono informazioni diverse

Indice di sicurezza IS-V

o Indice di rischio

- È un indicatore della sicurezza della struttura nei confronti dello Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)
  Nota: è espresso in %

- È definito come rapporto tra
  - La Capacità, cioè l'accelerazione a_g (o PGA, Peak Ground Acceleration) che la struttura può sopportare
  - La Domanda, cioè l'accelerazione prevista dalla norma per la struttura nel sito in cui essa è ubicata, per SLV

- La Capacità può essere determinata con
  - Analisi lineare e verifiche di resistenza delle sezioni
  - Analisi non lineare e verifiche di duttilità (capacità deformativa oltre il limite elastico)

Classe di rischio IS-V

- È funzione dell'indice di sicurezza IS-V

Indice IS-V	Classe IS-V
100% < IS-V	$A^{+}_{IS\text{-}V}$
80% < IS-V ≤ 100%	$A_{IS\text{-}V}$
60% < IS-V ≤ 80%	$B_{IS\text{-}V}$
45% < IS-V ≤ 60%	$C_{IS\text{-}V}$
30% < IS-V ≤ 45%	$D_{IS\text{-}V}$
15% < IS-V ≤ 30%	$E_{IS\text{-}V}$
IS-V ≤ 15%	$F_{IS\text{-}V}$

Perdita Annuale Media attesa

PAM

- È un indicatore dei costi di riparazione della struttura dopo un terremoto

  Nota: è espresso in %

- È definito come rapporto tra
  - Perdite economiche associate ai danni degli elementi strutturali e non strutturali
  - Costo di ricostruzione dell'edificio (escluso il suo contenuto)

- È calcolato assegnando in maniera convenzionale un costo di ricostruzione a ciascuno stato limite

Perdita Annuale Media attesa

PAM

- Stati limite e costo di ricostruzione CR

Stato limite		T_R	CR
SLR	Stato Limite di Ricostruzione	come SLC	100%
SLC	Stato Limite di Collasso	da calcolare (1)	80%
SLV	Stato Limite di salvaguardia Vita	da calcolare	50%
SLD	Stato Limite di Danno	da calcolare (2)	15%
SLO	Stato Limite di Operatività	da calcolare (3)	7%
SLID	Stato Limite di Inizio Danno	10 anni	0%

Note:

(1) Può essere valutato a partire da quello per SLV

(2) Non superiore a quello per SLV

(3) Può essere valutato a partire da quello per SLD

Perdita Annuale Media attesa

PAM

- Per ciascuno stato limite SL è possibile calcolare il valore di a_g (PGA) per il quale lo si raggiunge

  Nota: calcolare a_g è un bel problema per l'ingegnere; in questo corso verranno fornite indicazioni su come stimare questo valore

- Nota la PGA è possibile determinare a quale periodo di ritorno (e a quale frequenza media annua di superamento) corrisponde questa PGA nel sito in cui è posto l'edificio

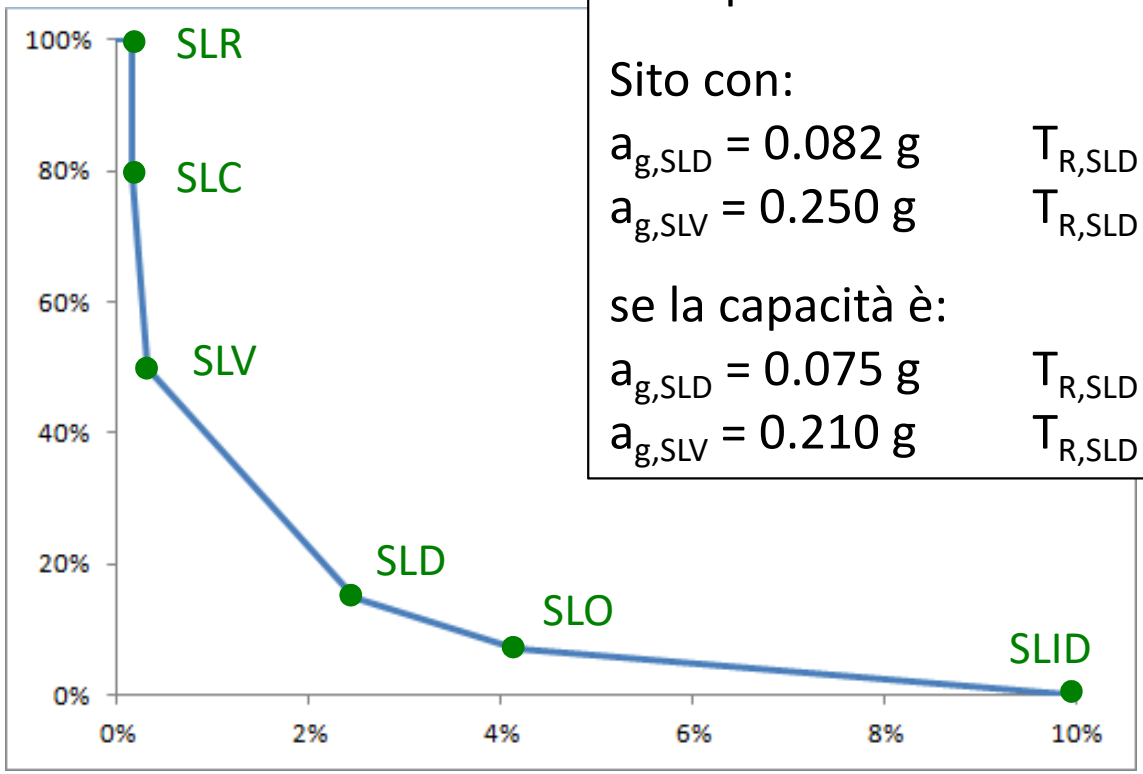
  Si può usare la relazione precedentemente mostrata

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

Perdita Annuale Media attesa

PAM

- È possibile diagrammare il costo di riparazione in funzione della frequenza media annua di superamento, assumendo un andamento lineare tra gli SL



Esempio

Sito con:

$a_{g,SLD}$ = 0.082 g $T_{R,SLD}$ = 50 anni

$a_{g,SLV}$ = 0.250 g $T_{R,SLD}$ = 475 anni

se la capacità è:

$a_{g,SLD}$ = 0.075 g $T_{R,SLD}$ = 40.2 anni

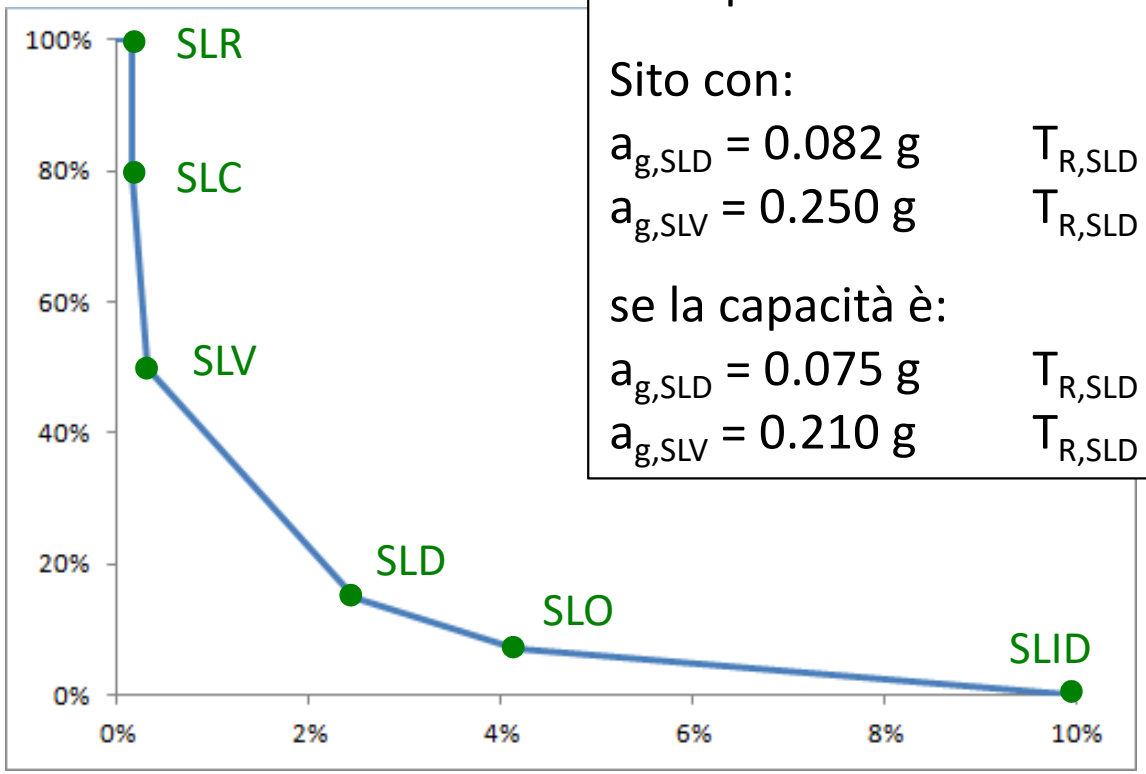
$a_{g,SLV}$ = 0.210 g $T_{R,SLD}$ = 310.5 anni

File Excel “Classe rischio”

Perdita Annuale Media attesa

PAM

- La Perdita Annuale Media attesa è l'area sottesa dalla curva, ovvero l'integrale $\int CR \, d\lambda$



Esempio

Sito con:

$a_{g,SLD}$ = 0.082 g $T_{R,SLD}$ = 50 anni

$a_{g,SLV}$ = 0.250 g $T_{R,SLD}$ = 475 anni

se la capacità è:

$a_{g,SLD}$ = 0.075 g $T_{R,SLD}$ = 40.2 anni

$a_{g,SLV}$ = 0.210 g $T_{R,SLD}$ = 310.5 anni

In questo esempio PAM = 1.356%

File Excel "Classe rischio"

Classe di rischio PAM

- È funzione della PAM

PAM	Classe PAM
PAM ≤ 0.5%	A^{+}_{PAM}
0.5% < PAM ≤ 1.0%	A_{PAM}
1.0% < PAM ≤ 1.5%	B_{PAM}
1.5% < PAM ≤ 2.5%	C_{PAM}
2.5% < PAM ≤ 3.5%	D_{PAM}
3.5% < PAM ≤ 4.5%	E_{PAM}
4.5% < PAM ≤ 7.5%	F_{PAM}
7.5 < PAM	G_{PAM}

Classe di rischio

- Esempio

Sito con:		Capacità:	
$a_{g,SLD}$ = 0.082 g	$T_{R,SLD}$ = 50 anni	$a_{g,SLD}$ = 0.075 g	$T_{R,SLD}$ = 40.2 anni
$a_{g,SLV}$ = 0.250 g	$T_{R,SLD}$ = 475 anni	$a_{g,SLV}$ = 0.210 g	$T_{R,SLD}$ = 310.5 anni

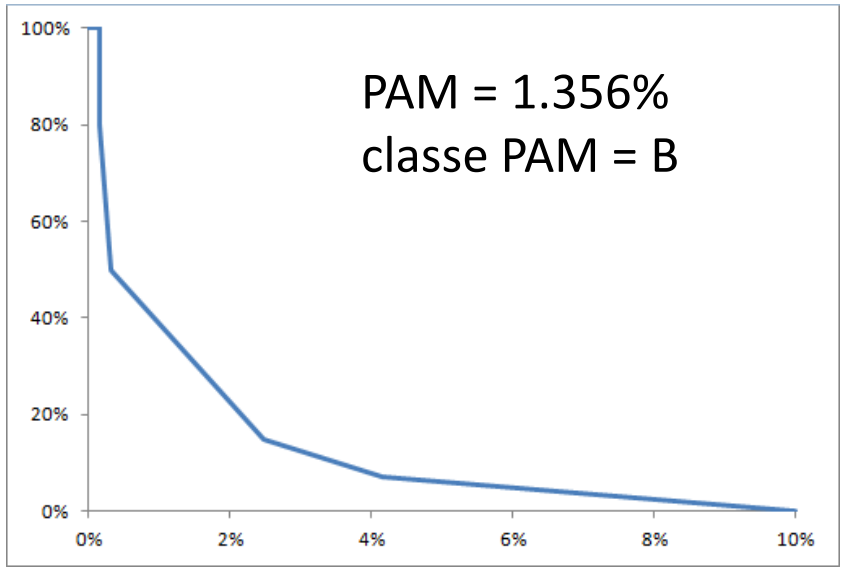
- Si ha PAM = 1.356%
  classe PAM = B
- Ma anche IS-V = 0.210/0.250 = 84.0%
  classe di rischio IS-V = A

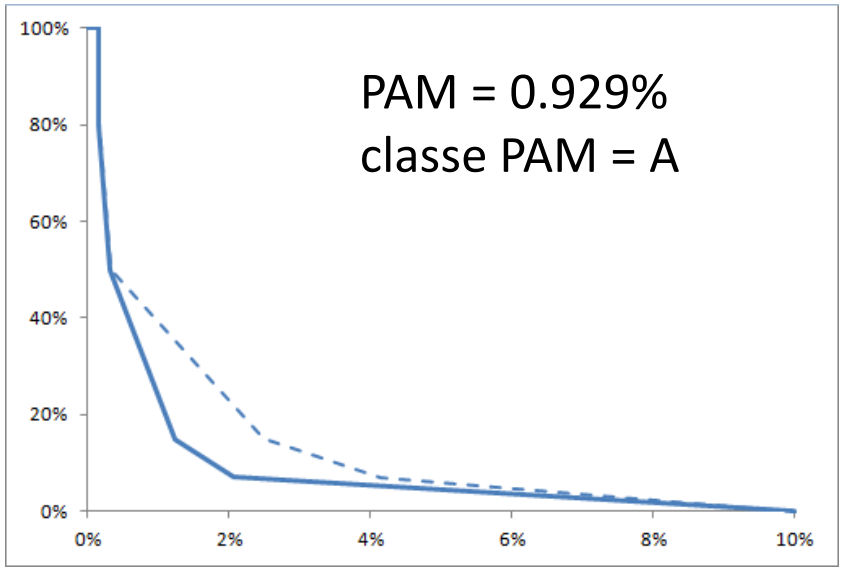
- La classe di rischio della struttura è la peggiore tra le due

  Nell'esempio, l'edificio ha classe di rischio B

Classe di rischio

- Considerazioni:
  lo stato di limite di danno influenza notevolmente l'indice PAM
  - Nell'esempio di prima, se per SLD si avesse PGA=0.100 g mantenendo inalterata la resistenza per SLV si passerebbe da classe B a classe A





Classe di rischio

considerazioni

- Sia per la valutazione dell'indice di sicurezza (IS-V) che quella della classe PAM è necessario valutare l'accelerazione che porta al raggiungimento degli stati limite indicati dalla normativa, in particolare SLV e SLD (se possibile anche SLC e SLO)
- La valutazione di questi valori di accelerazione è oggetto specifico di questo corso

Valutazione della vulnerabilità di un edificio esistente

Valutazione della vulnerabilità

di un edificio

Obiettivi:

- Comprendere in che modo si comporta l'edificio durante il sisma, in modo da individuarne qualitativamente e quantitativamente le debolezze
- Fornire una stima quantitativa dell'accelerazione a_g (PGA) che porta al raggiungimento dello stato limite di danno SLD
- Fornire una stima quantitativa dell'accelerazione a_g (PGA) che porta al raggiungimento dello stato limite di salvaguardia della vita SLV (oppure di collasso SLC)

- Per farlo occorre affrontare diversi problemi:
  - Conoscenza della struttura
  - Modellazione della struttura
  - Tipo di analisi da effettuare

Valutazione della vulnerabilità
di un edificio

Conoscenza

- Abbiamo di fronte un edificio reale e dobbiamo cercare di capire al meglio:
  - La sua geometria
  - Gli elementi strutturali
  - Le caratteristiche meccaniche dei materiali che lo compongono
  - La possibile influenza degli elementi non strutturali

- Una conoscenza perfetta è praticamente impossibile
  - Una analisi preliminare, anche di massima, può fornire indicazioni su aspetti della conoscenza da approfondire ed aiutare nella definizione di un piano di indagine
  - Dobbiamo decidere come tener conto delle incertezze e della dispersione dei valori che siamo riusciti a misurare

Valutazione della vulnerabilità
di un edificio

Modellazione

- Quello che noi esaminiamo numericamente è sempre un modello della realtà
  - Nessun modello può cogliere esattamente la realtà
  - Modelli più sofisticati possono aiutare a comprendere il reale comportamento, ma sono più sensibili alle incertezze di conoscenza e ai possibili errori nella definizione del modello

- Nel modello potremmo tener conto delle incertezze nei valori (incertezze aleatorie) mediante analisi probabilistiche - ma è oneroso farlo
- Esistono incertezze non valutabili in maniera probabilistica (incertezze epistemiche)

Valutazione della vulnerabilità
di un edificio

Tipi di analisi

- Il reale comportamento sismico è dinamico non lineare
  - Analizzarlo in questo modo è troppo oneroso ed inserisce ulteriori incertezze
- Noi cerchiamo di coglierlo con analisi più semplici
  - Analisi lineare (analisi modale con spettro di risposta)
  - Analisi statica non lineare

- Ciascun tipo di analisi è condizionato dalle incertezze dei dati
  - Usare più tipi di analisi, partendo dalla più semplice e passando poi alla più complessa può consentire di tenere sotto controllo gli effetti delle incertezze

Procedimento da seguire

1. Indagini e prima valutazione della costruzione
   - Reperimento della documentazione, sopralluoghi, rilievo, analisi qualitativa, analisi numeriche semplificate, indagini
2. Analisi lineare (modale con spettro di risposta):
   - Fornisce caratteristiche di sollecitazione e spostamenti (che sono proporzionali ad a_g)
3. Analisi non lineare
   - Giudizio in termini di sollecitazioni e spostamenti
4. Influenza delle incertezze
   - Dare un giusto peso alle incertezze per arrivare ad un valore numerico affidabile

Procedimento da seguire

1 – Indagini e prima valutazione della costruzione

- Reperimento della documentazione disponibile
  - Progetto originario
  - Documentazione di prove
  - Informazioni generali su costruzione ed eventi nel tempo
- Sopralluoghi iniziali
  - Insieme all'esame del progetto, sono utili per farsi una prima idea
- Rilievo geometrico sufficientemente dettagliato
  - Se si è in possesso del progetto originario, basta un controllo a campione
  - In assenza di progetto occorre un rilevo completo

Nota: l'ordine delle operazioni può variare a seconda delle situazioni

Procedimento da seguire

1 – Indagini e prima valutazione della costruzione

- Se non si ha un progetto strutturale completo: progetto simulato
  - È importante avere sempre un progetto di riferimento, reale o simulato

- Indagini, per ottenere informazioni su:
  - Caratteristiche meccaniche dei materiali
  - Particolari costruttivi

  Queste informazioni sono essenziali per un'analisi numerica dettagliata

Nota: l'ordine può variare a seconda delle situazioni

Procedimento da seguire

1 – Indagini e prima valutazione della costruzione

- Prima valutazione di massima del comportamento strutturale, sia con esame visivo della costruzione e del progetto che con modelli numerici semplificati o analisi lineare completa

  Dal sopralluogo visivo e da queste analisi preliminari si possono avere:

  - Indicazioni sul possibile comportamento sismico della struttura

  ma anche:

  - Indicazioni su quali siano gli elementi su cui approfondire l'indagine

Nota: l'ordine può variare a seconda delle situazioni

Procedimento da seguire

1 – Indagini e prima valutazione della costruzione

Prima valutazione di massima del comportamento strutturale

- Un esame visivo della costruzione e del progetto (se disponibile) consente di individuarne i principali punti di debolezza. Ad esempio:
  - Presenza di una direzione particolarmente debole, perché sostanzialmente priva di travi emergenti
  - Presenza di pilastri molto deboli rispetto alle travi, che potrebbero portare a meccanismi di collasso di piano
  - Forti dissimmetrie che potrebbero portare a comportamenti rotazionali pericolosi
  - Elementi che possono portare a sollecitazioni localizzate molto forti (scale, ecc.)

Procedimento da seguire

1 – Indagini e prima valutazione della costruzione

Prima valutazione di massima del comportamento strutturale

- Un valutazione numerica semplificata
  - Consente di cogliere l'ordine di grandezza delle sollecitazioni ed individuare quali possono essere i problemi principali
  - È utile come validazione dei calcoli successivi (o almeno dei calcoli lineari), anche ai sensi del capitolo 10 delle NTC08
  - Insieme all'esame visivo, può fornire indicazioni anche per quanto riguarda le indagini da effettuare in sito e sui materiali

  Questa valutazione può essere effettuata con procedimenti semplificati, anche se spesso questo è meno facile rispetto al caso di progettazione ex-novo, oppure con normali analisi lineari

Procedimento da seguire

1 – Indagini e prima valutazione della costruzione

Prima valutazione di massima del comportamento strutturale

- Esame visivo della costruzione e del progetto (se disponibile)
- Valutazione numerica semplificata

⇩

È sempre un punto di partenza fondamentale
per lo sviluppo successivo delle analisi

Procedimento da seguire

2 – analisi lineare

Vantaggi:

- È il tipo di analisi cui siamo abituati, quindi la gestiamo bene
- L'analisi (intesa come risoluzione dello schema) richiede solo la definizione di geometria e carichi; la conoscenza di armature e caratteristiche dei materiali serve nella fase finale di verifica
  - Le incertezze su una sezione non si ripercuotono sulle altre
- La linearità consente proporzioni
  - Si può dire con facilità quale aliquota dei carichi la struttura può portare

Procedimento da seguire

2 – analisi lineare

Vantaggi:

- Dovrebbe andare bene per la verifica allo SLU per soli carichi verticali

  È possibile che alcune sezioni non siano verificate

  - Questo può essere un fatto fisiologico (esempio: pilastro all'ultimo ordine) ed è bene saperlo per non preoccuparsene quando si considera il sisma
  - Può essere un fatto patologico (esempio: trave armata in maniera insufficiente per carichi verticali) ed è bene saperlo per programmare interventi indipendentemente dl sisma

Procedimento da seguire

2 – analisi lineare

Vantaggi:

- Dovrebbe andare bene per la verifica sismica allo SLD
  - Il giudizio standard è in termini di spostamenti relativi di interpiano; modesti superamenti del limite elastico influiscono poco sugli spostamenti
  - Si può effettuare un'analisi lineare con fattore di comportamento fino a 1.5 se si vuole controllare che il danno strutturale allo SLD sia accettabile

Problema:

- Possono esserci casi in cui la struttura sta già molto male dal punto di vista sismico anche per accelerazioni modeste come quelle di SLD

Procedimento da seguire

2 – analisi lineare

Problema:

- Per lo SLV la struttura va sicuramente oltre il limite elastico. Come possiamo usarla?

Eurocodice 8-3
Prospetto 4.3

		Modello Lineare (LM)		Modello non lineare		Approccio con il fattore q	
		Domanda	Capacità	Domanda	Capacità	Domanda	Capacità
Tipo di elemento o meccanismo 8e/m)	Duttile	Accettabilità del modello lineare (per la verifica dei valori $\rho_i = D_i/C_i$):		Dall'analisi. Si usano i valori medi delle proprietà nel modello.	In termini di deformazione. Si usano i valori medi delle proprietà divisi per CF.	Dall'analisi.	In termini di resistenza. Si usano i valori medi delle proprietà divisi per CF e per il coefficiente parziale.
		Dall'analisi. Si usano i valori medi delle proprietà nel modello.	In termini di resistenza. Si usano i valori medi delle proprietà.				
		Ispezioni (se LM è accettato):					
		Dall'analisi.	In termini di deformazione. Si usano i valori medi delle proprietà divisi per CF.				
	Fragile	Verifiche (se LM è accettato):			In termini di resistenza. Si usano i valori medi delle proprietà divisi per CF e per il coefficiente parziale.	In conformità alla sezione pertinente della EN 1998-1:2004.	
		Se $\rho_i \leq 1$: dall'analisi.					
		Se $\rho_i > 1$: dall'equilibrio con la resistenza di e/m duttili. Si usano i valori medi delle proprietà moltiplicati per CF.	In termini di resistenza. Si usano i valori medi delle proprietà divisi per CF e per il coefficiente parziale.				

Analisi lineare con fattore q

Procedimento da seguire

2 – analisi lineare

Problema :

- Per lo SLV la struttura va sicuramente oltre il limite elastico. Come possiamo usarla?

Analisi lineare con fattore di comportamento q

- È l'analisi standard per il progetto di nuove costruzioni
  - Richiede verifica di resistenza delle sezioni

  Problema:
  - Quale fattore di comportamento usare se non sono rispettate le prescrizioni che garantiscono un comportamento duttile?

  La normativa suggerisce valori di q compresi tra 1.5 e 3, maggiori solo se ben motivati
  - Dobbiamo definire criteri chiari per scegliere il valore di q

Procedimento da seguire

2 – analisi lineare

Problema :

- Per lo SLV la struttura va sicuramente oltre il limite elastico. Come possiamo usarla?

Eurocodice 8-3
Prospetto 4.3

		Modello Lineare (LM)		Modello non lineare		Approccio con il fattore q	
		Domanda	Capacità	Domanda	Capacità	Domanda	Capacità
Tipo di elemento o meccanismo 8e/m)	Duttile	Accettabilità del modello lineare (per la verifica dei valori $\rho_i = D_i/C_i$):		Dall'analisi. Si usano i valori medi delle proprietà nel modello.	In termini di deformazione. Si usano i valori medi delle proprietà divisi per CF.	Dall'analisi.	In termini di resistenza. Si usano i valori medi delle proprietà divisi per CF e per il coefficiente parziale.
		Dall'analisi. Si usano i valori medi delle proprietà nel modello	In termini di deformazione. Si usano i valori medi delle proprietà divisi per CF.				
		Ispezioni (se LM è a					
		Dall'analisi.					
	Fragile	Verifiche (se LM è accettato):			In termini di resistenza. Si usano i valori medi delle proprietà divisi per CF e per il coefficiente parziale.	In conformità alla sezione pertinente della EN 1998-1:2004.	
		Se $\rho_i \leq 1$: dall'analisi.					
		Se $\rho_i > 1$: dall'equilibrio con la resistenza di e/m duttili. Si usano i valori medi delle proprietà moltiplicati per CF.	In termini di resistenza. Si usano i valori medi delle proprietà divisi per CF e per il coefficiente parziale.				

Analisi lineare con calcolo di $\rho = D / C$

Procedimento da seguire

2 – analisi lineare

Problema :

- Per lo SLV la struttura va sicuramente oltre il limite elastico. Come possiamo usarla?

Analisi lineare con q=1 e calcolo di ρ

- Richiede di calcolare il rapporto ρ tra domanda (da effetto sisma con q=1) e capacità della struttura
  - In termini di resistenza per gli elementi duttili, per valutare l'accettabilità del metodo
  - In termini di resistenza per gli elementi fragili e in termini di deformazione plastica per gli elementi duttili, per valutare cosa è capace di portare la struttura

Nota: la Circolare 2009 ne parlava più chiaramente;
con la Circolare 2019 non si capisce più niente

Procedimento da seguire

2 – analisi lineare

Problema :

- Per lo SLV la struttura va sicuramente oltre il limite elastico. Come possiamo usarla?

Analisi lineare con q=1 e calcolo di ρ

- Richiede di calcolare il rapporto ρ tra domanda (da effetto sisma con q=
  - In termini d valutare l'accettabil
  - In termini d termini di deformazio valutare cosa è capace di p

Questa analisi è in sostanza una semplificazione ed una prefigurazione dell'analisi non lineare

Nota: la Circolare 2009 ne parlava più chiaramente; con la Circolare 2019 non si capisce più niente

Procedimento da seguire

3 – analisi non lineare

3. Analisi pushover e individuazione di a_g corrispondente ai singoli punti della curva taglio-spostamento

   - Fornisce le caratteristiche di sollecitazione, le deformazioni elastiche e plastiche per un qualsiasi valore di a_g
   - Consente di individuare il valore di a_g per cui si hanno rotture fragili oppure il raggiungimento dei limiti di deformazioni plastiche (rotazione alla corda)
   - In sostanza, consente di comprendere il comportamento della struttura al crescere dell'azione sismica ed individuarne i punti deboli

Procedimento da seguire

3 – analisi non lineare

3. Analisi pushover e individuazione di a_g corrispondente ai singoli punti della curva taglio-spostamento

   - Fornisce
     elastich
   - Consen
     fragili o
     plastich
   - In sosta
     della st
     punti deboli

L'analisi non lineare è fondamentale per la diagnosi del comportamento e per l'individuazione dei punti deboli della struttura ma i suoi risultati sono fortemente condizionati dalla modellazione e dai parametri scelti

Procedimento da seguire

4 – influenza delle incertezze

4. Valutare come cambiano i risultati numerici al variare della modellazione e dei parametri scelti
   - Evidenziare nella relazione le scelte base della modellazione e dei parametri usati
   - Individuare modelli alternativi o valori alternativi plausibili e ripetere l'analisi
   - Dare un peso ai risultati di ciascuna analisi, basato sulla attendibilità di modello e parametri
   - Riportare anche sinteticamente nella relazione le alternative esaminate ed il peso loro dato
   - Assumere in definitiva come valore numerico una media pesata dei risultati delle varie analisi

Procedimento da seguire

4 – influenza delle incertezze

4. Valutare come cambiano i risultati numerici al variare della modellazione e dei parametri scelti

   - Evidenziare nella relazione le scelte base della modellazione e dei para
   - Individu
     ripetere
   - Dare un
     attendil
   - Riportare anche sinteticamente nella relazione le alternative esaminate ed il peso loro dato
   - Assumere in definitiva come valore numerico una media pesata dei risultati delle varie analisi

Tener conto delle incertezze è fondamentale per fornire una valutazione realistica del comportamento sismico dell'edificio