

Lezione

Progetto di Strutture

Fattore di struttura

(componenti sismiche nel piano orizzontale)

Fattore di struttura

Il fattore di struttura definisce lo spettro di progetto a partire dallo spettro di risposta elastica

(con l'eccezione del primo tratto ad andamento lineare, lo spettro di progetto è ottenuto da quello di risposta elastica mediante divisione per il fattore di struttura

1° tratto - andamento lineare

$$S_d = \frac{a_g S F_o}{q} \left[\frac{T}{T_B} + \frac{q}{F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

2° tratto - costante

$$S_d = \frac{a_g S F_o}{q}$$

3° tratto - decrescente (con $1/T$)

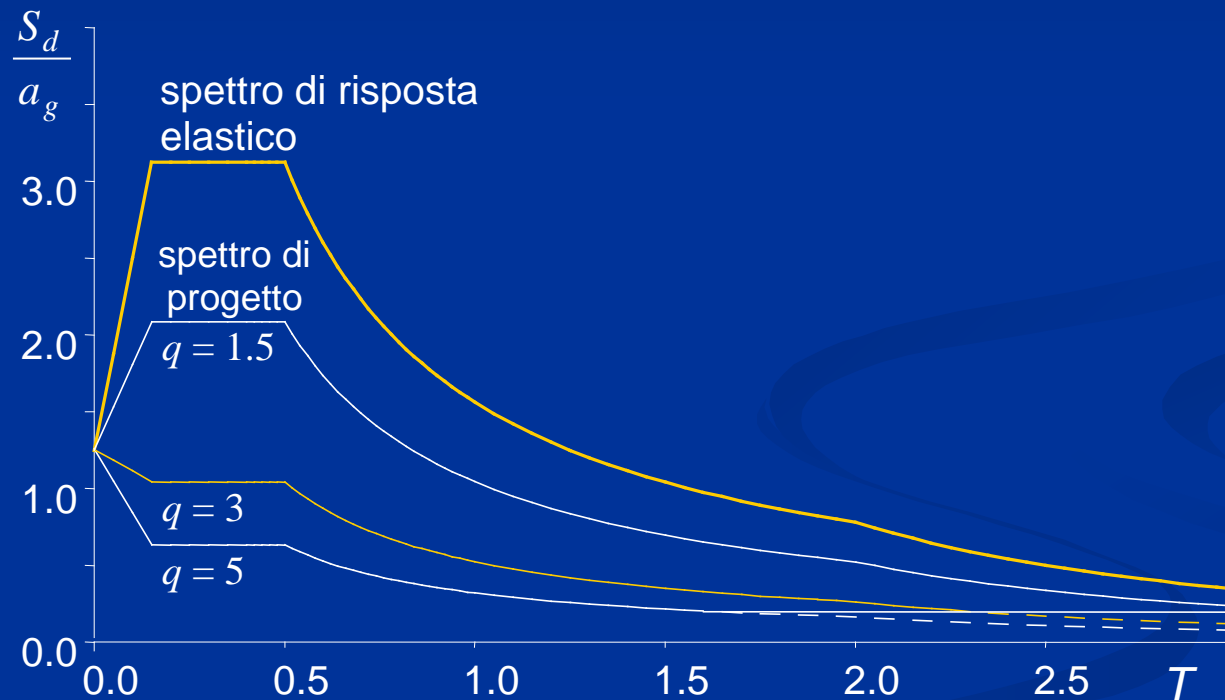
$$S_d = \frac{a_g S F_o}{q} \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

4° tratto - decrescente (con $1/T^2$)

$$S_d = \frac{a_g S F_o}{q} \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

$\geq 0.2 a_g$

Spettro di progetto



Fattore di struttura

Esso può essere calcolato tramite la seguente espressione:

$$q = q_0 K_R$$

dove:

q_0 è il valore massimo del fattore di struttura che dipende

- dal materiale della struttura → 1
- dalla tipologia della struttura → 2
- dal livello di duttilità globale della struttura → 3
- dalla sovraresistenza della struttura → 4
- della regolarità in pianta della struttura → 5

K_R dipende dalla regolarità in altezza della struttura → 6

Fattore di struttura

1

Influenza del materiale della struttura

Il fattore di struttura sarà diversificato in funzione del materiale della struttura e della tipologia strutturale perché :

- i materiali possiedono differenti capacità di sopportare deformazioni plastiche prima della rottura
(basti pensare all'acciaio ed al conglomerato cementizio armato)

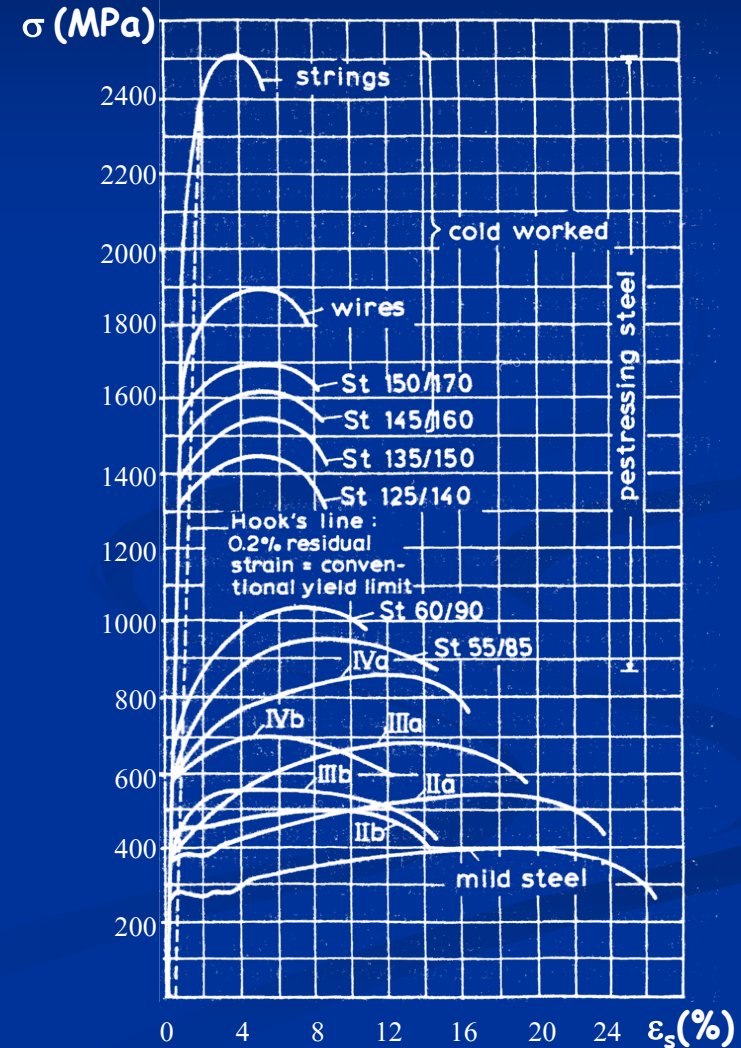
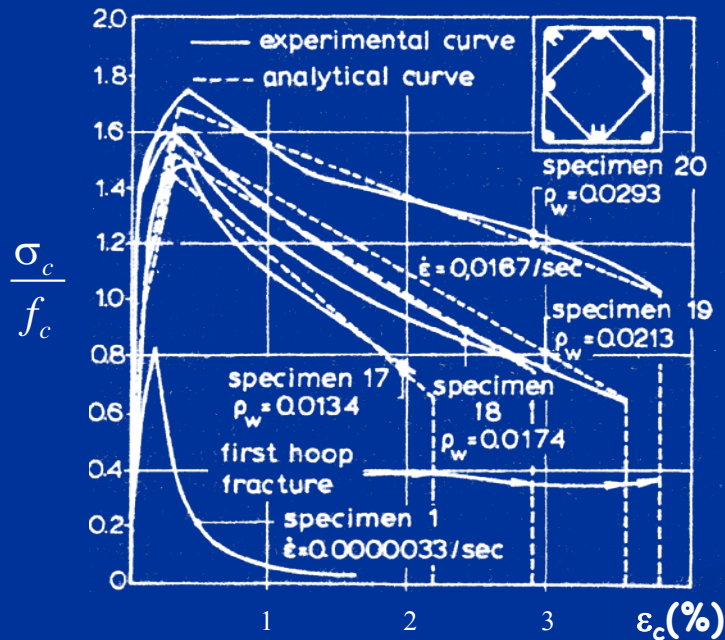
Fattore di struttura

Influenza del materiale

1

Acciaio da c.a.

Calcestruzzo



Fattore di struttura

2

Influenza della tipologia della struttura

Il fattore di struttura sarà diversificato in funzione del materiale della struttura e della tipologia strutturale perché :

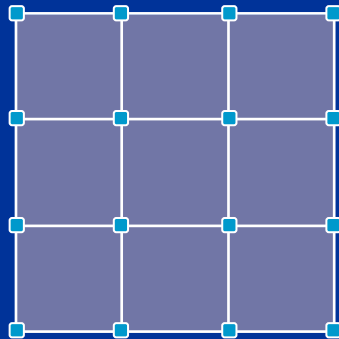
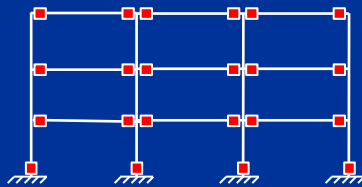
- le tipologie strutturali, per loro natura, hanno diverse possibilità di dissipare energia per isteresi prima di dar luogo a labilità (si pensi a strutture intelaiate e a strutture con pareti)

Fattore di struttura

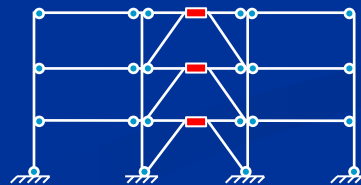
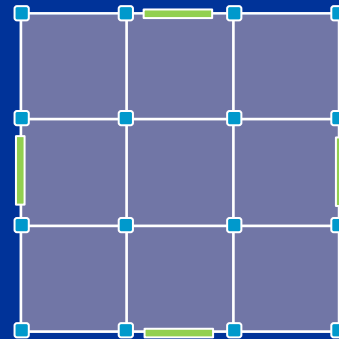
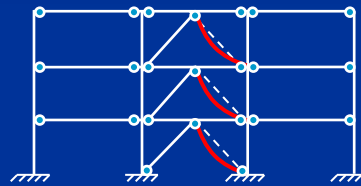
Influenza della tipologia della struttura

2

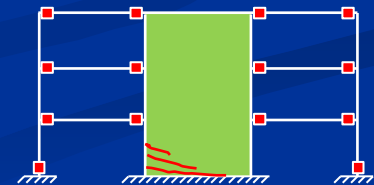
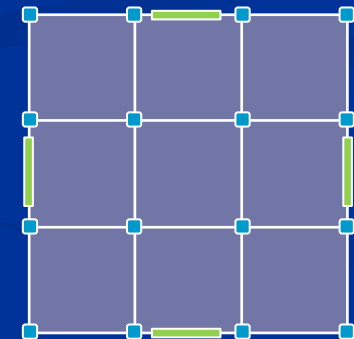
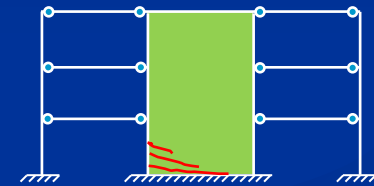
con telai
a nodi rigidi



con controventi
metallici



con pareti
in c.a.



Fattore di struttura

3

Influenza della duttilità globale della struttura

Il fattore di struttura sarà diversificato in funzione della duttilità globale attesa. A tale scopo si opererà :

- sulle procedure di progetto della strutture.
In tal modo si differenzia la probabilità di occorrenza di meccanismi di collasso globale
(si pensi all'applicazione del criterio di gerarchia delle resistenze)
- su limitazioni dimensionali e di armatura degli elementi.
In tal modo si differenzia il livello di duttilità locale
(si pensi alla quantità minima dell'armatura in compressione nelle sezioni in c.a., ai rapporti dimensionali relativi alle parti delle sezioni trasversali in acciaio)

Nota !

Saranno individuate due classi di duttilità globale : **ALTA** e **BASSA**

Sovreresistenza

4

Definizione

- **Sovreresistenza della sezione**
(ovvero rapporto tra resistenza effettiva e valore di progetto della generica caratteristica di sollecitazione)
- **Sovreresistenza del piano**
(ovvero rapporto tra taglio resistente effettivo di piano e valore di progetto del taglio sollecitante)
- **Sovreresistenza della struttura**
(ovvero rapporto tra taglio resistente effettivo alla base e valore di progetto del taglio sollecitante alla base)

Sovreresistenza

Cause

Alcune cause di sovreresistenza sono:

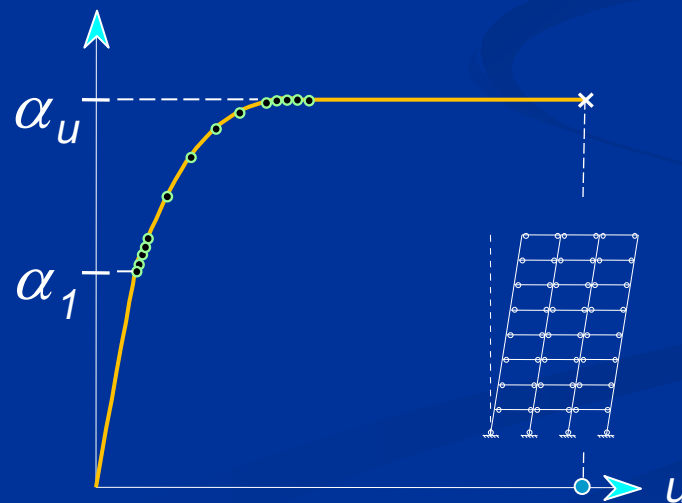
- Sezioni con caratteristiche resistenti superiori a quelle minime richieste
 - perché scelte in un insieme limitato (vedi sezioni in acciaio)
 - perché arrotondate nelle dimensioni (vedi sezioni del cls e dell'armatura del c.a.)
 - perché dotate di momenti resistenti indipendenti dal segno e dalla posizione nell'ambito della stessa trave (vedi sezioni in acciaio)
 - perché rispettose dei limiti dimensionali minimi imposti dalla normativa (vedi sezioni del c.a., dell'acciaio e dell'armatura di strutture in c.a.)
- Molteplici combinazioni di carico
- Molteplici obiettivi prestazionali

Fattore di struttura

Influenza della sovraresistenza della struttura

Il fattore di struttura sarà diversificato in funzione della sovraresistenza della struttura,

misurata come rapporto α_u/α_1 tra il valore dell'azione sismica per il quale si verifica la formazione di un numero di cerniere plastiche tali da rendere la struttura labile e quello per il quale il primo elemento strutturale raggiunge la plasticizzazione.



Fattore di struttura

Influenza della sovraresistenza della struttura

Per le strutture regolari in pianta la normativa suggerisce anche dei valori cautelativi della sovraresistenza della struttura, in funzione della tipologia costruttiva, del materiale di costruzione e di alcune caratteristiche geometriche della struttura.

Questi valori della sovraresistenza possono essere considerati nel progetto allorché non si vuole determinare lo stesso fattore tramite il metodo precedentemente descritto (che richiede un'analisi statica non lineare).

Fattore di struttura

Influenza della sovraresistenza della struttura

Una struttura progettata per forze corrispondenti ad α_d sviluppa, in virtù delle sovraresistenze,

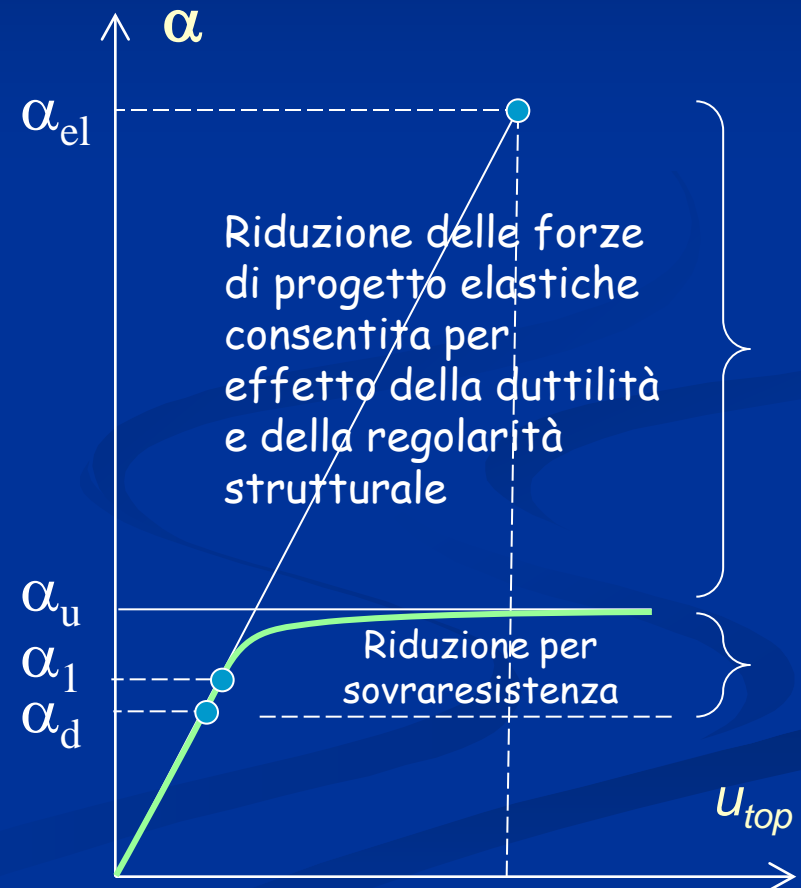
- una prima plasticizzazione in corr. di α_1
- una resistenza massima in corr. di α_u

Pertanto ...

per ottenere una struttura con un desiderato valore della resistenza massima

la stessa deve essere progettata con forze laterali definite da $\alpha_d < \alpha_u$

Attenzione! Nel valutare gli effetti della sovraresistenza la normativa confonde α_d con α_1



Fattore di struttura

Influenza della regolarità in pianta

5

Il fattore di struttura sarà diversificato in funzione della regolarità in pianta.

- **Per le costruzioni regolari in pianta,**
qualora non si proceda ad un'analisi non lineare finalizzata alla valutazione del rapporto α_u/α_1 , per esso possono essere adottati i valori indicati nei paragrafi successivi per le diverse tipologie costruttive.
- **Per le costruzioni non regolari in pianta,**
si possono adottare valori di α_u/α_1 pari alla media tra 1.0 ed i valori di volta in volta forniti per le diverse tipologie costruttive.

Regolarità in pianta

La regolarità in pianta
dipende dalla distribuzione in pianta di :

1. Rientri e sporgenze (geometria)
2. Resistenza e rigidità dell'impalcato

Regolarità in pianta

- la configurazione in pianta è compatta e approssimativamente simmetrica rispetto a due direzioni ortogonali, in relazione alla distribuzione di masse e rigidzze ;
- il rapporto tra i lati di un rettangolo in cui la costruzione risulta inscritta è inferiore a 4 ;
- nessuna dimensione di eventuali rientri o sporgenze supera il 25 % della dimensione totale della costruzione nella corrispondente direzione ;
- gli orizzontamenti possono essere considerati infinitamente rigidi nel loro piano rispetto agli elementi verticali e sufficientemente resistenti.

Fattore di struttura

Influenza della regolarità in altezza

6

Il fattore di struttura sarà diversificato in funzione della regolarità in altezza.

Nell' espressione:

$$q = q_0 K_R$$

K_R è un fattore riduttivo che dipende dalle caratteristiche di regolarità in altezza della costruzione, con valore pari a

- 1.0 per costruzioni regolari in altezza
- 0.8 per costruzioni non regolari in altezza.

Regolarità in elevazione

La regolarità in elevazione dipende dalla distribuzione in altezza di :

1. Rientri e sporgenze (geometria)
2. Massa
3. Rigidezza
4. Resistenza

Regolarità in elevazione

- tutti i sistemi resistenti verticali (quali telai e pareti) si estendono per tutta l'altezza della costruzione;

Regolarità in elevazione

Influenza della geometria

- eventuali restringimenti della sezione orizzontale della costruzione avvengono in modo graduale da un orizzontamento al successivo, rispettando i seguenti limiti:
 - ad ogni orizzontamento il rientro non supera
 - il 30% della dimensione corrispondente al primo orizzont.,
 - il 20% della dimensione corrispondente all' orizzontamento immediatamente sottostante.
 - fa eccezione l'ultimo orizzontamento di costruzioni di almeno quattro piani per il quale non sono previste limitazioni di restringimento.

Regolarità in elevazione

Influenza di massa e rigidezza

➤ massa e rigidezza rimangono costanti o variano gradualmente, senza bruschi cambiamenti, dalla base alla sommità della costruzione

- le variazioni di massa da un orizzontamento all'altro non superano il 25% ;
- la rigidezza non si riduce da un orizzontamento a quello sovrastante più del 30% e non aumenta più del 10% ;

ai fini della rigidezza si possono considerare regolari in altezza strutture dotate di pareti o nuclei in c.a. o pareti e nuclei in muratura di sezione costante sull'altezza o di telai controventati in acciaio, ai quali sia affidato almeno il 50% dell'azione sismica alla base;

Regolarità in elevazione

Influenza della resistenza

- nelle strutture intelaiate progettate in CD "B" il rapporto tra resistenza effettiva e resistenza richiesta dal calcolo non è significativamente diverso per orizzontamenti diversi
 - il rapporto fra la resistenza effettiva e quella richiesta, calcolata ad un generico orizzontamento, non deve differire più del 20% dall'analogo rapporto determinato per un altro orizzontamento;
 - può fare eccezione l'ultimo orizzontamento di strutture intelaiate di almeno tre orizzontamenti;

Fattore di struttura

(componente sismica verticale)

Fattore di struttura

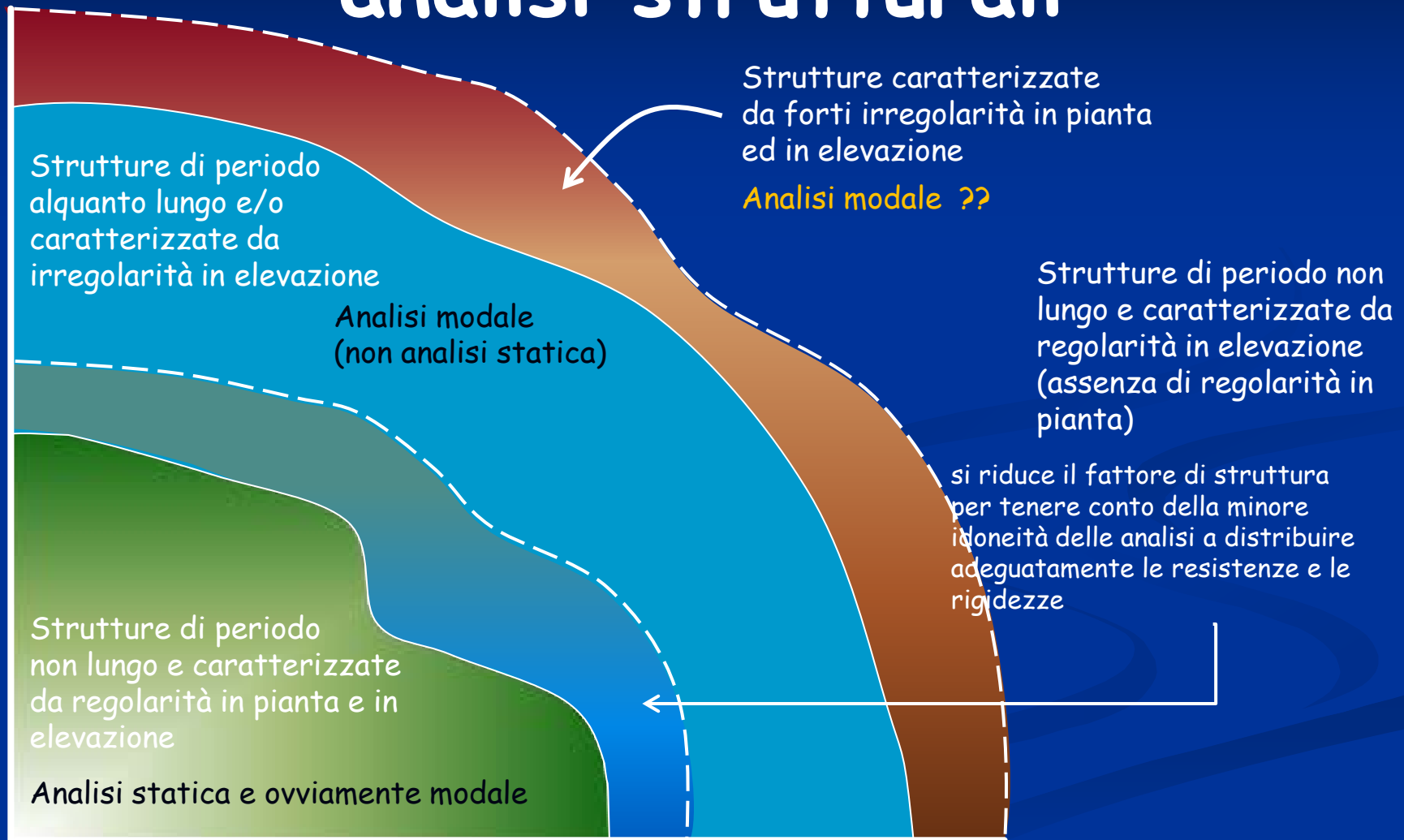
Per la componente verticale dell'azione sismica il valore di q utilizzato, a meno di adeguate analisi giustificative, è

$$q = 1,5$$

per qualunque tipologia strutturale e di materiale, tranne che per i ponti per i quali è $q = 1$.

Il valore basso del fattore di struttura associato alla componente verticale è giustificato dalla modesta quantità di energia dissipata durante le oscillazioni verticali delle strutture .

Campo di applicazione delle analisi strutturali



Criteri di verifica

Criteri di verifica SLU

- VERIFICHE DI RESISTENZA
- VERIFICHE DI DUTTILITÀ

Criteri di verifica SLU

Verifiche di resistenza

Per tutti gli elementi strutturali, inclusi nodi e connessioni tra elementi, deve essere verificato che il valore di progetto di ciascuna sollecitazione (E_d) sia inferiore al corrispondente valore della resistenza di progetto (R_d)

$$E_d \leq R_d$$

Nota !

In particolare, gli orizzontamenti devono essere in grado di trasmettere le forze ottenute dall'analisi aumentate del 30 %.

Criteri di verifica SLU

Verifiche di duttilità

Deve essere verificato che i singoli elementi strutturali e la struttura nel suo insieme possiedano una duttilità coerente con il fattore di struttura q adottato, ovvero :

$$\mu_R \leq \mu_D$$

Nota !

Questa condizione si può ritenere soddisfatta applicando le regole di progetto indicate per le diverse tipologie costruttive

Alternativamente, e coerentemente con modello e metodo di analisi utilizzato, si deve verificare che la struttura possieda una capacità di spostamento superiore alla domanda.

Criteri di verifica SLU

Verifiche di elementi non strutturali e impianti

Per gli elementi costruttivi senza funzione strutturale debbono essere adottati magisteri atti ad evitare collassi fragili e prematuri e la possibile espulsione sotto l'azione della forza sollecitante (F_a) corrispondente allo *SLV*.

Per ciascuno degli impianti principali, gli elementi strutturali che sostengono e collegano i diversi elementi funzionali costituenti l'impianto tra loro ed alla struttura principale devono avere resistenza sufficiente a sostenere l'azione della forza sollecitante (F_a) corrispondente allo *SLV*.

Criteri di verifica SLE

- VERIFICHE DI RESISTENZA
- VERIFICHE DI DEFORMAZIONE
- VERIFICHE DI FUNZIONALITA'

Criteri di verifica SLE

Verifiche di resistenza

Per costruzioni di Classe III e IV,

se si vogliono limitare i danneggiamenti strutturali, per tutti gli elementi strutturali, inclusi nodi e connessioni tra elementi,

deve essere verificato che il valore di progetto di ciascuna sollecitazione (E_d) calcolato in presenza delle azioni sismiche corrispondenti allo SLD ed attribuendo ad η il valore di $2/3$, sia inferiore al corrispondente valore della resistenza di progetto (R_d) calcolato con riferimento alle situazioni eccezionali (ad es. nel conglomerato cementizio armato $\gamma_c=1.0$ e $\gamma_s=1.0$).

Criteri di verifica SLE

Verifiche di deformazione

Per le costruzioni ricadenti in classe d'uso I e II

si deve verificare che l'azione sismica di progetto non produca agli elementi costruttivi senza funzione strutturale danni tali da rendere la costruzione temporaneamente inagibile.

Nota !

Nel caso delle costruzioni civili e industriali, qualora la temporanea inagibilità sia dovuta a spostamenti eccessivi di interpiano, questa condizione si può ritenere soddisfatta quando gli spostamenti di interpiano ottenuti dall'analisi in presenza dell'azione sismica di progetto relativa allo SLD siano inferiori ai limiti indicati nel seguito.

Criteri di verifica SLE

Verifiche di deformazione

SITUAZIONE PROGETTUALE		VERIFICA
1	tamponamenti collegati rigidamente alla struttura che interferiscono con la deformabilità della stessa	$d_r < 0,005 h$
2	tamponamenti progettati in modo da non subire danni a seguito di spostamenti di interpiano d_{rp} , per effetto della loro deformabilità intrinseca ovvero dei collegamenti alla struttura	$d_r \leq d_{rp} \leq 0,01 h$
3	costruzioni con struttura portante in muratura ordinaria	$d_r < 0,003 h$
4	costruzioni con struttura portante in muratura armata	$d_r < 0,004 h$

Criteri di verifica SLE

Verifiche di deformazione

In caso di coesistenza di diversi tipi di tamponamenti o struttura portante nel medesimo piano della costruzione, deve essere assunto il limite di spostamento più restrittivo.

Qualora gli spostamenti di interpiano siano superiori a $0,005 h$ (caso 2) le verifiche della capacità di spostamento degli elementi non strutturali vanno estese a tutti i tamponamenti, alle tramezzature interne ed agli impianti.

Criteri di verifica SLE

Verifiche di deformazione

Per le costruzioni ricadenti in classe d'uso III e IV

si deve verificare che l'azione sismica di progetto non produca danni agli elementi costruttivi senza funzione strutturale tali da rendere temporaneamente non operativa la costruzione.

Nel caso delle costruzioni civili e industriali questa condizione si può ritenere soddisfatta quando gli spostamenti interpiano ottenuti dall'analisi in presenza dell'azione sismica di progetto relativa allo SLO siano inferiori ai $2/3$ dei limiti in precedenza indicati.



Attenzione !

Stato limite di
operatività

Criteri di verifica SLE

Verifiche di funzionalità

Per le costruzioni ricadenti in classe d'uso III e IV

si deve verificare che gli spostamenti strutturali o le accelerazioni (a seconda che gli impianti siano più vulnerabili per effetto dei primi o delle seconde) prodotti dalle azioni relative allo SLO non siano tali da produrre interruzioni d'uso degli impianti stessi.

Attenzione !

Stato limite di
operatività



FINE