

Ordine degli Architetti Paesaggisti e Conservatori della Provincia di Bergamo

Rischio Sismico e Sicurezza delle Costruzioni in Lombardia

Auditorium Modernissimo, Nembro (BG) - 24 novembre 2016

Rischio Sismico e Principi di Progettazione Sismica

Paolo Riva
paolo.riva@unibg.it



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BERGAMO

Pericolosità



Vulnerabilità



Esposizione

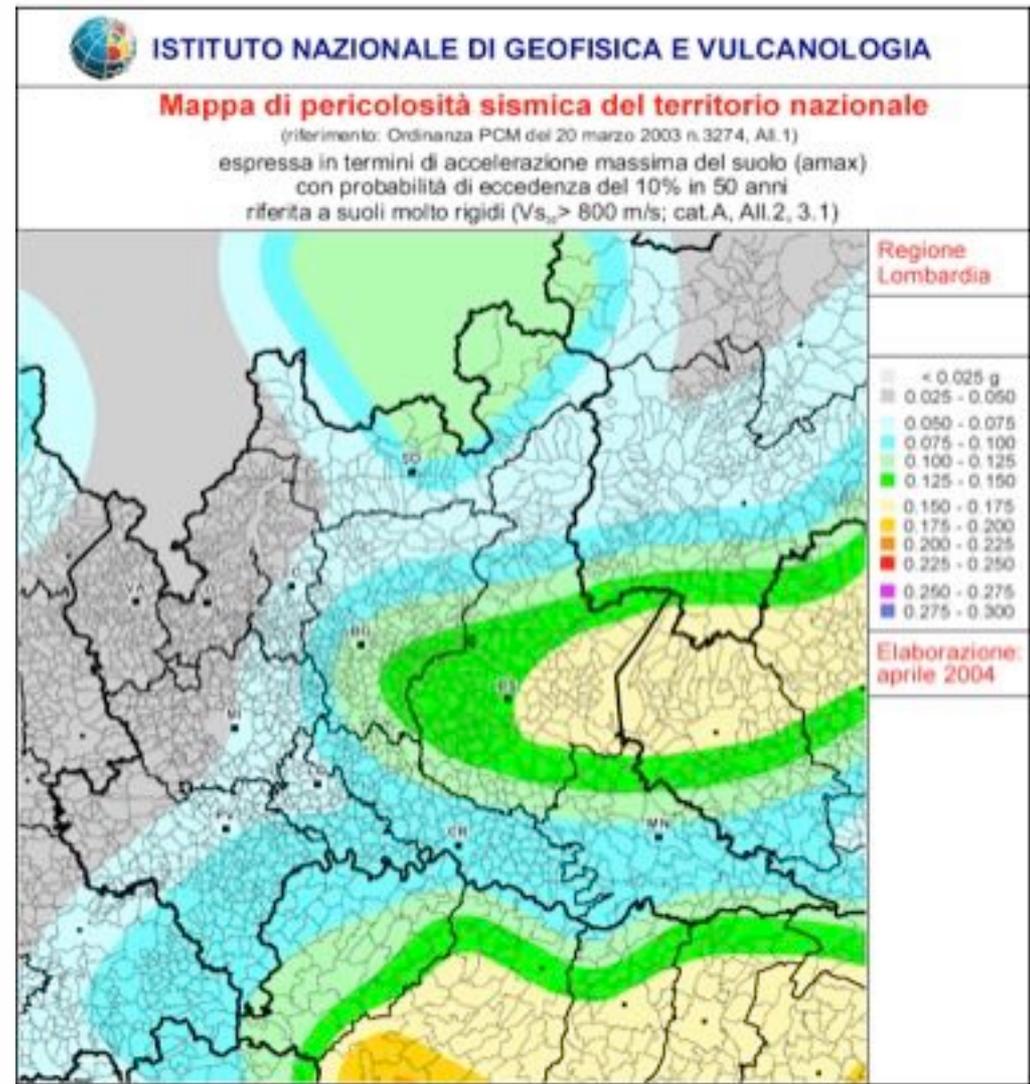
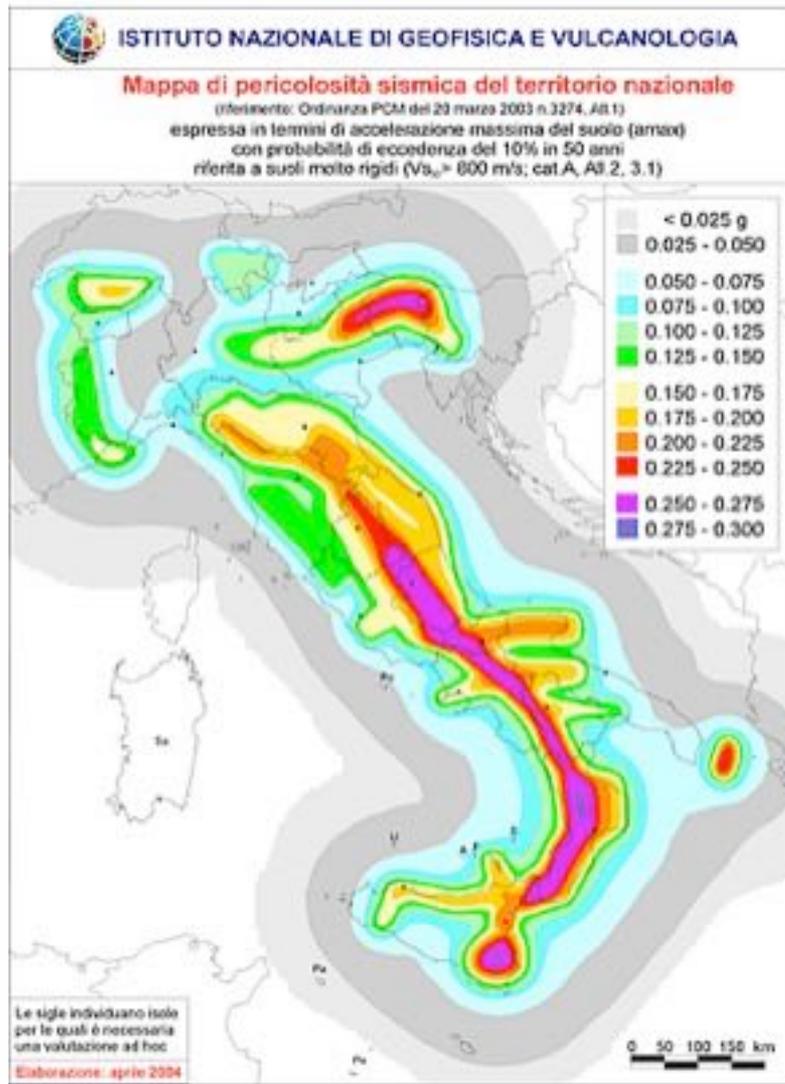


Rischio sismico

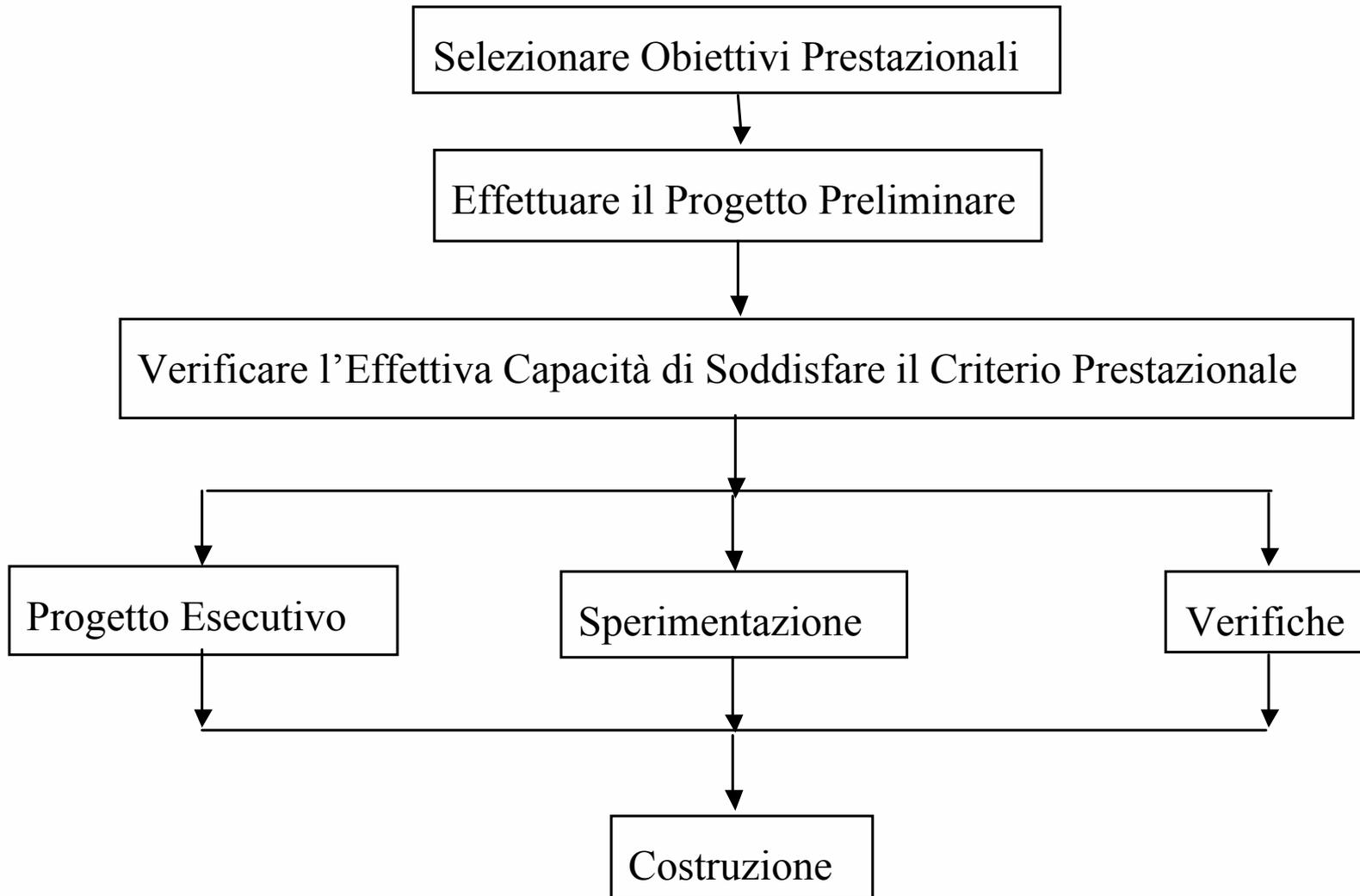
Misura (probabilistica) degli effetti (perdite umane, feriti, danni alle proprietà e perturbazioni alle attività economiche) che i terremoti in una data zona determinano sugli elementi esposti

Fonte: Prof. Mauro Dolce – Protezione Civile

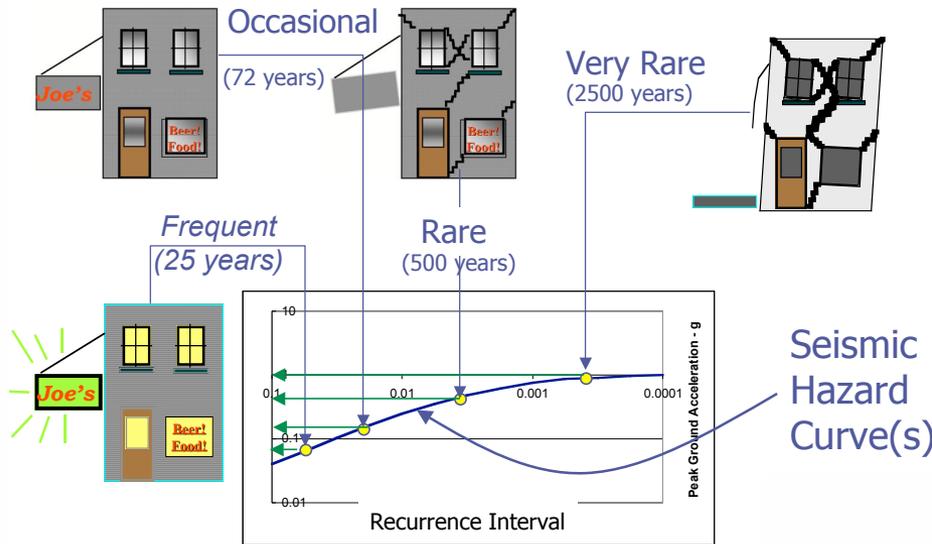
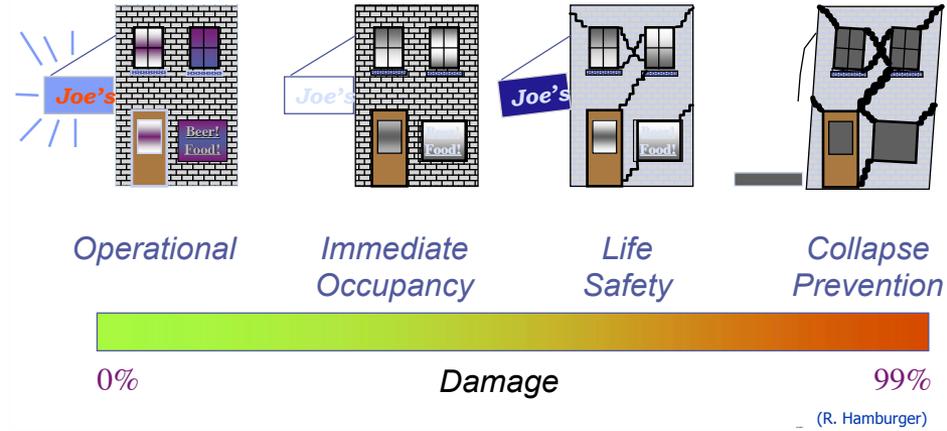
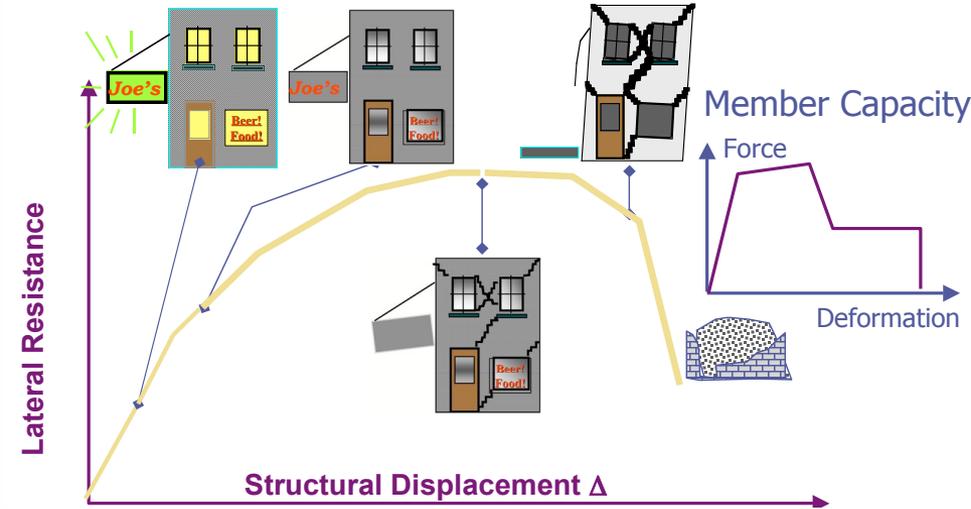
Mappa della Pericolosità Sismica Italiana e Lombarda



Progettazione Sismica e Criteri Prestazionali



Progettazione Sismica e Criteri Prestazionali



Earthquake Probability	Performance Objective			
	Fully Operational	Operational	Life Safe	Near Collapse
Frequent	●	■	■	■
Occasional	■	●	■	■
Rare	★	■	●	■
Very Rare	★	★	■	●

Diagonal labels across the table:

- Essential/Hazardous Facilities:** spans from Fully Operational to Life Safe.
- Basic Facilities:** spans from Operational to Life Safe.
- Safety Critical Facilities:** spans from Fully Operational to Life Safe.

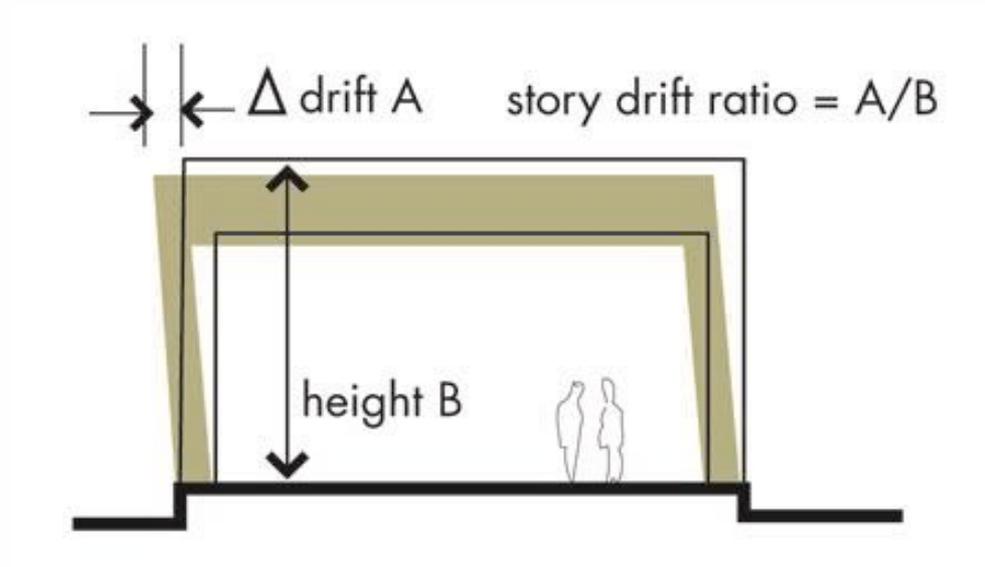
 The 'Near Collapse' column is shaded and labeled 'Unacceptable Performance'.

adapted from Vision 2000, SEAOC

PERFORMANCE BASED DESIGN

Stato Limite	Obiettivi		Criterio Prestazionale	Probabilità Evento Sismico
	Funzionale	Danneggiamento		
Servizio	Occupazione continua delle strutture senza significative interruzioni di servizio	Nessun danno significativo alle strutture, agli elementi non-strutturali, o al contenuto dell'edificio	Forze inferiori al valore di snervamento (comp.elastico). Spostamenti e sbandamento inferiori alla soglia di danno. Accelerazioni limitate per minimizzare il rischio di crolli.	$x_1\%$ in y_1 anni (50% in 30 anni) Frequente (43 anni)
Danno	Possibilità di continuare ad usufruire delle strutture, dopo qualche interruzione di servizio.	Danno limitato agli elementi non-strutturali ed al contenuto dell'edificio, ma nessun danno significativo alle strutture. Struttura riparabile.	Forze appena superiori al limite elastico. Spostamenti e sbandamenti leggermente superiori alla soglia di danno. Accelerazioni limitate per minimizzare il rischio di crolli.	$x_2\%$ in y_2 anni (50% in 50 anni) Raro (73 anni)
Ultimo	Occupanti non corrono rischi vitali. Mantenere la potenziale operatività degli utenti o del proprietario.	Sopravvivenza degli occupanti. Nessun collasso o significativi rischi di crolli. Limitare il danno strutturale alla soglia che ne consenta una riparazione economicamente conveniente.	Meccanismo di deformazione plastico, con rotazioni plastiche inferiori alla soglia di capacità ultima. Limitare sbandamento e spostamenti per evitare instabilità. Limitare le accelerazioni per evitare crolli o aggiungere elementi che consentano di prevenire il distacco e la caduta di parti. Limitare rotazioni e spostamenti a valori che consentano la riparazione. Localizzare il danno a zone facilmente riparabili.	$x_3\%$ in y_3 anni (10% in 50 anni) Raro (475 anni)
Pre Collasso	Occupanti non corrono rischi vitali, ma l'edificio difficilmente può essere riparato	Danno severo, ma collasso strutturale impedito. Elementi non strutturali possono collassare, Riparazione generalmente non possibile.	Meccanismo di deformazione plastico, con rotazioni plastiche appena inferiori alla soglia di capacità ultima. Limitare sbandamento e spostamenti per evitare instabilità. Ci possono essere crolli parziali.	$x_4\%$ in y_4 anni (10% in 100 anni) Molto Raro (970 anni)

PERFORMANCE BASED DESIGN

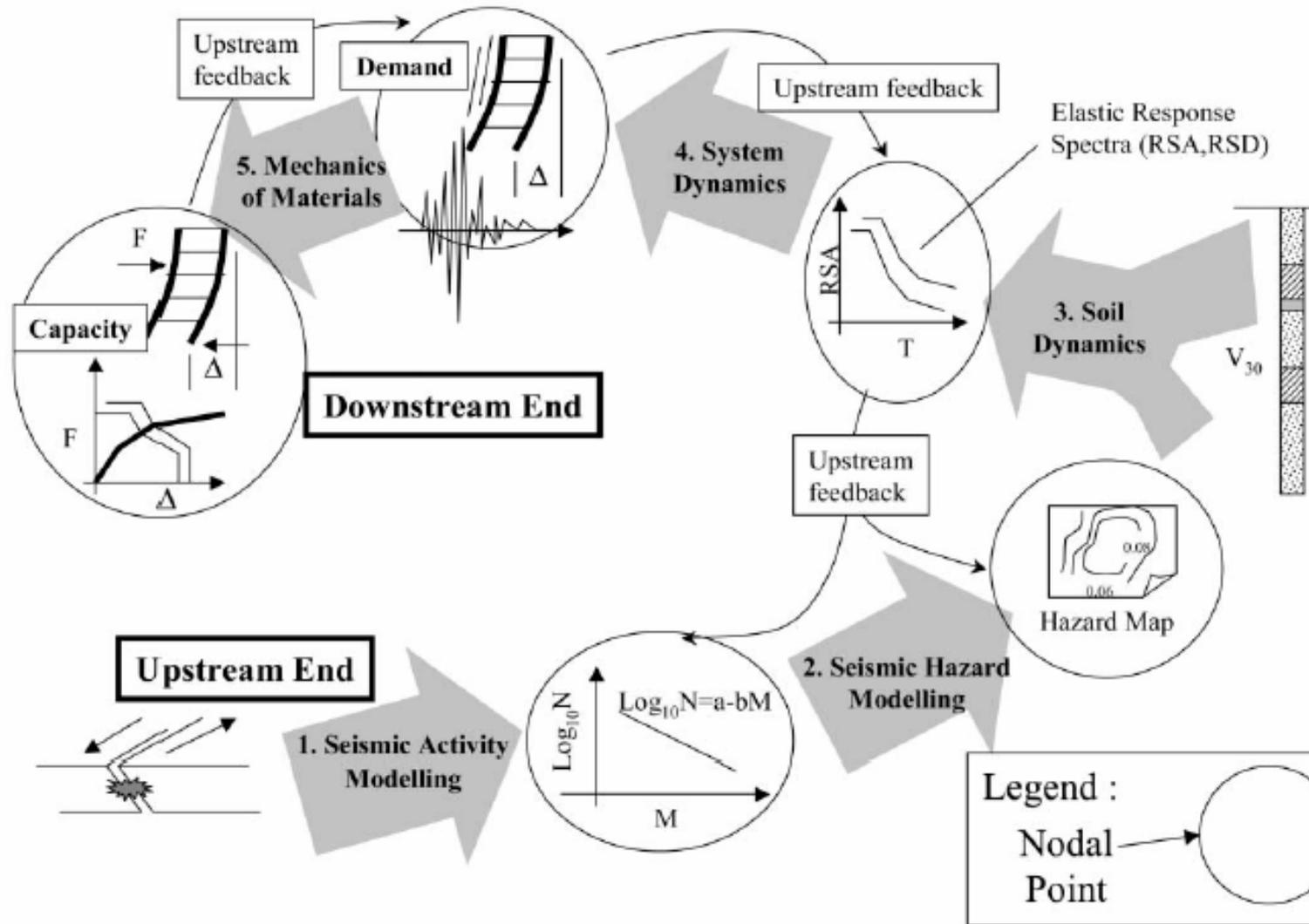


Tipici Livelli di sbandamento Laterale (Drift) Ammissibili (FEMA)

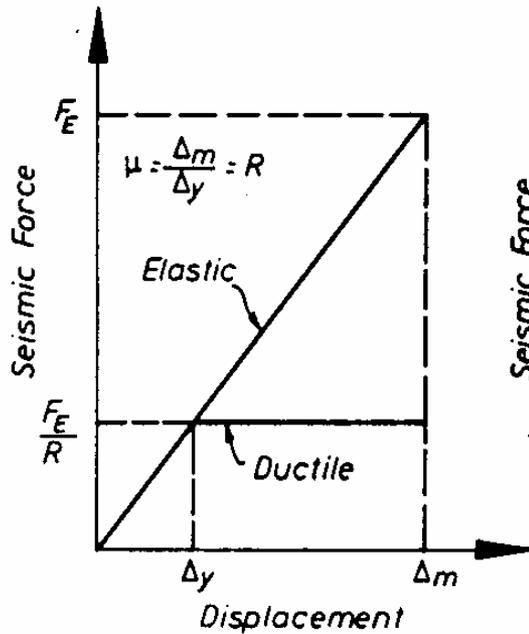
Stato Limite	Massimo Valore Ammissibile del Drift (%)	Drift Permanente Ammissibile (%)
Servizio	0.2	trascurabile
Danno	0.5	trascurabile
Ultimo	1.5	0.5
Pre Collasso	2.5	2.5

PERFORMANCE BASED DESIGN

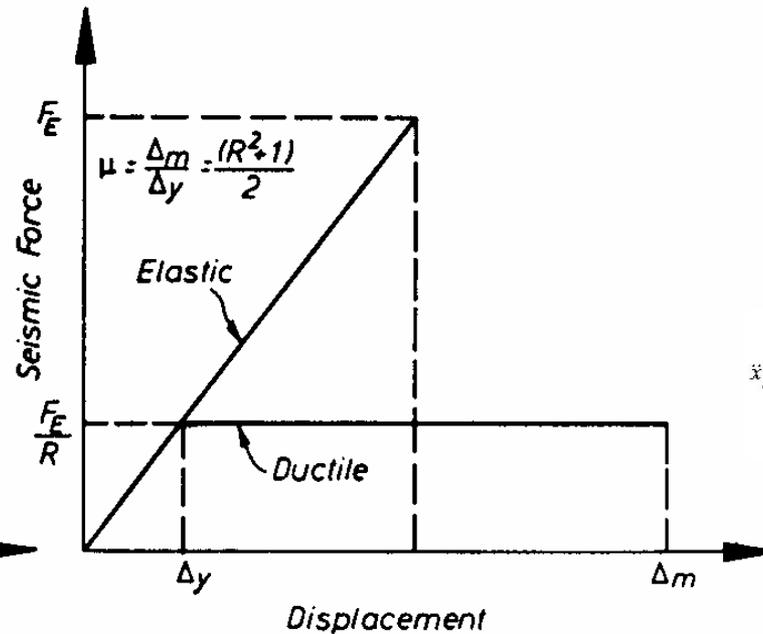
PERFORMANCE BASED DESIGN – APPROCCIO INTERDISCIPLINARE



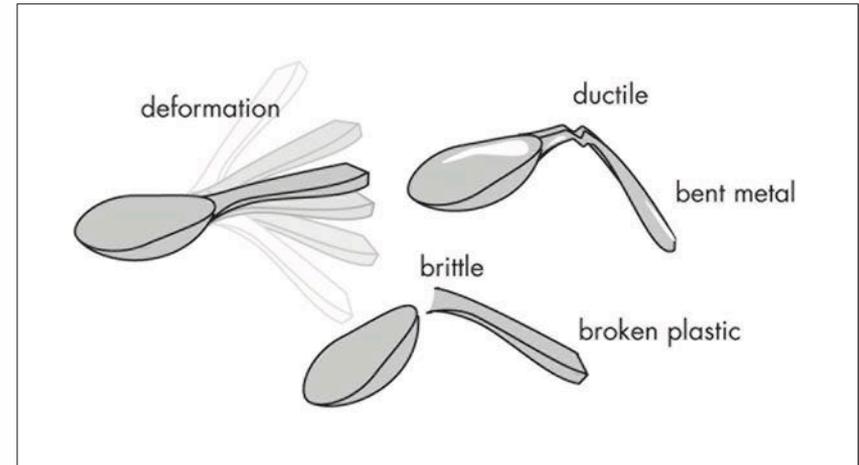
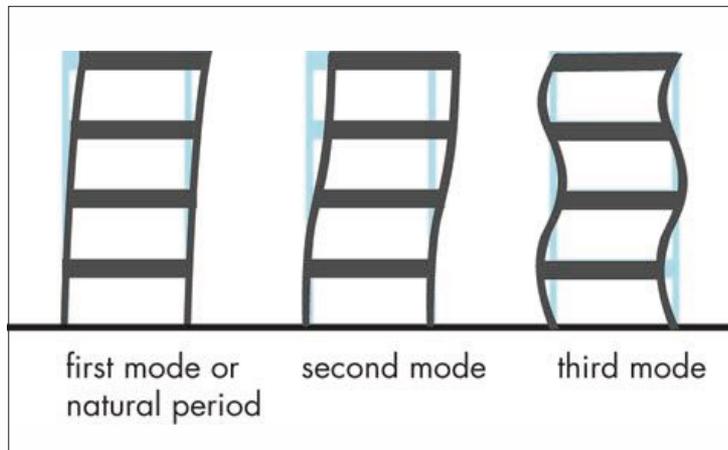
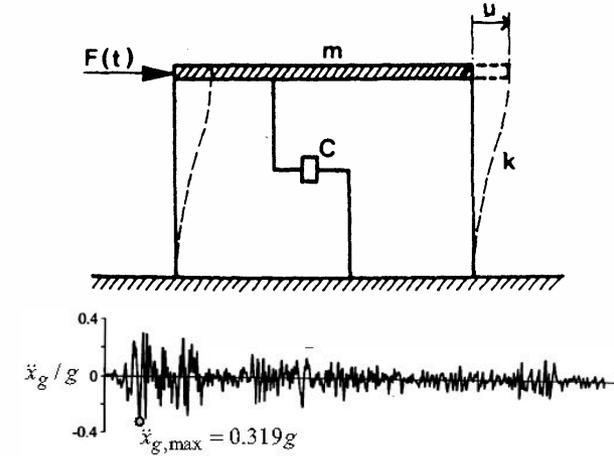
FATTORE DI DUTTILITÀ



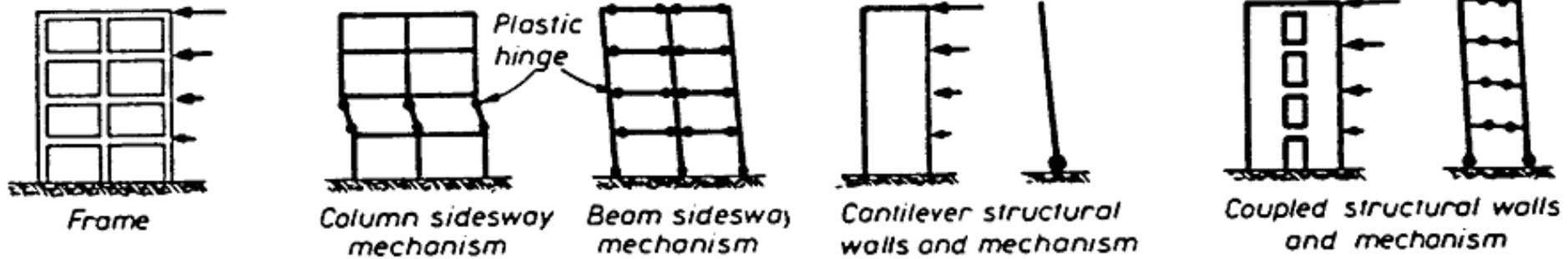
(a) Equal displacement



(b) Equal energy



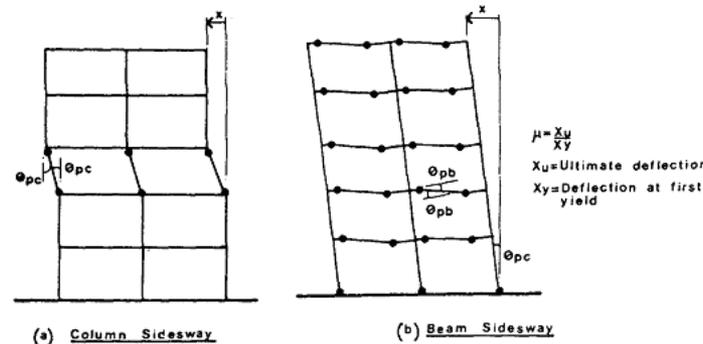
CRITERIO DI GERARCHIA DELLE RESISTENZE



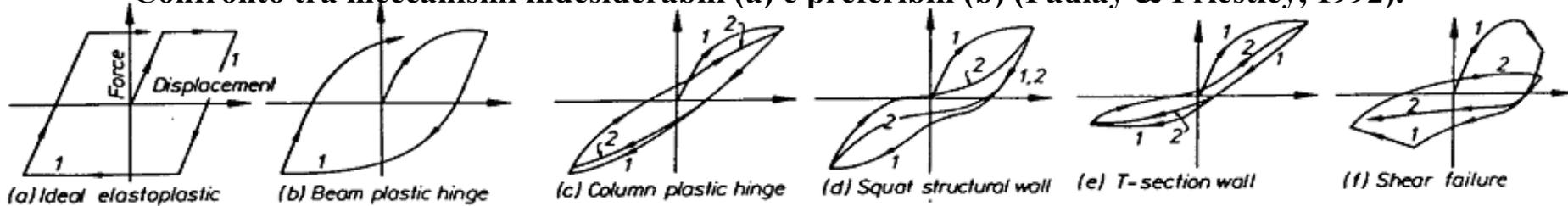
(a) Moment Resisting Frames

(b) Structural Walls

Meccanismi di collasso tipici per alcune tipologie strutturali (Paulay & Priestley, 1992).



Confronto tra meccanismi indesiderabili (a) e preferibili (b) (Paulay & Priestley, 1992).

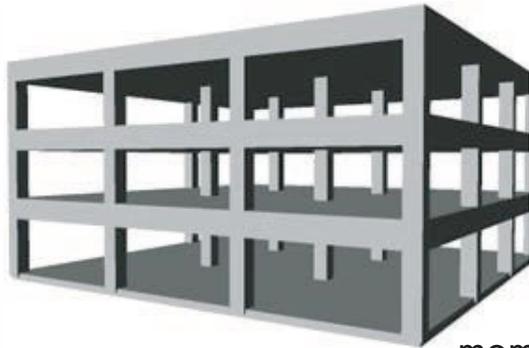


Esempi di comportamento ciclico di alcuni componenti strutturali (Paulay & Priestley, 1992).

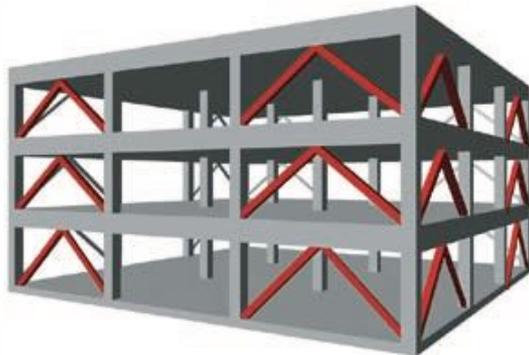
SISTEMI RESISTENTI

Figure 5-1

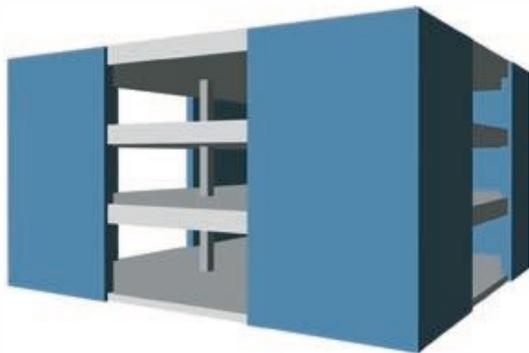
The three basic vertical seismic system alternatives.



moment resisting frame



braced frame



shear walls

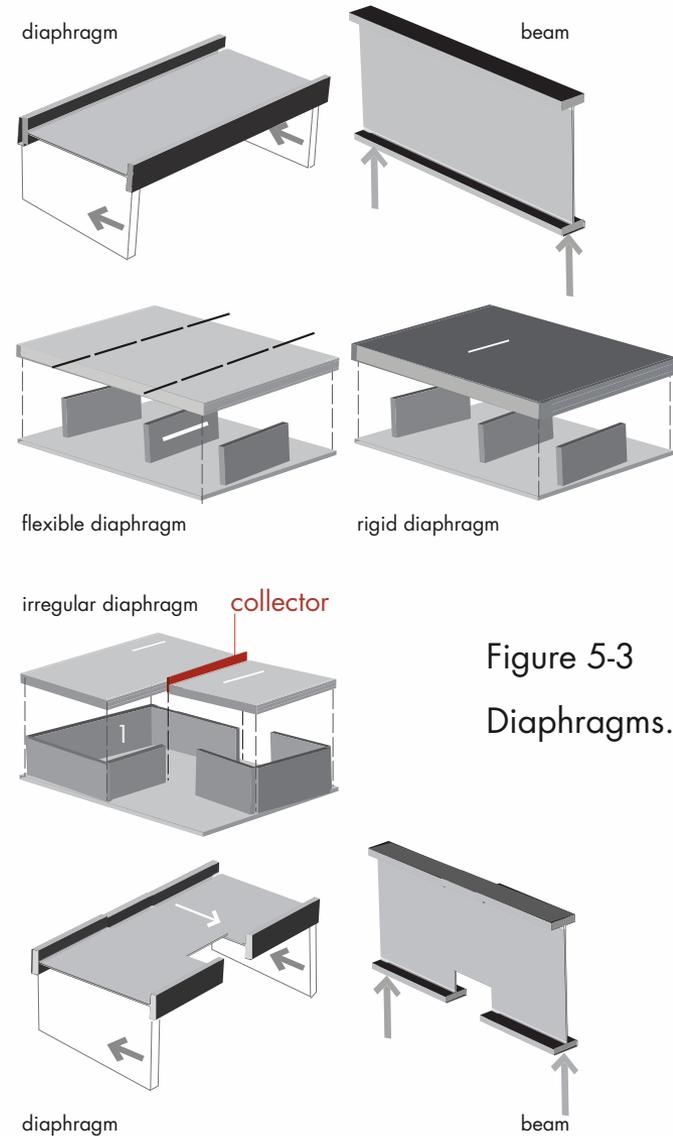
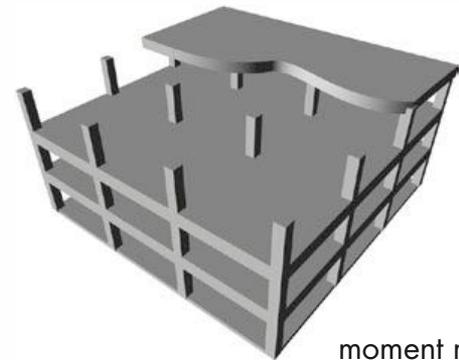
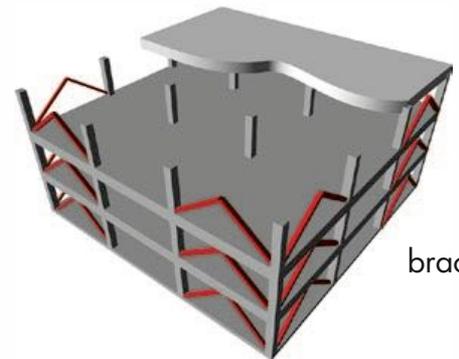


Figure 5-3
Diaphragms.

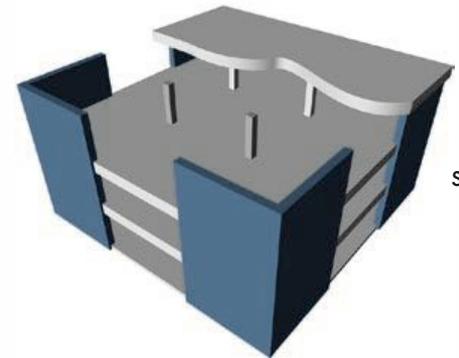
SISTEMI RESISTENTI



moment resisting frame



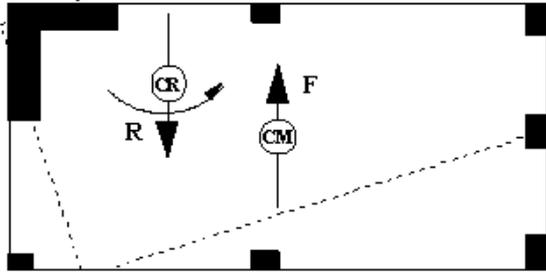
braced frame



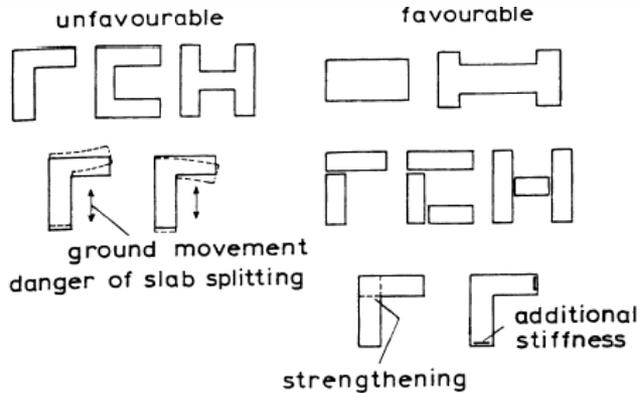
shear walls

- **Percorso di carico continuo** - Carichi uniformi sugli elementi strutturali e nessuna concentrazione di sforzo
- **Rapporto Altezza/Base contenuto** - Limitare tendenza al ribaltamento
- **Altezza di interpiano costante** - Mantenere costante il rapporto di rigidezza tra elementi di parete o pilastri
- **Simmetria in pianta** - Minimizza la torsione
- **Resistenza identica lungo i due assi** - Eliminare l'eccentricità tra centro delle masse e delle rigidezze, minimizzando la torsione
- **Resistenza uniforme ai vari piani** - Evitare concentrazioni di resistenza o debolezze
- **Sezioni uniformi** - Minimizzare la concentrazione di sforzi
- **Elementi Sismo-Resistenti lungo il perimetro** - Massimizzare la resistenza a torsione
- **Luci contenute** - Mantenere limitati i carichi sugli elementi; maggior numero di pilastri favorisce l'iperstaticità del sistema, e quindi la possibilità di ridistribuire gli sforzi in caso collassasse un pilastro
- **Evitare gli sbalzi** - Limitare gli effetti della componente verticale del sisma
- **Evitare aperture nei diaframmi** - Assicurare il trasferimento dell'azione sismica agli elementi verticali

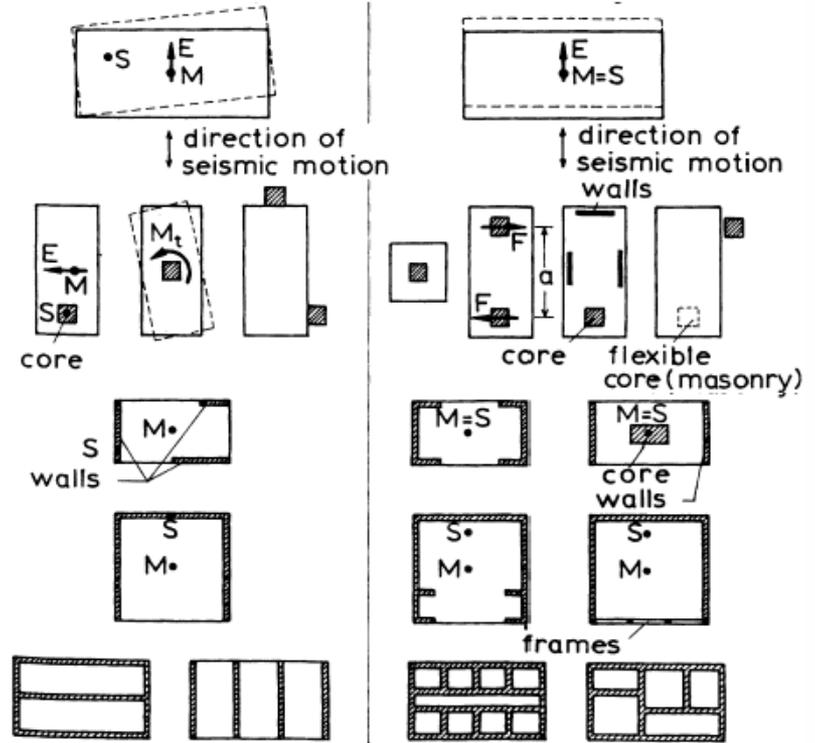
REGOLARITÀ IN PIANTA



Effetti torsionali indotti dall'eccentricità tra centro delle rigidità e centro delle masse.

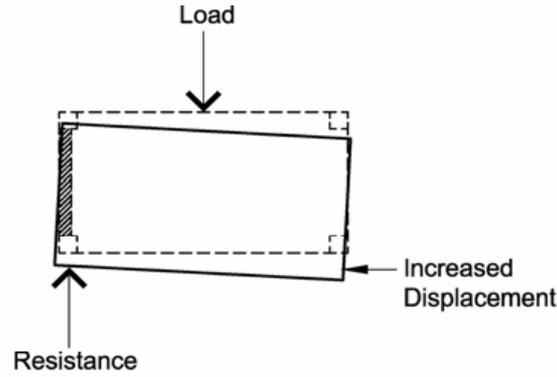
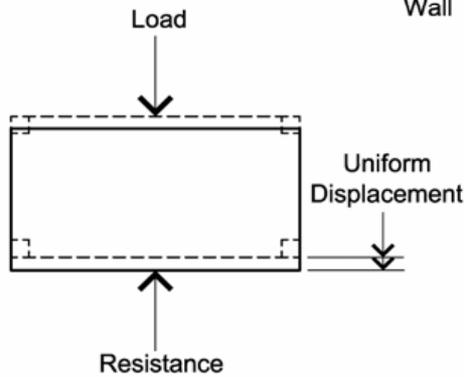
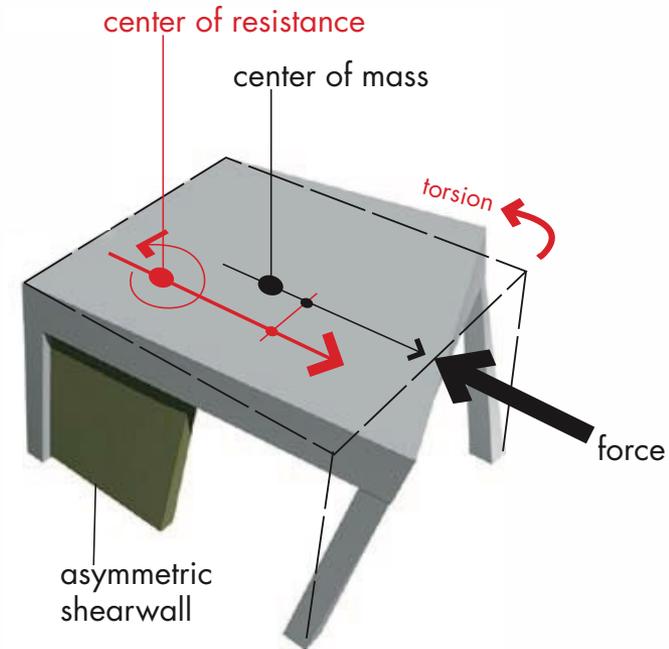
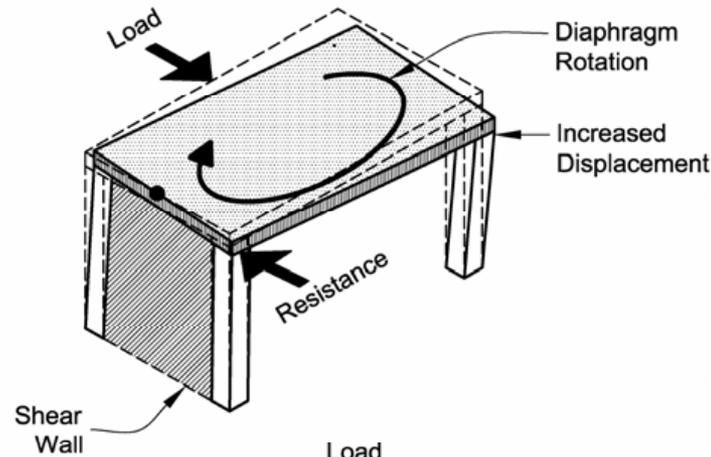
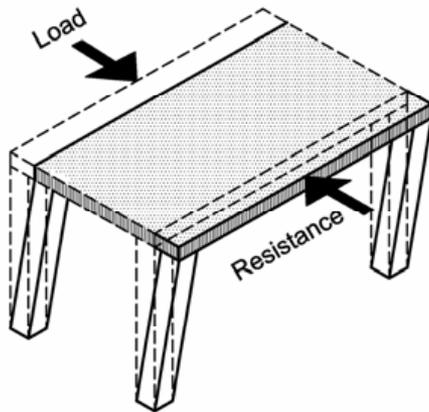


Configurazioni geometriche in pianta sfavorevoli e favorevoli (Penelis, Kappos 1997)



Sfavorevole Favorevole
Effetti di disposizioni sfavorevoli e favorevoli di elementi strutturali (Penelis, Kappos 1997)

REGOLARITÀ IN PIANTA



PLAN

PLAN

**Balanced Resistance
No Torsion**

**Unbalanced Resistance
Torsion Results**

REGOLARITÀ IN PIANTA

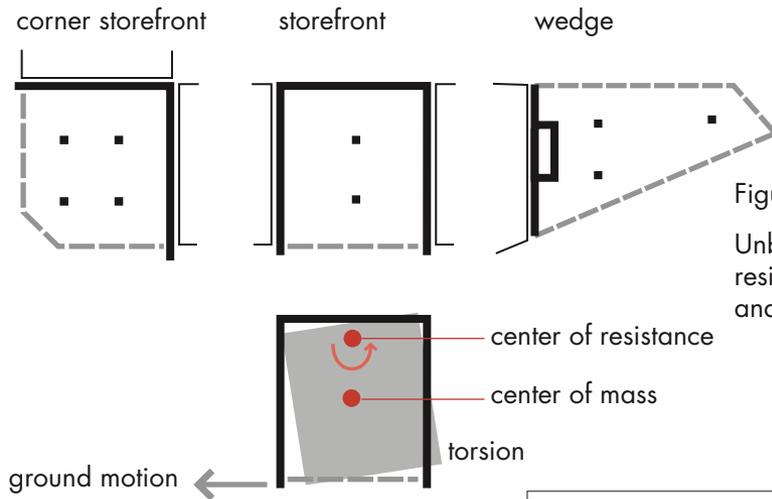


Figure 5-17
Unbalanced perimeter resistance: storefronts and "wedges."

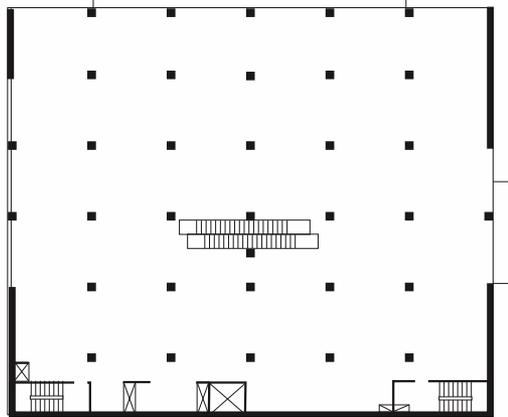
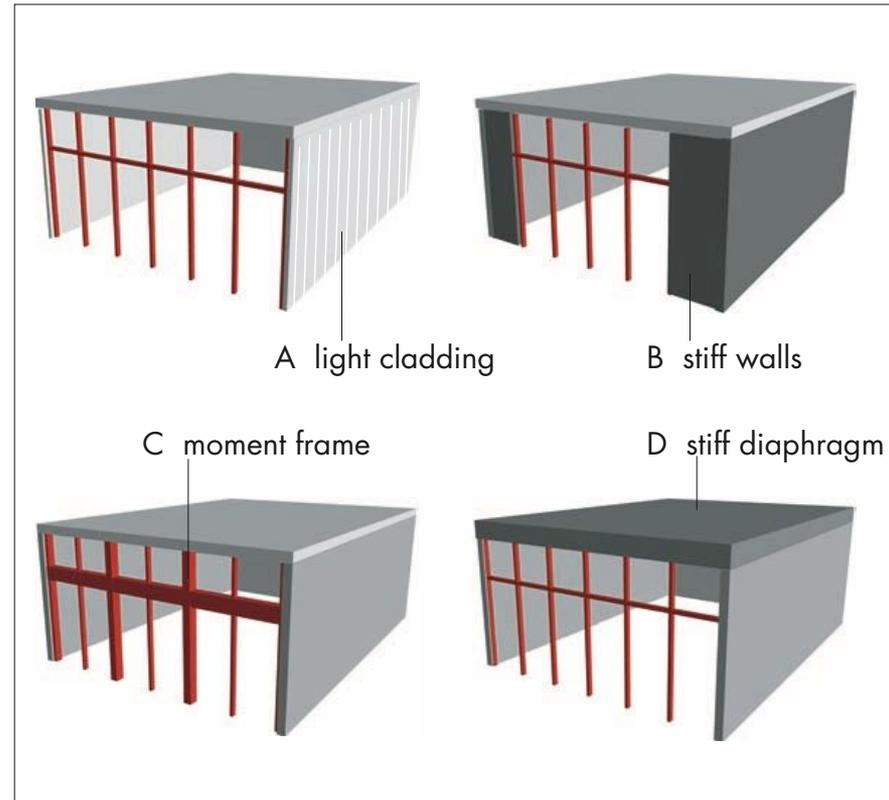
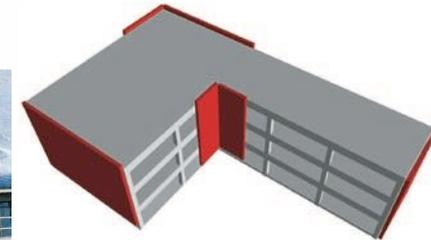
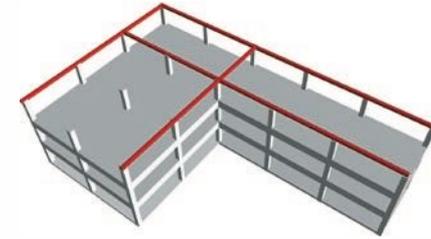
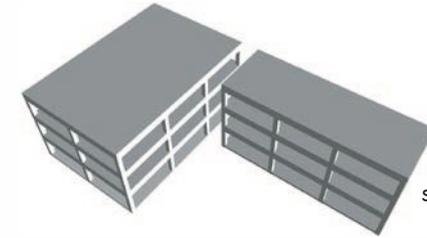
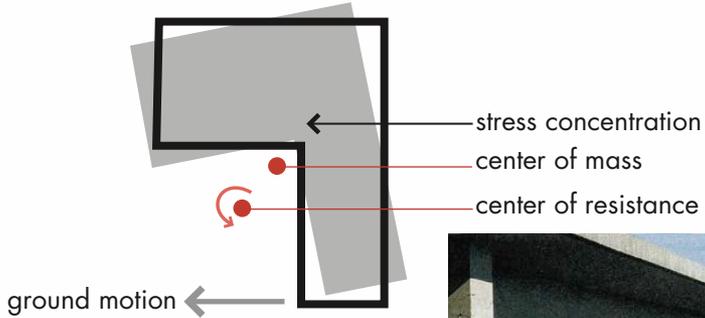
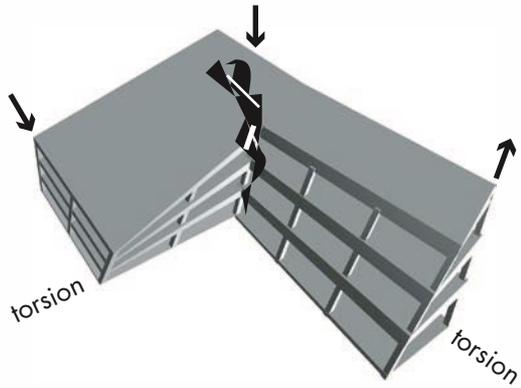


Figure 5-18: Penney's store, Anchorage, Alaska, earthquake, 1964. Left: Damage to the store: loss of perimeter precast panels caused two deaths. Right: Second-floor plan, showing unbalanced perimeter resistance. SOURCE: JAMES L. STRATTA

REGOLARITÀ IN PIANTA

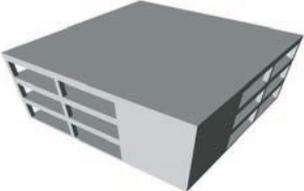
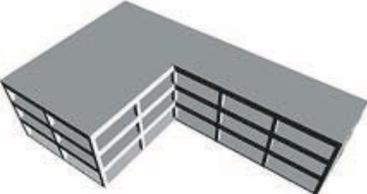
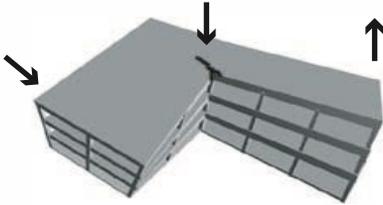
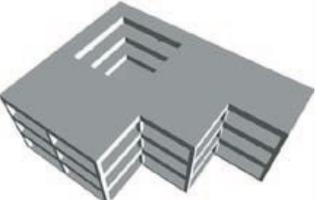
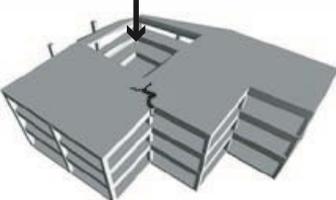
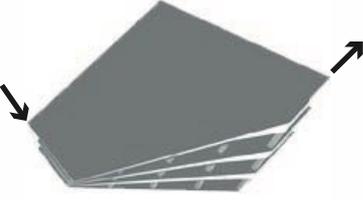
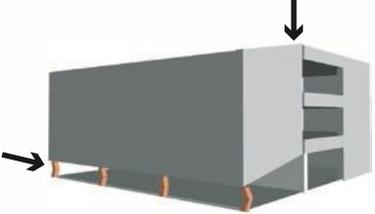


separation

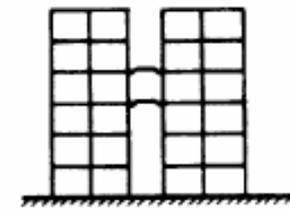
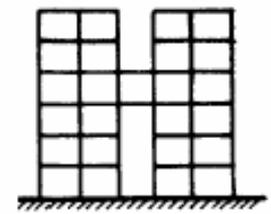
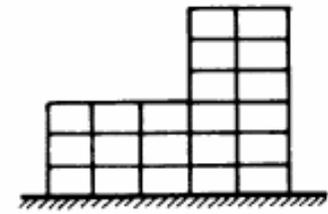
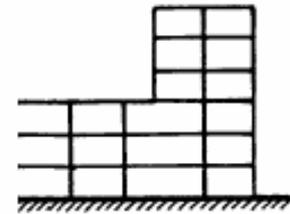
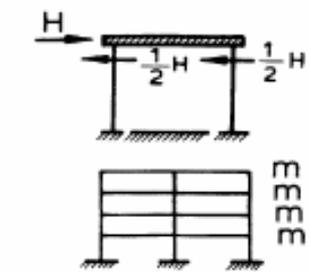
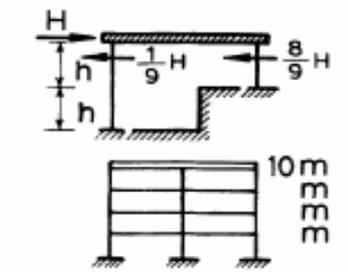
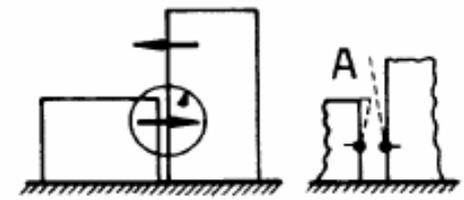
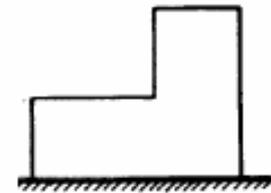
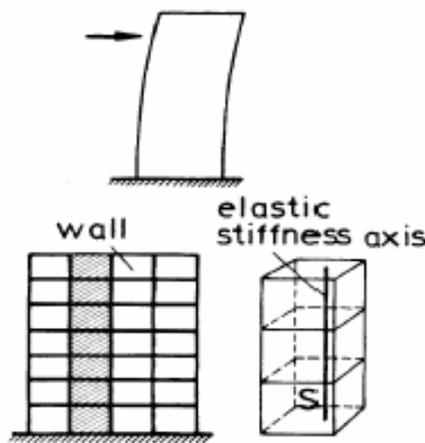
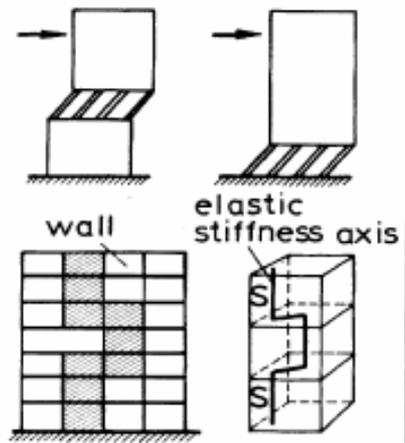
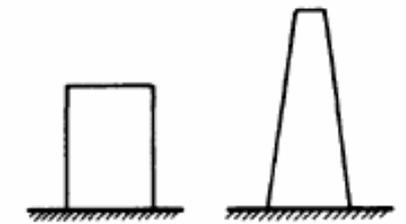
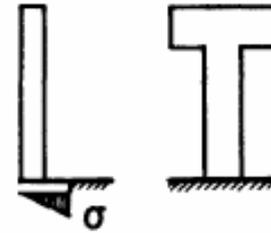
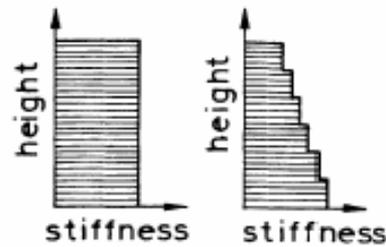
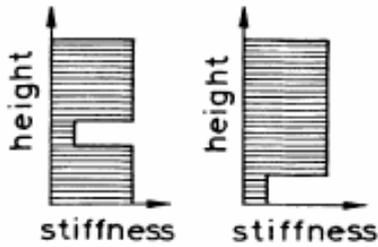
strengthen 'notch'

stiff resistant elements

REGOLARITÀ IN PIANTA

plan conditions	resulting failure patterns	performance	code remedies
		<p>P1 Torsional Irregularity: Unbalanced Resistance</p> <p>Localized damage. Collapse mechanism in extreme instances.</p>	<p>Modal Analysis, +65 foot high in SDC D,E, F. 25% increase to diaphragm connection design forces. Amplified forces to max of X3.</p>
		<p>P2 Re-entrant Corners</p> <p>Local damage to diaphragm and attached elements. Collapse mechanism in extreme instances in large buildings.</p>	<p>25% increase in diaphragm connection design forces.</p>
		<p>P3 Diaphragm Eccentricity and Cutouts</p> <p>Localized structural damage.</p>	<p>25% increase in diaphragm connection design forces.</p>
		<p>P4 Nonparallel Lateral Force-Resisting System</p> <p>Leads to torsion and instability, localised damage.</p>	<p>Combine 100% and 30% of forces in 2 directions, use maximum.</p>
		<p>P5 Out-of-Plane Offsets: Discontinuous Shearwalls</p> <p>Collapse mechanism in extreme circumstances.</p>	<p>Modal Analysis, +65 foot high in SDC D,E, F. 25% increase to diaphragm connection design forces.</p>

REGOLARITÀ IN ELEVAZIONE



Sfavoievole

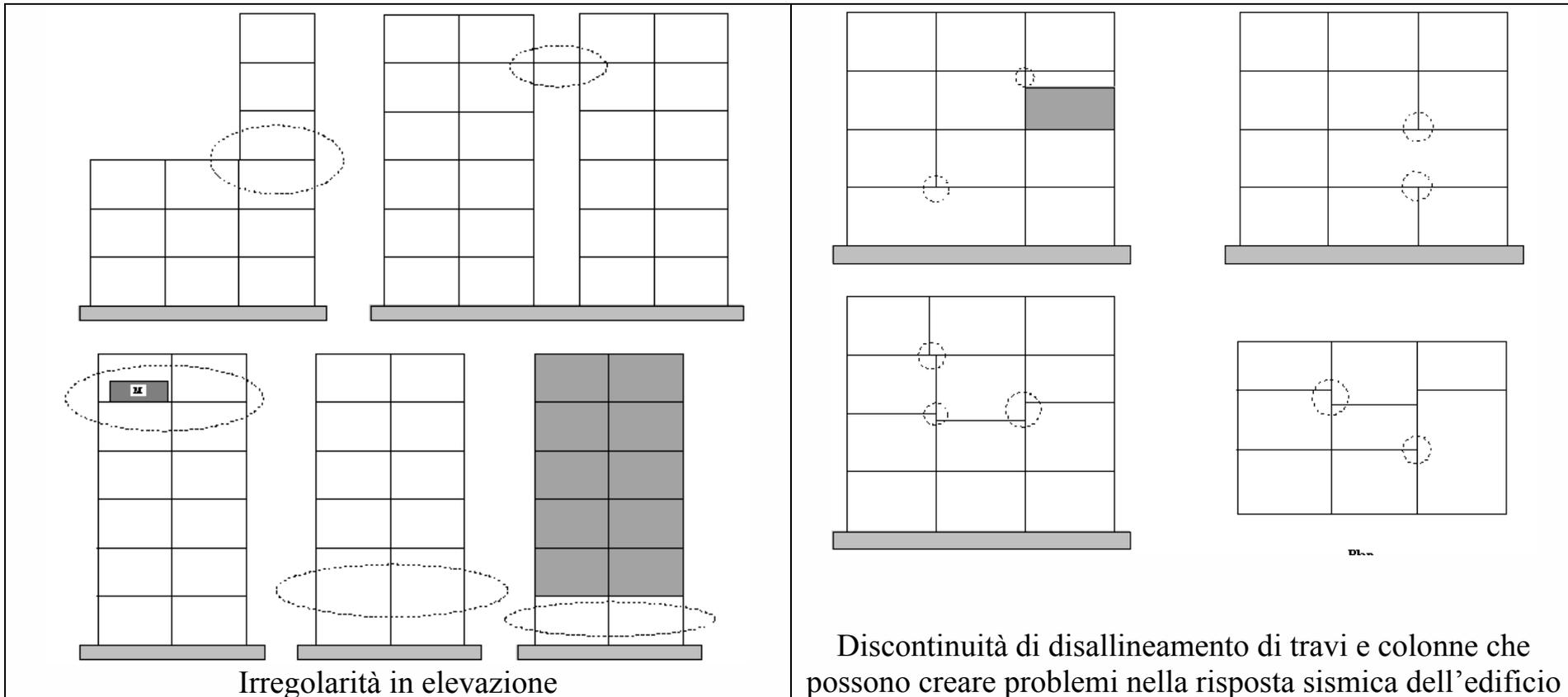
Favoievole

Sfavoievole

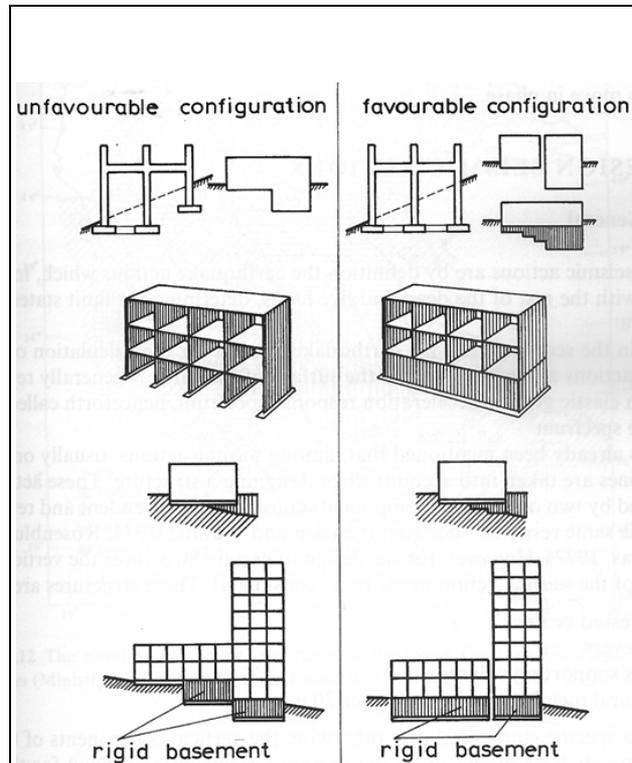
Favoievole

Configurazioni geometriche in elevazione sfavoievole e favoievole (Penelis, Kappos 1997)

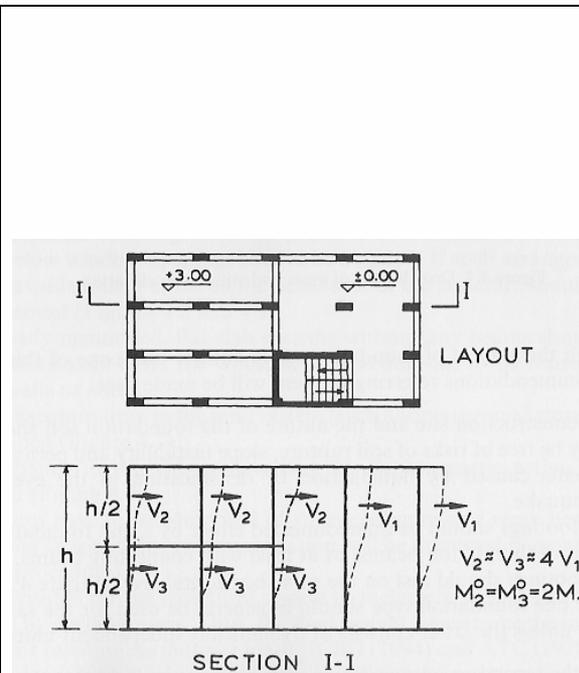
REGOLARITÀ IN ELEVAZIONE



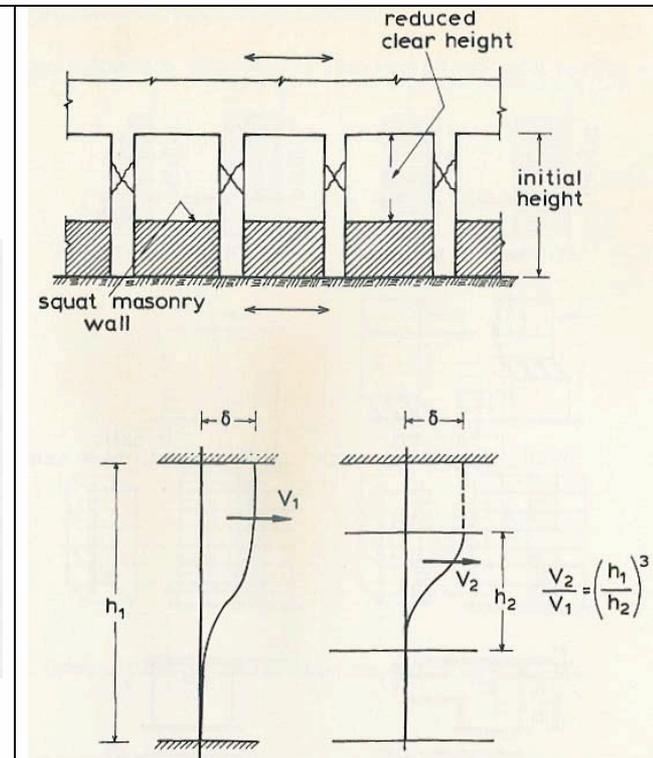
REGOLARITÀ IN ELEVAZIONE



Irregolarità dovute a diverse quote di imposta in fondazione

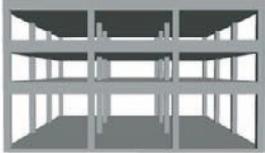
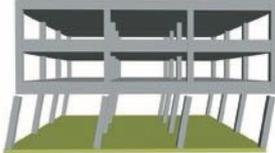
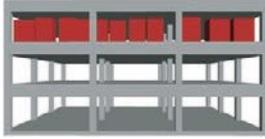
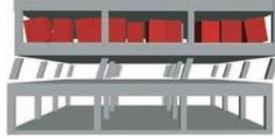
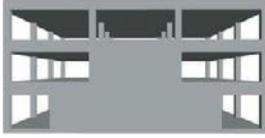
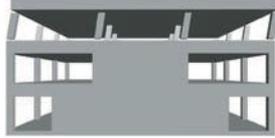
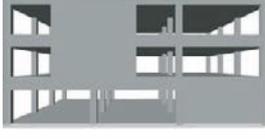
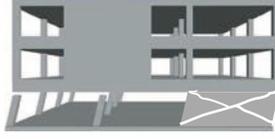
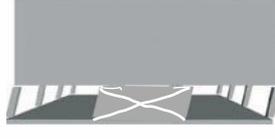


Irregolarità dovute alla presenza di un mezzanino

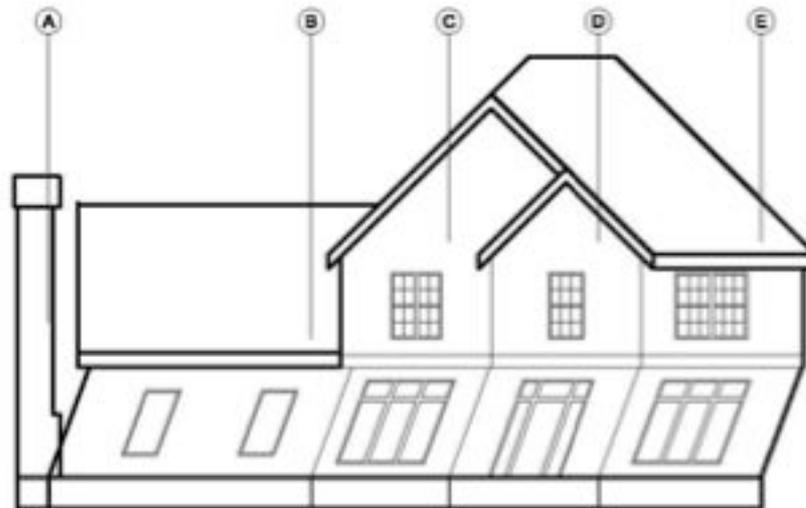
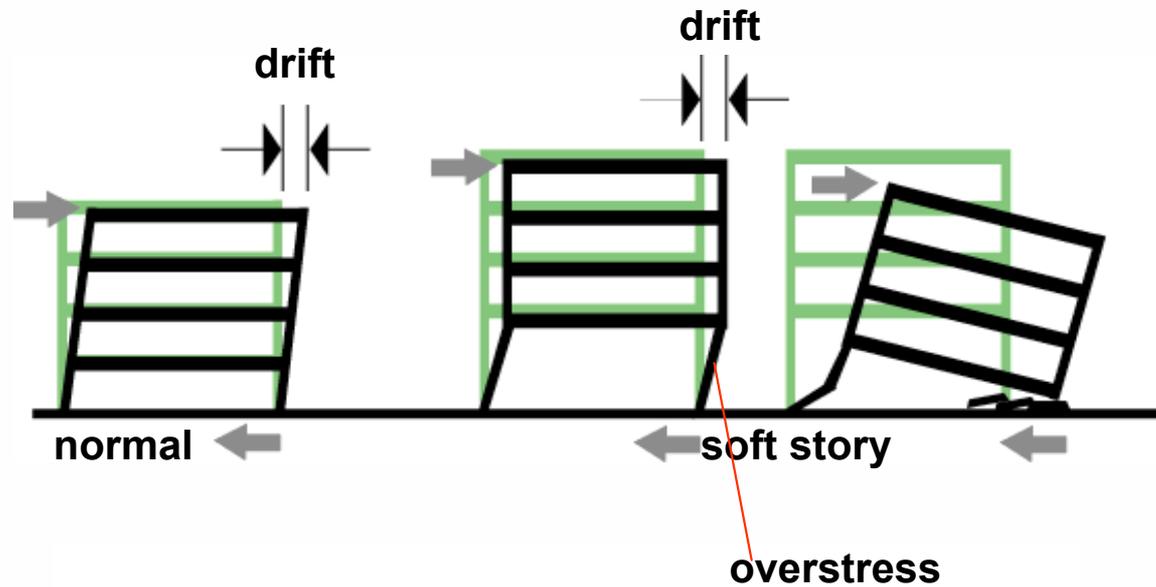


Irregolarità dovute alla presenza di tamponamenti che riducono la luce dei pilastri

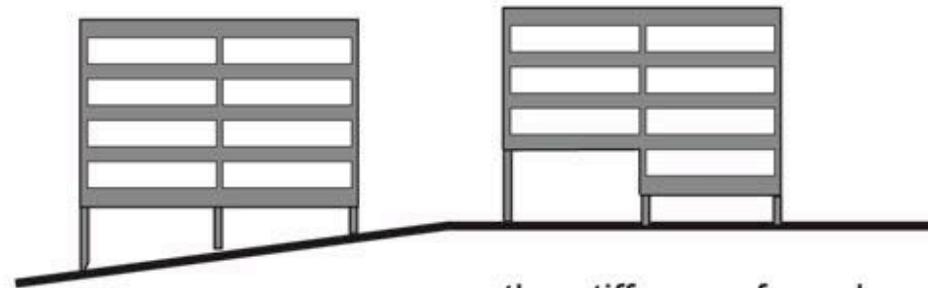
REGOLARITÀ IN ELEVAZIONE

vertical conditions	resulting failure patterns	performance	code remedies
		V1 Stiffness Irregularity: Soft Story	
		<p>Common collapse mechanism. Death and much damage in Northridge earthquake.</p>	<p>Modal Analysis, +65 feet high in SCD D,E,F. Extreme case not permitted in seismic use groups E and F.</p>
		V2 Weight/Mass Irregularity	
		<p>Collapse mechanism in extreme circumstances.</p>	<p>Modal Analysis, +65 foot high in SDC D,E,F.</p>
		V3 Vertical Geometric Irregularity	
		<p>Localized structural damage.</p>	<p>Modal Analysis, +65 foot high in SDC D,E,F.</p>
		V4 In-Plane Irregularity in Vertical Lateral Force System	
		<p>Localized structural damage.</p>	<p>Model Analysis, +65 foot high is SDC D, E, F. 25% increase to diaphragm connection design force. Supporting members designed for increased forces.</p>
		V5 Capacity Discontinuity: Weak Story	
		<p>Collapse mechanism in extreme circumstances</p>	<p>Modal Analysis, +65 foot high in SDC D,E,F.</p>

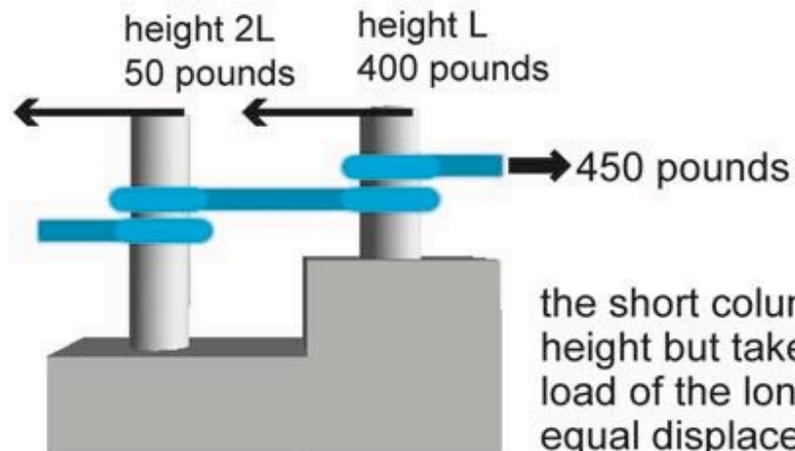
REGOLARITÀ IN ELEVAZIONE



REGOLARITÀ IN ELEVAZIONE

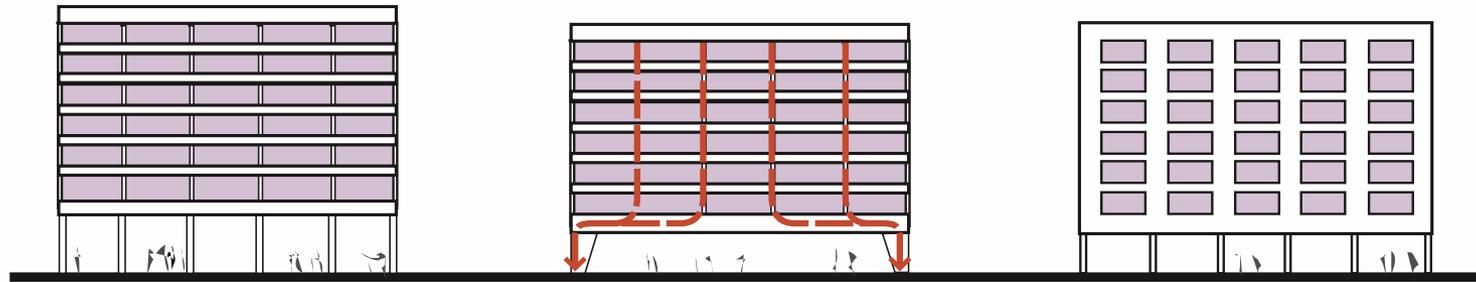


the stiffness of a column varies approximately as a cube of its length



the short column is half the height but takes 8 times the load of the long column for equal displacements

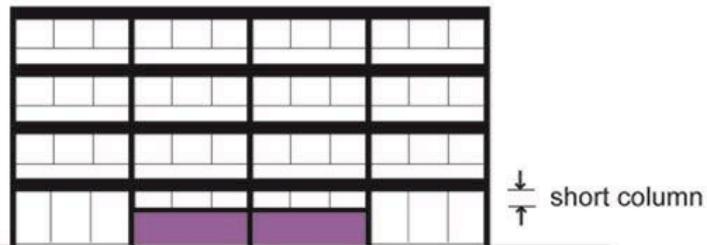
REGOLARITÀ IN ELEVAZIONE



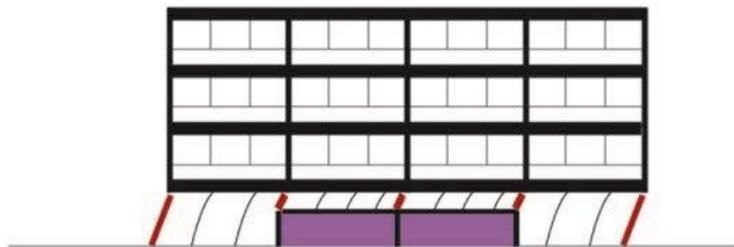
A flexible first floor

B discontinuity: indirect load path

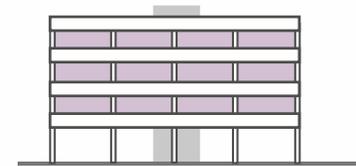
C heavy superstructure



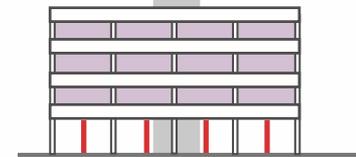
partial floor-height panel infill



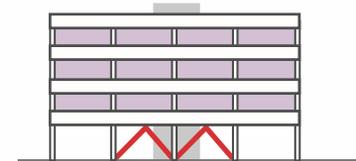
failure pattern



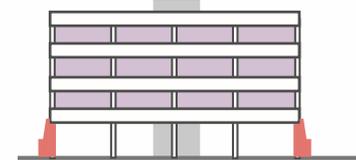
soft story



add columns



add bracing



add external buttresses

REGOLARITÀ IN ELEVAZIONE

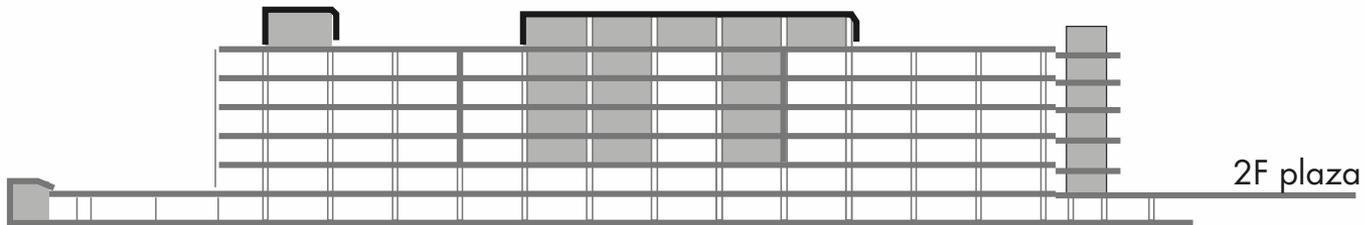
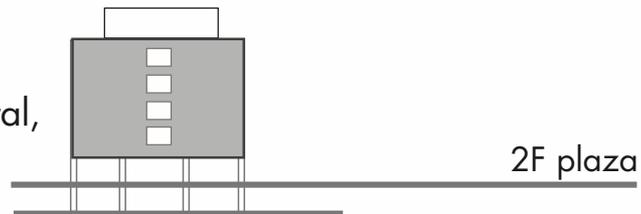


Figure 5-13: Long section, Olive View Hospital.
Note that the shear walls stop at the third floor.

Figure 5-14: Cross section, Olive View hospital,
showing the second-floor plaza and the
discontinuous shear wall.



8.3. VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA

La valutazione della sicurezza di una struttura esistente è un procedimento quantitativo, volto a determinare l'entità delle azioni che la struttura è in grado di sostenere con il livello di sicurezza minimo richiesto dalla presente normativa. L'incremento del livello di sicurezza si persegue, essenzialmente, operando sulla concezione strutturale globale con interventi, anche locali.

La valutazione della sicurezza, argomentata con apposita relazione, deve permettere di stabilire se:

- l'uso della costruzione possa continuare senza interventi;
- l'uso debba essere modificato (declassamento, cambio di destinazione e/o imposizione di limitazioni e/o cautele nell'uso);
- sia necessario aumentare la sicurezza strutturale, mediante interventi.

La valutazione della sicurezza deve effettuarsi quando ricorra anche una sola delle seguenti situazioni:

- riduzione evidente della capacità resistente e/o deformativa della struttura o di alcune sue parti dovuta a: significativo degrado e decadimento delle caratteristiche meccaniche dei materiali, deformazioni significative conseguenti anche a problemi in fondazione; danneggiamenti prodotti da azioni ambientali (sisma, vento, neve e temperatura), da azioni eccezionali (urti, incendi, esplosioni) o da situazioni di funzionamento ed uso anomali;
- provati gravi errori di progetto o di costruzione;
- cambio della destinazione d'uso della costruzione o di parti di essa, con variazione significativa dei carichi variabili e/o passaggio ad una classe d'uso superiore;
- esecuzione di interventi non dichiaratamente strutturali, qualora essi interagiscano, anche solo in parte, con elementi aventi funzione strutturale e, in modo consistente, ne riducano la capacità e/o ne modifichino la rigidità;
- ogni qualvolta si eseguano gli interventi strutturali di cui al § 8.4 .

Qualora le circostanze di cui ai punti precedenti riguardino porzioni limitate della costruzione, la valutazione della sicurezza potrà essere effettuata anche solo sugli elementi interessati e a quelli con essi interagenti, tenendo presente la loro funzione nel complesso strutturale, posto che le mutate condizioni locali non incidano sostanzialmente sul comportamento globale della struttura.

La valutazione della sicurezza deve inoltre effettuarsi ogni qual volta si eseguano interventi strutturali di miglioramento o adeguamento di cui al § 8.4; in particolare il progettista dovrà esplicitare in un'apposita relazione, esprimendoli in termini di rapporto capacità domanda, i livelli di sicurezza precedenti all'intervento e quelli raggiunti con esso.

8.4. CLASSIFICAZIONE DEGLI INTERVENTI

Si individuano le seguenti categorie di intervento:

- *interventi di riparazione o locali*: interventi che interessino singoli elementi strutturali e che, comunque, non riducano le condizioni di sicurezza preesistenti;
- *interventi di miglioramento*: interventi atti ad aumentare la sicurezza strutturale preesistente, senza necessariamente raggiungere i livelli di sicurezza fissati al § 8.4.3;
- *interventi di adeguamento*: interventi atti ad aumentare la sicurezza strutturale preesistente, conseguendo i livelli di sicurezza fissati al paragrafo 8.4.3.

Solo gli interventi di miglioramento ed adeguamento sono sottoposti a collaudo statico.

Per gli interventi di miglioramento e di adeguamento l'esclusione di provvedimenti in fondazione dovrà essere in tutti i casi motivata esplicitamente dal progettista, attraverso una verifica di idoneità del sistema di fondazione in base ai criteri indicati nel §8.3.

Qualora l'intervento preveda l'inserimento di nuovi elementi che richiedano apposite fondazioni, queste ultime dovranno essere verificate con i criteri generali di cui ai precedenti Capitoli 6 e 7, così come richiesto per le nuove costruzioni.

Per i beni di interesse culturale ricadenti in zone dichiarate a rischio sismico, ai sensi del comma 4 dell'art. 29 del DLgs 22 gennaio 2004, n. 42 "Codice dei beni culturali e del paesaggio", è in ogni caso possibile limitarsi ad interventi di miglioramento effettuando la relativa valutazione della sicurezza.

Gli interventi di questo tipo riguarderanno singole parti e/o elementi della struttura. Essi non debbono cambiare significativamente il comportamento globale della costruzione e sono volti a conseguire una o più delle seguenti finalità:

- ripristinare, rispetto alla configurazione precedente al danno, le caratteristiche iniziali di elementi o parti danneggiate;
- migliorare le caratteristiche di resistenza e/o di duttilità di elementi o parti, anche non danneggiati;
- impedire meccanismi di collasso locale;
- modificare un elemento o una porzione limitata della struttura;

Il progetto e la valutazione della sicurezza potranno essere riferiti alle sole parti e/o elementi interessati, documentando le carenze strutturali riscontrate e dimostrando che, rispetto alla configurazione precedente al danno, al degrado o alla variante, non vengano prodotte sostanziali modifiche al comportamento delle altre parti e della struttura nel suo insieme e che gli interventi non comportino una riduzione dei livelli di sicurezza preesistenti.

La relazione di cui al § 8.3 che, in questi casi, potrà essere limitata alle sole parti interessate dall'intervento e a quelle con esse interagenti, dovrà documentare le carenze strutturali riscontrate, risolte e/o persistenti, ed indicare le eventuali conseguenti limitazioni all'uso della costruzione.

Nel caso di interventi di rafforzamento locale, volti a migliorare le caratteristiche meccaniche di elementi strutturali o a limitare la possibilità di meccanismi di collasso locale, è necessario valutare l'incremento del livello di sicurezza locale.

8.4.2. INTERVENTO DI MIGLIORAMENTO

Rientrano negli interventi di miglioramento tutti gli interventi che siano comunque finalizzati ad accrescere il livello di sicurezza della costruzione.

La valutazione della sicurezza e il progetto di intervento dovranno essere estesi a tutte le parti della struttura potenzialmente interessate da modifiche di comportamento, nonché alla struttura nel suo insieme.

Per la combinazione sismica delle azioni, il valore di ζ_E può essere minore dell'unità. A meno di specifiche situazioni relative ai beni culturali, per le costruzioni di classe IV il valore di ζ_E , a seguito degli interventi di miglioramento, deve essere comunque non minore di 0,4, mentre per le costruzioni di classe III e II il valore di ζ_E , sempre a seguito degli interventi di miglioramento, deve essere comunque non minore di 0,1.

Nel caso di interventi che prevedano l'impiego di sistemi di isolamento, per la verifica del sistema di isolamento, si deve avere almeno $\zeta_E = 1,0$.

8.4.3. INTERVENTO DI ADEGUAMENTO

L'intervento di adeguamento della costruzione è obbligatorio quando si intenda:

- a) sopraelevare la costruzione;
- b) ampliare la costruzione mediante opere ad essa strutturalmente connesse e tali da alterarne significativamente la risposta;
- c) apportare variazioni di classe e/o di destinazione d'uso che comportino incrementi dei carichi globali verticali in fondazione, valutati secondo la combinazione caratteristica per carichi gravitazionali di cui alla Equazione 2.5.2, superiori al 10%. Resta comunque fermo l'obbligo di procedere alla verifica locale delle singole parti e/o elementi della struttura, anche se interessano porzioni limitate della costruzione;
- d) effettuare interventi strutturali volti a trasformare la costruzione mediante un insieme sistematico di opere che portino ad un sistema strutturale diverso dal precedente; nel caso degli edifici, effettuare interventi strutturali che trasformano il sistema strutturale mediante l'impiego di nuovi elementi verticali portanti su cui grava almeno il 50% dei carichi gravitazionali complessivi riferiti ai singoli piani.

In ogni caso, il progetto dovrà essere riferito all'intera costruzione e dovrà riportare le verifiche dell'intera struttura post-intervento, secondo le indicazioni del presente capitolo.

Il valore di ζ_E che deve essere raggiunto post operam dipende da quale sia la condizione sopra indicata che impone l'obbligo dell'adeguamento e dal livello di conoscenza che si vuole/può conseguire con le indagini.

Nei casi a), b) e d), per la verifica della struttura, si deve avere almeno $\zeta_E=1,0$. Nel caso c) si può assumere $\zeta_E=0,80$.

Una variazione dell'altezza dell'edificio dovuta alla realizzazione di cordoli sommitali o a variazioni della copertura che non comportino incrementi di superficie abitabile, non è considerato ampliamento, ai sensi della condizione a). In tal caso non è necessario procedere all'adeguamento, salvo che non ricorrano una o più delle condizioni di cui agli altri precedenti punti.

8.5. DEFINIZIONE DEL MODELLO DI RIFERIMENTO PER LE ANALISI

Nelle costruzioni esistenti le situazioni concretamente riscontrabili sono le più diverse ed è quindi impossibile prevedere regole specifiche per tutti i casi. Di conseguenza, il modello per la valutazione della sicurezza dovrà essere definito e giustificato dal progettista, caso per caso, in relazione al comportamento strutturale atteso, tenendo conto delle indicazioni generali di seguito esposte.

8.5.1. ANALISI STORICO-CRITICA

Ai fini di una corretta individuazione del sistema strutturale e del suo stato di sollecitazione è importante ricostruire il processo di realizzazione e le successive modificazioni subite nel tempo dalla costruzione, nonché gli eventi che la hanno interessata.

8.5.2. RILIEVO

Il rilievo geometrico-strutturale dovrà essere riferito alla geometria complessiva, sia della costruzione, sia degli elementi costruttivi, comprendendo i rapporti con le eventuali strutture in aderenza. Nel rilievo dovranno essere rappresentate le modificazioni intervenute nel tempo, come desunte dall'analisi storico-critica.

Il rilievo deve individuare l'organismo resistente della costruzione, tenendo anche presenti la qualità e lo stato di conservazione dei materiali e degli elementi costitutivi.

Dovranno altresì essere rilevati i dissesti, in atto o stabilizzati, ponendo particolare attenzione all'individuazione dei quadri fessurativi e dei meccanismi di danno.

8.7.4. CRITERI E TIPI D'INTERVENTO

Per tutte le tipologie di costruzioni esistenti gli interventi vanno progettati ed eseguiti, per quanto possibile, in modo regolare ed uniforme. L'esecuzione di interventi su porzioni limitate dell'edificio va opportunamente valutata e giustificata, considerando la variazione nella distribuzione delle rigidezze e delle resistenze e la conseguente eventuale interazione con le parti restanti della struttura. Particolare attenzione deve essere posta alla fase esecutiva degli interventi, in quanto una cattiva esecuzione può peggiorare il comportamento globale della costruzione.

La scelta del tipo, della tecnica, dell'entità e dell'urgenza dell'intervento dipende dai risultati della precedente fase di valutazione, dovendo mirare prioritariamente a contrastare lo sviluppo di meccanismi locali e/o di meccanismi fragili e, quindi, a migliorare il comportamento globale della costruzione.

In generale dovranno essere valutati e curati gli aspetti seguenti:

- riparazione di eventuali danni presenti;
- riduzione delle carenze dovute ad errori grossolani;
- miglioramento della capacità deformativa ("duttilità") di singoli elementi;
- riduzione delle condizioni, anche legate alla presenza di elementi non strutturali, che determinano situazioni di forte irregolarità, sia planimetrica sia altimetrica, degli edifici, in termini di massa, resistenza e/o rigidezza,;
- riduzione delle masse, anche mediante demolizione parziale o variazione di destinazione d'uso;
- riduzione dell'impegno degli elementi strutturali originari mediante l'introduzione di sistemi d'isolamento o di dissipazione di energia;
- riduzione dell'eccessiva deformabilità degli orizzontamenti, sia nel loro piano che ortogonalmente ad esso,;
- miglioramento dei collegamenti degli elementi non strutturali, alla struttura e tra loro;
- incremento della resistenza degli elementi verticali resistenti, tenendo eventualmente conto di una possibile riduzione della duttilità globale per effetto di rinforzi locali;
- realizzazione, ampliamento, eliminazione di giunti sismici o interposizione di materiali atti ad attenuare gli eventuali urti;
- miglioramento del sistema di fondazione, ove necessario.

Interventi su parti non strutturali ed impianti sono necessari quando, in aggiunta a motivi di funzionalità, la loro risposta sismica possa mettere a rischio la vita degli occupanti o produrre danni ai beni contenuti nella costruzione. Per il progetto di interventi atti ad assicurare l'integrità di tali parti valgono le prescrizioni fornite nei §§ 7.2.3 e 7.2.4.

Per le strutture in muratura, inoltre, dovranno essere valutati e curati gli aspetti seguenti:

- miglioramento dei collegamenti tra orizzontamenti e pareti, tra copertura e pareti, tra pareti confluenti in martelli murari o angolate;
- riduzione ed eliminazione delle spinte non contrastate di coperture, archi e volte;
- rafforzamento delle pareti intorno alle aperture,

Per le strutture in c.a. ed in acciaio si prenderanno in considerazione, valutandone l'eventuale necessità e l'efficacia, anche le tipologie di intervento di seguito esposte o loro combinazioni:

- rinforzo di tutti o parte degli elementi;
- aggiunta di nuovi elementi resistenti, quali pareti in c.a., controventi in acciaio, etc.;
- eliminazione di eventuali meccanismi "di piano";
- introduzione di un sistema strutturale aggiuntivo in grado di resistere per intero all'azione sismica di progetto;
- eventuale trasformazione di elementi non strutturali in elementi strutturali, come nel caso di incamiciatura in c.a. di pareti in laterizio.

Infine, per le strutture in acciaio, potranno essere valutati e curati gli aspetti seguenti:

- miglioramento della stabilità degli elementi e della struttura;
- incremento della resistenza e/o della rigidezza dei collegamenti;
- miglioramento dei dettagli costruttivi nelle zone dissipative;
- introduzione di indebolimenti locali controllati, finalizzati ad un miglioramento del meccanismo di collasso.

8.7.5. ELABORATI DEL PROGETTO DELL'INTERVENTO

Per tutte le tipologie costruttive, il progetto dell'intervento di miglioramento o adeguamento sismico deve almeno comprendere:

- a) l'analisi e la verifica della struttura prima dell'intervento, con identificazione delle carenze e del livello di azione sismica per la quale viene raggiunto lo SLU (e SLE se richiesto);
- b) la scelta, esplicitamente motivata, del tipo di intervento;
- c) la scelta, esplicitamente motivata, delle tecniche e/o dei materiali;
- d) il dimensionamento preliminare dei rinforzi e degli eventuali elementi strutturali aggiuntivi;
- e) l'analisi strutturale della struttura post-intervento;
- f) la verifica della struttura post-intervento, con determinazione del livello di azione sismica per la quale viene raggiunto lo SLU (e SLE se richiesto).

Analogamente si procederà per gli interventi (di riparazione o rafforzamento) locali. In tal caso non si eseguiranno le analisi della struttura e le verifiche ante e post-operam di cui ai punti a), e), f), che saranno sostituite da analoghe verifiche sul singolo elemento o sul meccanismo locale sul quale si interviene, al fine di determinarne gli incrementi di resistenza e/o di duttilità conseguenti all'intervento.



...grazie per l'attenzione!

Parte delle slides tratte da:
Fema_454 - Designing for Earthquakes- A Manual for Architects