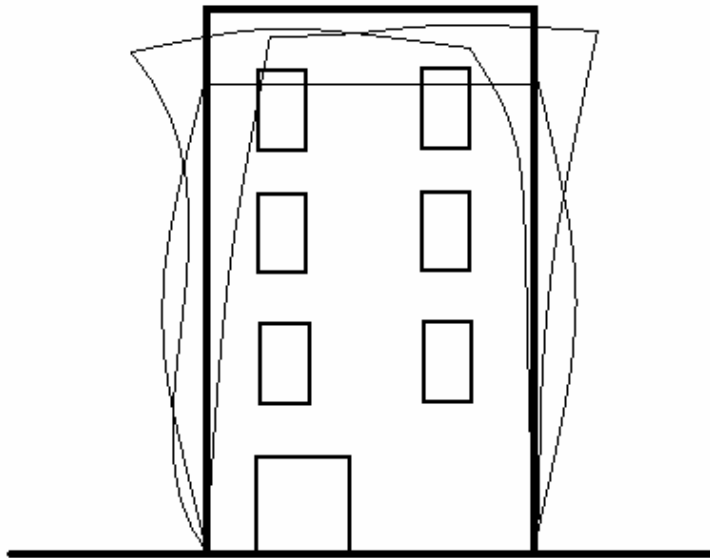


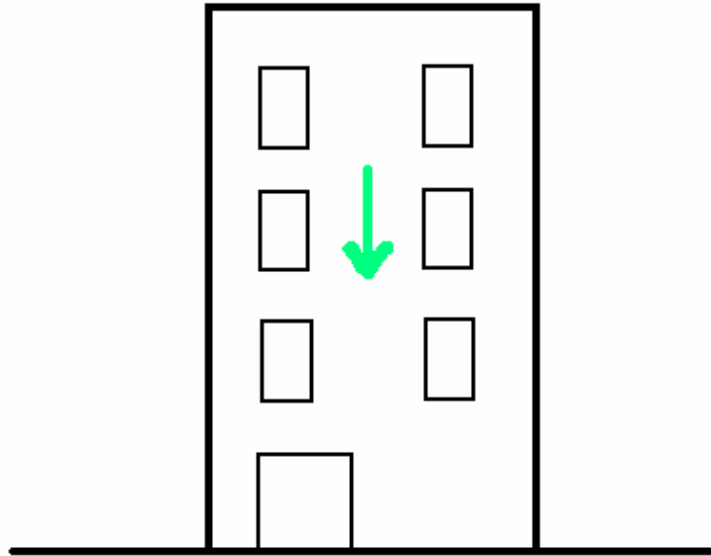
**ASSOCIAZIONE DI PROTEZIONE CIVILE ICARO
CORREGGIO**



**CONSIDERAZIONI INTRODUTTIVE
ALL'ANALISI SISMICA**

**ING. CORRADO PRANDI
2006**

L'AZIONE DEL SISMA SULLA COSTRUZIONE

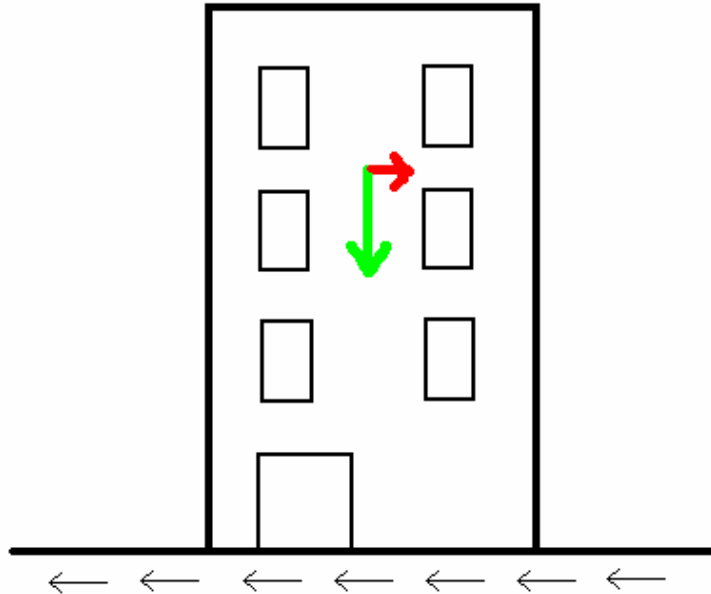


In condizioni ordinarie la costruzione è sottoposta alle sole **forze gravitazionali**, dunque la massa di pareti e solai sommata alle masse di persone e cose che contiene, entrambe moltiplicate per l'accelerazione di gravità.

MASSA x ACCELERAZIONE di GRAVITA' = FORZA GRAVITAZIONALE

Le forze gravitazionali sono verticali e dirette verso il terreno.

Le costruzioni sono normalmente ben proporzionate per sopportare in sicurezza l'azione delle forze gravitazionali.



In condizioni sismiche la costruzione è sottoposta alle forze gravitazionali ed alle **forze sismiche**, queste ultime date dalla massa di pareti e solai sommata alle masse di persone e cose, entrambe moltiplicate per l'accelerazione sismica.

$$\text{MASSA} \times \text{ACCELERAZIONE SISMICA} = \text{FORZA SISMICA}$$

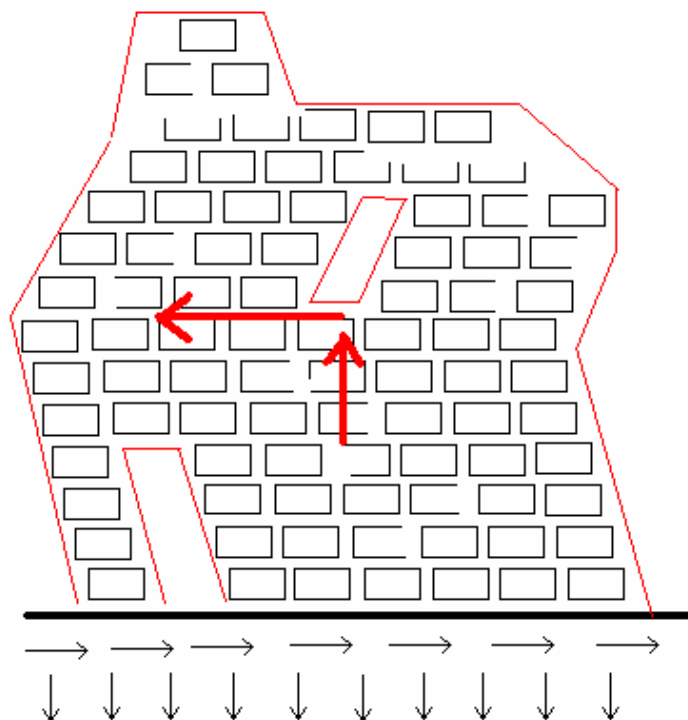
Le forze sismiche sono orizzontali e con direzione variabile durante il sisma.

Durante il sisma il terreno trasmette uno **spostamento** al fabbricato, che tendendo a mantenere la posizione iniziale, attiva **forze d'inerzia**; sono queste ultime, proporzionate a caratteristiche e masse della costruzione, che costituiscono la forza sismica.

Talvolta le costruzioni non sono proporzionate per sopportare in sicurezza l'azione del sisma; non sono ad esempio idonei i fabbricati in cui gli elementi costruttivi sono semplicemente appoggiati uno sull'altro.

In quest'ultimo tipo di realizzazioni si può contare solo sull'attrito reciproco tra i manufatti, che a volte non è sufficiente per contrastare lo scivolamento conseguente al sisma.

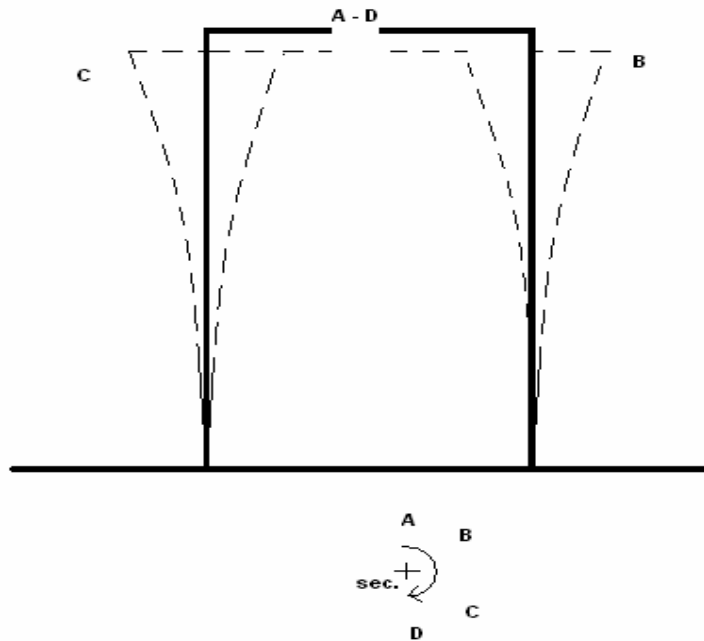
Hanno tali caratteristiche alcune vecchie costruzioni realizzate impiegando elementi semplicemente accostati e sovrapposti uno all'altro.



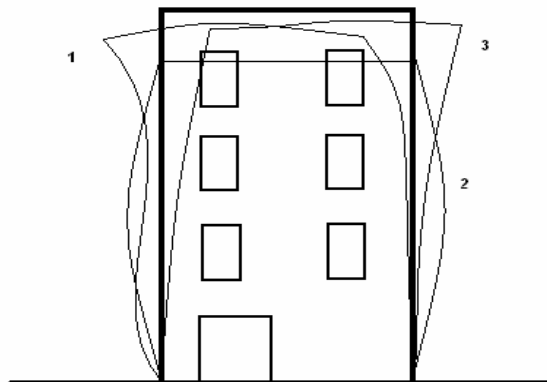
Talvolta il sisma trasmette alla costruzione sia uno spostamento orizzontale che verticale; in conseguenza dello spostamento verticale si attivano forze d'inerzia con direzione verticale e verso opposto alla forza di gravità; si verifica quindi una temporanea **riduzione del peso** delle parti del fabbricato e dunque anche dell'attrito tra le stesse, con conseguente agevolazione per gli scorrimenti

IL PERIODO PROPRIO DI VIBRAZIONE DEL FABBRICATO

Si tratta del **tempo in secondi** necessario al fabbricato per compiere una oscillazione completa.



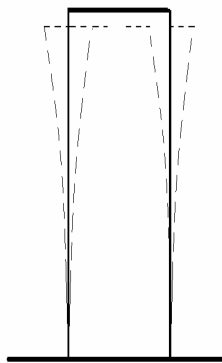
Uno stesso fabbricato può oscillare in molti modi, per ogni modo di oscillare o vibrare si può misurare un diverso periodo.



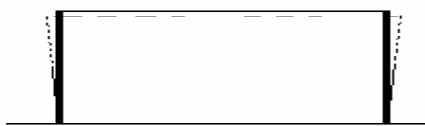
modo 1 - periodo T_1 , modo 2 - periodo T_2 , modo 3 - periodo T_3 ecc.

Il modo di vibrare ed il relativo periodo dipendono principalmente dalla **forma della costruzione** oltre che dal materiale impiegato nel realizzarla:

fabbricati alti, snelli e flessibili, si caratterizzano per oscillazioni ampie e di **lungo periodo**; si può pensare che il movimento di tali fabbricati risulti in ritardo rispetto al movimento del terreno



fabbricati bassi, tozzi e rigidi, si caratterizzano per oscillazioni contenute e di **breve periodo**; tali costruzioni si muovono quasi nello stesso modo del terreno

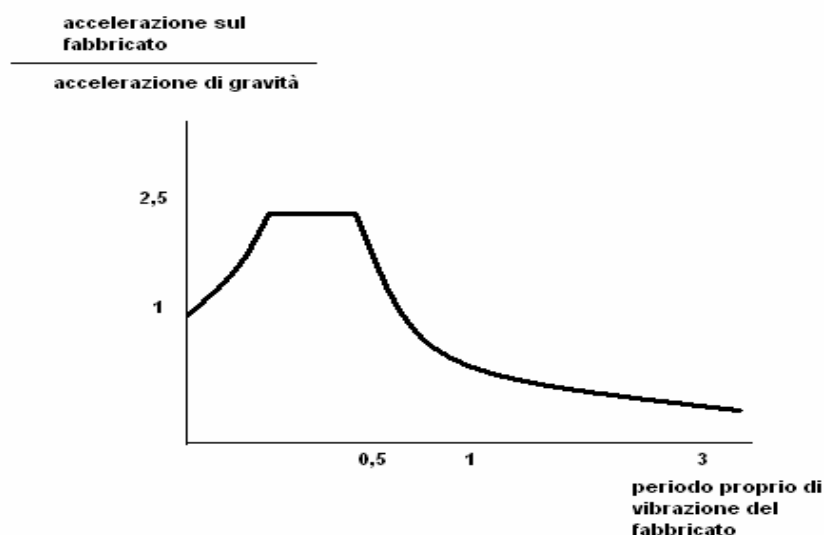


RAPPORTO TRA AZIONE SISMICA SULLA COSTRUZIONE E PERIODO PROPRIO DI VIBRAZIONE

Il sisma causa il movimento del terreno che sostiene i fabbricati; il valore dell'accelerazione associata al movimento del suolo, varia secondo le caratteristiche geologiche del territorio e la composizione del terreno nell'area di edificazione.

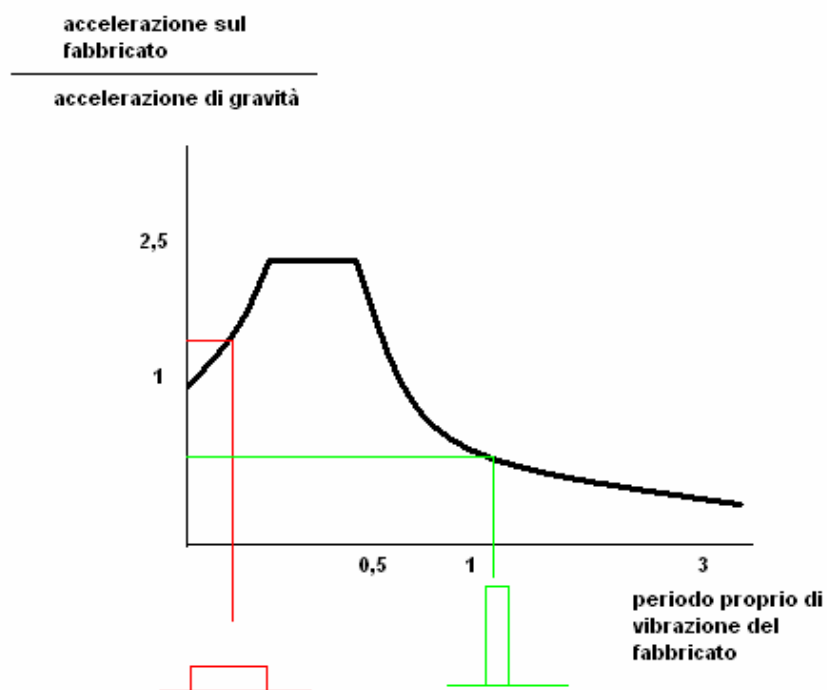
Il periodo proprio di vibrazione del fabbricato determina quanto e in che modo lo spostamento del terreno coinvolge la costruzione.

Le norme tecniche definiscono per ogni zona e tipo di terreno dei diagrammi chiamati **spettri elastici** che, quando si conosca il periodo proprio di vibrazione della specifica costruzione, consentono di individuare quel probabile valore di accelerazione inerziale che ne attiva le masse originando l'azione sismica sulla stessa.



Il tipico spettro elastico indica che si originano nel fabbricato forti accelerazioni inerziali per periodi inferiori a 0,5 secondi, mentre le stesse diminuiscono molto per periodi superiori ad 1 secondo.

I **fabbricati bassi e tozzi**, caratterizzati da un breve periodo, sono interessati da accelerazioni maggiori rispetto ai **fabbricati alti e snelli**, generalmente con periodi elevati; dunque, a parità di masse, i primi sarebbero interessati da azioni sismiche maggiori rispetto ai secondi, se non intervenisse il contributo aggravante conseguente alla maggiore altezza.



Gli spettri elastici forniscono i più probabili valori delle massime accelerazioni inerziali che possono interessare i fabbricati; è importante ricordare che l'azione del sisma è ciclica, dunque durante uno stesso evento sismico il fabbricato è sollecitato più volte dalle forze inerziali; fortunatamente i valori massimi di queste ultime sono mediamente attivati da uno stesso sisma solo due o tre volte.

DUTTILITA' SPETTRO DI PROGETTO FATTORE DI STRUTTURA

L'azione sismica per la quale verificare le costruzioni si ottiene moltiplicandone le masse per un **valore di accelerazione ridotto** rispetto a quello derivato dallo spettro elastico; questo è consentito grazie alla duttilità del fabbricato.

La **duttilità** di una costruzione consiste nella sua capacità di reagire ad una azione crescente che la sollecita, con la possibilità di subire crescenti danni senza però arrivare alla condizione limite che precede il crollo. Dunque un fabbricato duttile, investito dalle crescenti e prolungate forze d'inerzia conseguenti al movimento del terreno, si lesiona in molte sue parti anche in modo grave, ma mantiene ancora risorse meccaniche sufficienti per sostenersi.

La **normativa** stabilisce che quanto maggiore è la duttilità che può offrire una costruzione, tanto minore è l'accelerazione sismica per la quale deve essere verificata.

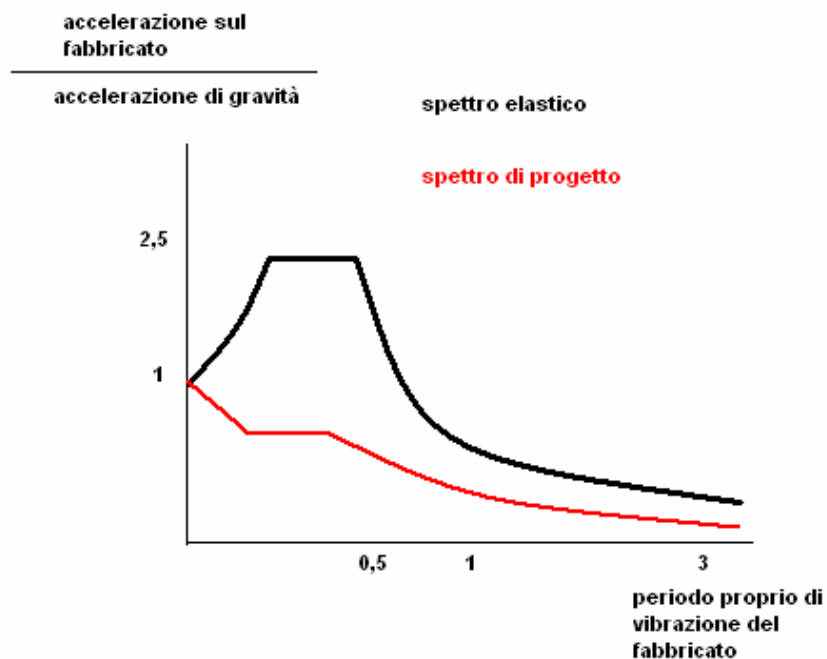
La finalità della norma è sia la salvaguardia dell'incolumità dei cittadini, che la limitazione dei costi di costruzione.

Una costruzione duttile:

- è in grado di **evitare il crollo** salvando gli occupanti,
- può essere riparata con costi inferiori a quelli, socialmente insostenibili, per dotarla delle esuberanti proporzioni necessarie a subire senza danno un probabile sisma.

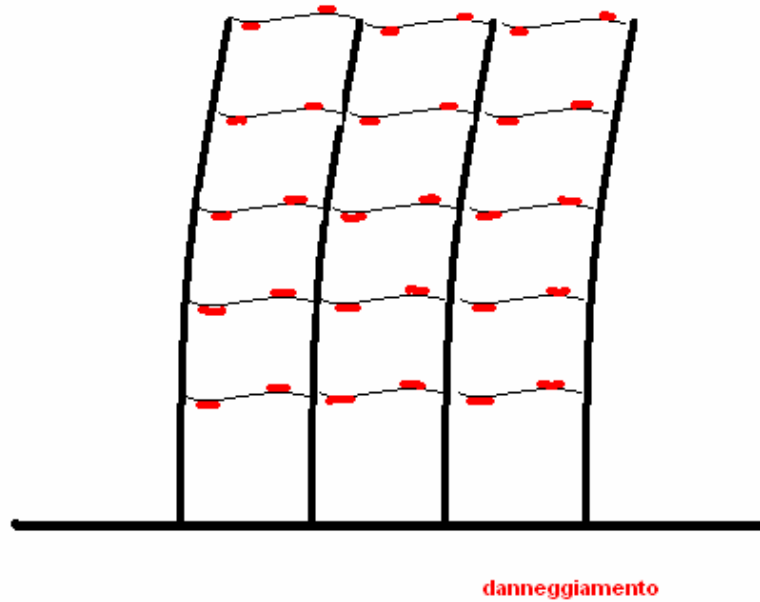
La norma però cerca anche di limitare i costi di riparazione, imponendo di attribuire alle costruzioni caratteristiche tali da **limitare il danno** in occasione di eventi sismici.

Per la progettazione si utilizza dunque un diagramma che riporta valori di accelerazione funzione del periodo proprio di vibrazione, ridotti rispetto a quelli dello spettro elastico; tale diagramma si chiama **spettro di progetto**.

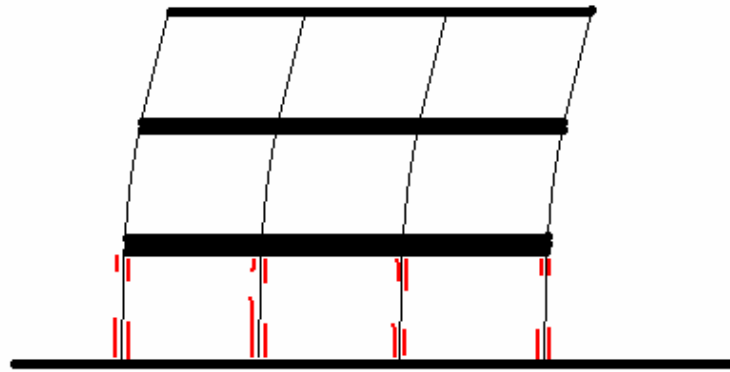


La riduzione dallo spettro elastico allo spettro di progetto si ottiene dividendo per un numero chiamato **fattore di struttura**.

Il fattore di struttura, unico per ogni fabbricato, può variare da 1 a 6 circa e ne sintetizza tutte le capacità di assumere all'occorrenza un comportamento duttile.



Un fabbricato con forti pilastrate e travi più snelle, costretto a forti spostamenti, può localizzare i danni in corrispondenza delle travi mantenendo l'integrità dei pilastri; con tale tipo di danneggiamento restano sufficienti risorse per evitare il crollo generale ;
il **comportamento** del fabbricato è **duatile** ed è premiato con un valore del coefficiente di struttura alto.



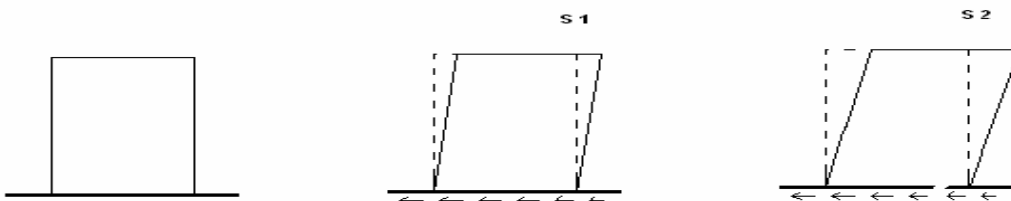
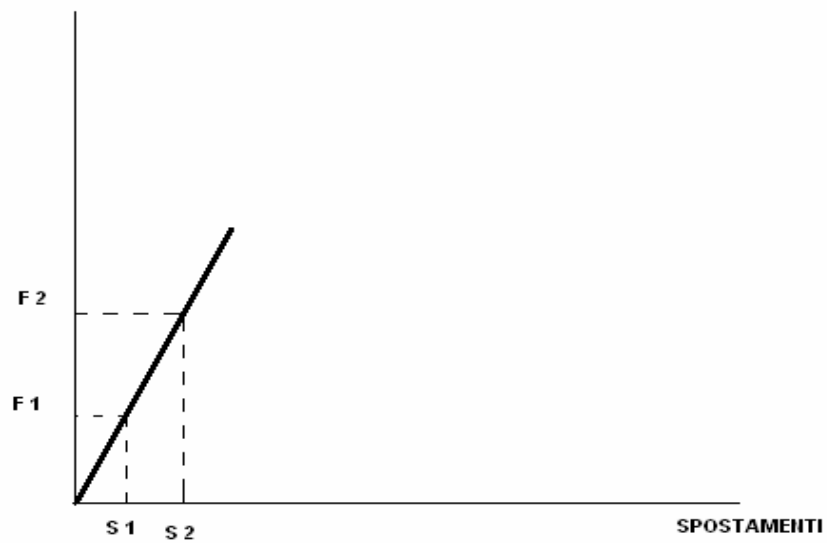
danneggiamento

Un fabbricato con poderose travi e pilastri molto snelli ha **comportamento fragile**; costretto ad importanti spostamenti, si danneggia gravemente lungo i pilastri, con grande rischio di crollo. La normativa sconsiglia questa tipologia di costruzione, attribuendole un basso fattore di struttura e pertanto imponendone la verifica per alti valori di accelerazione, con inopportuni ed elevati costi di costruzione.

LINEARITA' NON LINEARITA'

Una costruzione mantiene un **comportamento lineare** nel corso di un evento sismico, quando è in grado di attivare forze d'inerzia che possono crescere allo stesso modo dello spostamento trasmesso dal terreno.

FORZE D'INERZIA

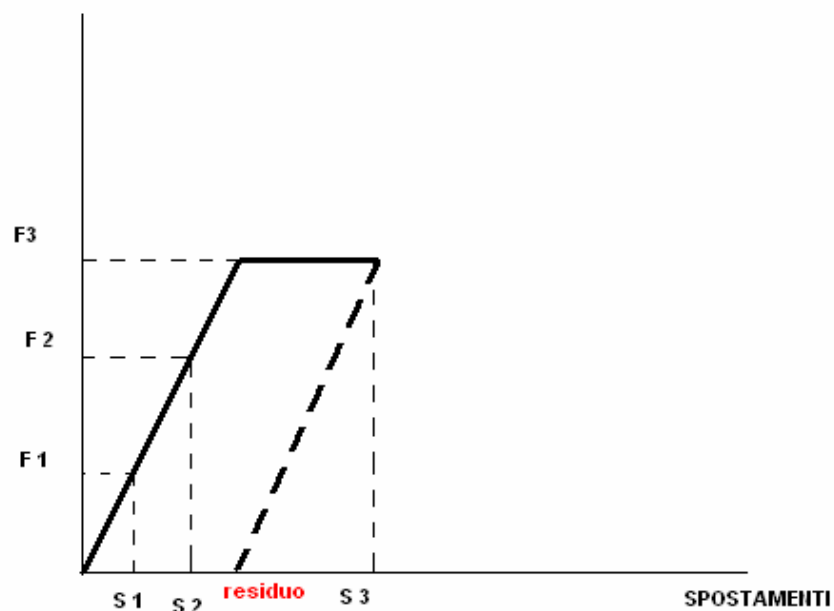


Con questo comportamento, il fabbricato cambia via via la sua forma spostandosi di S_1 e poi di S_2 , ma è sempre in grado di opporre forze d'inerzia proporzionate agli spostamenti del terreno e di ritornare alla forma iniziale quando il terreno si ferma.

Tale comportamento elastico è tipico di pochi materiali tra quelli impiegati per la costruzione e per di più solo quando gli sforzi conseguenti alle forze d'inerzia sono abbastanza bassi; quindi per avere piccoli sforzi nel materiale anche con grandi forze, si dovrebbero attribuire alle strutture delle proporzioni esagerate.

In realtà quasi sempre, anche se il terreno si è fermato e dunque a forze d'inerzia nulle, la costruzione non ritorna esattamente alla forma iniziale e mantiene uno spostamento residuo, la traccia dello sforzo sostenuto.

FORZE D'INERZIA

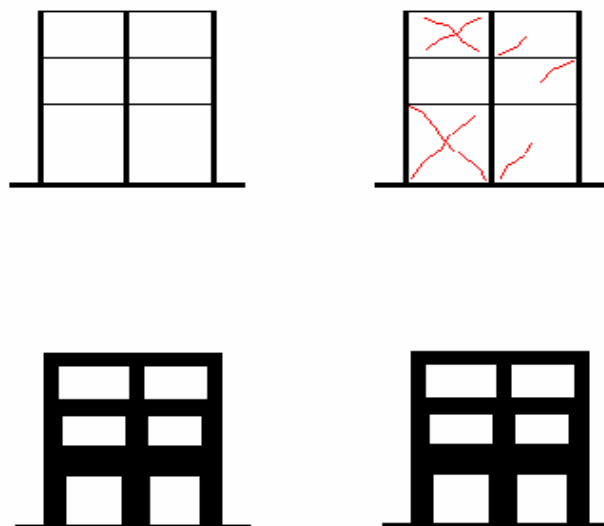


In questo secondo caso il fabbricato può mantenere un comportamento lineare fino alla massima forza d'inerzia F_3 ; proseguendo ed aumentando il

movimento del terreno la costruzione ha un **comportamento non lineare** (fine della la proporzionalità tra forza e spostamento): la forza d'inerzia attivata non può essere superiore a F_3 , ma lo spostamento della costruzione può ancora aumentare fino a S_3 grazie alla formazione di lesioni non pregiudizievoli nella struttura; quando finisce il movimento del terreno il fabbricato è lesionato e con uno spostamento residuo.

La capacità di una costruzione di far seguire al comportamento lineare una fase a comportamento non lineare è economicamente vantaggiosa

I costi per riparazione dei danni per lo spostamento residuo allo spostamento massimo S_3 , sono molto inferiori ai costi di costruzione per garantire al fabbricato un comportamento elastico e lineare con lo stesso spostamento.



ANALISI SISMICA

L'analisi del comportamento dei fabbricati durante un evento sismico più semplicemente può limitarsi alla **fase lineare**, ipotizzando comunque la presenza di una fase non lineare, di ampiezza imprecisata, su cui poter contare per assorbire gli spostamenti richiesti dal sisma.

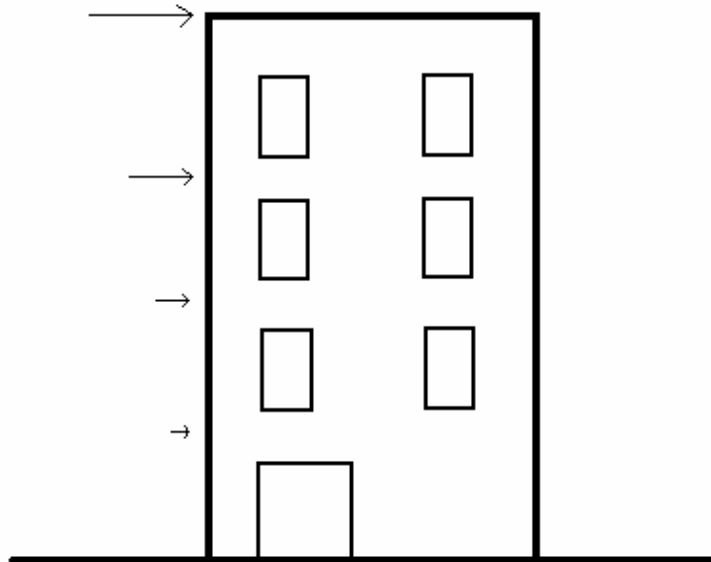
Con difficoltà molto superiori si può cercare di eseguire l'analisi anche della **fase non lineare**, cercando di determinare la duttilità della costruzione, dunque la capacità accettare ulteriori richieste di spostamento al prezzo di ragionevoli danni, tali cioè da non pregiudicare la stabilità complessiva.

Il comportamento più o meno duttile della costruzione è legato alle caratteristiche del materiale di costruzione, alla sagoma del fabbricato, al tipo e proporzione della struttura adottata, alla ripetizione ciclica degli spostamenti nel corso dell'evento sismico con comprensibile riduzione delle capacità di reazione del fabbricato; sono tutti aspetti che intervengono contemporaneamente e che con comprensibile difficoltà la Ricerca Tecnica cerca di ordinare e rendere comprensibili per le applicazioni quotidiane.

In estrema sintesi i **metodi di analisi sismica** comprendono queste **fasi**:

- individuazione dello spettro elastico idoneo per la zona e per le caratteristiche del terreno di fondazione,
- individuazione del fattore di struttura del fabbricato in rapporto alla sua presunta duttilità,
- passaggio dallo spettro elastico allo spettro di progetto applicando una riduzione pari al fattore di struttura,
- calcolo sommario del periodo proprio del 1° modo di vibrazione del fabbricato,
- utilizzo dello spettro di progetto per la determinazione degli spostamenti limite sulla base del periodo proprio del fabbricato,
- proporzionamento delle strutture del fabbricato adeguato a garantire spostamenti inferiori ai valori limite.

Tra i metodi di analisi l'analisi statica lineare è il più semplice, tanto da poter essere eseguita senza il supporto del calcolatore elettronico.

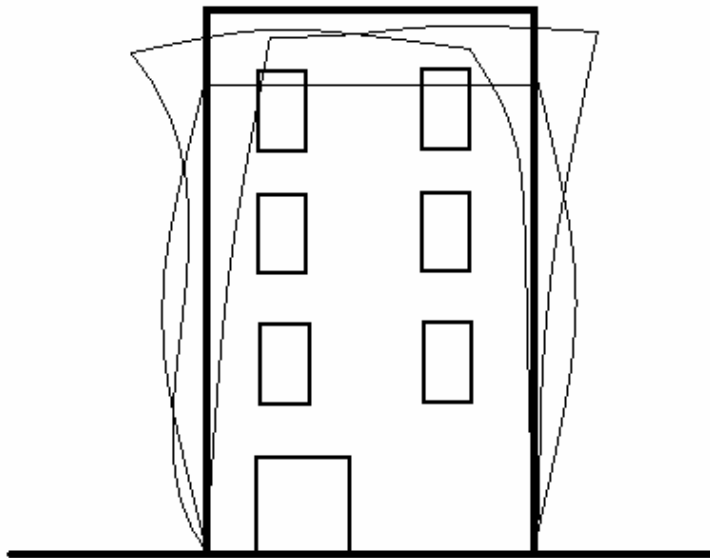


Con questo metodo vengono calcolate le forze d'inerzia e relativi sforzi legati al primo modo di vibrare del fabbricato; tale approssimazione è ammissibile solo per costruzioni a sagoma regolare, per le quali realmente il primo modo prevale su tutti i restanti.

Si ottengono gli sforzi (e commisurati spostamenti) applicando ai piani del fabbricato forze d'inerzia proporzionali alle masse dei piani e crescenti all'aumentare dell'altezza da terra.

1. calcolo delle forze d'inerzia sulla base delle masse presenti e delle accelerazioni inerziali derivate dallo spettro di progetto,
2. confronto della compatibilità degli sforzi conseguenti all'applicazione delle forze con le risorse limite della costruzione.
3. verifica dell'adeguatezza degli spostamenti.

L'analisi dinamica lineare è considerato il metodo ordinario di analisi, applicabile a tutte le costruzioni; per l'esecuzione è indispensabile il supporto del calcolatore elettronico.



Vengono separatamente calcolati i massimi sforzi legati a ciascuno dei modi di vibrare del fabbricato; gli sforzi vengono poi opportunamente sommati in modo però da ottenere un risultato inferiore alla somma dei massimi; la voluta riduzione del risultato della somma è giustificata dal fatto che i vari modi di vibrare sono sì contemporanei ma non raggiungono allo stesso istante i valori massimi.

Il procedimento calcola un modo di vibrare per ogni parte di fabbricato che ha possibilità di movimento indipendente dalle restanti; per limitare i tempi di elaborazione, il calcolo degli sforzi viene però limitato a quelli associati ai modi di vibrare più significativi, intendendo come tali solo i modi che attivano percentuali importanti dell'intera massa del fabbricato; a titolo di esempio si può pensare all'antenna del fabbricato, che come

struttura indipendente ha un proprio periodo di vibrazione, che peraltro non viene considerato in quanto attiva unicamente la massa dell'antenna stessa, trascurabile rispetto alla massa dell'intero fabbricato.

CONCLUSIONI

Quanto precede vorrebbe essere una semplice e modesta introduzione concettuale all'applicazione dell'analisi sismica prevista dalla normativa di recente emanazione.

E' opportuno ricordare sempre, che lo spostamento del terreno assunto per la progettazione sismica, deriva da elaborazioni statistiche eseguite al meglio sui dati disponibili per i terremoti rilevati in circa 500 anni; questo periodo è ampio in rapporto alla vita presunta per una costruzione, ma molto breve pensando alla vita del nostro pianeta; dunque è certamente opportuna ogni forma di prudenza e la perseveranza nell'analisi di quanto ad oggi può essere conosciuto e disponibile.

L'obiettivo di queste brevi considerazioni potrà considerarsi raggiunto se il necessario, doveroso e personale studio di approfondimento della norma sismica sarà facilitato.

Correggio, ottobre 2006

Ing. Corrado Prandi