

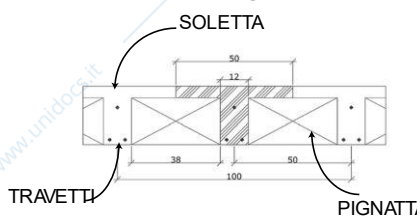
**Chi fa le norme?** Il Ministero infrastrutture e trasporti emana le norme tecniche tramite decreto, per mezzo di commissioni tecniche, e il consiglio dei lavori pubblici le approva prima di emanarle.

Alle norme tecniche viene allegata una circolare esplicativa per l'approfondimento generale della materia (non ha valore legale ma viene seguita quest'ultima)

**Cosa vuol dire progettare?** Ideare. Progettare uno spazio che rispetti le funzioni attese. Definire tutti gli elementi dell'organismo esistente (solaio, trave ecc)

**Organismo strutturale:**

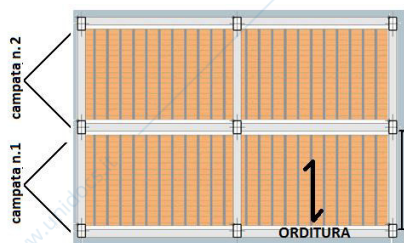
le azioni agiscono prima sul solaio, poi travi, pilastri, fondazioni e terreno dove vengono scaricati i carichi



**SOLAIO:** è costituito da Travetti, pignatte e soletta (o caldana). I travetti scaricano sulle travi in base all'orditura. L'orditura del solaio indica le direzioni di trasmissione dei carichi.

Si dividono in:

- **Solaio monodirezionale:** trasmette i carichi solo in una direzione. (luce tra 5 e 8 m)
- **Solaio bidirezionale:** viene utilizzato di meno, solo per grandi opere e grandi luci (tra 10 e 15 m)



**Perché utilizzo il laterizio, invece di fare una soletta piena?**

Perché se si considera un elemento inflesso nella parte inferiore ci sta trazione e nella parte superiore ci sta compressione. e dato che il cls non resiste a trazione ma l'acciaio sì, ecco perché vengono inseriti un numero di ferri (o barre) sufficiente. Una soletta piena, solo di cemento, collaserebbe. E il laterizio viene aggiunto per riempire e per alleggerire il solaio (infatti la pignatta non ha funzione strutturale).

PROGETTAZIONE SOLAIO:  $H = \frac{1}{30} \cdot \text{luce}$

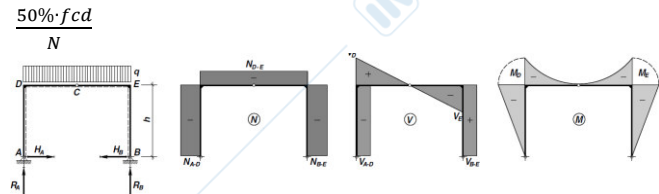
**TRAVI:** Trasmettono i carichi ai pilastri e possiamo avere: travi principali e travi secondarie.

Nelle strutture a telaio le **travi principali** sono quelle che trasferiscono i carichi ai pilastri, e le **secondarie** quelle, che di solito, portano i solai.

**PROGETTAZIONE TRAVE:** l'altezza della sezione della trave principale deve essere  $\frac{1}{10}$  della lunghezza della trave stessa (L); la Base deve essere maggiore di  $\frac{H}{2}$

**PILASTRO:** È un elemento verticale che scende di piano in piano e trasmette i carichi alle fondazioni. Sottoposti a prevalente sforzo normale (N). La luce della campata (tra pilastro e pilastro) è tra i 6-10 m.

PROGETTAZIONE PILASTRO:  $\text{Area minima} = \frac{\sigma}{N} = \frac{50\% \cdot f_{cd}}{N}$



**TELAI:** È un sistema di elementi verticali e orizzontali connessi tra di loro. Possono essere indipendenti però devono essere opportunamente connessi tra di loro, per formare una scatola tridimensionale resistente. Le travi secondarie devono essere perfettamente collegate per formare con i telai un sistema unico in grado di resistere alle azioni orizzontali

**Come si collegano i telai?**

**FONDAZIONI:** Sono elementi strutturali che distribuiscono in maniera omogenea i carichi della sovrastruttura al terreno.

**AZIONI:** La struttura deve essere progettata per resistere alle azioni che agiscono su di essa. Le azioni sono:

- Verticali
- Orizzontali (sisma e vento)
- Carichi gravitazionali, che si dividono in:
  - ➔ **Permanenti** (pesi proprio dei materiali)
    - strutturali **G1** (volume degli elementi strutturali es. solaio, travi)
    - non strutturali **G2** (tamponature, tramezzi divisori interni)
  - ➔ **Accidentali** (o anche Variabili) - comprendono i carichi delle destinazioni d'uso:
    - carichi verticali concentrati **Qk**
    - carichi verticali uniformemente distribuito **qk**

Tabella 3.1.II - Valori dei carichi d'esercizio per le diverse categorie di edifici

A. Edificio residenziale	2 kN/m <sup>2</sup>
B. Uffici	3 kN/m <sup>2</sup>
D. Ambienti ad uso commerciale	4 kN/m <sup>2</sup>

le azioni sono amplificate con dei coefficienti parziale di sicurezza: (criterio semiprobabilistico)

$\gamma_{G1} = 1,3$  coefficiente parziale del peso proprio della struttura

$\gamma_{G2} = 1,5$  coefficiente parziale dei pesi propri degli elementi non strutturali

$\gamma_{Q1} = 1,5$  coefficiente parziale delle azioni variabili.

www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari

www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari

## La Combinazione fondamentale delle azioni

Generalmente impiegata per gli stati limite ultimi:

$$F_{SLU} = (Y_{G1} \cdot G1) + (Y_{G2} \cdot G2) + (Y_{Q1} \cdot Qk1) = \text{kN/m}^2$$

## Classificazione delle azioni (CAPITOLO 2.5 – AZIONI SULLE COSTRUZIONI)

Si definisce azione ogni causa o insieme di cause capace di indurre stati limite in una struttura.

La normativa vigente fornisce una classificazione delle azioni in relazione al:

### 1. al modo di esplicitarsi

#### a) dirette:

- forze concentrate, fissi o mobili
- carichi distribuiti, fissi o mobili;

b) **indirette:** cedimenti di vincoli, difetti di montaggio, distorsioni impresse, effetti di variazione di temperatura

#### c) azioni di **carattere chimico-fisico:**

- **endogeno:** **alterazione naturale** del materiale di cui è composta l'opera strutturale;
- **esogeno:** alterazione delle caratteristiche dei materiali costituenti l'opera strutturale, **a seguito di agenti esterni.**

### 2. Secondo la risposta strutturale

a) **statiche:** azioni applicate alla struttura che non provocano accelerazioni significative della stessa o di alcune sue parti (esempio le persone sono definite statiche)

b) **pseudo statiche:** azioni dinamiche rappresentabili mediante un'azione statica equivalente; (esempio il vento è una forza variabile nel tempo ma è considerato forza statica equivalente, perché non è costante)

c) **dinamiche:** azioni che causano significative accelerazioni della struttura o dei suoi componenti.

#### Variazione della loro intensità nel tempo

a) **permanenti (Gravity):** azioni che agiscono durante tutta **la vita nominale** di progetto della costruzione, la cui variazione di intensità nel tempo è così modesta e lenta.

b) **variabili (Q):** azioni sulla costruzione o sull'elemento strutturale con valori istantanei che possono risultare sensibilmente diversi fra loro nel tempo:

Le azioni variabili sono dette di **lunga durata:** agiscono con un'intensità significativa, anche non continuativamente, per un tempo non trascurabile rispetto alla vita nominale della struttura.

Sono dette di **breve durata** se agiscono per un periodo di tempo breve rispetto alla vita nominale della struttura.

c) **eccezionali (Accidental):** azioni che si verificano solo eccezionalmente nel corso della vita nominale della struttura;

- incendi, dove nelle strutture in C.A. la resistenza al fuoco viene dato con il copriferro. Il **copriferro** evita che le barre si possano ossidare e corrodere, e che siano direttamente esposte al fuoco per non farle sciogliere e dare il tempo necessario per

evacuare le persone dall'edificio. Inoltre, maggiore è il copriferro, maggiore è la resistenza al fuoco (lo spessore non è mai meno di 4 cm)

- esplosioni;
- urti ed impatti;

d) **sismiche (Earthquake):** azioni derivanti dai terremoti. Quando rilevante, nella valutazione dell'effetto delle azioni è necessario tenere conto del comportamento dipendente dal tempo dei materiali, come per la viscosità.

**La Vita nominale di un progetto** è convenzionalmente definita come il numero di anni nella quale l'opera mantiene specifici livelli prestazionali. nel quale è previsto che sia soggetta alla necessaria manutenzione. I valori minimi da adottare per i diversi tipi di costruzione sono:

- Costruzione temporanee – vita nominale minore o uguale a **10 anni**
- Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari – vita nominale maggiore uguale a **50 anni**
- Costruzioni con livelli elevati - vita nominale maggiore uguale a **100 anni**

se la vita nominale è inferiore a 2 anni non si fa la verifica Sismica

**Le classi d'uso:** Con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

**Classe I:** Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

**Classe II:** Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali.

**Classe III:** Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente.

**Classe IV:** Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità.

**Stato limite** la struttura o una sua parte non può più svolgere le funzioni per cui è stata progettata

**Stato limite ultimo:** si verifica il collasso della struttura e la possibilità di perdita di vite umane

**Stato limite di esercizio:** si verifica la perdita di funzionalità della struttura in relazione alle esigenze di impiego (non collassa).

**PVR:** È la probabilità di superamento nel periodo di riferimento, ovvero la probabilità che la struttura supera la forza del sisma ed è dato dalla vita nominale della struttura per un coefficiente d'uso.  $V_R = V_N \cdot C_u$

### Le sigle dello SLE e SLU:

Gli stati limite di esercizio sono:

**SLO** – stato limite di operatività – la struttura a seguito del terremoto non deve subire danni ed interruzione d’uso significativi. **PVR 81%**

**SLD** – stato limite di danno – a seguito del terremoto subisce danni da non mettere a rischio gli utenti, e non compromettere la rigidezza e la resistenza della struttura. **PVR 63%**

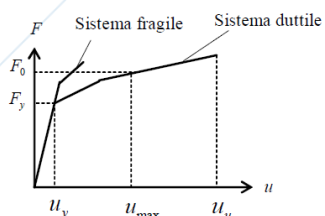
Gli stati limite ultimo sono:

**SLV** – stato limite di salvaguardia della vita – a seguito del terremoto l’edificio subisce rotture e crolli degli elementi non strutturali e significativi danni dei componenti strutturali. **PVR 10%**

**SLC** – stato limite di prevenzione del collasso – a seguito del terremoto l’edificio subisce gravi danni e rotture degli elementi strutturali e componenti. **PVR 5%**

### La duttilità e fragilità:

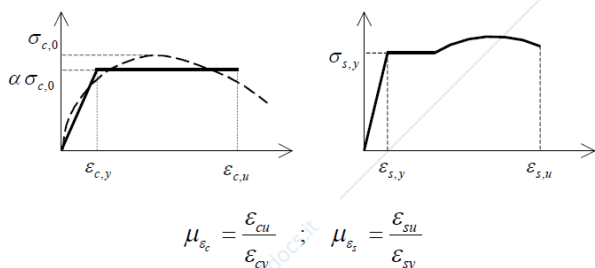
La **duttilità** è proprietà fisica dei materiali. Che ne indica la capacità di deformarsi plasticamente prima di giungere a rottura. Maggiore è la deformazione plastica e maggiore sarà la duttilità. I materiali che maggiormente godono di questa proprietà sono i metalli. La duttilità può essere influenzata dalla temperatura; essa diminuisce al diminuire della temperatura. Per questa ragione, anche materiali duttili (in particolare i metalli con reticolo cubico a corpo centrato) possono diventare fragili se esposti al gelo o comunque a basse temperature. Proprietà opposta alla duttilità è la **fragilità**, ovvero l’incapacità di deformarsi sotto carico e giungere ad improvvisa rottura (anche detta rottura fragile).



Duttilità – deformazione plastica e poi si rompe  
Fragilità – si rompe subito.

Per valutare la duttilità del materiale, ovvero puntuale, si fa riferimento al legame costitutivo del materiale.

L’acciaio, come detto, è in generale un materiale molto duttile, mentre il calcestruzzo e le murature sono materiali fragili.



### LEGAMI COSTITUTIVI

La normativa italiana, NTC 2018, prevede diversi modelli del legame costitutivo fra cui il progettista può scegliere.

Per il cls la **resistenza di calcolo a compressione**,  $f_{cd}$  è:

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

dove:

$f_{cd}$  rappresenta la tensione di progetto massima del conglomerato cementizio, però nella realtà la tensione di progetto massima è rappresentata da un valore maggiore, perché noi con il coefficiente parziale di sicurezza partecipa a ridurne il valore per fini di sicurezza.  $f_{ck}$  è la resistenza caratteristica cilindrica a compressione del cls

$\alpha_{cc}$  è il coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata = **0.85**

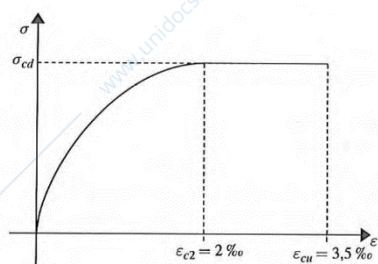
$\gamma_c$  è il coefficiente parziale di sicurezza relativo al cls (in passato in Italia si utilizzava il valore di  $\gamma_c=1.6$ ; nella nuova normativa in coerenza con quanto suggerito dal Eurocodice2, 2004, si assume  $\gamma_c=1.5$ ).

Il cls viene classificato sulla base della sua resistenza a compressione  $f_{cd}$  o tensione a compressione, rappresenta l’apice della parabola che avviene in prossimità della deformazione.

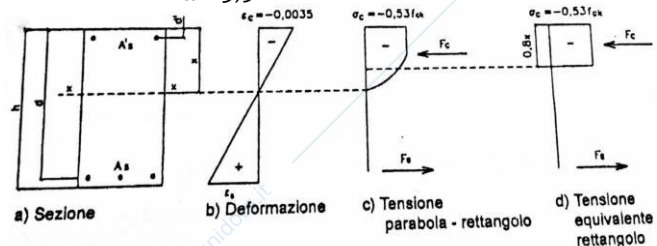
Quindi, la relazione tra tensione  $\sigma = \frac{F}{A}$  e deformazione  $\epsilon = \frac{\Delta l}{l}$  ottenuta durante la prova, viene definita legame costitutivo ( $\sigma - \epsilon$ ).

Per il diagramma tensione-deformazione del cls è possibile adottare opportuni modelli con andamento a parabola-rettangolo (a), triangolo-rettangolo (b) o più semplicemente a rettangolo (c), definiti sulla base della resistenza di calcolo  $f_{cd}$  e della deformazione ultima a rottura  $\epsilon_{cu}$

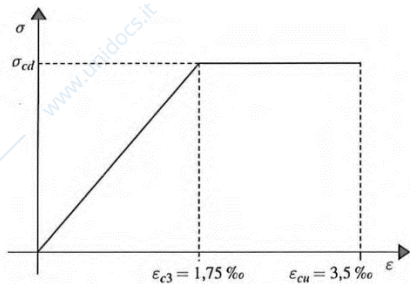
### Legame parabola-rettangolo per il cls



La normativa consiglia e permette di utilizzare il diagramma parabola-rettangolo, definito da un arco di parabola passante per l’origine, che raggiunge  $\sigma_{cd}$  per una deformazione  $\epsilon_{c2} = 2\text{‰}$  per poi mantenersi con una deformazione  $\epsilon_{cu} = 3,5\text{‰}$

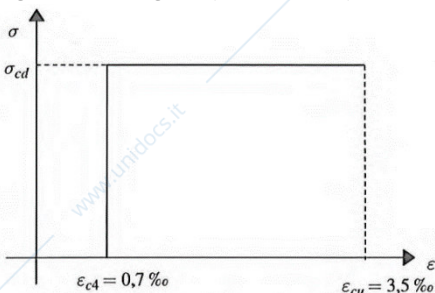


### Legame elasto-plastico per il cls



Il legame previsto da normativa è lineare fino alla deformazione di  $\epsilon_{c3} = 1,75\text{‰}$  e costante fino  $\epsilon_{cu} = 3,5\text{‰}$ .  
Dunque il legame fornisce una duttilità pari a 2

### Legame rettangolo (stress block) per il cls



Il modello normativo più semplice è evidentemente quello costante fra i limiti  $\epsilon_{c4}$  ed  $\epsilon_{cu}$   
Per cls di resistenza normale, si assume  $\epsilon_{c4} = 0,2 \epsilon_{cu}$

### LEGAME COSTITUTIVO DELL'ACCIAIO:

la **resistenza di calcolo dell'acciaio**,  $f_{yd}$  è riferita alla tensione di snervamento ed il suo valore è dato da:

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$$

dove:

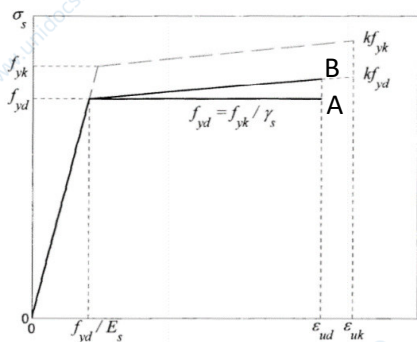
$f_{yd}$  rappresenta la tensione di progetto massima dell'acciaio, però nella realtà la tensione di progetto massima è rappresentata da un valore maggiore, perché noi con il coefficiente parziale di sicurezza partecipa a ridurre il valore per fini di sicurezza.

$F_{yk}$  per armatura ordinaria è la tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio, per armature da precompressione è la tensione convenzionale caratteristica di snervamento data, a seconda del tipo di prodotto

$\gamma_s$  è il coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio ( $\gamma_s = 1.15$ ).

La normativa, per quanto riguarda lo stato tensionale dell'acciaio, prende in esame la tensione di snervamento,  $f_{yd}$  di progetto ovvero quella tensione superata la quale, il comportamento del materiale diventa di tipo elasto-plastico, perdendo così il comportamento elastico lineare e formando deformazioni irreversibili.

Una importante caratteristica dell'acciaio è la sua duttilità, definita come rapporto tra la deformazione ultima  $\epsilon_{su}$  e deformazione di snervamento  $\epsilon_{sy}$   $\rightarrow \mu = \frac{\epsilon_{su}}{\epsilon_{sy}}$



A. Legame elasto-plastico per l'acciaio  
B. Legame tensione deformazione con ramo incrudente per l'acciaio

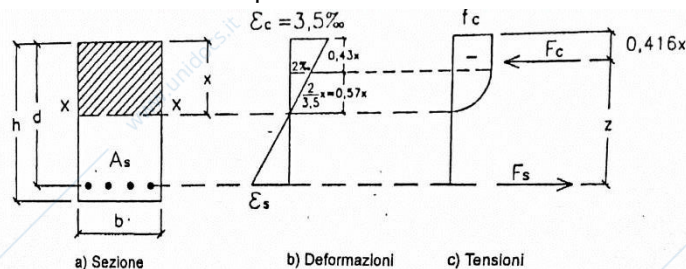
il comportamento dell'acciaio è di tipo elastico lineare per il primo tratto sino al raggiungimento della tensione di snervamento di progetto  $f_{yd}$  in corrispondenza della deformazione di snervamento  $\epsilon_{sy}$ . Superata la soglia di tale tensione, l'acciaio entra in fase di plasticizzazione, in cui si verifica un comportamento per il quale è ancora capace di resistere ad una sollecitazione impressa sino alla deformazione ultima  $\epsilon_{su}$ , nella quale avviene la rottura del materiale e vale 0,01 (adimensionale)

Deformazione e tensione sono legate tra loro dalla seguente relazione

$$\sigma_s = \epsilon_s E_s \text{ dove } E_s \text{ è il modulo di elasticità dell'acciaio}$$

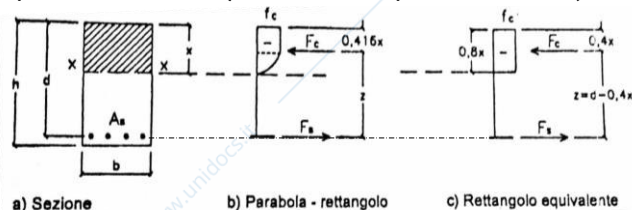
### SEZIONE RETTANGOLARE CON ARMATURA SEMPLICE (ESERCIZIO A CASA ED ESAME – GUARDA PRONTUARIO)

nel caso di travi sollecitate a flessione, una parte della sezione sarà tesa e una parte sarà compressa; la linea di passaggio tra le due zone si chiama Asse neutro. L'armatura si dice semplice quando i ferri  $A_s$  si trovano soltanto nella zona tesa; si dice doppia quando i ferri sono anche nella zona compressa.



La rottura avviene sempre per schiacciamento del cls in corrispondenza della deformazione ultima  $\epsilon_{cu} = 3,5\text{‰}$  e della tensione ultima  $f_{cd}$ .

Le risultanti delle tensioni di trazione e di compressione si sono indicate rispettivamente con  $F_s$  e  $F_c$ .  $F_c$  dista dal bordo compresso  $0,416 \cdot x$  mentre la distanza tra le due è pari a  $z = d - 0,416 \cdot x$  (0,416 coeff. di posizionamento)



Si ricorda che l'asse neutro è quell'asse in corrispondenza del quale sia le tensioni che le deformazioni si annullano.



### ANALISI SEMIPROBABILISTICO

Anche detto metodo agli stati limite (MSL) basato sull'impiego dei coefficienti parziali.  
 È basato sul principio che oltre il campo elastico il materiale possiede ancora notevoli risorse di resistenza senza che si abbia un incremento delle tensioni interne. Si basa sul concetto **DI ALEATORIETÀ** delle grandezze (azioni, resistenze)

Il procedimento di calcolo per la **VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA** si esegue:

- 1) Si assumono i **valori caratteristici** delle **azioni esterne** (carichi) e delle **resistenze** dei materiali
  - Per i carichi vengono assunti con frattile del 95%, ovvero si ha il 95% di Probabilità che la loro intensità non venga superata durante la vita della costruzione.
  - per le azioni con il **frattile del 5%**, ovvero si ha solo il 5% di probabilità che le resistenze effettive dei materiali non siano inferiori a quelle previste in questo modo vengono considerate le relative inevitabili incertezze.

**(La teoria delle incertezze:** L'analisi strutturale è influenzata da diversi tipi di **incertezze** inevitabili. La progettazione strutturale **non può quindi fornire la certezza** che i fenomeni pericolosi non si verifichino, ma può fare in modo che le strutture siano **sicure**, nel senso che gli stati limite siano abbastanza improbabili da rendere il rischio accettabile da un punto di vista sociale ed economico).

2) si determinano i valori di calcolo applicando dei **coefficienti parziali di sicurezza ( $\gamma$ )** ai valori caratteristici, amplificativi per le azioni e riduttivi per le resistenze dei materiali; Generalmente:  $1 < \gamma < 1,5$

3) vengono determinate le caratteristiche di sollecitazione con un'analisi lineare, ipotizzando una proporzionalità tra sforzi e deformazioni;

4) **la verifica di sicurezza allo S.L.U. e` positiva se risulta:**  
 $R_d \geq E_d \rightarrow$  **SICUREZZA**

dove:

$E_d$  = valori di progetto delle caratteristiche di sollecitazione

$R_d$  = valori limite delle resistenze di progetto.

Stati limite, dove devono essere condotte le verifiche  
**Ultimo:** la costruzione sopporta, se soggetta ad azioni che non si verificano sempre (es. terremoto), supera l'evento e la costruzione deve essere demolita.

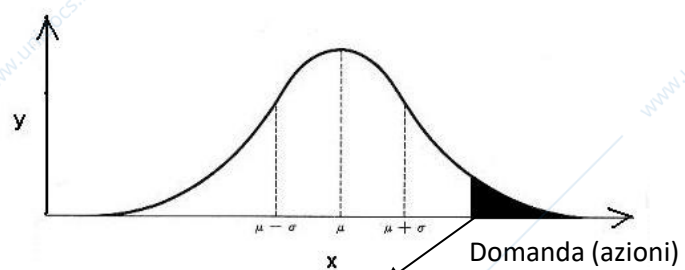
$4 \text{ persone} \cdot 1,5 \cdot m^2$

Quindi, per questi stati limite si accetta che la costruzione si danneggi. La costruzione supera il campo elastico ed entra in campo plastico. Si verificano in termini di FORZE (sollecitazioni).

**Esercizio:** la costruzione deve sopportare sempre. Quindi la costruzione deve rimanere in capo elastico

$4 \text{ persone} \cdot m^2$

Si verificano in termini di spostamento.

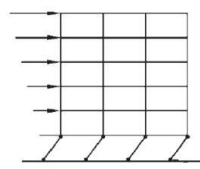


**5% = Rk sup. frattile** con 5% delle probabilità che il valore sia superiore

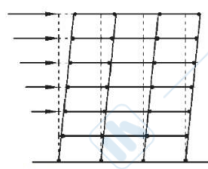
### GERARCHIA DELLE RESISTENZE:

Questo criterio impone una gerarchia di danno agli elementi strutturali in modo che, quando le forze sismiche superano il valore di progetto, il danno si concentra in zone stabilite indicate con il termine di fusibili strutturali o di cerniere plastiche.

Di solito queste zone coincidono con le estremità delle travi, risparmiando così i pilastri, che costituiscono gli elementi più critici per la sopravvivenza dell'edificio. Danni nei pilastri, infatti, possono condurre al collasso dell'intero organismo strutturale.



Progetto che non tiene conto del criterio della "gerarchia delle resistenze"



Progetto che tiene conto del criterio della "gerarchia delle resistenze"

### CERNIERE PLASTICHE:

Gli elementi duttili costituiscono una sorta di fusibili strutturali: quando viene raggiunto il limite elastico, una porzione di questi elementi può deformarsi plasticamente, producendo un certo danno, ma senza perdere la propria resistenza. In questo modo si evita che il danno si manifesti altrove.

### ANALISI STATICA LINEARE:

detta anche analisi modale, è l'analisi per calcolare la struttura. Consiste:

1. calcolare i modi di vibrazione propri
2. analizzare i modi di vibrazione propri
3. analizzare per ogni moto la risposta degli effetti sugli elementi
4. sommare tutti i valori ottenuti

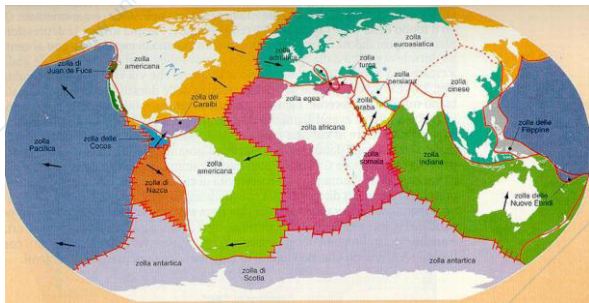
L'azione sismica è **UN'AZIONE NATURALE, INDIRECTA E DINAMICA**. Essa infatti è causata da un fenomeno naturale, **LA TETTONICA A PLACCHE**.

A tutti gli effetti essa andrebbe inclusa, almeno concettualmente, tra le azioni variabili. **Le normative** invece la **includono spesso tra le azioni accidentali o eccezionali**, legate cioè a un accidente o incidente, un uso improprio della struttura.

### TEORIA DELLA TETTONICA A PLACCHE

Secondo la teoria di Wegener (1915) sulla tettonica a placche: il nostro pianeta è ancora estremamente attivo e vi è una costante modificazione e trasformazione del paesaggio e della morfologia.

Nella configurazione attuale **LE PLACCHE, O ZOLLE**, sono quelle bianche. In rosso sono evidenziati i **MARGINI TRA LE ZOLLE**, mentre le frecce nere indicano la direzione e verso del movimento di ogni zolla. Il movimento delle zolle le può portare ad allontanarsi, ad avvicinarsi o a scorrere parallelamente. Colorato sono i mari



**LA ZOLLA COMPRENDE SIA PARTE EMERSA CHE SOMMERSA. I MARGINI SONO LE FAGLIE**

Una nell'**OCEANO ANTARTICO**, una di separazione nell'**OCEANO ATLANTICO**, poi una sull'**OCEANO PACIFICO** che taglia tutta la parte della **CALIFORNIA** una sottomarina e poi (faglia di **SANTANDREAS**). Poi c'è n'è una che divide la parte sud dal nord dell'Europa dell'est e **POI ZOLLE DELLE FILIPPINE**.

**LE ZOLLE**, che costituiscono **LA CROSTA O LITOSFERA**, si muovono in quanto trascinate dal moto del materiale fluido del mantello, che ruota in cosiddette celle convettive, il cui moto è generato dal gradiente di temperatura tra il nucleo più caldo e la litosfera più fredda. Questi movimenti assumono la forma **DI CELLE CONVETTIVE** che hanno dimensioni legate allo spessore del mantello. La massa semi-fluida in lento movimento nel mantello trascina le placche sovrastanti, causandone l'allontanamento in certe zone, e l'avvicinamento in altre. In particolare, l'allontanamento avviene in corrispondenza delle dorsali oceaniche, dove si ha formazione di nuova crosta (il materiale semi-fluido si raffredda e solidifica a contatto con l'acqua).

**L'AVVICINAMENTO** può avvenire in modi diversi. Ci sono **ZONE DETTE DI SUBDUZIONE**, nelle quali una porzione di crosta si immerge sotto l'altra, normalmente in prossimità delle masse continentali ma anche **ZONE DI CONTATTO** tra masse continentali in cui le due masse si muovono una verso l'altra provocando l'innalzamento di catene montuose (**OROGENESI**). Esistono infine zone in cui il moto relativo tra le placche è parallelo alla superficie di contatto e i margini si dicono in questo caso trascorrenti.

Il movimento delle zolle le può portare ad allontanarsi, ad avvicinarsi o a scorrere parallelamente.

Si determinano quindi **TRE TIPOLOGIE DI MARGINE**:

- 1. DIVERGENTI O COSTRUTTIVI** ← → **si costruisce, buco riempito nuova parte di crosta** (situazioni diverse (rigonfiamento, fossa tettonica, braccio di mare, dorsale oceanica) Everest
- 2. CONVERGENTI O DISTRUTTIVI** → ← **parte della crosta si distrugge** (sotto oceano, terre emerse, Himalaya)
- 3. TRASCORRENTI O CONSERVATIVI** -><- **scorrono, scivolano l'una sull'altra** FAGLIA SAN Andreas

### LOCALIZZAZIONE DEI TERREMOTI

La maggior parte dei terremoti si verifica lungo i limiti di placca:

**Dorsali medio-oceaniche** (margini divergenti, fuoco(\*) superficiale)

**Fosse oceaniche** e archi insulari (margini convergenti, crosta continentale-oceanica oppure oceanica-oceanica, subduzione, fuoco profondo)

**Catena Alpino-Himalayana** (margini convergenti, crosta continentale-continentale, collisione, fuoco superficiale)

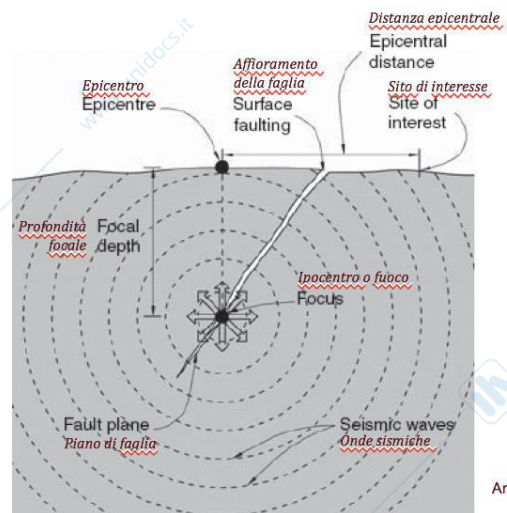
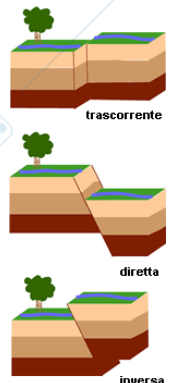
**Faglia di San Andreas** (margini trascorrenti, attività vulcanica non presente, fuoco superficiale)

I restanti terremoti si verificano all'interno di una placca, lungo fratture della crosta lungo le quali c'è movimento relativo tra due masse rocciose.

**FAGLIE DIRETTE O NORMALI** (dip-slip, normal fault): il tetto scende rispetto al muro

**FAGLIE INVERSE** (dip-slip, reverse fault): il tetto sale rispetto al muro

**FAGLIE TRASCORRENTI** (strike-slip): spostamento relativo orizzontale



### Terminologia di base

L'**ipocentro** è il punto (zona) dove avviene la rottura. L'**epicentro** è la proiezione sulla superficie dell'ipocentro. La **distanza focale** è la distanza tra epicentro e ipocentro; maggiore sarà la distanza minore sono gli effetti. La rottura genera onde sismiche, che si propagano dall'ipocentro al suolo. Più è lungo il percorso maggiore sarà all'attenuazione (riduzione dell'intensità). La **distanza epicentrale** è la distanza dall'epicentro al sito (della costruzione)

Le onde sismiche si propagano a partire dalla **ZONA DI ROTTURA**. Questa ha sempre inizio in un punto, **DETTO FUOCO O IPOCENTRO**, che si trova a una certa profondità sotto la superficie, ma interessa **UNA ZONA DI ESTENSIONE FINITA**, che viene chiamata **FAGLIA O PIANO DI FAGLIA**. La rottura si propaga con una certa velocità  $V_r$  (distinta da quella di propagazione delle onde nella crosta) in una o più direzioni e si interrompe quando trova degli ostacoli, ad esempio zone di maggiore resistenza nella crosta.

Italia → movimento delle masse rocciose. Non ci sono faglie che dividono zolle l'una dall'altra. I terremoti in Italia hanno un'intensità di media intensità rispetto ai terremoti degli Stati Uniti, California ecc. rispetto a quelli che avvengono dalla rottura. In Italia faglie **LOCALI** di limitata **ESTENSIONE**

L'intensità del moto risentito in ogni sito aumenta all'aumentare dell'energia rilasciata dalla rottura e diminuisce con la distanza dalla rottura (attenuazione geometrica, diffusione dell'energia rilasciata in un volume di crosta che aumenta con la distanza, con conseguente diminuzione della densità di energia per unità di volume).

### TIPI DI ONDE SISMICHE

Si dividono in due categorie:

1. **Onde di volume (Body waves):** si propagano dal fuoco in tutte le direzioni attraverso il terreno, assumendo una direzione verticale in prossimità del suolo.

- **Onde P** (primarie): longitudinali, comprimono e dilatano il mezzo; sono le più veloci (ad esempio nel

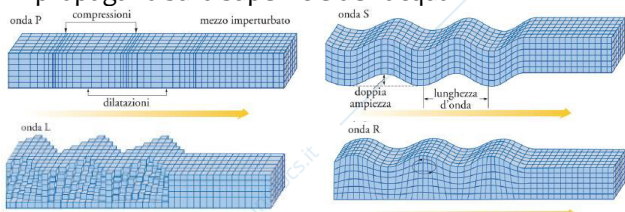
$$\text{granito } 5.5 \text{ km/s} \rightarrow V_p = \sqrt{\frac{K}{\rho}}$$

- **Onde S** (shear): trasversali, provocano nel mezzo oscillazioni perpendicolari alla direzione di propagazione; non si propagano nei fluidi, che hanno modulo di taglio nullo. Meno veloci, es: granito

$$3.0 \text{ km/s} \rightarrow V_p = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$$

2. **Onde superficiali (Surface waves):** dovute all'intersezione delle onde di volume con la superficie terrestre.

- **Onde L** (Love): trasversali nel piano orizzontale.
- **Onde R** (Rayleigh): composizione di onde P ed S incidenti sulla superficie, provocano movimenti ellittici delle particelle, sono simili alle onde che si propagano sulla superficie dell'acqua.



Sono le onde che si propagano in superficie ad essere responsabili dei danni più rilevanti.

### MAGNITUDO LOCALE O RICHTER

La definizione della **MAGNITUDO LOCALE O RICHTER (ML)**, è una **SCALA DI MISURA** che vuole misurare l'energia di intensità di un terremoto. Misura l'energia sprigionata da un terremoto. > **valore > intensità. OGGI VALORE MISURATO OGGETTIVAMENTE.** Unica misura usata. Mercalli era basata sui DANNI da 1 a 12. **Misura Oggettiva CHE SI MISURA** con un certo **STRUMENTO → SISMOGRAFO** (strumento che misura le accelerazioni. diagrammando il logaritmo dell'ampiezza delle onde registrate di un terremoto).

Un terremoto che **PROVOCA UN AMPIEZZA** di un **MICROMETRO**, cioè un millesimo di millimetro, su un sismografo di **WOOD ANDERSON** posto a 100 km dall'epicentro è di **MAGNITUDO ZERO**.

Avendo questo come **RIFERIMENTO** a seconda delle misurazioni **dell'ampiezza e tenendo conto della distanza** che l'oggetto ha dall'epicentro **si ottiene questo terremoto che è RAPPORATO** al terremoto di magnitudo zero la magnitudo va da 4 a 9 quelli più grandi non possono esistere fisicamente.

Dalla magnitudo si può ricavare **L'ENERGIA LIBERATA DALL'EVENTO**.

**OGNI GRADO DI MAGNITUDO VUOL DIRE ENERGIA PARI A 32 VOLTE PIÙ GRANDE DI QUELLO PRECEDENTE**

Cresce in maniera esponenziale

Ci sono vari tipi di MAGNITUDO. **QUELLA DI RICHTER È STATA CORRETTA** perché tendeva a classificare magnitudo superiori a 8 **QUINDI OGGI SI USA LA MAGNITUDO MOMENTO Mw** e si può anche misurare in **valori di scorrimento della faglia**

$$M_w = \frac{\log_{10} M_0}{1.5} - 10.7$$

$$M_0 = K A \delta$$

Scorrimento della faglia

Rigidezza della crosta terrestre nella zona della faglia interessata

Area della zona della faglia interessata

La scala Richter non è adatta a ricavare l'energia liberata da terremoti molto violenti ( $M > 8$ ).

L'unica scala non soggetta alle limitazioni strumentali è **LA MAGNITUDO MOMENTO (MW)**, basata sul **MOMENTO SISMICO Mo**, il quale è una misura diretta dei fattori che producono la rottura lungo la faglia.

### LEGGE DI GUTTENBERG RICHTER E PROCESSO DI POISSON

A partire dal valore di MAGNITUDO MOMENTO per ogni zona fisica, attraverso **LA LEGGE DI GUTTENBERG RICHTER, SI DEFINISCE** quale è l'attività sismica di ciascuna sorgente, **PIÙ ATTIVE O MENO ATTIVE** ad ogni **ZONA SISMOGENETICA** viene attribuita una **CURVA DI RICORRENZA** che definisce, per ciascuna intensità, il numero di eventi osservati annualmente. **Quindi** sappiamo per i vari livelli di magnitudo con che **FREQUENZA SI POSSONO VERIFICARE** ma **NON SAPPIAMO QUANDO**.

Per ciascuna **MAGNITUDO**, si può definire la sua **FREQUENZA ANNUA D'OSSERVAZIONE O IL SUO PERIODO DI RITORNO** ( $\lambda$  m)

www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari

Quindi non sapendo quando può avvenire il **MODELLO PROBABILISTICO** che governa **LA FREQUENZA TEMPORALE DEGLI EVENTI** è il **PROCESSO DI POISSON**.

- **STAZIONARIO** (la probabilità che gli eventi si verificano non varia nel tempo).
- è un processo **SENZA MEMORIA** (L'occorrenza di un evento è indipendente dagli eventi già occorsi)
- La probabilità di un evento in  $\Delta t$  è uguale a  $\lambda (m) \Delta t$ , in cui  $\lambda (m)$  è la frequenza media annua
- degli eventi con magnitudo  $M \geq m$ ;
- La probabilità di due o più eventi in  $\Delta t$  tende a 0 con  $\Delta t$ .

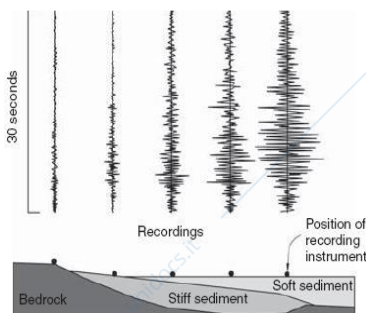
$$P_N(t) = \frac{(\lambda(m) \cdot t)^N \cdot e^{-\lambda(m)t}}{N!} = \text{La probabilità che in } t \text{ anni il numero degli eventi con } M > m \text{ sia } N$$

**CONDIZIONI DI SITO**

Una cosa molto importante da considerare sono le **CONDIZIONI DI SITO**.

\*Il **SUOLO** ( ultima parte della crosta terrestre) gioca il ruolo **DI FILTRO** del segnale sismico. **Suoli soffici** (cioè con proprietà meccaniche scadenti) "tagliano" le frequenze più alte e amplificano quelle più basse (cioè i **periodi lunghi**), portando alla risonanza gli edifici con **frequenze naturali simili**.

- I **TERRENI A GRANA FINE** (limi e argille) **GROSSA** (sabbia e ghiaia).
- Permeabili (sabbie e ghiaie) passa più acqua
- **INCOERENTI** → **LE SABBIE (NO  $\tau$ )**
- Argille e limi → **COESI** → **RESISTENZA TANGENZIALE ( $\tau$ )**



Se le **CARATTERISTICHE MECCANICHE** del terreno hanno un effetto sulla **TIPOLOGIA DELLE FONDAZIONI** e quindi hanno anche un effetto sulla resistenza dei carichi statici. **LA TIPOLOGIA DEL TERRENO** ha un **EFFETTO** molto importante anche per quanto riguarda **LA PROPAGAZIONE DELLE AZIONI** perché per lo stesso terremoto abbiamo quello che si potrebbe misurare su diversi punti della superficie in funzione di qualsiasi terreno in cui essi si trovano

\***Bedrock** → terreno roccioso duro  
 Diversi fenomeni → alterazioni chimiche → vedi l'anno scorso  
 Questi sedimenti possono essere **RIGIDI** o **SOFFICI**.  
**IL MOTO DELLE ONDE PRIMA DI ARRIVARE ALLA SUPERFICIE TERRESTRE ATTRAVERSA TUTTI GLI STRATI SOTTOSTANTI.**  
**SE SIAMO SU BEDROK (ES MANATTHAN) arriva direttamente senza filtro invece se le onde attraversano i SEDIMENTI CAMBIANO SI MODIFICANO.**

Siccome i terreni soffici hanno meno capacità di trasmettere sforzi di taglio tagliano le frequenze più alte ma amplificano quelle più basse  
 Quindi moto meno **FRASTAGLIATO** ma più **AMPIO** il periodo e **L'INTENSITA' MAGGIORE** → **AMPLIFICAZIONE DELL'AZIONE SISMICA**

• **IMPORTANTE QUESTA AZIONE** perché possiamo trovare costruzioni una accanto all'altra, poste una su **sedimenti rigidi** e una su **sedimenti soffici** quindi **comportamento diverso**.  
**CAPITO QUESTO FENOMENO, È ASSOLUTAMENTE INDISPENSABILE CHE SIANO FATTI DEI SONDAGGI NEL PUNTO IN CUI VENGA FATTA LA COSTRUZIONE**

COME SI FA A DETERMINARE LE AZIONI DELLE COSTRUZIONI? come si fa a dire io posso costruire qui? → **NON SI POSSONO PREVEDERE QUESTE AZIONI CON CERTEZZA QUINDI COSA SI DEVE FARE?**

**C'è UN METODO ALTERNATIVO: PSHA**

**Analisi di pericolosità sismica probabile**

è una metodologia che consente di **QUANTIFICARE E COMBINARE LE INCERTEZZE** nella stima della **PERICOLOSITÀ SISMICA**. Tali incertezze riguardano principalmente: (**due modi per tipologia o per ubicazione**)

- **LA MAGNITUDO, LA POSIZIONE DELL'EPICENTRO** ed il **TASSO DI RICORRENZA DEI TERREMOTI**;
- la predizione **DELL'INTENSITÀ SISMICA AL SITO**, in base alle grandezze macrosismiche (**MAGNITUDO E DISTANZA**).

Una **PSHA** è costituita da **QUATTRO PASSI**:

- 1) **IDENTIFICAZIONE E CARATTERIZZAZIONE DELLE SORGENTI SISMICHE**. Si sceglie un catalogo o banca dati delle sorgenti attive in una certa area. (**aree dove sono avvenuti i terremoti**) e si considerano solo quelle di interesse per il sito in esame (ad esempio entro una distanza di circa 100 km per i terremoti italiani). Le sorgenti sono caratterizzate in termini di geometria, minima e massima magnitudo, parametri della legge di ricorrenza. Generalmente si assume che gli epicentri (o le rotture di faglia) siano distribuiti con distribuzione di probabilità uniforme sulla sorgente. Per ogni sorgente si ottiene la distribuzione della distanza sorgente-sito
- 2) **SI ADOTTA UNA LEGGE DI RICORRENZA** (quella corrispondente ai parametri delle sorgenti), che esprime il numero medio annuo di sismi con magnitudo  $M$  maggiore o uguale ad un valore  $m$ .
- 3) **SI ADOTTA UNA LEGGE DI ATTENUAZIONE, cioè come si propaga il moto dall'epicentro a un generico sito** per stimare l'intensità al sito a partire dalle grandezze macrosismiche.  $M$  e  $D$
- 4) Tutte le incertezze contenute nei modelli utilizzati in precedenza vengono combinate per ottenere la **CURVA DI PERICOLOSITÀ (O DI HAZARD)**, che indica la frequenza media annua di superamento dell'intensità locale. Calcolo che si fa attraverso la **DISTRIBUZIONE DI POISSON**.  
 Da un insieme di curve di hazard, una per ogni misura di intensità locale, è possibile **RICAVARE UNO SPETTRO DI RISPOSTA ISOPROBABILE**, caratterizzato da ordinate che hanno tutte la stessa frequenza media annua di superamento.

www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari

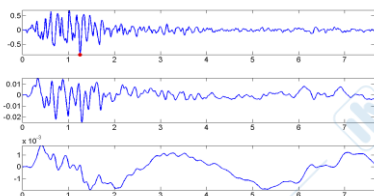
La **PERICOLOSITÀ SISMICA** è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale, nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente  $S_e(T)$ , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR nel periodo di riferimento VR.

In alternativa è ammesso l'uso di **accelerogrammi**, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica locale dell'area della costruzione.

Ai fini della presente normativa le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento PVR nel periodo di riferimento VR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- $a_g$**  accelerazione orizzontale massima al sito;
- $F_0$**  valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $T^*C$**  valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

**ACCELEROGRAMMA** → ha una fase iniziale, c'è un'amplificazione e poi decresce. Registrazione dell'andamento del moto del terreno nel tempo. Movimento orizzontale più fastidioso.



Le stazioni sismiche registrano **ACCELERAZIONE  $A(T)$ , VELOCITÀ  $V(T)$  E SPOSTAMENTO  $D(T)$**  del moto del suolo. La misurazione della **VARIAZIONE di ACCELERAZIONE** nel tempo si chiama **ACCELEROGRAMMA**.

Il moto del suolo causato da un sisma viene registrato **DA UNA STAZIONE SISMICA** in termini di **STORIA TEMPORALE (segnale) DI ACCELERAZIONE,  $a(t)$** , chiamata **accelerogramma**, integrando la quale una o due volte è possibile ottenere rispettivamente **LA STORIA DI VELOCITÀ,  $v(t)$ , velocigramma**, e quella **DI SPOSTAMENTO,  $d(t)$ , spostogramma**. (che può essere misurata in tre direzioni)

- Misurano l'intensità locale ( **RISPETTO A TUTTA LA STORIA TEMPORALE SI CHIAMA:**)
  - $a(t)$  →  $m/s^2$  PGA** ( accelerazione di picco al suolo MAX )
  - $v(t)$  →  $m/s$  PGV**- (velocità di picco MAX )
  - $d(t)$  →  $m$  PGD** - (spostamento di picco al suolo MAX)
 se noi misuriamo le accelerazioni al variare del tempo deriviamo la velocità e gli spostamenti.  
 Da quello che viene registrato possiamo avere la massima accelerazione/velocità/spostamento

### ZONE SISMOGENETICHE

La ricerca su base storica viene effettuata prendendo come fonte principale il Catalogo Sismico Italiano, contenente circa 20000 terremoti. Tramite l'integrazione delle informazioni storiche con studi geofisici è stata

ottenuta l'ultima **ZONAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO ITALIANO, LA ZS9, COMPOSTA DA 36 ZONE**. Di cui si occupa **INGV istituto nazionale di geofisica e vulcanologia**.

**SONO QUELLE AREE LA CUI ATTIVITÀ PUÒ CONSIDERARSI OMOGENEA IN TERMINI DI FREQUENZA E INTENSITÀ DEGLI EVENTI GENERATI AL SUO INTERNO** (stessi valori dei parametri della legge di ricorrenza degli eventi, ad es. legge di G-R). Le singole zone vengono delimitate studiando la localizzazione degli epicentri dei sismi passati (base storica) e i lineamenti sismo-tettonici del territorio analizzato (base geofisica).

Per ognuna di queste zone sono indicate i livelli minimi di magnitudo attesi ovvero i parametri  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $m_1$  e  $m_0$  della legge di Gutenberg-Richter troncata

### MISURE DI INTENSITÀ

Per diversi **PERIODO DI RITORNO**, cioè finestre temporali diverse, calcoliamo quale è:

- **L'ACCELERAZIONE SISMICA** attesa **DI PICCO AL SUOLO AL BEDROCK** (non al sito). Compresa tra 0,25-0,275 G. Quella al sito si ottiene dopo aver fatto l'amplificazione locale di quella al bed rock per tutti i punti
- **la velocità di picco (peak ground velocity, PGV);**
- **l'accelerazione spettrale al periodo fondamentale della struttura ( $S_a(T_1)$ );**

L'intensità locale è legata ovviamente alle grandezze macrosismiche (magnitudo  $M$ , distanza sorgente-sito  $R$ ), ma anche alle condizioni stratigrafiche e geotecniche proprie del sito. È necessario definire una o più misure dell'intensità locale (intensity measure, IM).

Si richiede che una misura di intensità sia:

- ✓ **efficiente**
- ✓ **sufficiente**
- ✓ **prevedibile**
- ✓ **robusta verso la scalatura**

### LEGGI DI ATTENUAZIONE

Queste leggi legano le grandezze macrosismiche ( $M, R$ ) ad una misura di intensità locale  $y$ .

La formula generale è: con  $\varepsilon$  = errore del modello o residuo ed il logaritmo naturale o in base 10.

$$\log Y = \overline{\log Y} + \varepsilon$$

### CURVA DI PERICOLOSITÀ (HAZARD CURVE)

Con riferimento ad una misura di intensità  $Y$ , la curva di pericolosità (hazard), indicata con  $\lambda Y$ , esprime la frequenza media annua di superamento del generico valore dell'IM. L'inverso della  $\lambda Y$  è il **PERIODO DI RITORNO** medio di superamento indicato con **TR**.

### NTC AZIONE SISMICA

Le **AZIONI SISMICHE DI PROGETTO**, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla **"pericolosità sismica di base"** del **sito di costruzione** e sono funzione delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche che determinano la **risposta sismica locale**.

La **PERICOLOSITÀ SISMICA** è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $ag$  in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.

**(PGA) L'ACCELERAZIONE MASSIMA ATTESA  $ag$**  dipende dal periodo di ritorno considerato:

- terremoti più intensi hanno accelerazioni elevate e ricorrono raramente (hanno periodi di ritorno lunghi);
- terremoti più deboli hanno accelerazioni basse e ricorrono frequentemente (hanno periodi di ritorno brevi).

Il valore di  $ag$  è definito su un reticolo di riferimento (latitudine, longitudine) per diversi periodi di ritorno  $T_R$  compresi tra 30 e 2475 anni.

In Italia abbiamo tre curve (16%-50%-94%) di **possibilità di verificarsi**. Ovviamente quando progettiamo noi teniamo conto del 50%

## STATI LIMITE DINAMICI E RELATIVE PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO

### • Stati limite di esercizio

❖ **Stato Limite di Operatività (SLO):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi.

**SLO :  $P_{vr} = 81\%$   $T_R = 30$  anni**

❖ **Stato Limite di Danno (SLD):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

**SLD:  $P_{vr} = 63\%$   $T_R = 50$  anni**

### • Stati limite ultimi

❖ **Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV):** a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali.

**SLV :  $P_{vr} = 10\%$   $T_R = 475$  anni**

❖ **Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

**SLC :  $P_{vr} = 5\%$   $T_R = 975$  anni**

**$P_{vr}$**  → il periodo di riferimento è dato dalla vita nominale /di una struttura per il coefficiente di importanza della struttura.

$$V_R = V_N C_U \geq 35 \text{ anni}$$

$V_R$  = Periodo di riferimento

$V_N$  = Vita nominale di un'opera strutturale, è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata

$C_U$  = coefficiente d'uso è definito, al valore della classe d'uso, come valore tabellare da normativa.

Se  $V_R \leq 35$  anni si pone comunque  $V_R = 35$  anni

ciascuno stato limite e la corrispondente probabilità di superamento  $P_{vr}$ , **SI DETERMINA IL PERIODO DI RITORNO DELL'AZIONE SISMICA  $T_R$** , tramite la formula: Gli stati limite hanno le probabilità di superamento e i periodi di ritorno:

Considerando  $V_R = V_N C_U$ , con  $V_N = 50$  e  $C_U = 1$  otterrò come periodo di riferimento  $V_R = 50$  anni

Per SLO →  $P_{vr} = 0,81$

$$T_R = - \frac{V_R}{\ln(1 - P_{vr})} =$$

## RISPOSTA DELLA STRUTTURA

La sola conoscenza dell'accelerazione massima attesa è **insufficiente** per determinare la risposta della struttura, che dipende anche dalla **durata** e dal **contenuto in frequenza** dell'azione.

Strutture con **FREQUENZE PROPRIE DI VIBRAZIONE** vicine a quelle del terremoto, subiscono un'**amplificazione dinamica** maggiore di strutture con frequenze proprie distanti.

Il **PERIODO PROPRIO DI OSCILLAZIONE:** è il modo in cui questa struttura se sollecitata da una forza comincia a oscillare. Questo conta nella struttura come una massa di un bambino su un'altalena.

Esempio: 3 oscillatori semplici, che hanno una sola massa.

I pilastri hanno la stessa sezione quindi l'inerzia, di una sezione rettangolare è la stessa, ma la lunghezza dell'elemento è diversa, quindi la **RIGIDEZZA** è diversa data dalla lunghezza dell'elemento. Possono rappresentare tre strutture soggette allo stesso terremoto ma con rigidità diversa.

**COSA ACCADE?** Quello più basso non si muove quello più alto si.

Se aumenta la **FREQUENZA** (cioè l'azione) anche quello più rigido PIU BASSO si muove, spostamenti più piccoli per quello più basso. Non è detto che la struttura alta è più vulnerabile della struttura bassa ma quello che conta è IL RAPPORTO TRA IL PERIODO PROPRIO STRUTTURA E IL PERIODO O LA FREQUENZA DELL'AZIONE SISMICA.

• **Se il PERIODO PROPRIO DELLA STRUTTURA O LA FREQUENZA PROPRIA DELLA STRUTTURA, è simile a quella del TERREMOTO SI CREA EFFETTO DI AMPLIFICAZIONE. → CONCETTO IMPORTANTE**

Quando si progetta si deve cercare di allontanare il periodo proprio della struttura da quello del terremoto, anche se questa cosa è difficile perché il periodo del terremoto non è **PREVEDIBILE** anche se ha dei contenuti in frequenza che possono variare, hanno un range.

**PERIODO ≠ FREQUENZA**

**Periodo** → tempo necessario per compiere una vibrazione inverso della **frequenza**, che invece è il tragitto

fatto nell'unità di un secondo di tempo.

## SPETTRO DI RISPOSTA

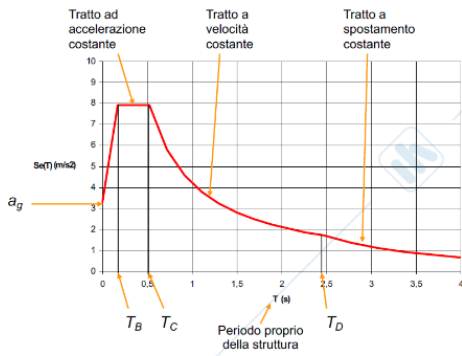
Tutti questi problemi sono risolti dallo **SPETTRO DI RISPOSTA**. Esso fornisce direttamente la **RISPOSTA MASSIMA DELLA STRUTTURA** che ci interessa ai fini delle verifiche – in termini di accelerazione, velocità o spostamento – in funzione della frequenza propria, o più comunemente del **PERIODO PROPRIO DI VIBRAZIONE** (inverso della frequenza propria). Cioè se noi progettiamo la struttura per il massimo valore allora la struttura è verificata.

**Drif** → **ROTAZIONE** → **SPOSTAMENTO ASSOLUTO** / **LUNGHEZZA** → **QUELLO CHE CONTA**

Tale risposta va intesa come la risposta **mediana** (frattile 50%) per la **classe di terremoti** che possono verificarsi nel sito di costruzione.

## PER UN OSCILLATORE SEMPLICE

A parità di massa **MAGGIORE** è la rigidezza (k) **MINORE** sarà il **periodo proprio (TEMPO)** che questo oscillatore impiegherà a compiere un ciclo completo di spostamento. Per una **rigidezza infinita** (periodo zero perché  $1/\infty$  zero) la massa sarà uguale a quella vincolata al suolo misurate per lo stesso evento sismico ma periodo diverso.



Quindi, se misuriamo in un grafico l'accelerazione si vede che il grafico ha un andamento nel quale si osserva un iniziale **AMPLIFICAZIONE** che è più grande dell'accelerazione di picco al suolo.

Per strutture che hanno periodo lunghi si osserva una **RIDUZIONE**.

**RANGE** di periodo in cui la frequenza e il periodo proprio della struttura è nello stesso range del periodo proprio dell'eccitazione.

Oltre un **CERTO LIMITE** periodo più lunghi in **STRUTTURE PIÙ FLISSIBILI** nelle quali diminuisce l'**ACCELERAZIONE MA AUMENTANO GLI SPOSTAMENTI DELLA STRUTTURA** Che comunque non sono compatibili con la struttura.

Si **DEVE LAVORARE** prima sulla **ADEGUATA** rigidezza per **RIDURRE GLI SPOSTAMENTI E POI MODIFICARLA**.

## Perché è IMPORTANTE CONOSCERE L'ACCELERAZIONE?

Perché  $F = m \cdot a$  → quindi la forza d'inerzia che si genera nella costruzione è uguale alla massa per l'accelerazione quindi ci serve sapere come si amplifica, cioè gli effetti che l'accelerazione al suolo produce in corrispondenza delle masse della struttura → attraverso lo **SPETTRO DI RISPOSTA (schema)**, detta anche **ACCELERAZIONE DI ANCORAGGIO** → dove si ancora



→ **SMORZAMENTO** → tutto quello che porta la struttura a fermarsi e quindi va considerato altrimenti si sovrastima l'effetto dell'azione sismica (c o si) si riduce l'azione.

→ Per una struttura Pari al 5% → maggiore è lo smorzamento minore è il valore di accelerazione max che si misura sulla struttura.

→ **Soluzione** → elementi dissipatori

## PER CAPIRE QUAL È L'ACCELERAZIONE DI ANCORAGGIO – processo per progettare

- Scegliere prima IL sito → **ACCELERAZIONE DI PICCOAL SUOLO**
- Poi indagini → terreno → **CONSIDERARE AMPLIFICAZIONE LOCALE DEI TERRENI Ss St**
- **CONCERRE IL PERIODO DI VIBRAZIONE DELLA STRUTTURA**
- Accelerazione per la massa quindi conosciamo la forza che agisce per la struttura

## SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO

Si definisce spettro di risposta relativo ad uno specifico accelerogramma il luogo dei punti che rappresentano la risposta massima di un oscillatore semplice al variare del suo periodo T, per un dato valore dello smorzamento.

La risposta massima può essere, a seconda dei casi il valore massimo dell'accelerazione assoluta (cioè quella della massa dell'oscillatore sommata a quella del suolo), della velocità relativa (rispetto a quella del suolo) o dello spostamento relativo. PGA, PGV e PGD.

## SPETTRO ELASTICO ISOPROBABILE

Lo spettro di risposta, può essere utilizzato nella progettazione. Volendo progettare una struttura ad un grado di libertà una volta noto il suo periodo F dallo spettro si ricava il valore di accelerazione a cui sarà soggetta la struttura e quindi la massima forza d'inerzia.

Lo spettro isoprobabile è caratterizzato dal fatto che le ordinate hanno tutte la stessa probabilità di superamento.

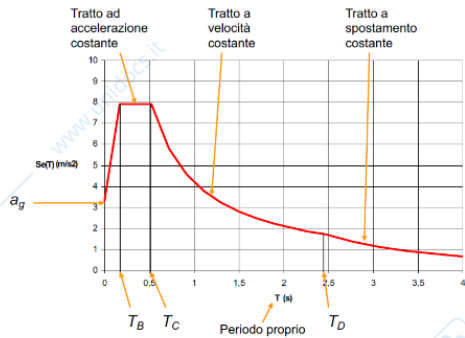
$$F_{\max} = m \cdot S_a(\bar{T})$$

## SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO IN ACCELERAZIONE DELLE COMPONENTI ORIZZONTALI

Lo **spettro di risposta elastico** delle componenti orizzontali è espresso da una **forma spettrale (spettro normalizzato)** riferita a uno smorzamento convenzionale del 5%, moltiplicata per il valore dell'**accelerazione orizzontale massima a\_g** su sito di riferimento rigido orizzontale.

Sia la forma spettrale che il valore di  $a_g$  variano al variare della probabilità di superamento nel periodo di riferimento.

**Se(T) = Accelerazione spettrale**



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

$$S_e(T) = a_g S \eta F_o$$

$$S_e(T) = a_g S \eta F_o \frac{T_C}{T}$$

$$S_e(T) = a_g S \eta F_o \frac{T_C T_D}{T^2}$$

$0 \leq T < T_B$
$T_B \leq T < T_C$
$T_C \leq T < T_D$
$T_D \leq T$

Definiscono lo spettro di risposta

• Il coefficiente **S** tiene conto della categoria di sottosuolo e delle **condizioni topografiche**:

$$S = S_s S_T$$

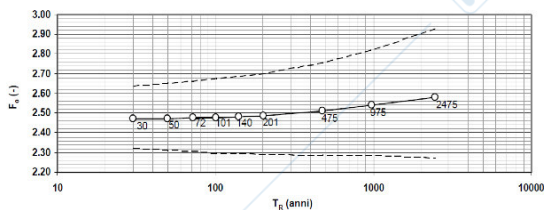
essendo  $S_s$  il coefficiente di amplificazione **stratigrafica** e  $S_T$  il coefficiente di amplificazione **topografica**.

• Il coefficiente  $\eta$  altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali  $\zeta$  diversi dal 5%, mediante la relazione:

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5 + \zeta}} \geq 0.55$$

dove  $\zeta$  (espresso in percentuale) è valutato sulla base di materiali, tipologia strutturale e terreno di fondazione

• Il coefficiente **Fo** quantifica l'**amplificazione spettrale massima**, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed è definito sul **reticolo di riferimento**. *Varia anche con la frequenza di accadimento*



Variabilità di  $F_o$  con  $T_r$ : andamento medio sul territorio nazionale e intervallo di confidenza al 95%.

• **T** è il **periodo proprio di vibrazione**:

$T_C$  è il periodo corrispondente all'inizio del **tratto a velocità costante dello spettro**:  $T_C = C_c T_C^*$

dove:  
 $T_C^*$  è definito sul reticolo di riferimento per determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante (tabellone – allegato B NTC)  
 $C_c$  è il coefficiente funzionale della categoria di sottosuolo

$T_B$  è il periodo corrispondente all'inizio del **tratto dello spettro ad accelerazione costante**:

$$T_B = \frac{T_C}{3}$$

$T_D$  è il periodo corrispondente all'inizio del **tratto a spostamento costante**:

dove:

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

$a_g$  è espressa in  $\frac{g}{10}$ ;  
 $F_o$  è adimensionale;  
 $T_C^*$  è espresso in secondi.

**LA RISPOSTA SISMICA LOCALE**

La pericolosità sismica è definita in termini di **ACCELERAZIONE ORIZZONTALE MASSIMA** attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della **RISPOSTA SISMICA LOCALE** mediante specifiche analisi. In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a **UN APPROCCIO SEMPLIFICATO**, che si basa sull'individuazione **DI CATEGORIE DI SOTTOSUOLO** di riferimento. [nonché delle **condizioni topografiche**].

L'accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale è modificata, per tener conto della risposta sismica locale, **moltiplicandola per il coefficiente S**.

- ➔ sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale:  $a_g \cdot (S = 1)$
- ➔ sito di riferimento NON rigido e/o con superficie topografica NON orizzontale:  $a_g \cdot (S \neq 1)$

**CATEGORIA DI SOTTOSUOLO**

ai fini della identificazione della categoria di sottosuolo, la classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente  $V_{s,30}$  di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità.

Il suolo è suddiviso in **5 categorie (A, B, C, D, E)**: da terreno rigido e roccioso a terreno fine e poco consistente. Il terreno a cui si fa riferimento convenzionalmente è quello **A**.

Rec lezione ---

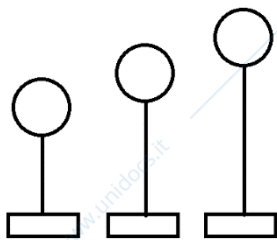
È necessario sapere anche la durata del terremoto e soprattutto anche dal contenuto in frequenza.

**Cos'è un periodo?** Il periodo è il tempo che ci vuole per compiere un intero ciclo/ azione (Esempio l'altalena)

**La frequenza** è l'inverso del periodo è il tragitto fatto in una unità di tempo. (Esempio in un secondo qual è il tragitto compiuto?)

Tornando all'esempio dell'altalena, il periodo dell'oscillazione dipende da quanto forte spingiamo, che in questo caso, potremmo interpretarla come: "quanto è forte l'accelerazione sismica?" chiaramente più forte spingiamo e più l'altalena andrà veloce. Ma l'oscillazione dipende anche dalle masse della struttura come conta la massa di un bambino quanto lontano va con l'altalena.

Immaginiamo di avere 3 oscillatori semplici:



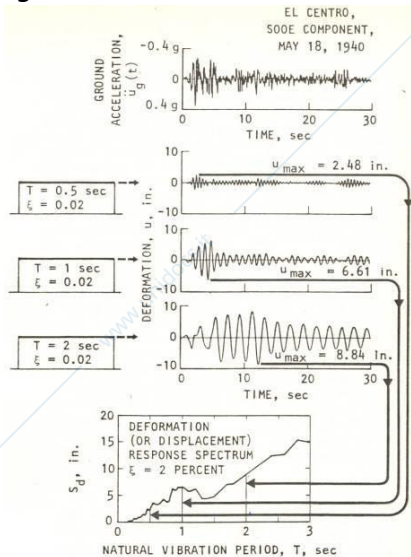
Gli oscillatori semplici, sono elementi che hanno una sola massa. Di solito le strutture hanno più masse. Il periodo proprio per oscillatore semplice, è dato da  $2\pi \cdot \text{massa} / \text{rigidezza}$ . Vediamo che a parità di massa maggiore è la rigidezza minore sarà il periodo proprio. (minore nel senso: che l'oscillatore compirà un ciclo completo in minor tempo).

Hanno la stessa sezione rettangolare. Ma la lunghezza dell'elemento è diversa, quindi hanno una differente rigidezza.

la rigidezza sono 3 i fattori che contribuiscono per determinare la rigidezza dell'elemento:

1. il materiale attraverso il modulo elastico, e gli oscillatori hanno lo stesso materiale
2. l'inerzia attraverso la geometria della sezione, e gli oscillatori hanno la stessa inerzia
3. la lunghezza dell'elemento, e in questo caso hanno lunghezze diverse, perciò avranno RIGIDEZZE diverse

questi oscillatori potrebbero rappresentare 3 edifici soggetti allo stesso terremoto ma con caratteristiche di rigidezza diverse. Cosa accade? [http://www.youtube.com/watch?v=LV\\_UuzEznHs](http://www.youtube.com/watch?v=LV_UuzEznHs)



Cosa ci fa capire questo esempio?

Modificando la frequenza, quindi l'input dell'azione siamo stati in grado di amplificare l'eccitazione prima per il primo oscillatore poi per il secondo e poi per il terzo. Questo significa che non è detto che la struttura più è alta e più è vulnerabile all'azione sismica di una struttura bassa.

Sicuramente però tutti gli spostamenti assoluti della struttura più elevata, probabilmente è maggiore rispetto allo spostamento assoluto della struttura più bassa.

Quello che conta è: il periodo rapporto che c'è tra il periodo proprio della struttura e il periodo dell'azione sismica.

Se il periodo proprio della struttura, con la frequenza propria della struttura è simile a quella del terremoto ce la possibilità che si crei questo effetto di amplificazione di risonanza.

Quindi quando si progetta bisogna tener conto di questo fattore, cercando di allontanare il più possibile il periodo proprio della struttura rispetto a quello dell'eccitazione sismica. Mentre il periodo proprio della struttura quando lo progettiamo lo possiamo definire noi, il periodo proprio del terremoto non lo sappiamo. I terremoti hanno contenuti di frequenza propri che possono variare, ma comunque un terremoto non è che possono variare in maniera infinita, c'è un range. Allora per tener conto di tutto questo il sistema che si è creato, la risposta a questo problema è dato dallo **spettro di risposta**

Se noi sottoponiamo una struttura a 2 diversi terremoti, con contenuti di frequenza diversi la risposta sarà diversa. Come facciamo a tener conto di questa variabilità? Dobbiamo ricordarci, che per risolverlo, a noi alla fine delle verifiche, sostanzialmente ci interessa principalmente il valore massimo della risposta.

Se noi progettiamo una struttura in modo tale che, per il massimo spostamento della prova, la struttura verificata è chiaro che lo sarà anche per tutti i valori inferiori.

Quello che conta non è solo lo spostamento assoluto della struttura ma conta anche **per il danno procurato ad un elemento**. Quindi conta anche il drift, cioè lo **spostamento diviso la lunghezza dell'elemento**.

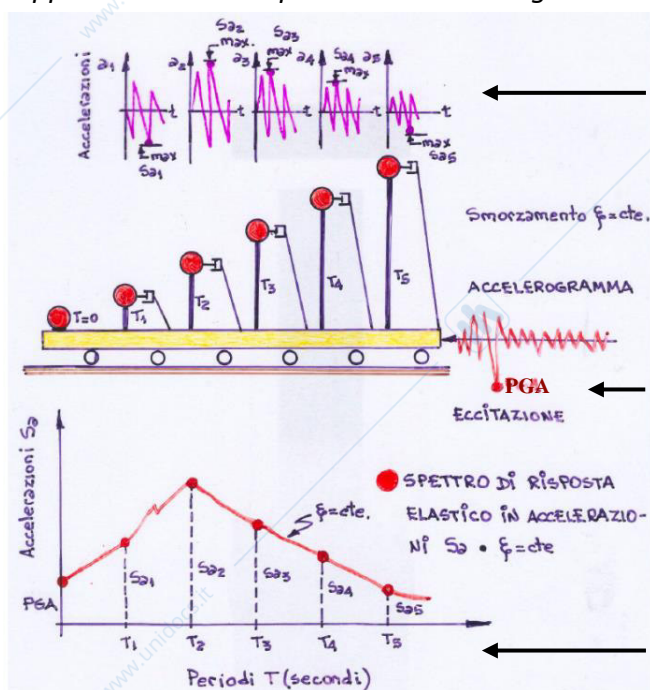
È chiaro che se prendo un elemento più corto e lo spostiamo di poco, e ne prendiamo un altro alto il doppio e lo spostiamo il doppio, il drift (=la rotazione) è uguale. Quindi bisogna definire il drift dividendo lo spostamento per la lunghezza dell'elemento.

La risposta è stata data dallo **spettro di risposta**:

Esso fornisce direttamente la risposta massima della struttura, **in termini di accelerazione, velocità o spostamento, in funzione della frequenza propria, o più comunemente del periodo proprio di vibrazione della struttura** (che abbiamo visto che il periodo è l'inverso della frequenza propria).

Tale risposta va intesa come la risposta **mediana** per la **classe di terremoti** che possono verificarsi nel sito di costruzione.

Rappresentazione di quello che abbiamo già visto in precedenza:



Prendendo strutture con diversi periodi propri  $T_1, T_2, T_3, T_4, T_5$  hanno per un dato terremoto risposte diverse. Quindi hanno accelerazioni di risposta diverse per lo stesso evento sismico perché hanno un periodo diverso

l'accelerazione è misurata alla base, quindi ha la stessa accelerazione del suolo. Vuol dire che se questo è l'accelerogramma che agisce, quella sarà la PGA (massima accelerazione dell'eccitazione).

in questo diagramma l'elemento ha periodo 0, perché con rigidità infinita, abbiamo:  $\frac{1}{\infty} = 0$  perché è vincolato al suolo. Quindi l'accelerazione della massa sarà uguale all'accelerazione del suolo

se rappresentiamo su un grafico l'accelerazione, in corrispondenza della massa, avremo una rappresentazione di questo genere.

Quindi avviene un'amplificazione dinamica, ovvero: l'accelerazione misurata in corrispondenza delle masse è più grande dell'accelerazione di picco al suolo. Questo avviene fino ad un certo valore del periodo per strutture con periodi lunghi, si osserva addirittura una riduzione dell'accelerazione misurata in corrispondenza della massa. Che vuol dire? Vuol dire che il range dei periodi, dove la frequenza e il periodo proprio della struttura, è nello stesso range del periodo e della frequenza del terremoto. Oltre ad un certo limite si incomincia ad avere strutture con periodi molto lunghi di vibrazione, questo si può verificare per strutture più flessibili, e per queste strutture flessibili si osserva una riduzione delle accelerazioni ma diminuiscono le accelerazioni ma aumentano gli spostamenti della struttura.

Si **DEVE LAVORARE** prima sulla **ADEGUATA** rigidità per **RIDURRE GLI SPOSTAMENTI E POI MODIFICARLA**.

Il danneggiamento del materiale avviene o perché le forze sono troppo elevate, o perché gli spostamenti sono troppo elevati. allora per bilanciare un buon progetto, trovando una rigidità ottimale, e cercare di minimizzare le accelerazioni

*Perché è importante l'accelerazione? Perché la Forza è uguale alla massa per l'accelerazione. Più il terremoto è intenso, maggiore è l'accelerazione; la quale moltiplicata alla massa in oggetto, dà come risultato la forza che agisce sull'edificio.*

$$F = m \cdot a$$

Dove:

$f$  = forza

$m$  = massa (dimensione dell'edificio)

$a$  = accelerazione (prodotta dalle onde sismiche)

*Noi stiamo cercando di capire non tanto quanto vale l'accelerazione al suolo, stiamo cercando di capire come si amplificano gli effetti che l'accelerazione al suolo produce in corrispondenza delle masse della struttura perché  $f = m \cdot a$ . lo spettro di risposta mi dà questo: mi dice data l'accelerazione al suolo. Se quando progettiamo una struttura, e conosciamo l'accelerazione che si verifica a dove sono le masse, con  $F = m \cdot a$  sappiamo le forze che nascono, e quando conosciamo le forze possiamo progettare e verificare.*

*Lo smorzamento: quando l'edificio oscilla, avrà una resistenza che lo porta a fermarsi. Lo indicheremo con  $\zeta$  il valore che fa presente che la struttura si ferma. Questo smorzamento va considerato il 5%. Maggiore è lo smorzamento, minore è il valore di accelerazione spettrale massima che si misura.*

**NORMATIVA:**

**L'analisi dinamica lineare**, detta anche analisi modale, è l'analisi che si utilizza per calcolare le strutture, consiste: nel calcolarne i modi di vibrazione propri, analizzare per ciascun modo la risposta degli effetti sugli elementi di ciascun modo, e poi andare a sommare i valori ottenuti.

*L'analisi dinamica lineare, per ciascun di esso si calcola la risposta sismica considerando l'accelerazione presa dallo spettro di risposta per il periodo proprio, la calcola per tutti i modi e la somma ottenendo la risposta complessiva.*

*L'incremento di sollecitazioni rispetto ad un progetto per soli carichi verticali riguarda principalmente sui pilastri: perché fa nascere sui pilastri sforzi di taglio. Quindi mentre per le travi sono già soggetti a taglio, il sisma potrebbe aumentarne il valore o cambiarne il verso. Per i pilastri, non hanno momento flettente.*

#### **\*CALCOLO RAPIDO**

Si definisce per ogni livello la massa sismica che si ricava dividendo i pesi sismici per l'accelerazione di gravità  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ :

$$M_i = W_i / g$$

---

**calcolo rapido risposta sismica:**

- **qual è il periodo di un edificio?** Il periodo proprio di un edificio, generalmente è  $\frac{1}{10}$  del numero dei piani. Man mano che aumenta l'altezza degli edifici il periodo proprio tende ad aumentare. Per una struttura di 4-5 piani il periodo è di circa 0.5 per un edificio di 10-20 piani il periodo cresce tra 1 o 2 secondi, per una struttura di 60 piani è di circa 60 sec.
- **Com'è fatto lo spettro di risposta?** Lo spettro di risposta è il grafico che:
  - assegnata una certa accelerazione (sisma di riferimento per il sito)
  - assegnato un certo rapporto di smorzamento
  - Fornisce il massimo valore di risposta della struttura (accelerazione o spostamento) in funzione del periodo proprio di oscillazione  $T$
- **Qual è l'accelerazione di sito?** Io so che in una zona sismica, se è di elevata intensità può essere 0,25-0,3 mentre per media intensità può essere 0,15-0,20;
- **Se ho un terreno soffice?** avrò un'amplificazione che può arrivare anche a 2.
- Poi abbiamo l'**amplificazione dinamica** che è circa 2,5.

www.unidocs.it

www.unidocs.it

www.

www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari

www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari

**RICORDATI - calcolo rapido risposta sismica:**

• <b>periodo di un edificio</b>	Il periodo proprio di un edificio, generalmente è $\frac{1}{10}$ del numero dei piani. Man mano che aumenta l'altezza degli edifici il periodo proprio tende ad aumentare. Per una struttura di 4-5 piani il periodo è di circa 0.5 per un edificio di 10-20 piani il periodo cresce tra 1 o 2 secondi, per una struttura di 60 piani è di circa 60 sec.
• <b>accelerazione di sito</b>	una zona sismica, se è di elevata intensità può essere 0,25-0,3 se media intensità può essere 0,15-0,20;
• <b>Se ho un terreno soffice</b>	avrò un'amplificazione che può arrivare anche a 2.
• <b>l'amplificazione dinamica</b>	è circa 2,5.

**Quindi, quant'è l'accelerazione che la forza può agire su quella struttura?**

Siamo in zona di prima categoria, quindi: <u>Picco al suolo 0,3</u>	→ $0.3 \times 1.5 = 0,45$
amplificazione del terreno soffice: 1,5	
un edificio di 5 piani il periodo fondamentale 0,5	→ $0.45 \times 2.5 = 1.125$
sono un'amplificazione di 2,5	

**quant'è la forza complessiva che agisce sulla struttura? Massa x accelerazione.**

**so quanto pesano i solai? le masse sismiche, sono: il 100% dei pesi propri + 60% degli accidentali,**

Vuol dire che se ho $30m^2$ e l'accidentale $200 Kg/m^2$	→ $200 \times 30 = 6000$ che equivale all'accidentale totale
Non devo considerare tutto il peso accidentale, ma il 60%	→ $600 \times 0,60 = 3600$
$30m^2$ moltiplicato per il $cls = 2500 Kg/m^2$	→ $30 \times 2500 = 7500$ Che equivale ai carichi permanenti
Quindi la Massa sismica totale equivale a	→ $7500 + 3600 = 78600$
$F = M \cdot a$	→ $78600 \cdot$

la normativa mi dice come questa forza complessiva come la devo ripartire:  $F_{totale}$  corrisponde alla somma delle forze di piano:  $f_1 + f_2 + f_3$  queste si ripartiscono per la larghezza

Di 11 milioni di edifici in Italia, circa il 60% sono costruiti in muratura portante (circa 7 milioni). Di questi la metà è stata costruita prima del 1945, mentre questa media è andata a calare.

In c.a. sono circa il 25% e la maggior parte è stata costruita dopo il 1945, al contrario della muratura la media è in salita.

La legge delle NTC risale al 1978, mentre la pubblicazione al 1986, quindi tutti gli edifici costruiti prima del '90 sono lontani dalle norme.

Patrimonio edilizio italiano:

- 82% Muratura portante
- 43% C.A.
- 69% Altro

#### '74 Prima legge costruzioni antisismiche

#### '96 Costruzioni moderne costruzioni antisismiche

### NTC18 - CAPITOLO 8 - LA VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DELLE COSTRUZIONI ESISTENTI

**8.1. OGGETTO:** Il presente capitolo stabilisce i criteri generali per la valutazione della sicurezza e per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo degli interventi sulle costruzioni esistenti. Si definisce costruzione esistente quella che abbia, alla data della redazione della valutazione di sicurezza e/o del progetto d'intervento, la struttura completamente realizzata.

**8.2. CRITERI GENERALI:** Nel caso di interventi che non prevedano modifiche strutturali (impiantistici, di distribuzione degli spazi, etc.) il progettista deve valutare la loro possibile interazione con gli SLU ed SLE della struttura o di parte di essa.

L'edificio porta con sé le caratteristiche del periodo di costruzione. Di solito i problemi strutturali sono nascosti.

**8.3. VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA:** La valutazione della sicurezza di una struttura esistente è un procedimento quantitativo, delle azioni che agiscono su di essa.

**Obiettivo della valutazione:** le costruzioni esistenti devono essere sottoposte a valutazione quando ricorra anche una sola delle seguenti situazioni:

- 1. riduzione evidente della capacità resistente e/o deformativa della struttura o di alcune sue parti dovuta a:**
  - azioni ambientali (sisma, vento, neve e temperatura),
  - significativo degrado e decadimento delle caratteristiche meccaniche dei materiali,
  - azioni eccezionali (urti, incendi, esplosioni),
  - situazioni di funzionamento ed uso anomalo,
  - deformazioni significative imposte da cedimenti del terreno di fondazione
- 2. trovati gravi errori di progetto o di costruzione**
- 3. cambio della destinazione d'uso** della costruzione o di parti di essa, con variazione significativa dei carichi variabili e/o della classe d'uso della costruzione

- 4. 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 o ne modificano la rigidità
  - 5. esecuzione di interventi strutturali definiti al 8.4**
- ❖ **NEW opere realizzate in assenza o difformità dal titolo abilitativo o in difformità dalle norme tecniche vigenti all'epoca della costruzione.**

#### STATI LIMITE DA VALUTARE:

La valutazione della sicurezza e la progettazione degli interventi sulle costruzioni esistenti va effettuata tenendo conto solo degli SLU.

- ❖ **NEW ....** salvo che per le costruzioni in classe d'uso IV, per le quali sono richieste anche le verifiche agli SLE.

#### Importanza della valutazione di SLC:

Gli SLU e in particolare gli SLC vanno considerati perché per edifici esistenti spesso la gerarchia delle resistenze e un'adeguata duttilità non sono state soddisfatte.

#### ❖ NEW - Verifica del sistema di fondazione

**E' obbligatoria se** sussistono condizioni che possano dare luogo a fenomeni di instabilità globale o se:

- Se sono presenti **importanti dissesti attribuibili a cedimenti delle fondazioni**
- Se sono possibili **fenomeni di ribaltamento e/o scorrimento della costruzione**
- Se sono possibili fenomeni di **liquefazione del terreno di fondazione** dovuti alle azioni sismiche di progetto.

- ❖ **NEW** Lo svolgimento delle verifiche delle fondazioni si è complicato e poco utile. Infatti, gli effetti del sisma non sono generalmente la condizione critica per le fondazioni degli edifici.

#### ❖ NEW - Valutazione del livello di sicurezza

Il livello di sicurezza della costruzione viene quantificato attraverso il rapporto tra:

- l'azione sismica massima sopportabile dalla struttura
- l'azione sismica massima che si utilizzerebbe nel progetto di una nuova costruzione

#### ❖ NEW - Restrizioni d'uso

E' necessario adottare provvedimenti restrittivi d'uso della costruzione e/o interventi di miglioramento e adeguamento nel caso in cui non siano soddisfatte le verifiche relative ai carichi permanenti e alle azioni di servizio.

La restrizione dell'uso può mutare da porzione a porzione della costruzione e si quantifica attraverso il rapporto tra:

- il valore massimo del sovraccarico variabile verticale sopportabile da quella parte della costruzione
- il valore del sovraccarico variabile che si utilizzerebbe nel progetto di una nuova costruzione.

#### 8.4. CLASSIFICAZIONE DEGLI INTERVENTI

Si individuano le seguenti categorie di intervento

- **Interventi di adeguamento** Atti a conseguire i livelli di sicurezza previsti per le nuove costruzioni. sono obbligatori nei seguenti casi:
  - **Sopraelevare** la costruzione
  - **Ampliare** la costruzione con opere strutturalmente connesse ad essa
  - **Incremento dei carichi** globali dovuto a cambio classe e/o destinazione d'uso (sup al 10%)
  - **Trasformazione** della costruzione che portino ad un organismo edilizio diverso
  - **Modifiche di classe d'uso** che conducono a costruzioni di classe III ad uso scolastico o di classe IV
- **Interventi di miglioramento** Atti ad aumentare la sicurezza strutturale esistente.
- **Interventi di riparazione o di interventi locali** Interessano elementi isolati: riguardano singole parti e/o elementi della struttura atti a ripristinare caratteristiche iniziali, **migliorare resistenza** e duttilità, impedire il collasso.

#### CRITERI DI INTERVENTO

La scelta del tipo dipende dai risultati della precedente fase di valutazione.

Si deve arrivare a migliorare il comportamento globale della costruzione considerando i fattori:

- economici
- Fattibilità tecnica
- Accessibilità
- vincoli ambientali ed artistici

#### PROGETTO DELL'INTERVENTO

Il progetto deve comprendere:

- Verifiche della struttura prima dell'intervento, delle carenze e calcolo SLU
- Scelta motivata del tipo di intervento, delle tecniche e dei materiali
- Dimensionamento dei rinforzi e degli elementi strutturali aggiuntivi (preliminari)
- Analisi strutturale considerando modifiche post intervento
- Verifica strutturale post-intervento con calcolo SLU

**TIPI DI INTERVENTO** In generale dovranno essere valutati e curati gli aspetti seguenti:

1. **Riparazione** di eventuali danni presenti
2. **Riduzione** carenze dovute a errori
3. **Miglioramento della duttilità** dei vari elementi
4. **Riduzione delle irregolarità** in termini di massa, resistenza e/o rigidità
5. **Riduzione masse** (tramite demolizioni parziali o cambi di destinazione d'uso)
6. **Riduzione dell'impegno di elementi strutturali** tramite isolamento o dissipatori di energia
7. **Incremento** resistenza elementi verticali
8. **Miglioramento fondazioni**
9. **Realizzazione, ampliamento, eliminazione** di giunti sismici per attenuare gli urti
10. **Miglioramento collegamenti** tra elementi non strutturali
11. **Riduzione deformabilità** del solai

#### INTERVENTO DI TIPO LOCALE

##### ○ **Riparazione:**

- Iniezione delle fessure
- Sostituzione armature
- Sostituzione cls

##### ○ **Rinforzi in C.A. e acciaio:**

- **Incamicature (c.a. / acciaio):**
  - Aumenta capacità portante
  - Aumenta resistenza a taglio e deformazione
  - Utilizzate su pareti e pilastri

##### • **Placcaggi (acciaio):**

- Tecniche di ancoraggio:
  - Imbullonatura e ancoraggio con resine
  - Ancoraggio e fasciatura
  - Ancoraggio alle estremità

##### • **Posizionamento delle piastre:**

- Piastre sulla faccia tesa
- Piastre laterali
- Piastre sulla faccia compressa

##### ○ **Rinforzi in FRP- fibre rinforzate:**

- Velocità di applicazione
  - Peso ridotto
  - Resistenza elevata
- } PRO

- Nessun aumento di rigidità
  - costi elevati
  - Scarsa duttilità
  - Sensibile ad alte temperature e raggi UV
- } CONTROLLO

#### INTERVENTO DI TIPO GLOBALE

##### ○ **Sistemi aggiuntivi:**

- **Pareti in c.a.:**
  - Demolizione e sostituzione dei componenti non strutturali
  - Riduzione deformazione in tutti gli elementi
  - necessità di evacuare l'edificio durante l'intervento
  - Possibile incremento locale di sollecitazioni
  - Adeguamento fondazioni

##### • **controventi in acciaio:**

- Installazione meno invasive del c.a.
- Adeguamento fondazione minimo o assente
- Potrebbe variare lo sforzo normale su elementi adiacenti:
- Minore resistenza duttilità laterale
- Superamento capacità di resistere a trazione e compressione
- Eccentrici: almeno un'estremità trasmette le forze al telaio al di fuori dei nodi trave-pilastro
- Concentrici: trasmettono le forze in corrispondenza dei nodi del telaio
- Dissipativi o non dissipativi

- Controventi dissipativi:
  - Eccentrici: collegamento controvento trave tramite elementi dissipativi a taglio
  - Concentrici: la dissipazione avviene nelle diagonali per sforzo assiale
- **Isolamento:**
- Taglio delle forze
- Allungamento del periodo

## 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.

- Analisi storico critica
- Rilievo
- Caratterizzazione meccanica dei materiali
- Azioni

### PROCEDURA STANDARD PER LA VERIFICA DI SICUREZZA

#### **Fase 1: Acquisizione della conoscenza dell'opera**

(ca. 2-4 settimane)

Ai fini di una corretta individuazione del sistema strutturale esistente e del suo stato di sollecitazione è importante comprendere il processo di costruzione, le modifiche e gli eventi, sismici in particolare, che hanno interessato la costruzione nel tempo.

- Analisi storico critica
- Esame documentazione originale di progetto (se disponibile)
- Ricerca documentale presso Enti e Istituzioni (Genio Civile, Prefetture, Banche), ed eventualmente Imprese
- Scelta del Livello di Conoscenza da perseguire e conseguente Progetto della Campagna di Indagine, sui terreni e sulle strutture

#### **Fase 2: Esecuzione della Campagna di Indagine**

(ca. 2-4 settimane)

- Terreni → sondaggi e prove dinamiche
- Geometria → rilievo strutturale  
Il rilievo è fondamentale:  
per la geometria dell'organismo dagli elementi costruttivi e dai rapporti con le strutture in aderenza;  
Per individuare qualità e stato di conservazione dei materiali, anche per rilevare dissesti, in atto o stabilizzati;  
per verificare lo stato di conservazione, attraverso saggi e prove di carico. (Generalmente conviene effettuare prove di carico sugli orizzontamenti per verificare capacità portante e stato di conservazione).
- Dettagli costruttivi → prove distruttive e non distruttive

- Caratterizzazione meccanica dei materiali → prove in situ e in laboratorio

#### **Fase 3: Modellazione ed Analisi, Verifiche di sicurezza**

(ca. 4-8 sett.)

#### **Fase 4: Progettazione degli Interventi** (ca. 3-6 sett.)

**Prova Pacometrica:** Per l'individuazione delle armature nelle strutture in c.a. (attraverso sonde magnetiche)

**Indagini Termografiche:** es. l'individuazione dell'orditura dei solai

#### **Prove in Situ moderatamente distruttive – ISPEZIONE DIRETTA**

- **Vantaggi**

- Prova più indicata per l'analisi della morfologia muraria;
- Visione diretta della sezione muraria;
- Informazioni importanti sulla presenza di cavità

- **Svantaggi**

- Impossibilità di prelevare campioni integri;
- Numero di prove non elevato;
- Informazioni locali

#### **Prove moderatamente distruttive**

- Martinetto piatto, singolo e doppio: la prova consente la determinazione dello stato tensione attuale e la valutazione delle caratteristiche meccaniche della muratura.

#### **Prove distruttive**

- Taglio

#### **Livelli di conoscenza e fattori di confidenza**

Sulla base degli approfondimenti effettuati saranno individuati i livelli di conoscenza e verranno definiti i fattori di conoscenza (ulteriori coefficienti parziali di sicurezza che tengono conto della carenza di conoscenza sul modello)

**8.6. MATERIALI:** Gli interventi sulle strutture esistenti devono essere effettuati con i materiali previsti dalle presenti norme; possono altresì essere utilizzati materiali non tradizionali, purché nel rispetto di normative e documenti di comprovata validità di cui al Capitolo 12. Nel caso di edifici in muratura è possibile effettuare riparazioni locali o integrazioni con materiale analogo a quello impiegato originariamente nella costruzione, purché durevole e di idonee caratteristiche meccaniche.

#### **8.7. PROGETTAZIONE DEGLI INTERVENTI IN PRESENZA DI**

**AZIONI SISMICHE:** Nella progettazione di interventi sulle costruzioni esistenti, specie se soggette ad azioni sismiche, particolare attenzione sarà posta agli aspetti che riguardano la duttilità. Si dovranno quindi assumere le informazioni necessarie a valutare se i dettagli costruttivi, i materiali utilizzati e i meccanismi resistenti siano in grado di sostenere cicli di sollecitazione o deformazione anche in campo anelastico.

## **PATOLOGIE STRUTTURALI TIPICHE**

Le principali patologie strutturali sono dovute a:

### • **Errata concezione strutturale**

- Assenza di telai in una delle 2 direzioni principali
- Diversa rigidità tra corpi scala-ascensore e telai
- Assorbimento dell'azione sismica da parte di pochi elementi molto rigidi che trasmettono elevate sollecitazioni in fondazione
- Effetti torsionali dovuti ad irregolarità meccaniche e geometriche in pianta (ad es., presenza di elementi rigidi (corpi scala, pareti) eccentrici rispetto al baricentro delle masse).

### • **Errata concezione o esecuzione dei dettagli costruttivi**

- Interspazio eccessivo/manca di staffe
- Ancoraggio insufficiente dei nodi
- Dimensionamento delle travi errato

I danni osservati sono conseguenza di una tradizione progettuale e costruttiva che non teneva conto dell'azione sismica:

- Intensità sismica spesso maggiore di quella di progetto
- Variabilità in direzione e verso
- Carattere dinamico della risposta sismica

## **GERARCHIA DELLE RESISTENZE**

- Pilastri più resistenti delle travi
- Nodi trave-pilastro più resistenti di travi e pilastri
- Pareti in c.a.: elevazione più resistente della sezione di base
- Resistenza a taglio maggiore della resistenza flessionale
- Resistenza dei diaframmi di piano (solai) maggiore di quella offerta dagli elementi (travi, pilastri) collegati
- Resistenza delle fondazioni maggiore di quella della sovrastruttura

## **DETTAGLI COSTRUTTIVI**

Al fine di garantire duttilità locale:

- resistenza a taglio maggiore di quella flessionale
- confinamento del cls
- vincolo allo svergolamento delle barre...  
...tante, tante staffe
- Ogni barra longitudinale deve essere legata individualmente
- Il diametro delle staffe non dev'essere inferiore a  $\frac{1}{4}$  di quello delle barre che trattengono
- le staffe devono chiudersi a 135 nel nucleo confinato
- Il passo dev'essere molto rigido nelle zone di potenziale cerniera plastica, ovvero per una distanza dal nodo compresa tra  $h$  e  $2h$  (altezza sezione)

## **Metodo di verifica NTC 2008**

6. Metodo SLE e SLU
  7. Valore caratteristico (aleatorio ecc.)
  8. Combinazione delle azioni
  9. Resistenza di calcolo
- Cap. 8 NTC-Valutazione della sicurezza