

# **METODO DI PROGETTAZIONE STRUTTURALE DI EDIFICI SISMO-RESISTENTI CON LE SOLUZIONI ECOSISM**

## **1. INQUADRAMENTO NORMATIVO**

- STRUTTURA A PARETI, A TELAIO O MISTA**
- STRUTTURA DISSIPATIVA O NON DISSIPATIVA**

## **2. I VANTAGGI DI UNA STRUTTURA NON DISSIPATIVA $q = 1$**

- SENZA LIMITAZIONI GEOMETRICHE E DI ARMATURA**
- SENZA DEFORMAZIONI PERMANENTI ALLE STRUTTURE**

## **3. ESEMPIO DI MODELLAZIONE STRUTTURALE**

---

Ing. Andrea Demo

ECOSISM S.r.l. [www.ecosism.com](http://www.ecosism.com)

e-mail: [info@ecosism.com](mailto:info@ecosism.com)

# 1. INQUADRAMENTO NORMATIVO

## TIPOLOGIA STRUTTURALE

Si viene a realizzare una struttura a pareti in calcestruzzo normalmente armato di spessore definito dallo strutturista, ad armatura diffusa (SAAD) mediante l'utilizzo dei pannelli "Ecosism", quali casseri a rimanere predisposti per l'armatura ed il getto della parete secondo quanto indicato nel progetto esecutivo strutturale; l'innovazione del sistema permette che, una volta terminata la struttura, i tamponamenti esterni e le coibentazioni termiche sono automaticamente realizzati.

La tipologia delle pareti "Ecosism" è adatta per qualsiasi applicazione strutturale prevista dal D.M. 14/01/2008:

- pareti normalmente armate (struttura dissipativa o meno)
- pareti estese debolmente armate
- sistema a telaio (vengono realizzati pannelli cassero per tamponamenti e pannelli cassero per pilastri e setti)

Il metodo di calcolo ottimale, è quello di considerare una **struttura a pareti normalmente armate non dissipativa ad armatura diffusa (SAAD)**, applicando un **fattore di struttura  $q=1$** , spessore getto e armatura sui 2 lati dimensionata in funzione dei carichi agenti.

Il sistema sismo-resistente è costituito dalle pareti portanti, specialmente quelle perimetrali, ed è dimensionato per resistere da solo alle massime azioni orizzontali mantenendo un comportamento elastico-lineare in ogni combinazione di carico, anche per terremoti di massima intensità per la zona considerata.

Travi e pilastri sono modellati come elementi secondari e sono dimensionati per resistere ai carichi verticali statici, senza vincoli geometrici o di armatura legati al concetto della gerarchia delle resistenze.

Si viene così a realizzare un corpo strutturale costituito da pareti in calcestruzzo armato, con aperture per porte e finestre definite in fase di progettazione architettonica e considerate nella modellazione strutturale; il modello a parete portante, eliminando il concetto di pilastro puntuale, permette di adattarsi a qualsiasi forma di apertura, con libertà di gestione nel layout architettonico.

**Nel rispetto del §. 7.3.1 del D.M. 14/01/2008, nell'analisi sismica con spettro di progetto ottenuto assumendo un fattore di struttura  $q$  unitario, “la resistenza delle membrature e dei collegamenti deve essere valutata in accordo con le regole presentate nei capitoli precedenti (capitolo 4 per le strutture in c.a.), non essendo necessario soddisfare i requisiti di duttilità fissati nei paragrafi successivi” (al 7.3.1), ne in termini di limitazioni geometriche (§. 7.4.6.1) ne in termini di limitazioni di armatura (§. 7.4.6.2) “zone critiche”.**

## **NORMATIVA APPLICATA**

L'analisi della struttura in oggetto e' stata fatta utilizzando i metodi usuali della Scienza delle Costruzioni ed in conformità alle normative e leggi vigenti:

- [1] Legge 05.11.71 n.1086: Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica
- [2] D.M. 14 Gennaio 2008: Norme tecniche per le costruzioni
- [3] Circolare 2 febbraio 2009, n. 617: Istruzioni per l'applicazione delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 14 gennaio 2008

## 2. I VANTAGGI DI UNA STRUTTURA NON DISSIPATIVA

### Perché la normativa prevede il fattore di struttura

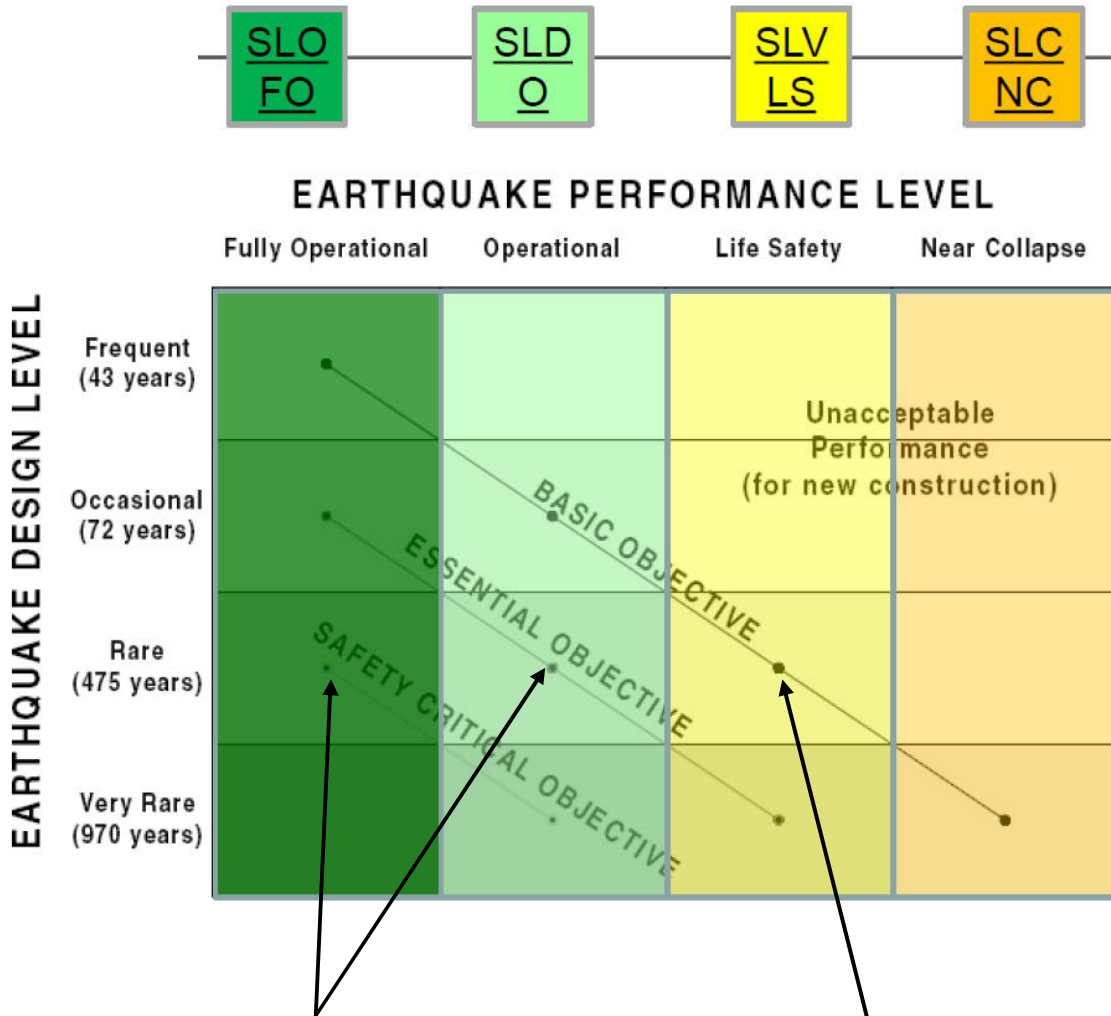
Il fattore di struttura “q” è un coefficiente che ci offre la normativa per **semplificare** la progettazione; in sostanza, la normativa ci permette di eseguire un’analisi elastica e di non addentrarci in campo plastico, ma progettare una struttura affinché non abbia plasticizzazioni anche per un terremoto con periodo di ritorno di 475 anni (sisma allo SLV edifici II-2) sarebbe fortemente **antieconomico**. Quello che andrebbe fatto, dunque, è un’analisi in campo plastico, limite (individuando un moltiplicatore di collasso mediante teorema statico e cinematico) o incrementale (anche chiamata “Pushover”, “spingi oltre”, ovvero che segua “al passo” il comportamento della struttura). Ecco che intervengono le norme: se vogliamo rimanere in campo elastico, ed evitare analisi limite o incrementali, dobbiamo progettare la struttura per delle **forze ridotte**, affidando alle capacità dissipative (stimate e non calcolate) la restante parte dell’azione. Le capacità dissipative sono tutte racchiuse in quel fattore di struttura; quanto più si hanno capacità dissipative, quindi oltre il limite elastico, tanto più possiamo ridurre le forze di progetto.

Ma dove interviene q nei nostri calcoli? Sulle azioni del sisma, come detto, che vengono valutate andando a definire degli spettri; ovvero, anziché fare riferimento a specifici **accelerogrammi**, la normativa suggerisce di riferirsi ad una forma spettrale che sia indipendente dal grado di sismicità e che si ottiene impiegando uno **Spettro di Risposta Elastico**; tale spettro mostra le massime accelerazioni (o spostamenti) al variare del periodo (e quindi al variare del tipo di struttura). Quello a cui facciamo riferimento, in pratica, è un inviluppo. La particolarizzazione del diagramma di inviluppo al nostro specifico caso avviene mediante due coefficienti: **ag** (dipendente dalla zona sismica) e **S** (dipendente dal tipo di suolo).

Mediante il fattore di struttura ( $q > 1$ ) le **azioni sismiche ridotte** permettono di dimensionare la struttura con analisi più semplici, facendo affidamento alle capacità dissipative per la restante aliquota dell’azione sismica (**e di “fiducia” trattasi, dato che tali capacità dissipative sono solo stimate, individuate a monte sui dettami della normativa**).

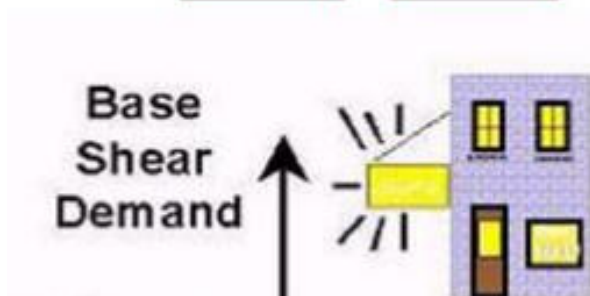
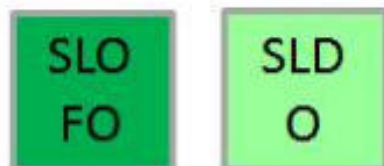
## Perché usare il fattore di struttura unitario

CON  $q=1$  ABBIAMO IL PIENO CONTROLLO DEL COMPORTAMENTO DELLA STRUTTURA, SENZA SEMPLIFICAZIONI E SENZA APPROSSIMAZIONI.



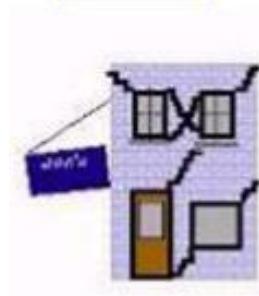
### STRUTTURA A PARETI

NON DISSIPATIVA



### STRUTTURA A TELAIO

DISSIPATIVA

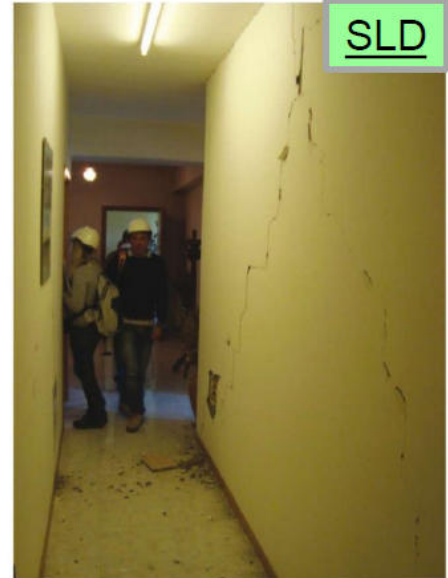




**SLO**

Stato Limite di Operatività (Fully Operational)

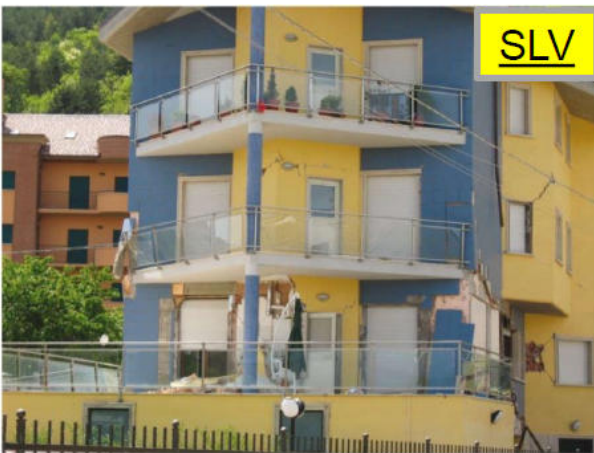
SI



**SLD**

Stato Limite di Danno (Operational)

SI



**SLV**

Stato Limite di salvaguardia della Vita (Life Safety)

NO



**SLC**

Stato Limite di prevenzione del Collasso (Near Collapse)

NO

## NOTA SUGLI STATI LIMITE ULTIMI (SLU) DA CONSIDERARE NELLE VERIFICHE:

In mancanza di espresse indicazioni in merito, il rispetto dei vari stati limite si considera conseguito:

- nei confronti di tutti gli stati limite di esercizio, qualora siano rispettate le verifiche relative al solo **SLD**

- nei confronti di tutti gli stati limite ultimi, qualora siano rispettate le indicazioni progettuali e costruttive riportate nel seguito e siano soddisfatte le verifiche relative al solo **SLV**

Fanno eccezione a quanto detto le costruzioni di classe d'uso III e IV, per gli elementi non strutturali e gli impianti delle quali è richiesto anche il rispetto delle verifiche di sicurezza relative allo **SLO**

### 3. ESEMPIO DI MODELLAZIONE STRUTTURALE

(struttura a pareti SAAD)

#### RELAZIONE TECNICA

#### AZIONE SISMICA

#### MODELLAZIONE SISMICA - DATI DI INPUT

#### INDICE

<b>1.</b>	<b>RELAZIONE TECNICA .....</b>	<b>2</b>
	Descrizione generale dell'opera – tipologia strutturale .....	2
1.1	Fondazioni .....	2
1.2	Strutture verticali portanti fuori terra.....	2
1.3	Solai.....	2
1.4	Classificazione di resistenza al fuoco delle strutture .....	2
1.5	Normativa di riferimento .....	3
1.6	Criteri di analisi della sicurezza.....	3
1.7	Materiali impiegati.....	4
<b>2.</b>	<b>AZIONE SISMICA .....</b>	<b>5</b>
2.1	Valutazione dell'azione sismica .....	5
2.2	Criteri di analisi della sicurezza .....	5
2.3	Schema della struttura .....	6
<b>3</b>	<b>MODELLAZIONE SISMICA - DATI DI INPUT .....</b>	<b>7</b>
3.1	Preferenze di analisi.....	7

---

## 1. RELAZIONE TECNICA

### Descrizione generale dell'opera – tipologia strutturale

In questo capitolo si vogliono riassumere le tipologie strutturali considerate nella progettazione dell'edificio, intese come fondazioni, sistema portante a pareti e solaio di copertura.

#### 1.1 Fondazioni

Superficiali a platea.

#### 1.2 Strutture verticali portanti fuori terra

Si è progettata una **struttura non dissipativa** a pareti in calcestruzzo normalmente armato ad armatura diffusa (**SAAD**) mediante l'utilizzo dei pannelli "Ecosism", quali casseri a rimanere predisposti per l'armatura ed il getto della parete secondo quanto indicato nel progetto esecutivo; terminata la struttura, i tamponamenti esterni e le coibentazioni termiche sono automaticamente realizzate.

L'organismo strutturale è costituito da pareti in calcestruzzo armato, con aperture per porte e finestre definite in fase di progettazione architettonica e considerate nella modellazione strutturale; il modello a parete portante, permette di adattarsi a qualsiasi forma di apertura, con **libertà di gestione del layout architettonico**.

Il sistema sismo-resistente è costituito dalle pareti portanti, specialmente quelle perimetrali, ed è dimensionato per resistere da solo alle massime azioni orizzontali, mantenendo un **comportamento elastico-lineare** in ogni combinazione di carico, anche per terremoti di massima intensità per la zona considerata.

Nel rispetto del §. 7.3.1 del D.M. 14/01/2008, nell'analisi sismica con spettro di progetto ottenuto assumendo un fattore di struttura  $q$  unitario, "la resistenza delle membrature e dei collegamenti deve essere valutata in accordo con le regole presentate nei capitoli precedenti, **non essendo necessario soddisfare i requisiti di duttilità fissati nei paragrafi successivi**" (al 7.3.1), ne in termini di limitazioni geometriche (§. 7.4.6.1) ne in termini di limitazioni di armatura (§. 7.4.6.2) "zone critiche".

Internamente, per contenere lo spessore strutturale dei solai e per avere una maggiore flessibilità degli spazi, si utilizzano pilastri o setti isolati; considerati elementi "secondari", hanno il compito di scaricare in fondazione solo il carico gravitazionale, non avendo nessuna funzione sismo-resistente.

#### 1.3 Solai

Si sono utilizzati solai tipo Ecosism Ecosolaio ed Ecosolaio Top, con zone a pignatta ribassata per soletta piena.

La cappa di spessore minimo di 5cm permette di schematizzare l'orizzontamento come piano infinitamente rigido per la trasmissione delle azioni orizzontali ai vari livelli delle pareti sismo-resistenti.

Le travi di piano sono realizzate in spessore del solaio **senza limitazioni dimensionali** in quanto elementi secondari non dissipativi e non sismo-resistenti.

#### 1.4 Classificazione di resistenza al fuoco delle strutture

Alcune parti delle strutture in c.a. sono calcolate con resistenza al fuoco R60; per la determinazione del copriferro ci si riferisce alle verifiche tabellari secondo il D.M. 16.02.2007.



---

## 1.5 Normativa di riferimento

- [1] **Legge 05.11.71 n.1086** Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica
- [2] **Circ. Min. LL.PP. 31.10.1986** Istruzioni relative alle norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato, normale, precompresso e per le strutture metalliche
- [3] **D.M. 11 marzo 1988** Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione
- [4] **Circ. Min. LL.PP. 24/09/1988** Istruzioni relative alle norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce.. di cui al D.M. 11 marzo 1988
- [5] **D.M. 14 Gennaio 2008** Norme tecniche per le costruzioni

## 1.6 Criteri di analisi della sicurezza

Tenuto conto dei procedimenti della scienza delle costruzioni si sono calcolate le sollecitazioni impresse alla struttura dalle condizioni di carico più gravose.

Le verifiche saranno condotte adottando il "Metodo Semiprobabilistico agli Stati Limite".

ESEMPIO:

D.M. 14/01/2008 - NUOVE NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI

- Zona sismica: 4
- Vita nominale dell'opera: Tipo 2  
VN = 50 anni
- Classe d'uso: II  
Cu = 1.0
- Periodo di riferimento per l'azione sismica:  
VR = VN x CU = 50 x 1.0 = 50 anni
- **Fattore di struttura: q = 1.0 (comportamento lineare non dissipativo)**
- Categoria del sottosuolo: Categoria C
- Categoria topografica: Categoria T1 (superficie pianeggiante)

## 1.7 Materiali impiegati

### CALCESTRUZZO ARMATO

I requisiti minimi degli impasti e le caratteristiche meccaniche principali sono riportate nei paragrafi seguenti.

Le tensioni del conglomerato compresso e dell'armatura sono calcolate prescindendo dal contributo a trazione del conglomerato, assumendo come area della sezione resistente quella corrispondente al conglomerato compresso ed alle aree metalliche tese e compresse affette dal coefficiente convenzionale di omogeneizzazione  $n = 15$ .

Con riferimento alle verifiche agli stati limite ultimi, le resistenze di calcolo ( $f_{cd}$ ) sono valutate con la seguente espressione:

$$f_{cd} = \alpha f_k / \gamma_m$$

dove  $f_k$  è il valore caratteristico della resistenza del materiale (frattile di ordine 0,05 ovvero 0,95 a seconda che i valori rilevanti ai fini della sicurezza siano quelli più elevati ovvero più bassi) e  $\gamma_m$  è il coefficiente parziale di sicurezza dello specifico materiale, assunto nel caso del c.a. pari a 1.5 e nel caso dell'acciaio pari a 1.15;  $\alpha$  è il coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata, assunto nel caso del c.a. pari a 0.85 e nel caso dell'acciaio pari a 1.

Si assumeranno in sede di verifica entrambi i tipi di diagrammi tensione-deformazione definiti per il calcestruzzo: il diagramma parabola-rettangolo definito ed il diagramma denominato "stress block".

Sulla base della denominazione normalizzata vengono definite le seguenti classi di resistenza:

#### Calcestruzzo – per fondazioni: C25/30

Calcestruzzo gettato in opera:	$R_{ck} = 30$ MPa
Classe di esposizione EN 206:	XC2
Dimensione max. inerti:	25 mm
Classe lavorabilità:	S4
Rapporto A/C:	<0.5

#### Calcestruzzo – per pareti, pilastri, cordoli e solai: C25/30

Calcestruzzo gettato in opera:	$R_{ck} = 30$ MPa
Classe di esposizione EN 206:	XC1
Dimensione max. inerti:	15 mm
Classe lavorabilità:	S4
Rapporto A/C:	<0.5

I leganti, gli inerti, l'acqua, le armature, gli impasti, dovranno corrispondere alle qualità previste dalle Norme Tecniche in vigore, alle quali devono uniformarsi le costruzioni in conglomerato cementizio, normale e precompresso, ed a struttura metallica.

#### Acciaio per Cemento Armato: B 450 C

$f_{yk} =$	450	N/mm <sup>2</sup>	tensione caratteristica di snervamento
$f_{tk} =$	540	N/mm <sup>2</sup>	tensione caratteristica di rottura

## 2. AZIONE SISMICA

### 2.1 Valutazione dell'azione sismica

L'azione sismica è stata valutata in conformità alle indicazioni riportate al capitolo 3.2 del D.M. 14 Gennaio 2008 "Norme tecniche per le Costruzioni".

In particolare il procedimento per la definizione degli spettri di progetto per i vari Stati Limite per cui sono state effettuate le verifiche è stato il seguente:

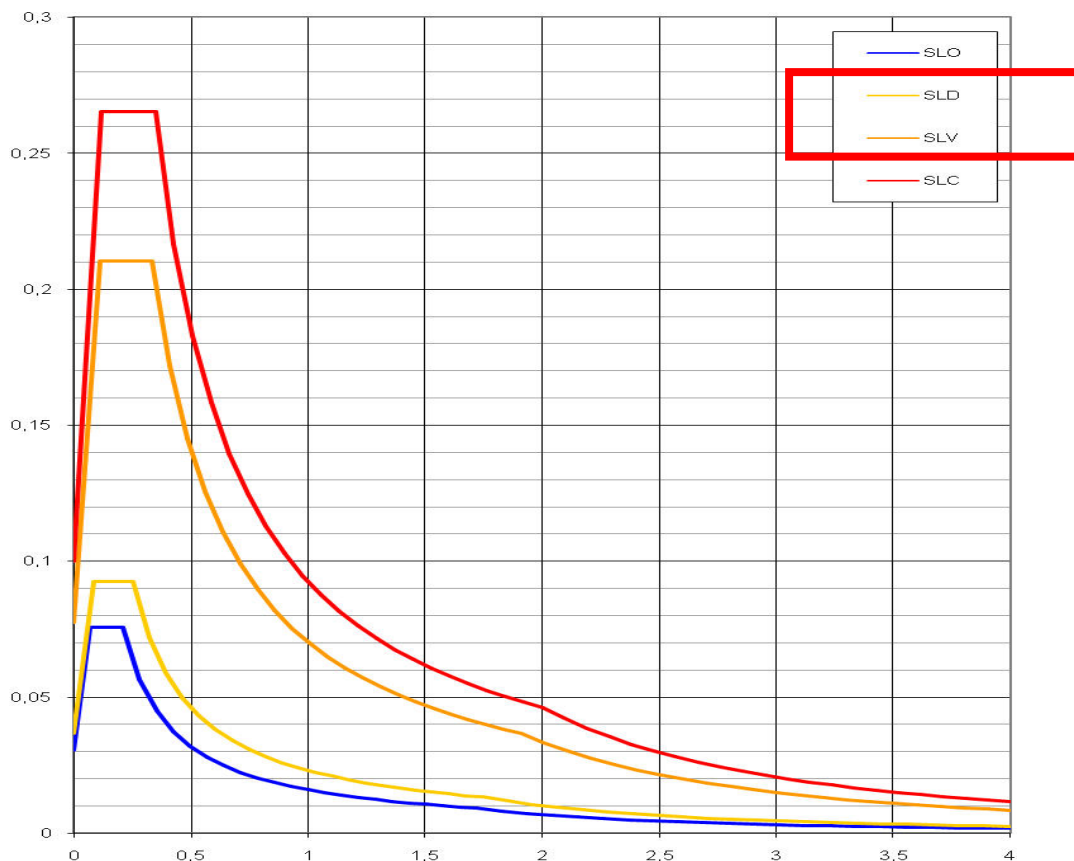
1. definizione della Vita Nominale e della Classe d'Uso della struttura, il cui uso combinato ha portato alla definizione del Periodo di Riferimento dell'azione sismica;
2. Individuazione, tramite latitudine e longitudine, dei parametri sismici di base  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T^*c$  per gli Stati Limite previsti; l'individuazione è stata effettuata interpolando tra i 4 punti più vicini al punto di riferimento dell'edificio;
3. Determinazione dei coefficienti di amplificazione stratigrafica e topografica;
4. Calcolo del periodo  $T_c$  corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello Spettro.

I dati così calcolati sono stati utilizzati per determinare gli Spettri di Progetto nelle verifiche agli Stati Limite considerati.

### 2.2 Criteri di analisi della sicurezza

Le verifiche saranno condotte adottando il "Metodo Semiprobabilistico agli Stati Limite".

Gli spettri di risposta elastici per i diversi stati limite in combinazione sismica sono riportati di seguito:



---

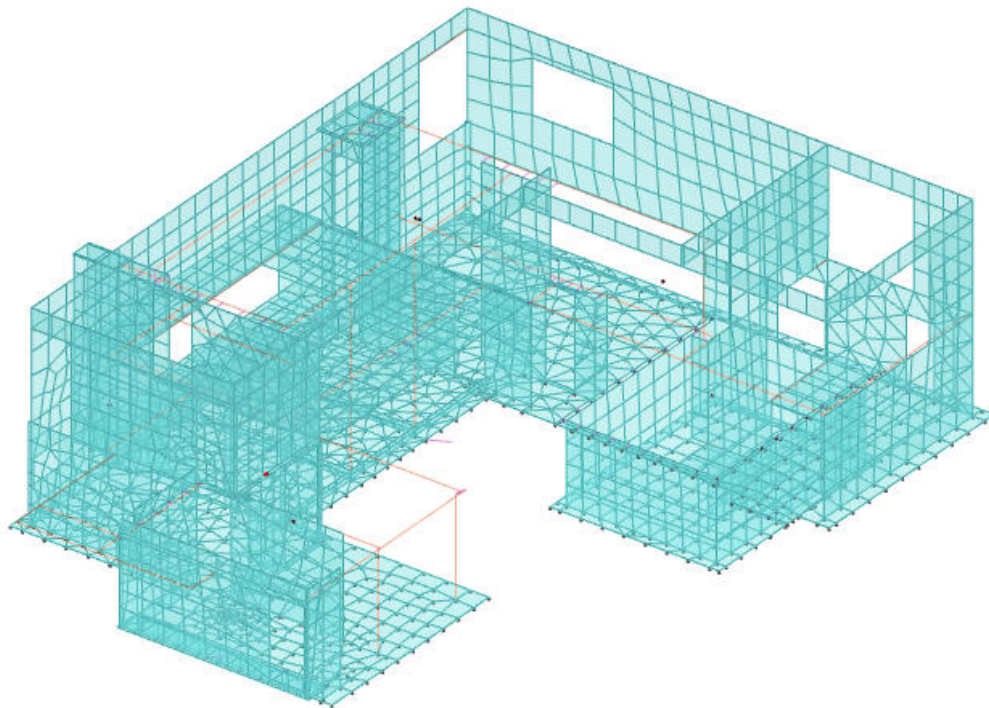
### 2.3 Schema della struttura

La struttura viene discretizzata come segue:

- pareti in cemento armato mediante elementi bidimensionali tipo PLATE dello spessore di 15-20 cm;
- travi e pilastri mediante elementi monodimensionali tipo BEAM con sezione pari alla sezione del corrispondente elemento;
- platea in cemento armato mediante elementi bidimensionali tipo PLATE dello spessore di 40 cm.

Le forze trasmesse dalle strutture portanti sono: pesi propri, pesi permanenti e accidentali di solaio, sisma e vento.

Modellazione:



### 3 MODELLAZIONE SISMICA - DATI DI INPUT

#### 3.1 Preferenze di analisi

Metodo di analisi	D.M. 14-01-08 (N.T.C.)
Tipo di costruzione	2
Vn	50
Classe d'uso	II
Vr	50
Tipo di analisi	Lineare dinamica
Località	Padova, ....
Zona sismica	Zona 4
Categoria del suolo	C - sabbie ed argille medie
Categoria topografica	T1
Ss orizzontale SLD	1.5
Tb orizzontale SLD	0.138 [s]
Tc orizzontale SLD	0.414 [s]
Td orizzontale SLD	1.745 [s]
Ss orizzontale SLV	1.5
Tb orizzontale SLV	0.168 [s]
Tc orizzontale SLV	0.505 [s]
Td orizzontale SLV	1.907 [s]
St	1
PVr SLD (%)	63
Tr SLD	50
Ag/g SLD	0.0363
Fo SLD	2.526
Tc* SLD	0.249
PVr SLV (%)	10
Tr SLV	475
Ag/g SLV	0.0767
Fo SLV	2.711
Tc* SLV	0.335
Smorzamento viscoso (%)	5
<b>Classe di duttilità</b>	<b>Non dissipativa</b>
Rotazione del sisma	0 [deg]
Quota dello '0' sismica	0 [cm]
Regolarità in pianta	No
Regolarità in elevazione	No
Edificio C.A.	Si
<b>Tipologia C.A.</b>	<b>Strutture a pareti ad armatura diffusa (SAAD)</b>
Kw	0.95
Edificio esistente	No
Altezza costruzione	755 [cm]
C1	0.05
T1	0.228 [s]
Lambda SLD	0.85
Lambda SLV	0.85
Numero modi	9
Metodo di Ritz	applicato
Torsione accidentale semplificata	No
Torsione accidentale per piani (livelli e falde) flessibili	No
Limite spostamenti interpiano	0.005
Moltiplicatore sisma X per combinazioni di default	1
Moltiplicatore sisma Y per combinazioni di default	1
<b>Fattore di struttura per sisma X</b>	<b>1</b>
<b>Fattore di struttura per sisma Y</b>	<b>1</b>
Fattore di struttura per sisma Z	1
Applica 1% (§ 3.1.1)	No

