

# smart village *in tour*

CAGLIARI, 7 marzo 2013

**Quadro introduttivo: siamo tutti in zona sismica?  
Vulnerabilità e rischio sismico**

**Sergio Lai – Emilio Balletto – Luca Garau**

## L'AZIONE SISMICA

### Azione sismica



- scuotimento multidirezionale del suolo;
- azione dinamica;
- le forze inerziali non sono trascurabili rispetto a quelle statiche.

Per progettare un edificio è necessario conoscere il movimento del terreno indotto dal terremoto in prossimità della costruzione.

Un dato terremoto può essere descritto attraverso i suoi **accelerogrammi** ovvero le registrazioni temporali dell'accelerazione del suolo nelle tre direzioni ortogonali.

Non è possibile conoscere con esattezza quando e con quale severità avverrà un terremoto in un dato luogo.

Il terremoto è un **processo stocastico** nello spazio e nel tempo e pertanto è possibile stabilire il terremoto di progetto solo in termini **statistici**.

Da questa caratterizzazione probabilistica deve essere ricavata l'azione sismica sulla costruzione.

Il calcolo strutturale può essere fatto rappresentando l'azione sismica con un **sistema di forze statiche equivalenti**. Ciò non ha riscontro fisico, ma è un espediente per semplificare l'analisi strutturale.

## SEVERITÀ DI UN TERREMOTO

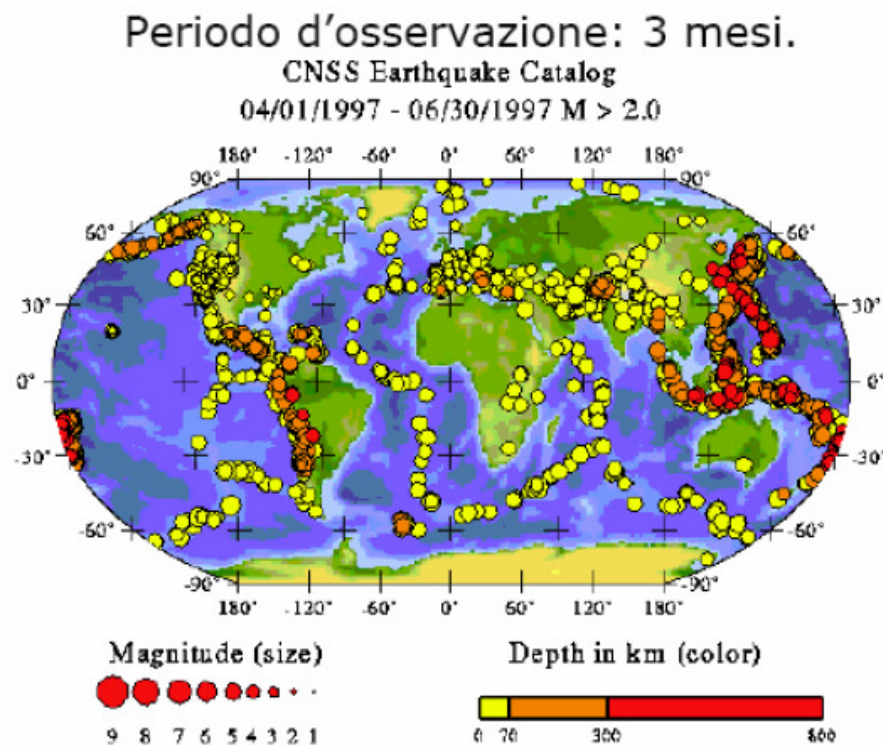
### SCALE OGGETTIVE: MISURAZIONI

- MAGNITUDO
- MOMENTO SISMICO
- PGA
- PGV

### SCALE SOGGETTIVE: EFFETTI SU PERSONE ED EDIFICI

- 1883, DE ROSSI –FOREL (10 gradi)
- 1902, MERCALLI (12 gradi)
- CANCANI (12 gradi)
- 1923, SIEBERG (basata su M. e C.) (12 gradi)
- 1931, WOOD, NEWMAN (12 gradi)
- 1998 EUROPEAN MACROSEISMIC SCALE (12 GRADI)

*In un breve arco temporale è difficile incontrare terremoti significativi ( $M > 5$ )*



## IL TERREMOTO COME PROCESSO ALEATORIO

Qual'è la probabilità che in  $n$  anni si verifichi almeno un terremoto di intensità  $I$  superiore o uguale ad un valore assegnato  $I_0$ ?

Il terremoto è un evento di breve durata (la durata è  $\ll$  del tempo che intercorre tra eventi successivi).

Gli intervalli tra eventi successivi e la probabilità di un evento futuro sono descrivibili come **PROCESSI ALEATORI DISCRETI**.

Si assume che il terremoto sia descritto da un processo stocastico senza memoria (Poissoniano) e che i parametri del processo non mutino nel tempo.

La **probabilità di accadimento** del terremoto viene descritta dalla **distribuzione esponenziale**:

$$P[I \geq I_0 \text{ in } n \text{ anni}] = 1 - e^{-\lambda t} \quad \text{ove :}$$

$$\lambda = \frac{1}{TR};$$

$TR$  (Tempo di Ritorno) = intervallo medio tra due sismi con  $I \geq I_0$

## Pericolosità sismica

Lo scopo della Normativa è quello di garantire un livello di sicurezza minimo nei confronti dei possibili eventi sismici, ovvero della pericolosità sismica **P** ove **P** è la probabilità che accada un terremoto di assegnata intensità in un certo periodo di tempo.

**Qual'è il Tempo di Ritorno di un terremoto che ha il 10% di probabilità di verificarsi almeno una volta in n anni?**

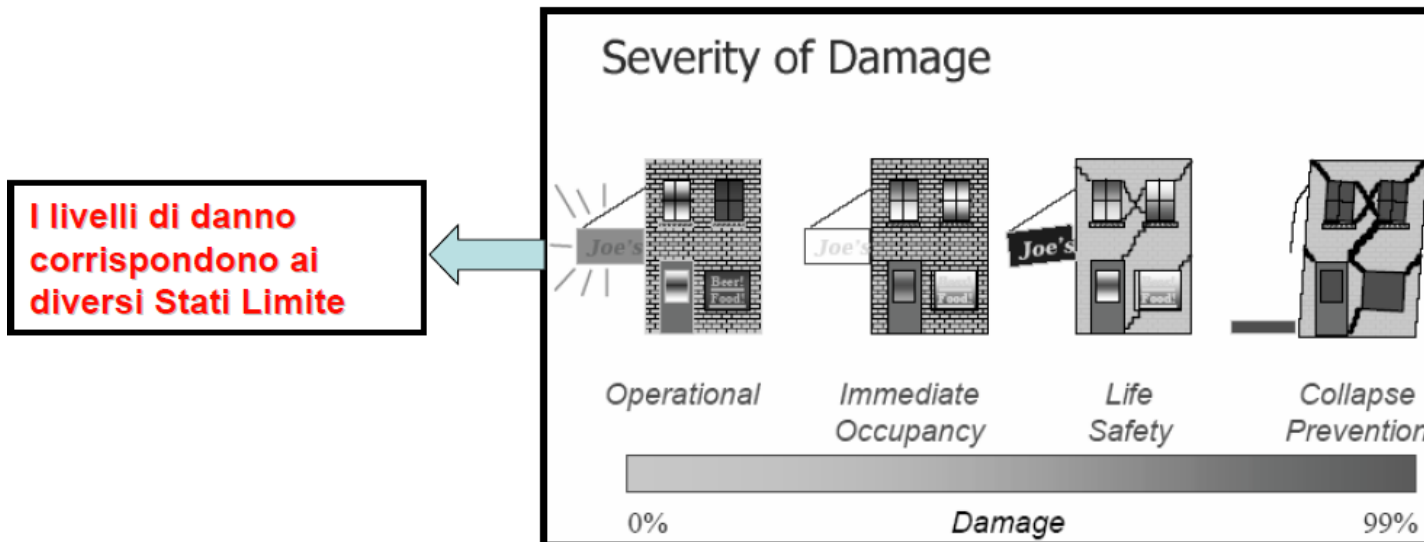
$$\lambda = \frac{1}{n} \left[ \ln \left( \frac{1}{1 - P[I \geq I_0]} \right) \right] = \frac{1}{n} \left[ \ln \left( \frac{1}{1 - 0,1} \right) \right]; \quad TR = \frac{1}{\lambda}$$

	n = 10 anni	n = 50 anni	n = 100 anni	n = 200 anni
TR (P[I ≥ I <sub>0</sub> ] = 10%)	95	475	950	1900
TR (P[I ≥ I <sub>0</sub> ] = 5%)	195	975	1950	3900

## L'approccio prestazionale della Normativa

Le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) adottano un approccio prestazionale alla progettazione delle strutture nuove e alla verifica di quelle esistenti.

Nei riguardi dell'azione sismica l'obiettivo è il controllo del livello di danneggiamento della costruzione a fronte dei terremoti che possono verificarsi nel sito di costruzione.





## STATI LIMITE E RELATIVE PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO

Le opere strutturali nel loro complesso, devono esse adeguatamente progettate, eseguite e collaudate, oltre ad essere sottoposte a regolari manutenzioni in forma economicamente sostenibile e con livelli di sicurezza conformi a quanto stabilito nella normativa di riferimento.

In particolare, secondo quanto stabilito nei capitoli specifici, le opere e le varie tipologie strutturali devono possedere i seguenti requisiti:

**-sicurezza nei confronti di stati limite ultimi (SLU):** capacità di garantire le prestazioni della struttura evitando il collasso, la perdita di equilibrio, crolli sia totali che parziali, provocare danni gravi ambientali e sociali, ecc.;

**-sicurezza nei confronti di stati limite di esercizio (SLE):** capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio;

**-robustezza nei confronti di azioni eccezionali:** capacità di evitare danni sproporzionati rispetto all'entità delle cause innescanti quali incendio, esplosioni, urti.

**Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite, sia ultimi che di esercizio, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso**



## STATI LIMITE

In un quadro operativo finalizzato a sfruttare al meglio la puntuale definizione della pericolosità di cui si dispone, si è ritenuto utile consentire, quando opportuno, il riferimento a 4 stati limite per l'azione sismica.

Si sono dunque portati a due gli **Stati Limite di Esercizio (SLE)**, facendo precedere lo **Stato Limite di Danno (SLD)** - ridefinito come stato limite da rispettare per garantire inagibilità solo temporanee nelle condizioni postsismiche - dallo **Stato Limite di immediata Operatività (SLO)**, particolarmente utile come riferimento progettuale per le opere che debbono restare operative durante e subito dopo il terremoto (ospedali, caserme, centri della protezione civile, etc.), in tal modo articolando meglio le prestazioni della struttura in termini di esercizio.

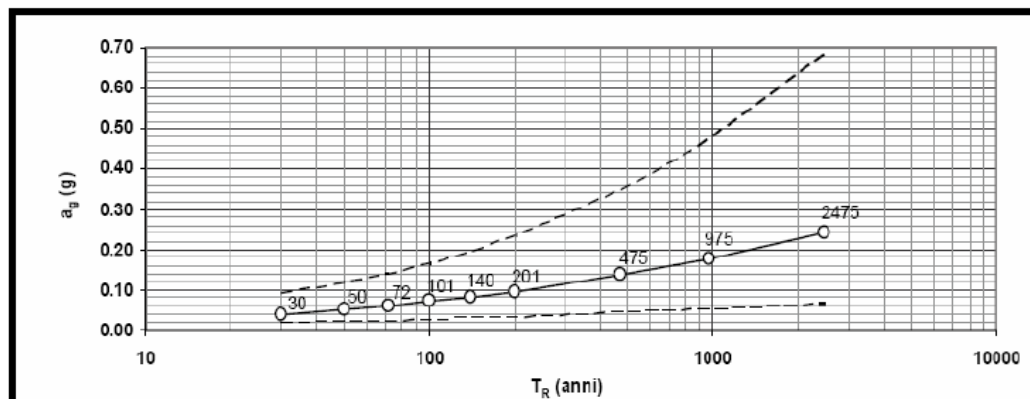
In modo analogo, si sono portati a due gli **Stati Limite Ultimi (SLU)** facendo seguire allo **Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)**, individuato definendo puntualmente lo stato limite ultimo lo **Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC)**, particolarmente utile come riferimento progettuale per alcune tipologie strutturali (strutture con isolamento e dissipazione di energia) e, più in generale, nel quadro complessivo della progettazione antisismica.

## Terremoto di progetto

L'azione sismica, per ogni stato limite precedentemente definito, varia sito per sito e costruzione per costruzione.

Quando una variabile di progetto (azione, resistenza) dipende dal tempo, la sua modellazione probabilistica è influenzata dal “**periodo di riferimento**”, funzione della **vita nominale** della struttura e della **classe d'uso**.

Nel caso dell'azione sismica, al variare della **vita nominale** e della **classe d'uso** varierà l'azione stessa poiché cambia il **periodo di riferimento** (al crescere di questo aumenta anche l'intensità dell'azione).



## VITA NOMINALE, CLASSE D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO

### VITA NOMINALE

La vita nominale di un'opera strutturale  $V_N$  è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. La vita nominale dei diversi tipi di opere è quella riportata nella Tab. e deve essere precisata nei documenti di progetto.

Tabella 2.4.I – Vita nominale  $V_N$  per diversi tipi di opere

	TIPI DI COSTRUZIONE	Vita Nominale $V_N$ (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva <sup>1</sup>	$\leq 10$
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	$\geq 50$
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	$\geq 100$

## CLASSI D'USO

In presenza di azioni sismiche, 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. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

**Classe III:** Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

**Classe IV:** Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.



## PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento  $V_R$  che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_U$  :

$$V_R = V_N \times C_U$$

Il valore del coefficiente d'uso  $C_U$  è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato in Tab.

Tab. 2.4.II – Valori del coefficiente d'uso  $C_U$

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE $C_U$	0,7	1,0	1,5	2,0

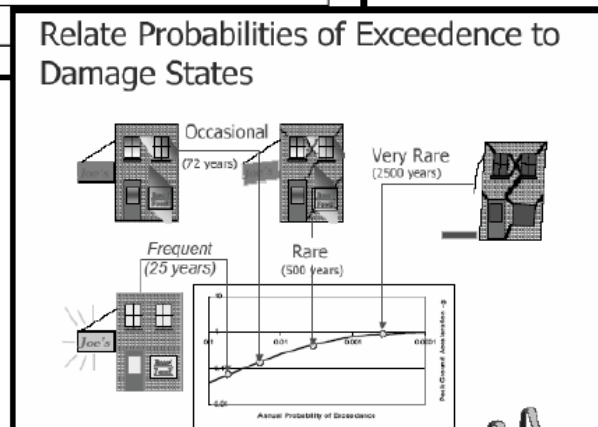
Se  $V_R \leq 35$  anni si pone comunque  $V_R = 35$  anni.

## STATI LIMITE E RELATIVE PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$ , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella successiva Tab. .

Tabella 3.2.I – Probabilità di superamento  $P_{VR}$  al variare dello stato limite considerato

Stati Limite		$P_{VR}$ : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%



Qualora la protezione nei confronti degli stati limite di esercizio sia di prioritaria importanza, i valori di  $P_{VR}$  forniti in tabella devono essere ridotti in funzione del grado di protezione che si vuole raggiungere.



## STATI LIMITE E RELATIVE PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO

Ai quattro stati limite sono stati attribuiti valori della probabilità di superamento  $P_{VR}$  pari rispettivamente a 81%, 63%, 10% e 5%, valori che restano immutati quale che sia la classe d'uso della costruzione considerata; tali probabilità, valutate nel periodo di riferimento  $V_R$  proprio della costruzione considerata, consentono di individuare, per ciascuno stato limite, l'azione sismica di progetto corrispondente.

Viene preliminarmente valutato il periodo di riferimento  $V_R$  della costruzione (espresso in anni), ottenuto come prodotto tra la vita nominale  $V_N$  fissata all'atto della progettazione ed il coefficiente d'uso  $C_U$  che compete alla classe d'uso nella quale la costruzione ricade .

Si ricava poi, per ciascuno stato limite e relativa probabilità di eccedenza  $P_{VR}$  nel periodo di riferimento  $V_R$ , il periodo di ritorno  $T_R$  del sisma. Si utilizza a tal fine la relazione:

$$T_R = -V_R / \ln(1 - P_{VR}) = -C_U \cdot V_N / \ln(1 - P_{VR})$$

## L'AZIONE SISMICA: SPETTRI ELASTICI DI NORMATIVA

Ai fini della determinazione delle azioni sismiche di progetto nei modi previsti dalle NTC, la pericolosità sismica del territorio nazionale è definita convenzionalmente facendo riferimento ad un sito rigido (di categoria **A**) con superficie topografica orizzontale (di categoria **T1**), in condizioni di campo libero, cioè in assenza di manufatti (*pericolosità sismica di base*).

Negli sviluppi successivi il sito di riferimento sarà dunque caratterizzato da sottosuolo di categoria **A** e superficie topografica di categoria **T1**.

**Le caratteristiche del moto sismico atteso al sito di riferimento, per una fissata  $P_{VR}$ , si ritengono individuate quando se ne conosca l'accelerazione massima ed il corrispondente spettro di risposta elastico in accelerazione.**

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

**$a_g$  accelerazione orizzontale massima al sito;**

**Fo valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale.**

**$T_c^*$  periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.**

In allegato A alla Norma, per tutti i siti considerati, sono forniti i valori di tali parametri necessari per la determinazione delle azioni sismiche.

## PERICOLOSITÀ DI RIFERIMENTO

La *pericolosità di riferimento* in un generico sito deve essere descritta in modo da renderla compatibile con le **NTC** e da dotarla di un sufficiente livello di dettaglio, sia in **termini geografici** **che in termini temporali**; tali condizioni possono ritenersi soddisfatte se i risultati dello studio di pericolosità sono forniti:

- in termini di valori di **accelerazione orizzontale massima  $a_g$**  e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ai sensi delle **NTC**, nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale sopra definite;
- in corrispondenza dei punti di un reticolo (**reticolo di riferimento**) i cui nodi sono sufficientemente vicini fra loro (non distano più di 10 km);
- per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o **diversi periodi di ritorno  $T_R$**  ricadenti in un intervallo di riferimento compreso almeno tra 30 e 2475 anni, estremi inclusi;

L'azione sismica così individuata viene successivamente variata, nei modi chiaramente precisati dalle **NTC**, per tener conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali stratigrafiche del sottosuolo effettivamente presente nel sito di costruzione e dalla morfologia della superficie. Tali modifiche caratterizzano la **risposta sismica locale**.



Dati online della pericolosità sismica - Microsoft Internet Explorer

Indirizzo <http://esse1.mi.ingv.it/>

Cronologie

Visualizza Ricerca

- 3 settimane fa
- 2 settimane fa
- Ultima settimana
- lunedì
- martedì
- giovedì
- oggi

INGV - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

### I dati *online* della pericolosità sismica in Italia

**Mappe dinamiche**

- [Mappe interattive della pericolosità sismica \(WebGis\)](#)
- [Interactive Maps of Seismic Hazard \(WebGis\)](#)

**Mappe statiche e download dati**

- [PGA per varie probabilità di eccedenza in 50 anni](#)
- [Accelerazioni spettrali per varie probabilità di eccedenza in 50 anni](#)

**Norme Tecniche per le Costruzioni**

- [DM 14/01/2008 - Allegato A](#)

**Links**

- [Progetto INGV-DPC S1](#)
- [zonesismiche.mi.ingv.it](http://zonesismiche.mi.ingv.it)



Pagine a cura di [INGV, Sezione di Milano-Pavia](#) - Ultimo aggiornamento: 23 febbraio 2008 - Info: [dpcS1@mi.ingv.it](mailto:dpcS1@mi.ingv.it)

*Allo stato attuale, la pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento è fornita dai dati pubblicati sul sito <http://esse1.mi.ingv.it/>. Eventuali differenze di pericolosità sismica sono approvate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, previa istruttoria effettuata dal Dipartimento per la Protezione Civile, al fine di valutarne l'attendibilità scientifica e l'idoneità applicativa in relazione ai criteri di verifica adottati nelle NTC.*

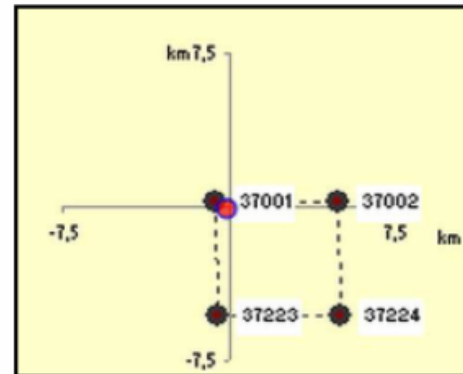
### Allegato B NTC

ID	LON	LAT	T <sub>R</sub> =30			T <sub>R</sub> =50			T <sub>R</sub> =72			T <sub>R</sub> =101			T <sub>R</sub> =140			T <sub>R</sub> =201			T <sub>R</sub> =475			T <sub>R</sub> =975			T <sub>R</sub> =2475		
			a <sub>g</sub>	F <sub>0</sub>	T <sub>C</sub> *	a <sub>g</sub>	F <sub>0</sub>	T <sub>C</sub> *	a <sub>g</sub>	F <sub>0</sub>	T <sub>C</sub> *	a <sub>g</sub>	F <sub>0</sub>	T <sub>C</sub> *	a <sub>g</sub>	F <sub>0</sub>	T <sub>C</sub> *	a <sub>g</sub>	F <sub>0</sub>	T <sub>C</sub> *	a <sub>g</sub>	F <sub>0</sub>	T <sub>C</sub> *	a <sub>g</sub>	F <sub>0</sub>	T <sub>C</sub> *	a <sub>g</sub>	F <sub>0</sub>	T <sub>C</sub> *
13111	8.5448	45.134	0.263	2.50	0.18	0.340	2.51	0.21	0.394	2.55	0.22	0.469	2.49	0.24	0.545	2.50	0.24	0.640	2.49	0.25	0.943	2.44	0.27	1.267	2.42	0.27	1.767	2.43	0.29
13333	8.5506	45.085	0.264	2.49	0.18	0.341	2.51	0.21	0.395	2.55	0.22	0.469	2.49	0.24	0.543	2.50	0.24	0.636	2.50	0.25	0.935	2.44	0.27	1.264	2.42	0.28	1.751	2.44	0.29
13555	8.5564	45.035	0.264	2.50	0.18	0.340	2.51	0.20	0.393	2.55	0.22	0.466	2.50	0.24	0.540	2.51	0.24	0.630	2.51	0.25	0.923	2.45	0.27	1.237	2.43	0.28	1.729	2.44	0.29
13777	8.5621	44.985	0.263	2.50	0.18	0.338	2.52	0.20	0.391	2.55	0.22	0.462	2.51	0.24	0.535	2.51	0.24	0.621	2.52	0.25	0.909	2.46	0.27	1.217	2.44	0.28	1.703	2.44	0.29
12990	8.8098	45.188	0.284	2.48	0.19	0.364	2.51	0.21	0.431	2.50	0.22	0.509	2.48	0.24	0.585	2.50	0.24	0.695	2.47	0.25	1.008	2.44	0.27	1.338	2.43	0.27	1.844	2.44	0.29
13112	8.8163	45.139	0.288	2.48	0.19	0.368	2.51	0.21	0.433	2.50	0.22	0.511	2.48	0.24	0.586	2.50	0.25	0.695	2.47	0.25	1.005	2.45	0.27	1.336	2.43	0.27	1.841	2.44	0.29
13334	8.821	45.080	0.288	2.48	0.19	0.367	2.51	0.21	0.434	2.50	0.22	0.511	2.49	0.24	0.586	2.51	0.25	0.694	2.48	0.25	1.001	2.45	0.27	1.332	2.43	0.27	1.835	2.44	0.29
13556	8.8269	45.039	0.288	2.48	0.19	0.367	2.51	0.21	0.433	2.51	0.22	0.510	2.49	0.24	0.584	2.51	0.25	0.691	2.48	0.25	0.996	2.45	0.27	1.325	2.44	0.28	1.828	2.44	0.29
13778	8.8325	44.989	0.288	2.48	0.19	0.368	2.52	0.21	0.430	2.51	0.22	0.507	2.50	0.24	0.580	2.51	0.25	0.688	2.49	0.25	0.989	2.45	0.27	1.318	2.44	0.28	1.819	2.44	0.29
14000	8.8383	44.939	0.288	2.47	0.19	0.363	2.52	0.21	0.426	2.52	0.22	0.502	2.50	0.24	0.576	2.52	0.24	0.679	2.49	0.25	0.981	2.45	0.27	1.307	2.44	0.28	1.807	2.44	0.29
14222	8.8439	44.880	0.284	2.47	0.19	0.360	2.53	0.21	0.421	2.53	0.22	0.497	2.50	0.24	0.570	2.52	0.24	0.671	2.50	0.25	0.970	2.45	0.27	1.294	2.44	0.28	1.792	2.44	0.29
12991	8.8503	45.192	0.306	2.43	0.20	0.389	2.50	0.21	0.467	2.47	0.23	0.544	2.49	0.23	0.626	2.50	0.25	0.738	2.47	0.26	1.049	2.46	0.27	1.374	2.46	0.28	1.875	2.48	0.29
10228	8.8628	45.794	0.283	2.42	0.20	0.364	2.48	0.22	0.430	2.48	0.24	0.505	2.44	0.25	0.577	2.48	0.26	0.679	2.48	0.26	0.992	2.43	0.27	1.335	2.38	0.28	1.924	2.30	0.30
13113	8.866	45.143	0.309	2.43	0.20	0.391	2.51	0.21	0.470	2.47	0.23	0.546	2.49	0.23	0.627	2.50	0.25	0.737	2.48	0.26	1.048	2.46	0.27	1.373	2.46	0.28	1.873	2.46	0.29
10450	8.8885	45.745	0.278	2.44	0.20	0.358	2.48	0.22	0.415	2.50	0.23	0.485	2.47	0.25	0.553	2.49	0.26	0.639	2.50	0.27	0.913	2.49	0.28	1.242	2.37	0.29	1.742	2.33	0.30
13335	8.8915	45.093	0.310	2.43	0.20	0.392	2.51	0.21	0.470	2.48	0.23	0.546	2.50	0.23	0.626	2.51	0.25	0.738	2.48	0.26	1.046	2.46	0.27	1.370	2.46	0.28	1.870	2.46	0.29
10672	8.8942	45.895	0.275	2.45	0.20	0.351	2.49	0.21	0.408	2.52	0.23	0.475	2.49	0.25	0.541	2.52	0.25	0.618	2.53	0.26	0.862	2.54	0.28	1.125	2.54	0.29	1.543	2.65	0.30
13557	8.8973	45.043	0.311	2.44	0.20	0.392	2.52	0.21	0.469	2.48	0.23	0.545	2.50	0.23	0.624	2.51	0.25	0.733	2.48	0.26	1.042	2.46	0.27	1.368	2.46	0.28	1.866	2.46	0.29
13779	8.7029	44.993	0.310	2.44	0.20	0.391	2.52	0.21	0.467	2.48	0.23	0.543	2.50	0.23	0.621	2.51	0.25	0.730	2.49	0.26	1.038	2.46	0.27	1.363	2.45	0.28	1.863	2.46	0.29
14001	8.7086	44.943	0.309	2.44	0.20	0.389	2.52	0.21	0.464	2.49	0.23	0.540	2.50	0.24	0.616	2.52	0.25	0.728	2.49	0.26	1.033	2.46	0.27	1.358	2.45	0.28	1.860	2.46	0.29
14223	8.7142	44.893	0.307	2.45	0.20	0.388	2.52	0.21	0.460	2.49	0.23	0.536	2.51	0.23	0.611	2.52	0.25	0.721	2.49	0.26	1.027	2.46	0.27	1.353	2.45	0.28	1.854	2.45	0.29
14445	8.7199	44.843	0.305	2.45	0.20	0.383	2.53	0.21	0.458	2.50	0.23	0.531	2.51	0.24	0.605	2.52	0.25	0.715	2.49	0.26	1.021	2.46	0.27	1.347	2.45	0.28	1.848	2.45	0.29
9785	8.7426	45.898	0.315	2.37	0.20	0.409	2.41	0.22	0.500	2.37	0.24	0.685	2.44	0.25	0.890	2.40	0.26	0.814	2.40	0.26	1.190	2.37	0.27	1.567	2.34	0.28	2.281	2.26	0.30
12670	8.7452	45.246	0.323	2.44	0.20	0.412	2.49	0.22	0.498	2.46	0.23	0.573	2.49	0.24	0.664	2.48	0.25	0.773	2.48	0.26	1.092	2.46	0.27	1.414	2.47	0.28	1.910	2.48	0.29
10007	8.7482	45.848	0.306	2.39	0.20	0.394	2.45	0.22	0.479	2.39	0.24	0.561	2.44	0.25	0.655	2.46	0.26	0.774	2.44	0.26	1.141	2.39	0.27	1.530	2.35	0.28	2.211	2.27	0.30
128																								1.48	0.28	1.918	2.48	0.29	
167																								1.41	0.29	1.893	2.42	0.30	
102																								1.35	0.28	2.104	2.27	0.30	
131																								1.48	0.28	1.915	2.49	0.29	
160																								1.40	0.29	1.881	2.43	0.30	
104																								1.35	0.28	1.967	2.29	0.30	
133																								1.48	0.28	1.909	2.48	0.29	
162																								1.43	0.29	1.901	2.46	0.31	
108																								1.51	0.28	1.739	2.52	0.29	
135																								1.48	0.28	1.902	2.48	0.29	
164																								1.50	0.29	1.711	2.49	0.31	
10995	8.771	45.649	0.289	2.44	0.20	0.366	2.51	0.22	0.430	2.51	0.24	0.502	2.50	0.24	0.574	2.52	0.25	0.675	2.49	0.26	0.997	2.47	0.28	1.279	2.47	0.28	1.764	2.49	0.29
13780	8.7732	44.997	0.332	2.45	0.20	0.422	2.49	0.21	0.502	2.48	0.23	0.577	2.51	0.24	0.665	2.50	0.25	0.771	2.50	0.26	1.083	2.48	0.27	1.401	2.48	0.28	1.896	2.48	0.29
16685	8.7765	44.345	0.250	2.53	0.18	0.328	2.53	0.20	0.379	2.57	0.22	0.441	2.55	0.24	0.510	2.55	0.24	0.597	2.58	0.26	0.838	2.56	0.28	1.125	2.53	0.30	1.621	2.53	0.31
14002	8.7789	44.947	0.331	2.46	0.20	0.419	2.50	0.21	0.499	2.48	0.23	0.574	2.51	0.24	0.661	2.50	0.25	0.767	2.50	0.26	1.077	2.48	0.27	1.395	2.48	0.28	1.891	2.48	0.29
14224	8.7844	44.897	0.329	2.46	0.20	0.418	2.51	0.21	0.495	2.48	0.23	0.570	2.51	0.24	0.656	2.51	0.25	0.762	2.50	0.26	1.072	2.48	0.27	1.390	2.47	0.28	1.886	2.47	0.29
14446	8.7899	44.847	0.327	2.46	0.20	0.412	2.51	0.21	0.491	2.49	0.23	0.566	2.51	0.24	0.651	2.51	0.25	0.757	2.50	0.26	1.066	2.48	0.27	1.386	2.47	0.28	1.882	2.47	0.29
14688	8.7965	44.798	0.325	2.46	0.20	0.408	2.52	0.21	0.489	2.49	0.23	0.562	2.51	0.24	0.646	2.51	0.25	0.753	2.50	0.26	1.062	2.47	0.27	1.382	2.47	0.28	1.879	2.47	0.29
9786	8.8141	45.902	0.330	2.37	0.20	0.432	2.39	0.23	0.523	2.39	0.24	0.612	2.44	0.25	0.720	2.40	0.26	0.849	2.40	0.26	1.228	2.37	0.28	1.621	2.35	0.29	2.327	2.26	0.30
16556	8.8178	44.598	0.314	2.44	0.20	0.396	2.52	0.21	0.478	2.47	0.23	0.554	2.50	0.24	0.638	2.49	0.25	0.751	2.47	0.26	1.077	2.44	0.28	1.414	2.43	0.29	1.937	2.45	0.30
10008	8.8197	45.852	0.321	2.39	0.20	0.415	2.43	0.22	0.503	2.39	0.24	0.596	2.46	0.25															

## Interpolazione spaziale

Si precisa che un qualsiasi punto del territorio nazionale non ricadente sui nodi del reticolo di riferimento, i parametri di riferimento  $\mathbf{a}_g$ ,  $\mathbf{F}_o$ ,  $\mathbf{T}_c^*$  per la definizione dell'azione sismica di progetto possono essere determinati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici della maglia elementare, ovvero del reticolo di riferimento stesso attraverso la seguente relazione:

$$p = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{P_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}}$$



dove  $p$  rappresenta il valore nel punto cercato,  $p_i$  il valore del parametro di interesse nell' $i$ -esimo punto della maglia elementare e  $d_i$  la distanza del punto in esame dall' $i$ -esimo punto della maglia elementare di riferimento.



## Interpolazione temporale

Le forme spettrali previste dalle **NTC** sono caratterizzate da prescelte probabilità di superamento e vite di riferimento. A tal fine occorre fissare:

la vita di riferimento  $V_R$  della costruzione,

le probabilità di superamento nella vita di riferimento  $P_{VR}$  associate a ciascuno degli stati limite considerati,

per individuare infine, a partire dai dati di *pericolosità sismica* disponibili, le corrispondenti azioni sismiche.

Tale operazione deve essere possibile per tutte le vite di riferimento e tutti gli stati limite considerati dalle **NTC**; a tal fine è conveniente utilizzare, come parametro caratterizzante la pericolosità sismica, il periodo di ritorno dell'azione sismica  $T_R$ , espresso in anni.

Fissata la vita di riferimento  $V_R$ , i due parametri  $T_R$  e  $P_{VR}$  sono immediatamente esprimibili, l'uno in funzione dell'altro, mediante l'espressione:

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

## CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

### Categorie di sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi, come indicato nel § 7.11.3. 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 (Tab. 3.2.II e 3.2.III).

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento</i> (con $V_s > 800$ m/s).

## Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali

Quale che sia la probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$  considerata, lo spettro di risposta elastico della componente orizzontale è definito dalle espressioni seguenti:

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

*T ed  $S_e$  sono, rispettivamente, periodo di vibrazione ed accelerazione spettrale orizzontale.*

## **SPETTRO DI RISPOSTA DI PROGETTO**

### **Spettri di progetto per gli stati limite di esercizio**

Per gli stati limite di esercizio lo spettro di progetto  $S_d(T)$  da utilizzare, sia per le componenti orizzontali che per la componente verticale, è lo spettro elastico corrispondente, riferito alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$  considerata (v. §§ 2.4 e 3.2.1).

### **Spettri di progetto per gli stati limite ultimi**

Qualora le verifiche agli stati limite ultimi non vengano effettuate tramite l'uso di opportuni accelerogrammi ed analisi dinamiche al passo, ai fini del progetto o della verifica delle strutture le capacità dissipative delle strutture possono essere messe in conto attraverso una riduzione delle forze elastiche, che tiene conto in modo semplificato della capacità dissipativa anelastica della struttura, della sua sovraresistenza, dell'incremento del suo periodo proprio a seguito delle plasticizzazioni.

In tal caso, lo spettro di progetto  $S_d(T)$  da utilizzare, sia per le componenti orizzontali, sia per la componente verticale, è lo spettro elastico corrispondente riferito alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$  considerata (v. §§ 2.4 e 3.2.1), con le ordinate ridotte sostituendo nelle formule  $\eta$  con  $1/q$ , dove  **$q$  è il fattore di struttura** definito nel capitolo 7.

Si assumerà comunque  $S_d(T) \geq 0,2a_q$ .



## SPETTRO DI RISPOSTA DI PROGETTO

*L'uso dello spettro di risposta anelastico permette di applicare alla struttura azioni sismiche ridotte facendo affidamento sulla sua duttilità globale.*

La corretta definizione degli spettri elastici porta alla presa di coscienza della reale entità delle azioni dovute ai terremoti violenti.

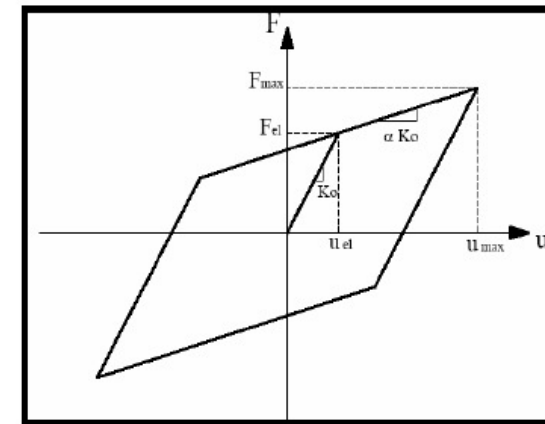
Ci si convince definitivamente della sostanziale impossibilità di realizzare, operando in termini economicamente accettabili, strutture antisismiche che restino elastiche.

La filosofia di progettazione accetta l'entrata in campo plastico della struttura e la utilizza come tecnica di protezione passiva dal sisma.

La **plasticizzazione** riduce la rigidità e aumenta l'energia dissipata per isteresi, riducendo le forze d'inerzia sperimentate dalla struttura.

La norma riduce le azioni di progetto purché la struttura sia capace di entrare in campo plastico senza collassare, ossia

**PURCHÉ LA STRUTTURA SIA "DUTTILE"**



## FATTORI DI STRUTTURA

Il valore del fattore di struttura  $q$  da utilizzare per ciascuna direzione della azione sismica, dipende dalla tipologia strutturale, dal suo grado di iperstaticità e dai criteri di progettazione adottati e prende in conto le non linearità di materiale. Esso può essere calcolato tramite la seguente espressione:

$$q = q_0 \cdot K_R$$

- $q_0$  è il valore massimo del fattore di struttura che dipende dal livello di duttilità attesa, dalla tipologia strutturale e dal rapporto  $\alpha_u/\alpha_1$  tra il valore dell'azione sismica per il quale si verifica la formazione di un numero di cerniere plastiche tali da rendere la struttura labile e quello per il quale il primo elemento strutturale raggiunge la plasticizzazione a flessione;
- $K_R$  è un fattore riduttivo che dipende dalle caratteristiche di regolarità in altezza della costruzione, con valore pari ad 1 per costruzioni regolari in altezza e pari a 0,8 per costruzioni non regolari in altezza.



## Metodi semplificati in Sardegna

### 2.7 VERIFICHE ALLE TENSIONI AMMISSIBILI

Relativamente ai metodi di calcolo, è d'obbligo il Metodo agli stati limite di cui al § 2.6.

Per le costruzioni di tipo 1 e 2 e Classe d'uso I e II, limitatamente a siti ricadenti in Zona 4, è ammesso il Metodo di verifica alle tensioni ammissibili. Per tali verifiche si deve fare riferimento alle norme tecniche di cui al D.M. LL. PP. 14.02.92, per le strutture in calcestruzzo e in acciaio, al D.M. LL. PP. 20.11.87, per le strutture in muratura e al D.M. LL. PP. 11.03.88 per le opere e i sistemi geotecnici.

Le norme dette si debbono in tal caso applicare integralmente, salvo per i materiali e i prodotti, le azioni e il collaudo statico, per i quali valgono le prescrizioni riportate nelle presenti norme tecniche.

Le azioni sismiche debbono essere valutate assumendo pari a 5 il grado di sismicità S, quale definito al § B. 4 del D.M. LL. PP. 16.01.1996, ed assumendo le modalità costruttive e di calcolo di cui al D.M. LL. PP. citato, nonché alla Circ. LL. PP. 10.04.97, n. 65/AA.GG. e relativi allegati.

## Metodi semplificati in Sardegna

### 7 PROGETTAZIONE PER AZIONI SISMICHE

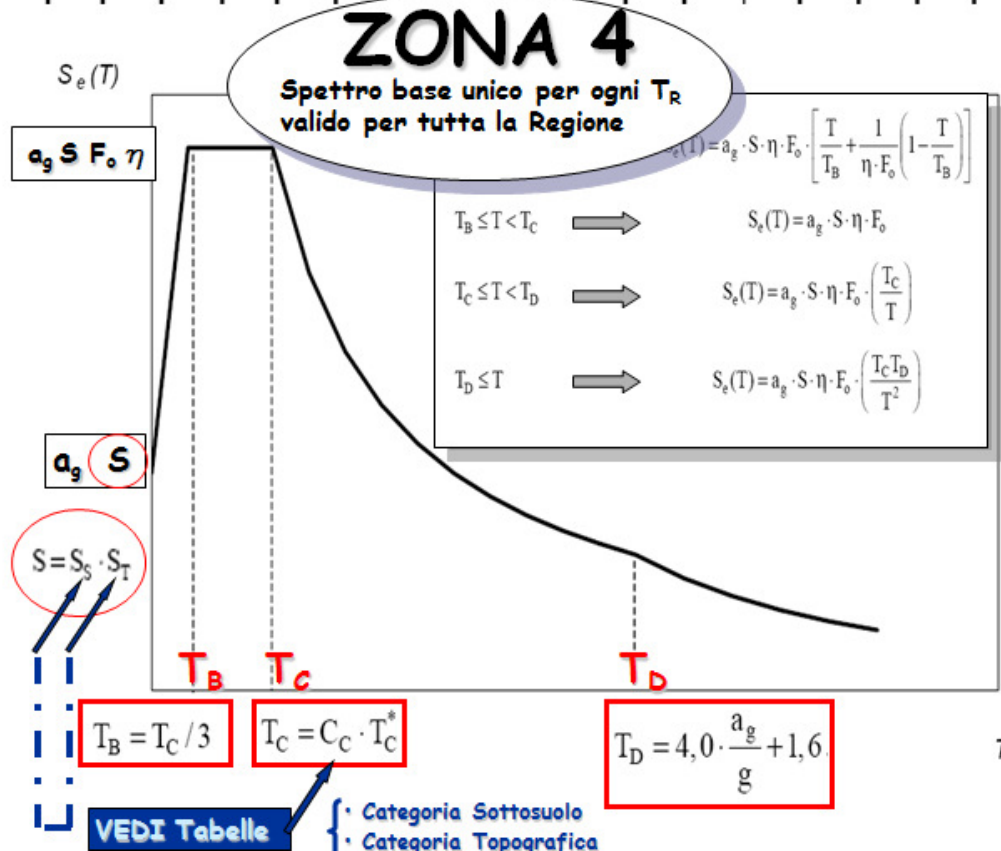
Il presente capitolo disciplina la progettazione e la costruzione delle nuove opere soggette anche all'azione sismica. Le sue indicazioni sono da considerare aggiuntive e non sostitutive di quelle riportate nei Cap. 4, 5 e 6; si deve inoltre fare sempre riferimento a quanto indicato nel Cap. 2 per la valutazione della sicurezza e nel Cap. 3 per la valutazione dell'azione sismica.

Le costruzioni da edificarsi in siti ricadenti in zona 4 possono essere progettate e verificate applicando le sole regole valide per le strutture non soggette all'azione sismica, alle condizioni di seguito enunciate:

- i diaframmi orizzontali devono rispettare quanto prescritto al § 7.2.6;
- gli elementi strutturali devono rispettare le limitazioni, in termini di geometria e di quantitativi d'armatura, relative alla CD "B" quale definita nel § 7.2.1;
- le sollecitazioni debbono essere valutate considerando la combinazione di azioni definita nel § 3.2.4 ed applicando, in due direzioni ortogonali, il sistema di forze orizzontali definito dalle espressioni (7.3.6) e (7.3.7), in cui si assumerà  $S_d(T_1) = 0,07g^1$  per tutte le tipologie.

Le relative verifiche di sicurezza debbono essere effettuate, in modo indipendente nelle due direzioni, allo stato limite ultimo. Non è richiesta la verifica agli stati limite di esercizio.

T <sub>R</sub> =30			T <sub>R</sub> =50			T <sub>R</sub> =72			T <sub>R</sub> =101			T <sub>R</sub> =140			T <sub>R</sub> =201			T <sub>R</sub> =475			475		
a <sub>g</sub>	F <sub>0</sub>	T <sub>C</sub> *	a <sub>g</sub>	F <sub>0</sub>	T <sub>C</sub> *	a <sub>g</sub>	F <sub>0</sub>	T <sub>C</sub> *	a <sub>g</sub>	F <sub>0</sub>	T <sub>C</sub> *	a <sub>g</sub>	F <sub>0</sub>	T <sub>C</sub> *	a <sub>g</sub>	F <sub>0</sub>	T <sub>C</sub> *	a <sub>g</sub>	F <sub>0</sub>	T <sub>C</sub> *	T <sub>C</sub> *		
0,186	2,61	0,273	0,235	2,67	0,296	0,274	2,70	0,303	0,314	2,73	0,307	0,351	2,78	0,313	0,393	2,82	0,322	0,500	2,88	0,372	0,74	3,09	0,401



**E' sempre conveniente applicare la procedura semplificata in Zona 4 ?**

Da un punto di vista dell'onere computazionale la procedura semplificata è sicuramente più conveniente poiché richiede un minimo impegno dello strutturista.

Da un punto di vista di economia generale dell'opera il confronto va analizzato caso per caso.

