

Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio  
Corso Integrato di Scienza e Tecnica delle Costruzioni  
Modulo di **Tecnica delle Costruzioni**

A.A. 2025-2026  
2° semestre

CFU 8

Docente

Marco Zucca

**AZIONE SISMICA**



**POLITECNICO**  
MILANO 1863  
Scuola Master Fratelli Pesenti



Università degli Studi di Cagliari

**DICAAR**

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E ARCHITETTURA

# AZIONE SISMICA

## Strumenti:

- **Norme Tecniche per le costruzioni D.M. 17.01.2018, G.U. n. 42 del 20.02.2018 (CAP. 3)**
- **Circolare Ministeriale del 21.01.2019, G.U. n. 5 del 11.02.2019 (CAP. C.3)**

# Azione sismica

*Circolare NTC2018 (§C3.2: Azione sismica)*

- L'azione sismica è ora valutata in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido a superficie orizzontale, riferendosi non ad una zona sismica territorialmente coincidente con più entità amministrative, ad un'unica forma spettrale e ad un periodo di ritorno prefissato ed uguale per tutte le costruzioni, come avveniva in precedenza, bensì **sito per sito e costruzione per costruzione**. Tale approccio dovrebbe condurre in media, sull'intero territorio nazionale, ad una significativa ottimizzazione dei costi delle costruzioni antisismiche, a parità di sicurezza. La pericolosità sismica di un sito è descritta dalla probabilità che, in un fissato lasso di tempo, in detto sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato. Nelle NTC, tale lasso di tempo, espresso in anni, è denominato “periodo di riferimento”  $V_R$  e la probabilità è denominata “probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento”  $P_{V_R}$ .

# Azione sismica

*Circolare NTC2018 (§C3.2: Azione sismica)*

- ... Nel caso di costruzioni di notevoli dimensioni, **va considerata l'azione sismica più sfavorevole** calcolata sull'intero sito ove sorge la costruzione e, ove fosse necessario, la variabilità spaziale del moto di cui al § 3.2.5 ....

*NTC2018 (§3.2: 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. Essa costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

# Azione sismica

*NTC2018 (§3.2: Azione sismica)*

- 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 (di categoria A quale definita al § 3.2.2);
  - ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente  $S_e(T)$ , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza  $P_{VR}$ , come definite nel § 3.2.1, nel periodo di riferimento  $V_R$ , come definito nel § 2.4;
  - accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla **pericolosità sismica del sito**.

# Azione sismica

*NTC2018 (§3.2: Azione sismica)*

- 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;
  - $F_0$ , 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 alla norma, per tutti i siti considerati, sono forniti i valori di  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_C^*$  necessari per la determinazione delle azioni sismiche.

# Azione sismica

NTC2018 (Allegato B)

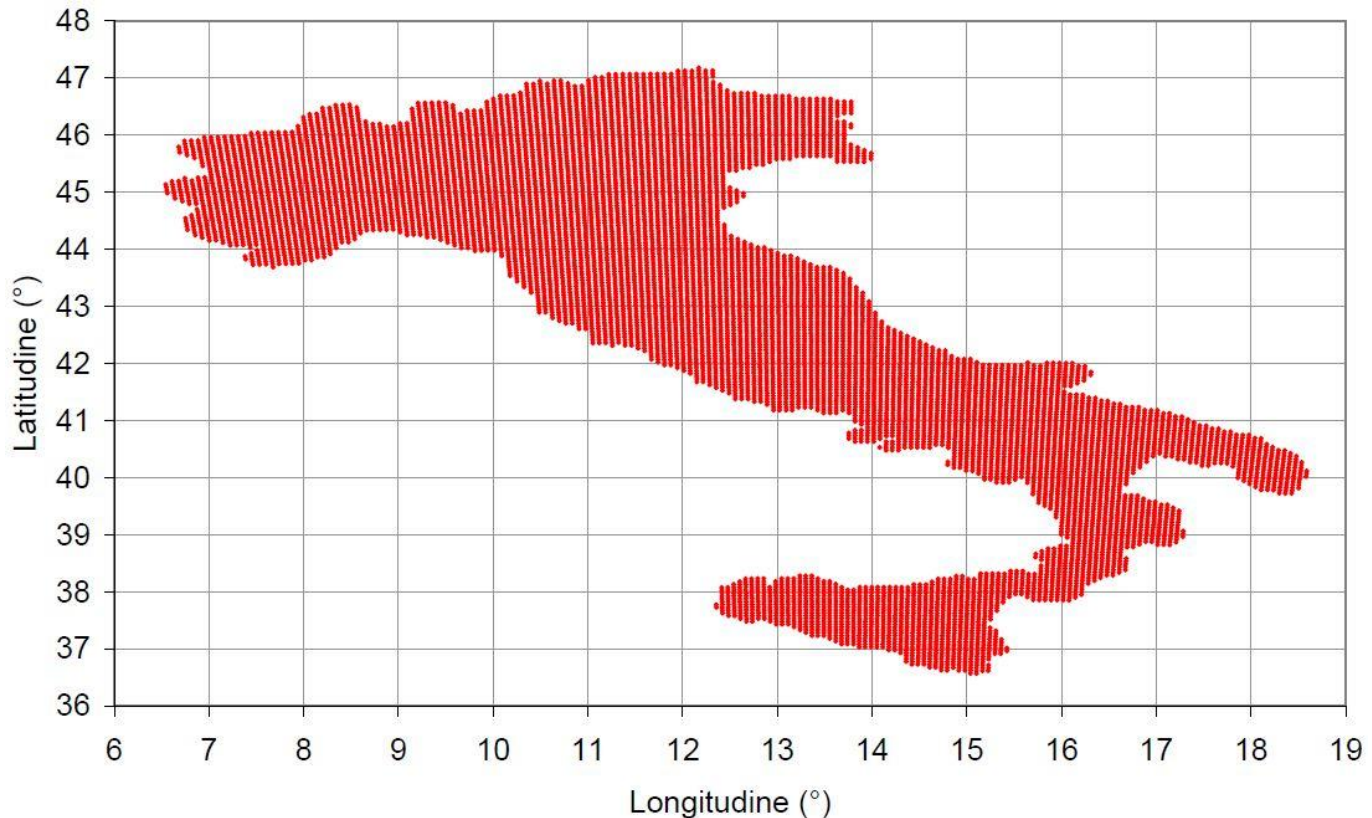
- ... vengono forniti, per 10751 punti del reticolo di riferimento e per 9 valori del periodo di ritorno  $T_R$  (30 anni, 50 anni, 72 anni, 101 anni, 140 anni, 201 anni, 475 anni, 975 anni, 2475 anni), i valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c^*$  da utilizzare per definire l'azione sismica nei modi previsti dalle NTC. I punti del reticolo di riferimento sono definiti in termini di Latitudine e Longitudine ed ordinati a Latitudine e Longitudine crescenti, facendo variare prima la Longitudine e poi la Latitudine ...

ID	LON	LAT	$T_R=30$			$T_R=50$			$T_R=72$			$T_R=101$			$T_R=140$			$T_R=201$			$T_R=475$			$T_R=975$			$T_R=2475$		
			$a_g$	$F_0$	$T_c$	$a_g$	$F_0$	$T_c$	$a_g$	$F_0$	$T_c$	$a_g$	$F_0$	$T_c$	$a_g$	$F_0$	$T_c$	$a_g$	$F_0$	$T_c$	$a_g$	$F_0$	$T_c$	$a_g$	$F_0$	$T_c$	$a_g$	$F_0$	$T_c$
13111	6.5448	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	6.5506	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	1.254	2.42	0.28	1.751	2.44	0.29
13555	6.5564	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	6.5621	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
12890	6.6096	45.188	0.284	2.46	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	1.006	2.44	0.27	1.338	2.43	0.27	1.844	2.44	0.29
13112	6.6153	45.130	0.286	2.46	0.19	0.366	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	6.621	45.089	0.288	2.46	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	6.6268	45.039	0.288	2.46	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	6.6325	44.989	0.288	2.46	0.19	0.366	2.52	0.21	0.430	2.51	0.22	0.507	2.50	0.24	0.580	2.51	0.25	0.686	2.49	0.25	0.989	2.45	0.27	1.318	2.44	0.28	1.819	2.44	0.29
14000	6.6383	44.939	0.286	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	6.6439	44.889	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
12891	6.6803	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	0.625	2.50	0.25	0.736	2.47	0.26	1.049	2.46	0.27	1.374	2.46	0.28	1.875	2.46	0.29
10228	6.6826	45.794	0.283	2.42	0.20	0.364	2.46	0.22	0.430	2.46	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	6.6886	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	6.6885	45.745	0.278	2.44	0.20	0.356	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	6.6915	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	0.736	2.48	0.26	1.046	2.46	0.27	1.370	2.46	0.28	1.870	2.46	0.29
10672	6.6942	45.695	0.275	2.45	0.20	0.351	2.49	0.21	0.406	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	2.55	0.30
13557	6.6973	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	1.366	2.46	0.28	1.866	2.46	0.29
13779	6.7029	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	6.7086	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	0.726	2.49	0.26	1.033	2.46	0.27	1.356	2.45	0.28	1.860	2.46	0.29
14223	6.7142	44.893	0.307	2.45	0.20	0.386	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	6.7198	44.843	0.305	2.45	0.20	0.383	2.53	0.21	0.456	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	6.7426	45.898	0.315	2.37	0.20	0.409	2.41	0.22	0.500	2.37	0.24	0.585	2.44	0.25	0.690	2.40	0.26	0.814	2.40	0.26	1.190	2.37	0.27	1.587	2.34	0.28	2.281	2.26	0.30
12670	6.7452	45.246	0.323	2.44	0.20	0.412	2.49	0.22	0.496	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

# Azione sismica

*NTC2018 (Allegato B)*

- In tabella 2, con metodologia e convenzioni analoghe, per tutte le isole, con l'esclusione della Sicilia, Ischia, Procida, Capri, vengono forniti i valori di  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T^*_C$  (costanti su tutto il territorio di ciascuna isola).



# Azione sismica

- Qualora la attuale pericolosità sismica su reticolo di riferimento non contempli il periodo di ritorno  $T_{R1}$  corrispondente alla  $V_R$  e alla  $P_{VR}$  fissate, il valore del generico parametro  $p$  ( $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T^*_C$ ) ad esso corrispondente potrà essere ricavato per interpolazione, a partire dai dati relativi ai  $T_R$  previsti nella pericolosità sismica, utilizzando l'espressione seguente:

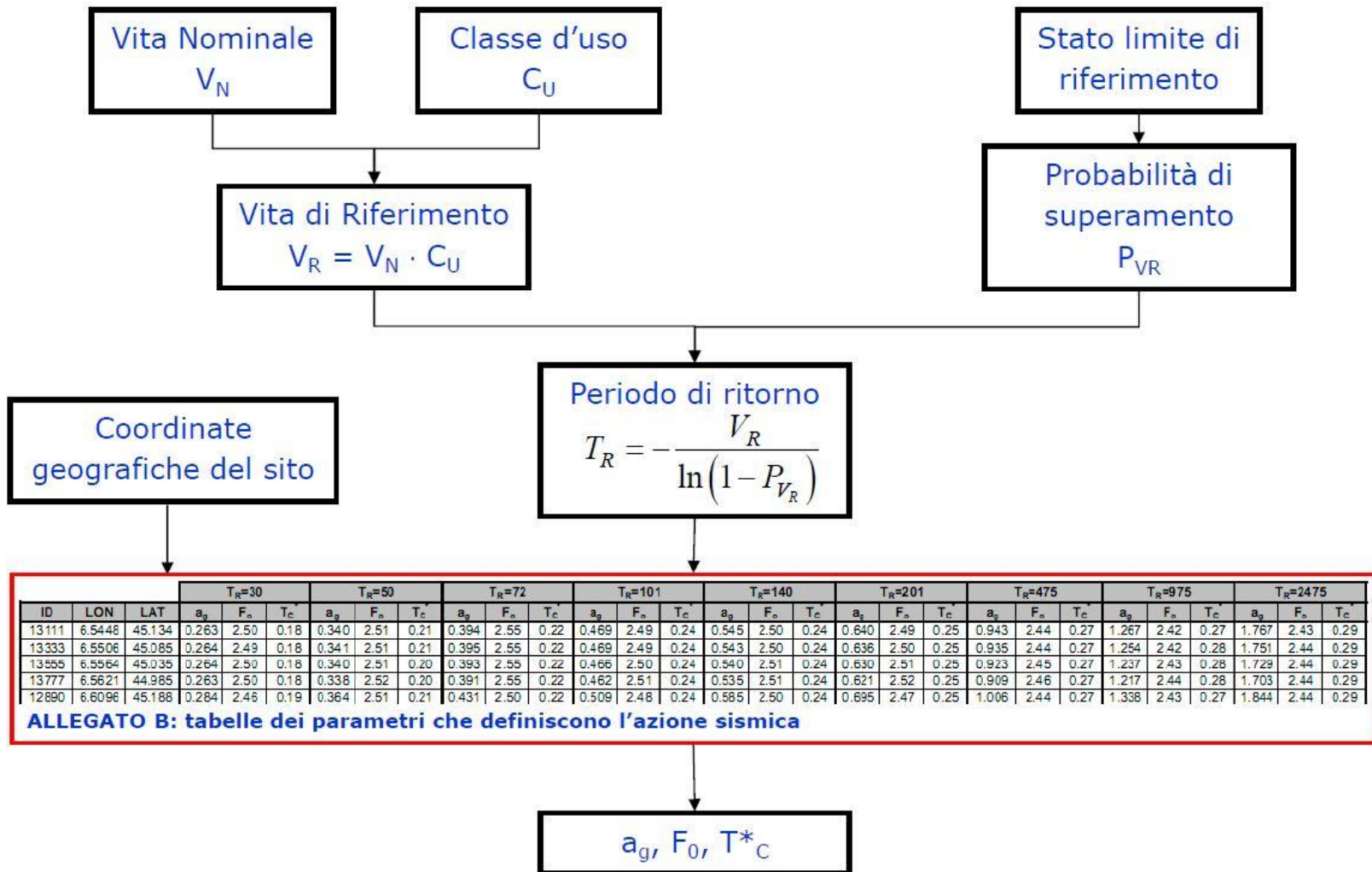
$$\log(p) = \log(p_1) + \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \cdot \log\left(\frac{T_R}{T_{R1}}\right) \cdot \left[\log\left(\frac{T_{R2}}{T_{R1}}\right)\right]^{-1}$$

- $p$  = il valore del parametro di interesse corrispondente al periodo di ritorno  $T_R$  desiderato;
- $T_{R1}$  e  $T_{R2}$  = i periodi di ritorno più prossimi a  $T_R$  per i quali si dispone dei valori  $p_1$  e  $p_2$  del generico parametro  $p$ .

- ... si considereranno solo i valori di  $T_R$  compresi nell'intervallo 30 anni  $\leq T_R \leq 2475$  anni; se  $T_R < 30$  anni si porrà  $T_R = 30$  anni, se  $T_R > 2475$  anni si porrà  $T_R = 2475$  anni. **Azioni sismiche riferite a  $T_R$  più elevati potranno essere considerate per opere speciali.**

# Azione sismica

## Definizione dei parametri spetrali



# Azione sismica

*NTC2018 (§2.4.1: 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. 2.4.I 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	$\geq 100$

- Le verifiche sismiche di opere provvisorie o strutture in fase costruttiva possono omettersi quando le relative durate previste in progetto siano inferiori a 2 anni.

# Azione sismica

*NTC2018 (§2.4.1: Vita nominale)*

- Nelle previsioni progettuali dunque, se le condizioni ambientali e d'uso sono rimaste nei limiti previsti, **non prima della fine di detto periodo saranno necessari interventi di manutenzione straordinaria** per ripristinare le capacità di durata della costruzione. **L'effettiva durata della costruzione non è valutabile in sede progettuale**, venendo a dipendere da eventi futuri fuori dal controllo del progettista. Di fatto, la grande maggioranza delle costruzioni ha avuto ed ha, anche attraverso successivi interventi di ripristino manutentivo, una durata effettiva molto maggiore della vita nominale quantificata nelle NTC ...

Opera Ordinaria



$V_N = 50$  anni

# Azione sismica

*NTC2018 (§2.4.2: Classe 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 <b><u>presenza solo occasionale di persone</u></b> , edifici agricoli.
Classe II	Costruzioni il cui uso preveda <b><u>normali affollamenti</u></b> , senza contenuti pericolosi per l'ambiente e <b><u>senza funzioni pubbliche e sociali essenziali</u></b> . 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 <b><u>affollamenti significativi</u></b> . 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 <b><u>funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità</u></b> . 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.

# Azione sismica

*NTC2018 (§2.4.3: 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**  $C_U$ :

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

- Il valore del coefficiente d'uso  $C_U$  è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato in Tab. 2.4.II.

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

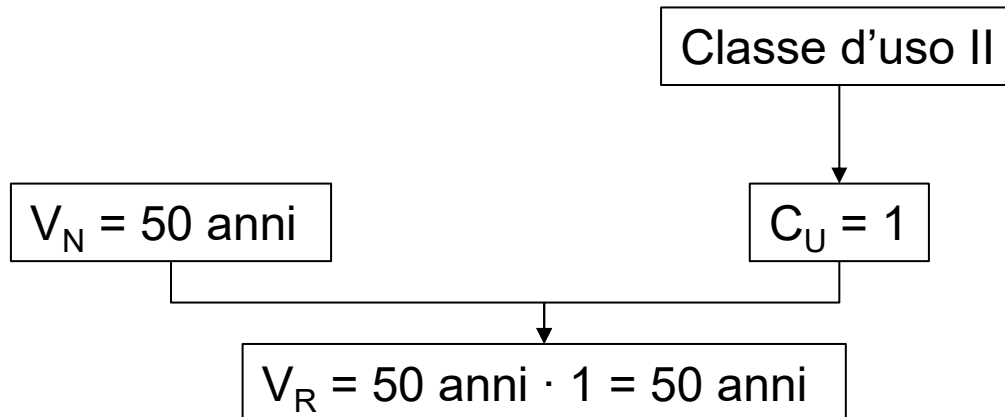
- Per assicurare alle costruzioni un livello di sicurezza antisismica minimo irrinunciabile le NTC impongono, se  $V_R \leq 35$  anni, di assumere comunque  $V_R = 35$  anni; gli intervalli di valori di  $V_R$  (espressi in anni) cui fare effettivo riferimento al variare di  $V_N$  e  $C_U$  sono riportati nella successiva Tabella C2.4.I.

# Azione sismica

*NTC2018 (§2.4.3: Periodo di riferimento per l'azione sismica)*

Tabella C2.4.I. - Intervalli di valori attribuiti a  $V_R$  al variare di  $V_N$  e  $C_U$

VITA NOMINALE $V_N$	VALORI DI $V_R$			
	CLASSE D'USO			
	I	II	III	IV
$\leq 10$	35	35	35	35
$\geq 50$	$\geq 35$	$\geq 50$	$\geq 75$	$\geq 100$
$\geq 100$	$\geq 70$	$\geq 100$	$\geq 150$	$\geq 200$



# Azione sismica

*NTC2018 (§3.2.1: Stati limite e relative probabilità di superamento)*

- Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite, sia di esercizio che ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti. Gli **stati limite di esercizio** sono:
  - 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;
  - 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 e orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

# Azione sismica

*NTC2018 (§3.2.1: Stati limite e relative probabilità di superamento)*

- Gli **stati limite ultimi** sono:
  - 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 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;
  - 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.

# Azione sismica

*NTC2018 (§3.2.1: Stati limite e relative probabilità di superamento)*

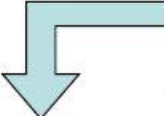
- Le **probabilità di superamento nel periodo di riferimento**  $P_{VR}$ , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella successiva Tab. 3.2.I.

*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%

# Azione sismica

NTC2018 (§3.2.1: Stati limite e relative probabilità di superamento)



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

Tabella C.3.2.I.- Valori di  $T_R$  espressi in funzione di  $V_R$

Stati Limite		Valori in anni del periodo di ritorno $T_R$ al variare del periodo di riferimento $V_R$
Stati Limite di Esercizio (SLE)	SLO	$(^2) 30 \text{ anni} \leq T_R = 0,60 \cdot V_R$
	SLD	$T_R = V_R$
Stati Limite Ultimi (SLU)	SLV	$T_R = 9,50 \cdot V_R$
	SLC	$T_R = 19,50 \cdot V_R \leq 2475 \text{ anni } (^1)$

# Azione sismica

*Circolare NTC2018 (§C3.2.1: Stati limite e relative probabilità di superamento)*

- I quattro stati limite così definiti, consentono di individuare quattro situazioni diverse che, al crescere progressivo dell'azione sismica, ed al conseguente progressivo superamento dei quattro stati limite ordinati per azione sismica crescente (SLO, SLD, SLV, SLC), fanno corrispondere una progressiva crescita del danneggiamento all'insieme di struttura, elementi non strutturali ed impianti, per individuare così univocamente ed in modo quasi "continuo" le caratteristiche prestazionali richieste alla generica costruzione.

# Azione sismica

*NTC2018 (§7.1: Requisiti nei confronti degli stati limite)*

- Sotto l'effetto delle **azioni sismiche** definite nel § 3.2, **deve essere garantito il rispetto degli stati limite ultimi e di esercizio**, quali definiti al § 3.2.1 ed **individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso**, includendo il volume significativo di terreno, le strutture di fondazione, gli elementi strutturali, gli elementi non strutturali, gli impianti. 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.

# Azione sismica

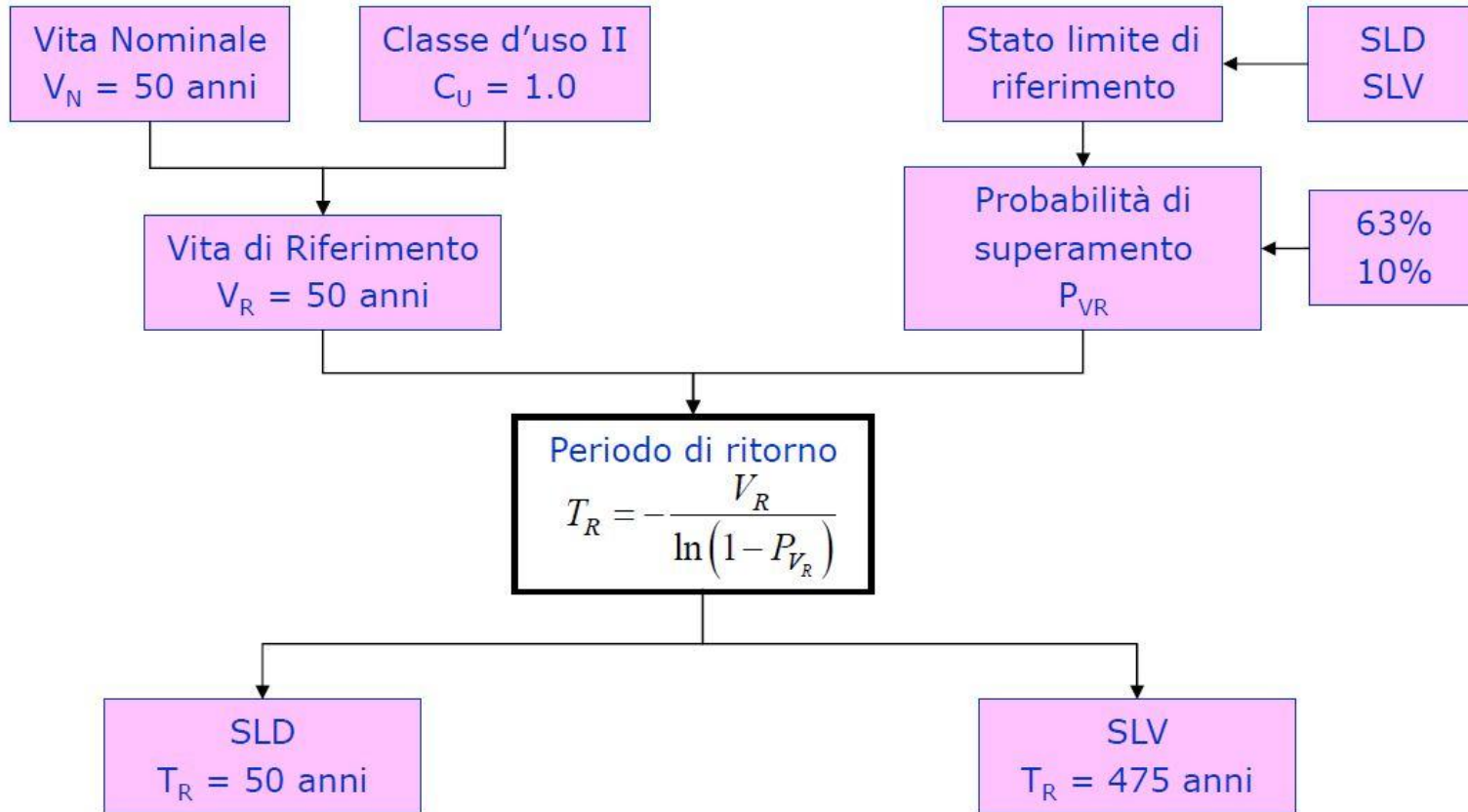
*NTC2018 (§7.1: Requisiti nei confronti degli stati limite)*

- 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**, quali precisate nei §§ 7.3.7.2 e 7.3.7.3.

*Circolare NTC2018 (§7.1: Requisiti nei confronti degli stati limite)*

- ... si evidenzia che le verifiche allo **SLC** devono essere effettuate di necessità sulle sole costruzioni provviste di isolamento sismico ...

# Azione sismica



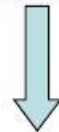
ID	LON	LAT	$T_R=30$			$T_R=50$			$T_R=72$			$T_R=101$			$T_R=140$			$T_R=201$			$T_R=475$			$T_R=975$			$T_R=2475$		
			$a_g$	$F_o$	$T_c$	$a_g$	$F_o$	$T_c$	$a_g$	$F_o$	$T_c$	$a_g$	$F_o$	$T_c$	$a_g$	$F_o$	$T_c$	$a_g$	$F_o$	$T_c$	$a_g$	$F_o$	$T_c$	$a_g$	$F_o$	$T_c$	$a_g$	$F_o$	$T_c$
13111	6.5448	45.134	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	6.5506	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	1.254	2.42	0.28	1.751	2.44	0.29
13555	6.5564	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	6.5621	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
12890	6.6096	45.188	0.284	2.46	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	1.006	2.44	0.27	1.338	2.43	0.27	1.844	2.44	0.29

# Azione sismica

*Sito di riferimento*



Comune di  
Salerno



Long: 14.7659  
Lat: 40.6779

# Azione sismica

*NTC2018 (Allegato B)*

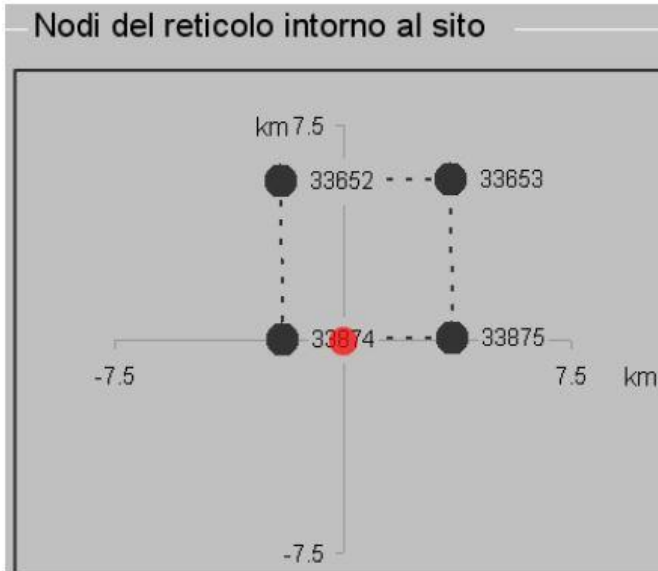
- Per un qualunque punto del territorio non ricadente nei nodi del reticolo di riferimento, i valori dei parametri  $p$  ( $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T^*_C$ ) di interesse per la definizione dell'azione sismica di progetto possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto in esame, utilizzando come pesi gli inversi delle distanze tra il punto in questione ed i quattro vertici, attraverso la seguente espressione:

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

- $p$  è il valore del parametro di interesse nel punto in esame;
- $p_i$  è il valore del parametro di interesse nell' $i$ -esimo punto della maglia elementare contenente il punto in esame;
- $d_i$  è la distanza del punto in esame dall' $i$ -esimo punto della maglia suddetta.

# Azione sismica

$$d_i \cong \sqrt{(LON_i - LON)^2 + (LAT_i - LAT)^2}$$



ID	LONG	LAT	Salerno: Long: 14.7659 Lat: 40.6779
			$d_i$
33652	14.744	40.728	0.0547
33653	14.810	40.727	0.0660
33874	14.743	40.678	0.0229
33875	14.809	40.677	0.0431

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

ID	LONG	LAT	$T_R = 50$ anni			$T_R = 475$ anni		
			$a_g$ [g/10]	$F_0$ [-]	$T^*_C$ [sec]	$a_g$ [g/10]	$F_0$ [-]	$T^*_C$ [sec]
33652	14.744	40.728	0.511	2.36	0.32	1.150	2.55	0.43
33653	14.810	40.727	0.515	2.35	0.32	1.164	2.54	0.43
33874	14.743	40.678	0.476	2.37	0.33	1.036	2.59	0.44
33875	14.809	40.677	0.481	2.37	0.33	1.052	2.60	0.44
<b>Salerno</b>	<b>14.7659</b>	<b>40.6779</b>	<b>0.489</b>	<b>2.365</b>	<b>0.327</b>	<b>1.080</b>	<b>2.577</b>	<b>0.437</b>

# Azione sismica

*NTC2018 (§3.2.3.1: Descrizione del moto sismico in superficie e sul piano di fondazione)*

- Ai fini delle presenti norme **l'azione sismica** è caratterizzata da **3 componenti traslazionali**, **due orizzontali** contrassegnate da X e Y ed **una verticale** contrassegnata da Z, da considerare **tra di loro indipendenti**.
- Le **due componenti ortogonali** indipendenti che descrivono il moto orizzontale **sono caratterizzate dallo stesso spettro di risposta** o dalle due componenti accelerometriche orizzontali del moto sismico.
- Le componenti possono essere descritte, in funzione del tipo di analisi adottata, mediante una delle seguenti rappresentazioni: (i) accelerazione massima attesa in superficie, (ii) accelerazione massima e relativo spettro di risposta attesi in superficie e (iii) accelerogramma.

# Azione sismica

*NTC2018 (§3.2.3.1: Descrizione del moto sismico in superficie e sul piano di fondazione)*

- Lo **spettro di risposta di progetto** individua la  $r_a$ , in termini di accelerazione o spostamento “massimi probabili”, (orizzontale o verticale) che si attende da un oscillatore semplice, in un dato sito e nell’eventualità che si verifichi un terremoto (con un dato periodo di ritorno  $T_R$ ), al variare del periodo proprio  $T$  dell’oscillatore.

# Azione sismica

*NTC2018 (§7.2.1: Criteri generali di progettazione)*

- La **componente verticale** deve essere considerata solo in presenza di: (i) elementi pressoché orizzontali con luce superiore a 20 m, (ii) elementi precompressi (con l'esclusione dei solai di luce inferiore a 8 m), (iii) elementi a mensola di luce superiore a 4 m, (iv) strutture di tipo spingente, (v) pilastri in falso, edifici con piani sospesi, (vi) ponti, (vii) costruzioni con isolamento nei casi specificati in § 7.10.5.3.2, (viii) purché il sito nel quale la costruzione sorge non ricada in zona 3 o 4.

# Azione sismica

*NTC2018 (§3.2.3.2.1: Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali)*

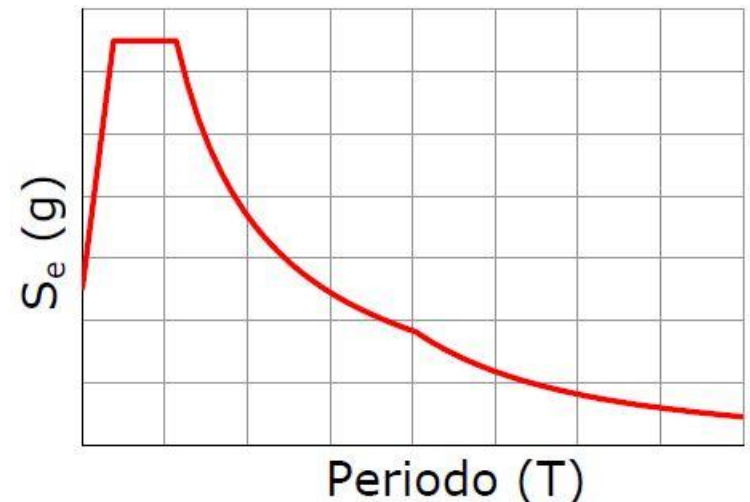
- Quale che sia la probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$  considerata, lo **spettro di risposta elastico della componente orizzontale** è definito dalle espressioni seguenti, dove  $T$  è il periodo di vibrazione e  $S_e$  è l'accelerazione spettrale orizzontale:

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

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

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

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



# Azione sismica

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

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

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

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

**S** è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche mediante la relazione seguente

$$S = S_S \cdot S_T, \quad (3.2.5)$$

essendo  $S_S$  il coefficiente di amplificazione stratigrafica (vedi Tab. 3.2.V) e  $S_T$  il coefficiente di amplificazione topografica (vedi Tab. 3.2.VI);

Tabella 3.2.V – Espressioni di  $S_S$  e di  $C_c$

Categoria sottosuolo	$S_S$
A	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$

Tabella 3.2.VI – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	$S_T$
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

# Azione sismica

*NTC2018 (§3.2.2: 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).

Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo

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>Depositati 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>Depositati 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</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

# Azione sismica

*NTC2018 (§3.2.2: Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche)*

- Condizioni topografiche: per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (Tab. 3.2.IV):

*Tabella 3.2.IV – Categorie topografiche*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

# Azione sismica

$$\begin{aligned}
 0 \leq T < T_B & S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\
 T_B \leq T < T_C & S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \\
 T_C \leq T < T_D & S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right) \\
 T_D \leq T & S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)
 \end{aligned}$$

$\eta$  è il fattore che altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali  $\xi$  diversi dal 5%, mediante la relazione

$$\eta = \sqrt{10 / (5 + \xi)} \geq 0,55, \quad (3.2.6)$$

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

$F_0$  è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2,2;

# Azione sismica

*Circolare NTC2018 (§C3.2.3.2.1: Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali)*

- Il **fattore  $\eta$**  tiene conto delle **capacità dissipative** delle costruzioni alterando lo spettro di risposta assunto a riferimento, per il quale  $\eta=1$ , definito come lo spettro elastico con smorzamento viscoso convenzionale  $\xi = 5\%$ . La relazione (3.2.6) può essere utilizzata per costruzioni che non subiscono significativi danneggiamenti e può essere utilizzata nel campo di smorzamenti convenzionali compresi tra i valori  $\xi = 5\%$  e  $\xi = 28\%$ . Al di fuori di questo campo, la scelta del valore del fattore  $\eta$  deve essere adeguatamente giustificata.

# Azione sismica

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

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

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

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

$T_C$  è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro, dato da

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (3.2.7)$$

- dove  $T_C^*$  è definito al §3.2 e  $C_C$  è un coefficiente funzione della categoria di sottosuolo (vedi Tab. 3.2.V)

Tabella 3.2.V – Espressioni di  $S_s$  e di  $C_C$

Categoria sottosuolo	$S_s$	$C_C$
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

# Azione sismica

$$\begin{aligned} 0 \leq T < T_B & S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\ T_B \leq T < T_C & S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \\ T_C \leq T < T_D & S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right) \\ T_D \leq T & S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right) \end{aligned}$$

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

$$T_B = T_C / 3, \quad (3.2.8)$$

$T_D$  è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro, espresso in secondi mediante la relazione:

$$T_D = 4,0 \cdot \frac{a_g}{g} + 1,6. \quad (3.2.9)$$

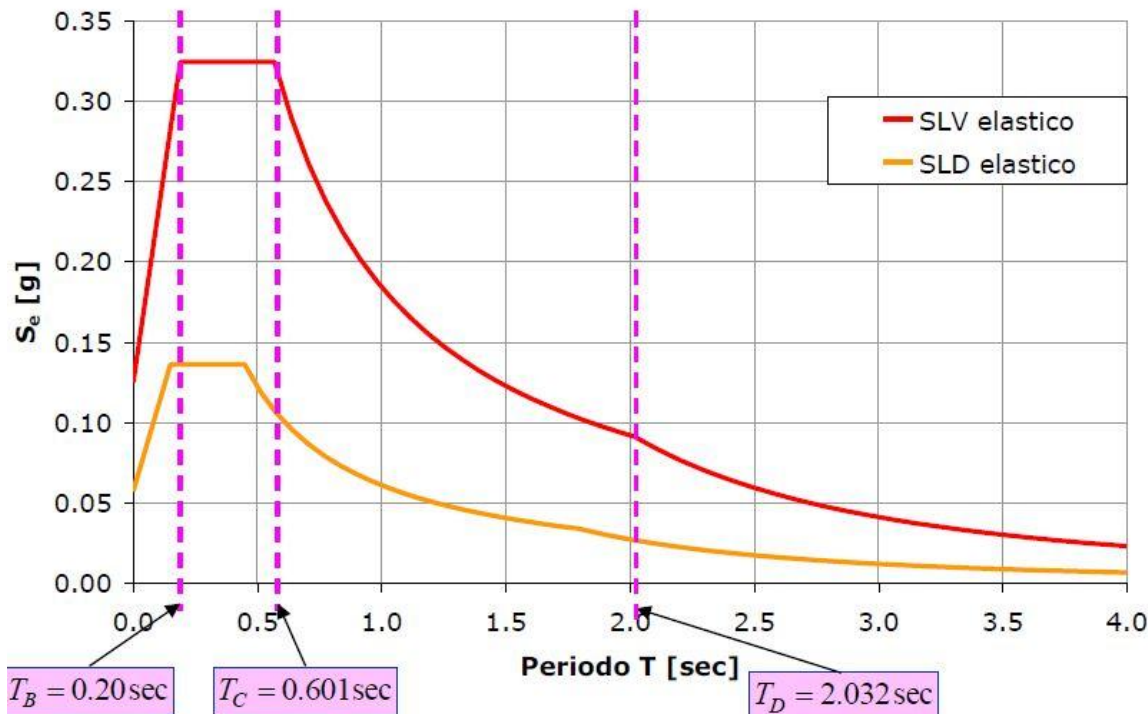
# Azione sismica

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

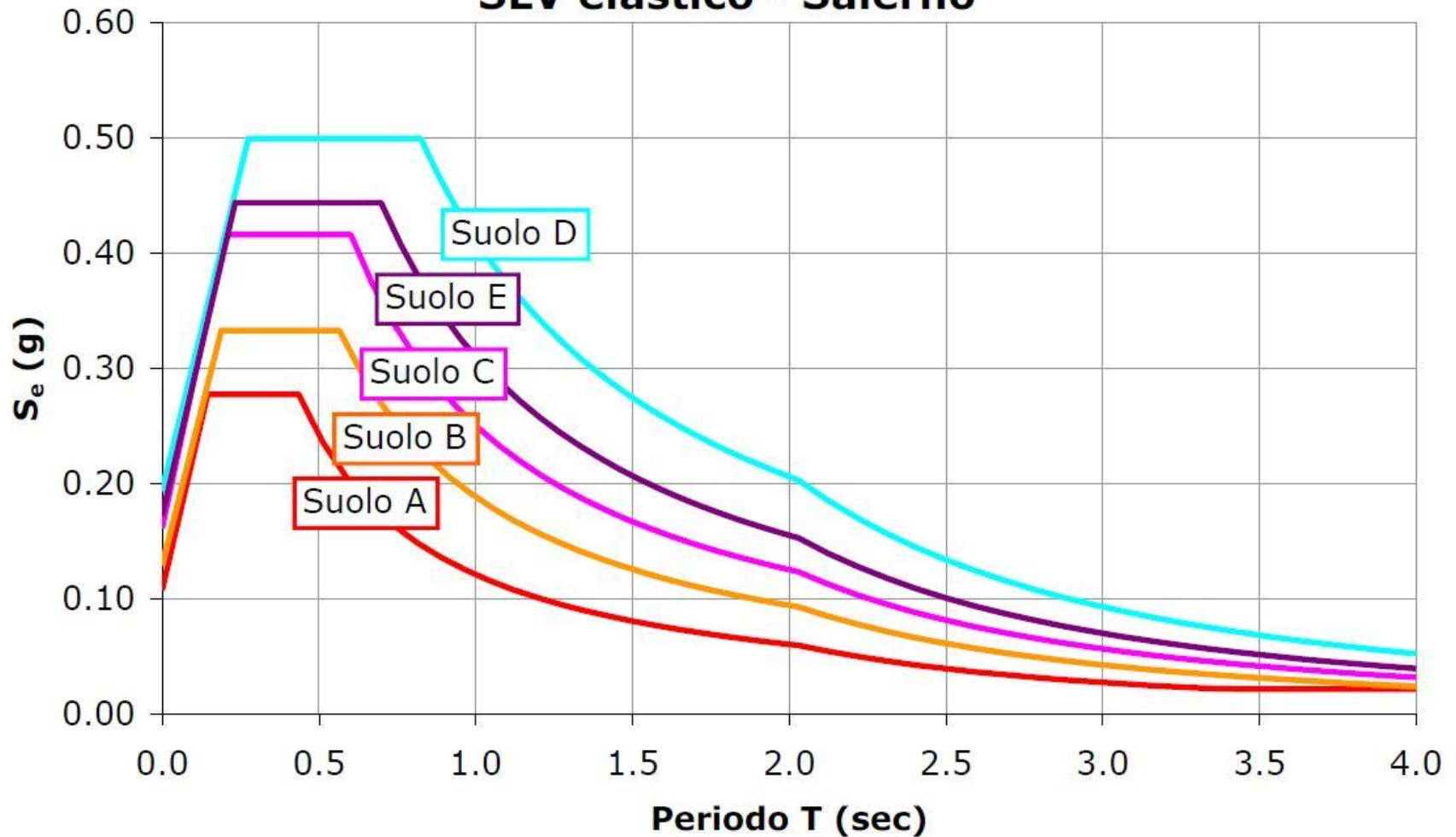
$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$



	SLD	SLV
$a_g$	0.0489	0.1080
$F_0$	2.365	2.577
$T^*_C$	0.327	0.437
$S_S$	1.2	1.2
$C_C$	1.375	1.298
$S_T$	1.0	1.0
$S$	1.2	1.2
$\eta$	1.0	1.0
$T_B$	0.150	0.200
$T_C$	0.449	0.601
$T_D$	1.796	2.032

# Azione sismica

## SLV elastico - Salerno



# Azione sismica

*NTC2018 (§7.3.3.2: Analisi lineare statica)*

- L'**analisi statica lineare** consiste nell'applicazione di forze statiche equivalenti alle forze di inerzia indotte dall'azione sismica e può essere effettuata per costruzioni che rispettino i requisiti specifici riportati nei paragrafi successivi, a condizione che il periodo del modo di vibrare principale nella direzione in esame ( $T_1$ ) non superi  $2,5 T_C$  o  $T_D$  e che la costruzione sia regolare in altezza. Per costruzioni civili o industriali che non superino i 40 m di altezza e la cui massa sia approssimativamente uniformemente distribuita lungo l'altezza,  $T_1$  può essere stimato, in assenza di calcoli più dettagliati, utilizzando la formula seguente:

$$T_1 = C_1 \cdot H^{3/4}$$

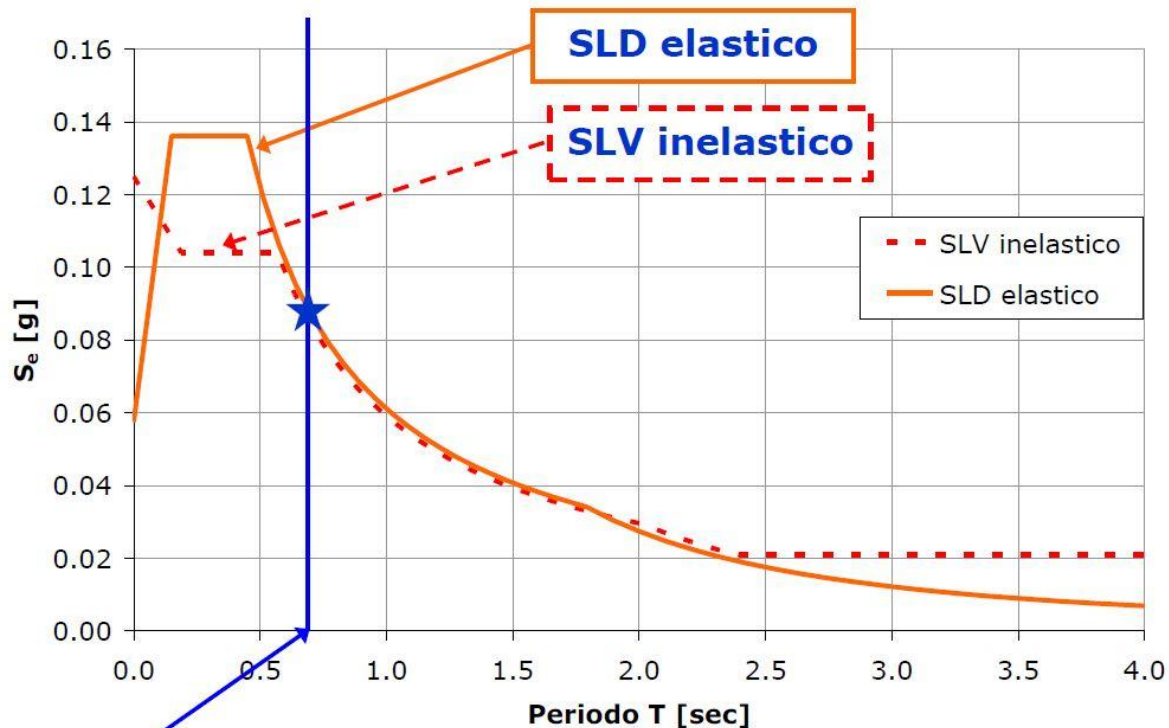
- $H$  è l'altezza della costruzione, in metri, dal piano di fondazione;  $C_1$  vale 0,085 per costruzioni con struttura a telaio in acciaio, 0,075 per costruzioni con struttura a telaio in calcestruzzo armato e 0,050 per costruzioni con qualsiasi altro tipo di struttura.

# Azione sismica

NTC2018 (§7.3.3.2: Analisi lineare statica)

$$T_1 = C_1 \cdot H^{3/4} = 0.075 \cdot (19 \text{ m})^{3/4} = 0.68 \text{ s}$$

Spettri di progetto allo SLD ed allo SLV



$T_1 = 0.68 \text{ sec}$



$S_d(T_1) \cong 0.09 \text{ g}$

Accelerazione allo SLD ed allo SLV

# Azione sismica

*NTC2018 (§7.3.3.2: Analisi lineare statica)*

- La forza da applicare a ciascuna massa della costruzione è data dalla formula seguente:

$$F_i = \frac{F_h \cdot z_i \cdot W_i}{\sum_j z_j \cdot W_j} \quad \text{con } F_h = S_d(T_1) \cdot W \cdot \frac{\lambda}{g}$$

- $F_i$ : forza da applicare alla massa  $i$ -esima;
- $W_i$  e  $W_j$ : pesi, rispettivamente, della massa  $i$  e della massa  $j$ ;
- $z_i$  e  $z_j$ : quote, rispetto al piano di fondazione (v. § 3.2.3.1), delle masse  $i$  e  $j$ ;
- $S_d(T_1)$ : ordinata dello spettro di risposta di progetto definito al § 3.2.3.5;
- $W$ : peso complessivo della costruzione;

# Azione sismica

*NTC2018 (§7.3.3.2: Analisi lineare statica)*

- $\lambda$ : coefficiente pari a 0,85 se la costruzione ha almeno tre orizzontamenti e se  $T_1 < 2T_C$ , pari a 1,0 in tutti gli altri casi:
- $g$ : accelerazione di gravità.

Impalcato	$z_i$	$W_i$
	[m]	[kN]
I	2.7	5067
II	6.7	3455
III	9.7	3304
IV	12.7	3304
V	15.7	3304
VI	18.7	2971

$$W = 21405 \text{ kN}$$



$$F_h = S_d(T_1) \cdot W \cdot \frac{\lambda}{g}$$

$$F_h = 0.09g \cdot 21405 \text{ kN} \cdot \frac{0.85}{g} = 1638 \text{ kN}$$

# Azione sismica

$$F_h = 1638 \text{ kN}$$

Impalcato	$z_i$	$W_i$	$F_i$
	[m]	[kN]	[kN]
I	2.7	5067	103
II	6.7	3455	173
III	9.7	3304	240
IV	12.7	3304	314
V	15.7	3304	389
VI	18.7	2971	416

$$F_i = \frac{F_h \cdot z_i \cdot W_i}{\sum_j z_j \cdot W_j}$$

$$\sum_j z_j \cdot W_j = 218270 \text{ kN}$$

