

# AZIONE SISMICA

L'azione sismica rientra tra le azioni ambientali e naturali.

**Strategie** per affrontare le azioni che cimentano l'opera:

- a) ridurre la probabilità che l'azione avvenga o ridurre l'intensità (*prevenzione*)
- b) ridurre gli effetti dell'azione sulla struttura (*protezione*)
- c) progettare e realizzare una struttura in grado di sopportare senza danni le azioni
- d) limitare il grado di danneggiamento della struttura a seguito dell'accadimento dell'azione
- e) mitigare le conseguenze del collasso (*mitigazione*)

# NORMATIVE DI RIFERIMENTO

D.M. 14/01/2008 “Norme Tecniche per le Costruzioni”  
(punto 3.2)



L'azione sismica sulle costruzioni è generata dal moto non uniforme del terreno di sedime per effetto della propagazione delle onde sismiche.

Il moto sismico eccita la struttura provocandone la risposta dinamica, che va verificata e controllata negli aspetti di sicurezza e di prestazioni attese.

Le azioni sismiche di progetto si definiscono in base alla **“PERICOLOSITA' SISMICA”** del sito di costruzione.

La *pericolosità sismica* è definita in termini di:

- $a_g$  accelerazione orizzontale massima attesa
- $S_e(T)$  spettro di risposta elastico in accelerazione  
( $P_{VR}$  probabilità di eccedenza nel periodo di riferimento  $V_R$ )

Lo **spettro di risposta** è un diagramma che fornisce il massimo valore medio dell'accelerazione relativa ad un **oscillatore semplice** in funzione del suo periodo fondamentale.

Equilibrio dinamico:  $\sum_i F_i = m \ddot{u}$

$$F(t) - k u - c \dot{u} = m \ddot{u}$$

$$\ddot{u} + 2\xi\omega \dot{u} + \omega^2 u = F(t)/m$$

equazione del moto

dove:

$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$ [rad/sec]	frequenza angolare o pulsazione	
$T = \frac{2\pi}{\omega}$ [sec]	periodo proprio	
$f = \frac{1}{T}$ [Hz]	frequenza	
		$k = 24EI/h^3$ rigidezza
		$\xi = c/c_{cr}$ coefficiente di smorzamento
		$c_{cr} = 2m\omega$ smorzamento critico

In alternativa è ammesso l'uso di **accelerogrammi** purché correttamente commisurati alla *pericolosità sismica* del sito.

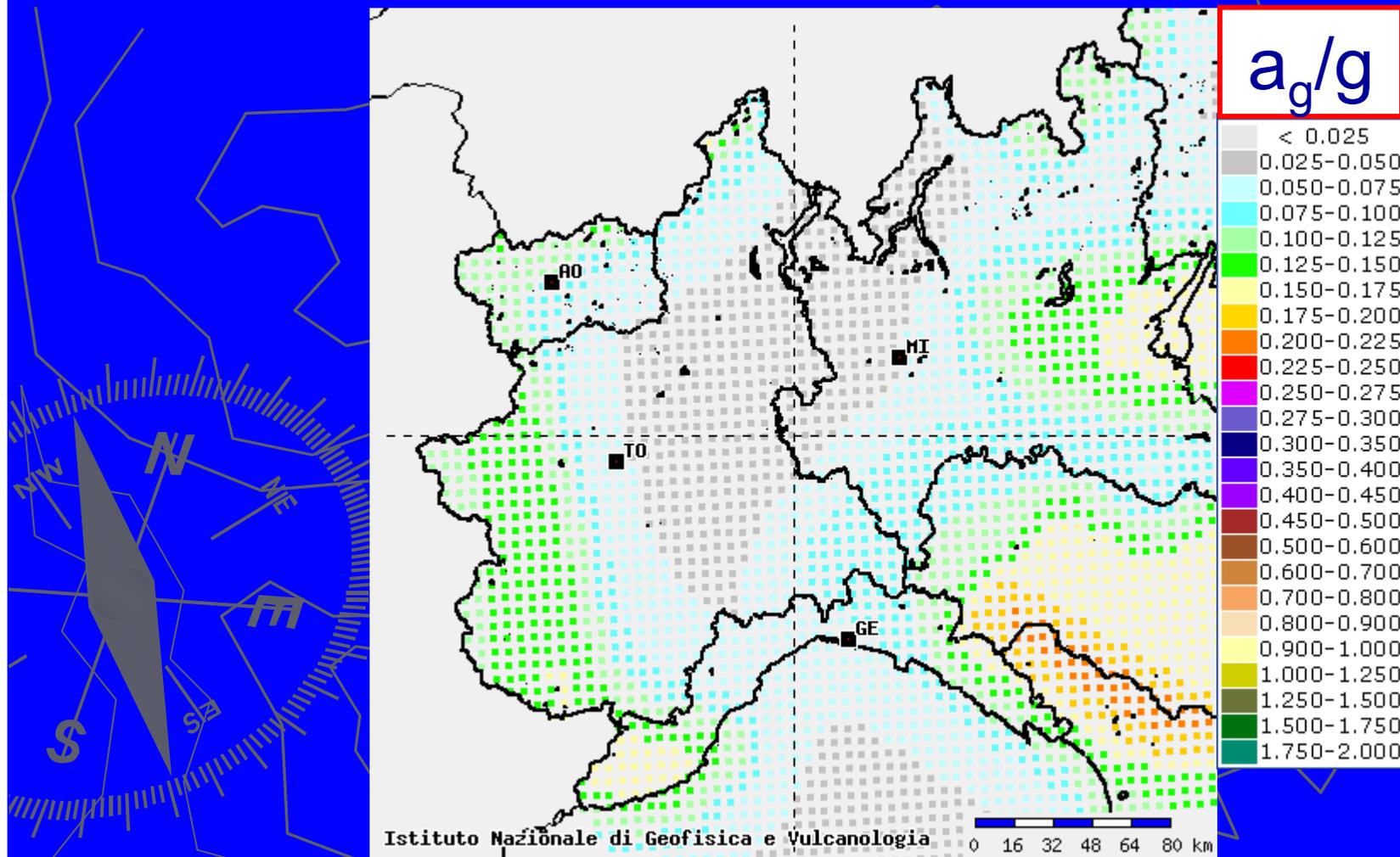
Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento  $P_{VR}$  nel periodo di riferimento  $V_R$ , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- $a_g$  *accelerazione orizzontale massima al sito*
- $F_o$  *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*

Questi parametri sono calcolati in funzione del “**reticolo di riferimento**”.

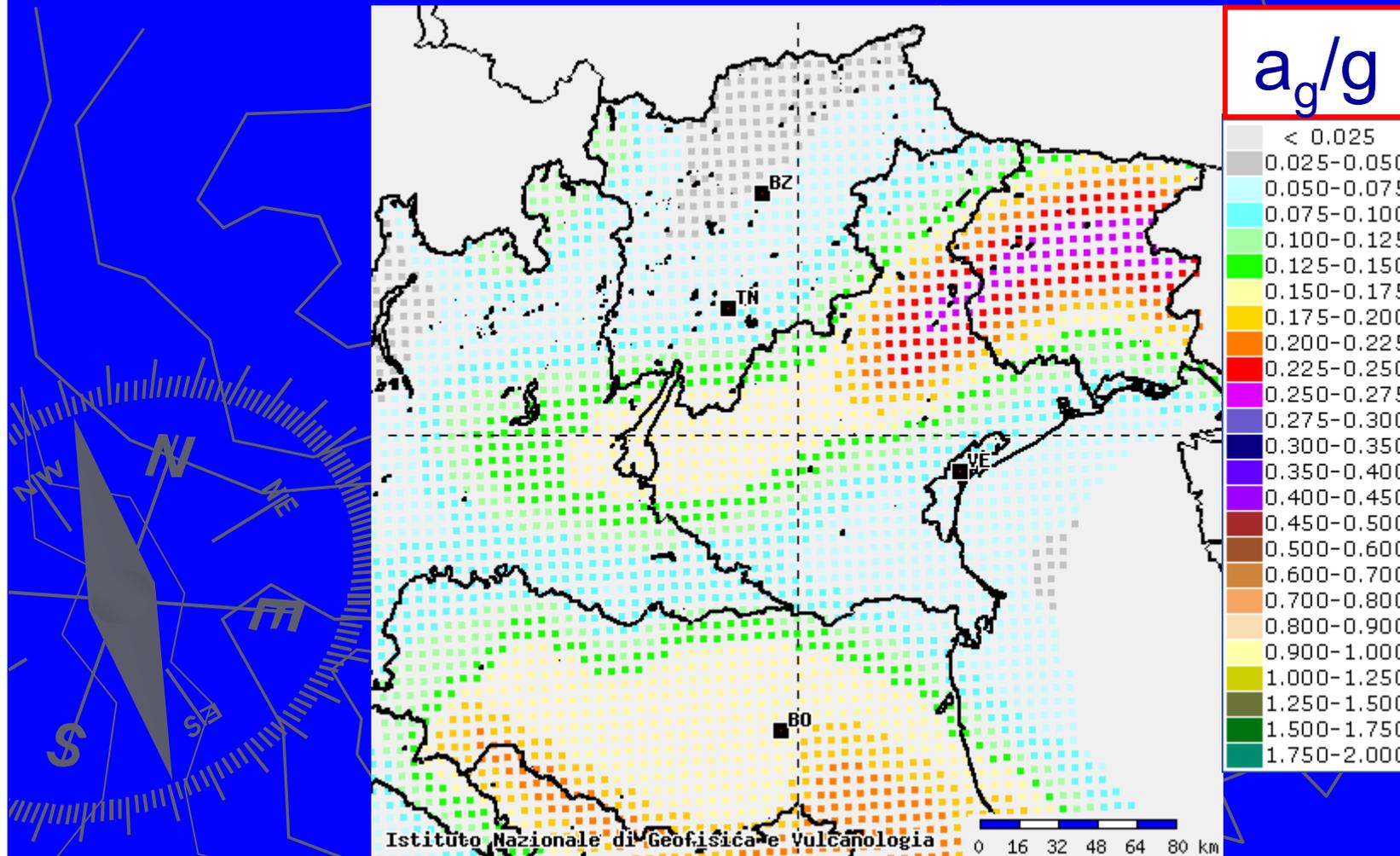
# RETICOLO DI RIFERIMENTO

Sul territorio italiano è stata individuata una maglia di circa 10 km di lato, assegnando a ciascun nodo i valori di  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T^*_c$ .



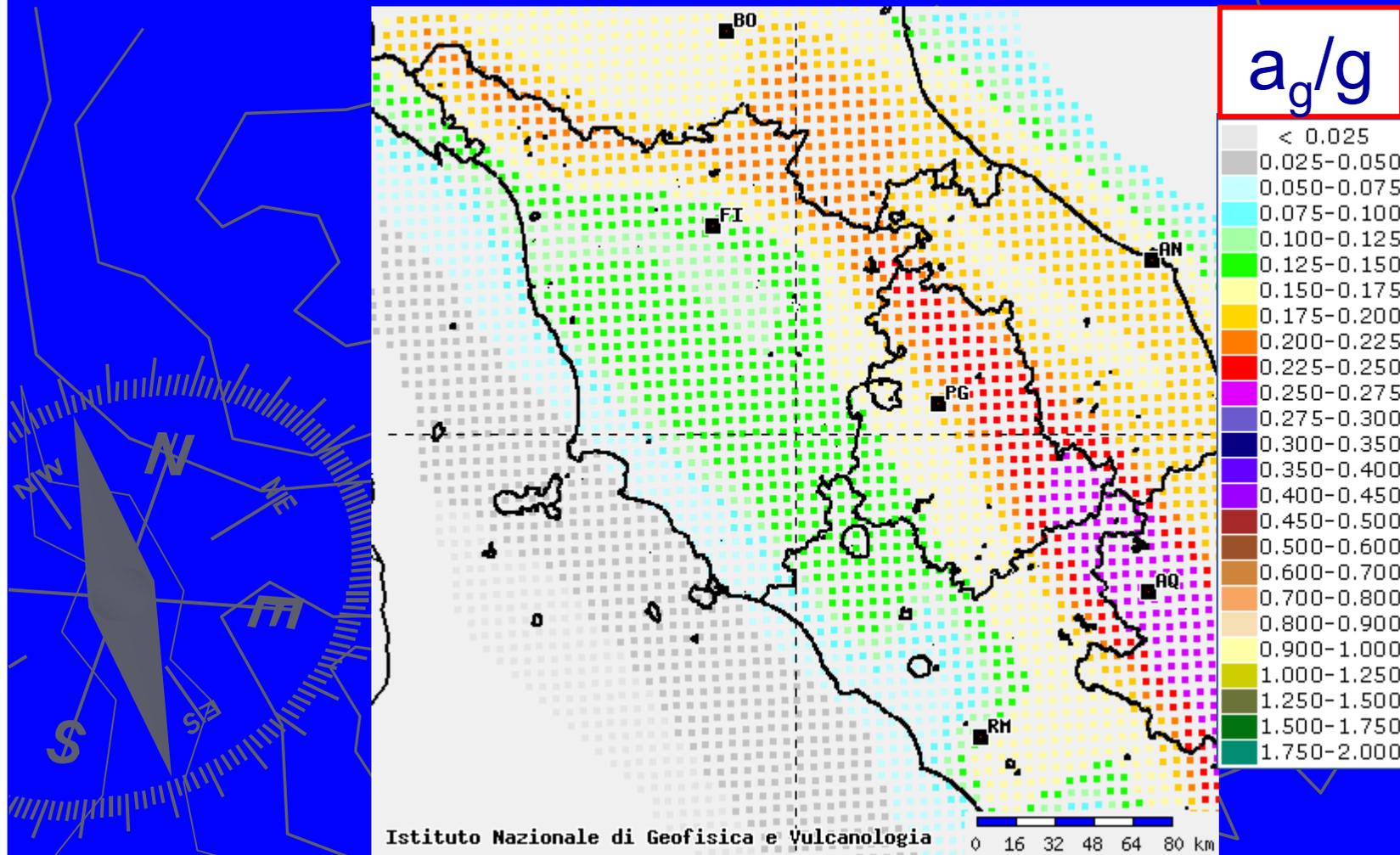
# RETICOLO DI RIFERIMENTO

Sul territorio italiano è stata individuata una maglia di circa 10 km di lato, assegnando a ciascun nodo i valori di  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T^*_c$ .



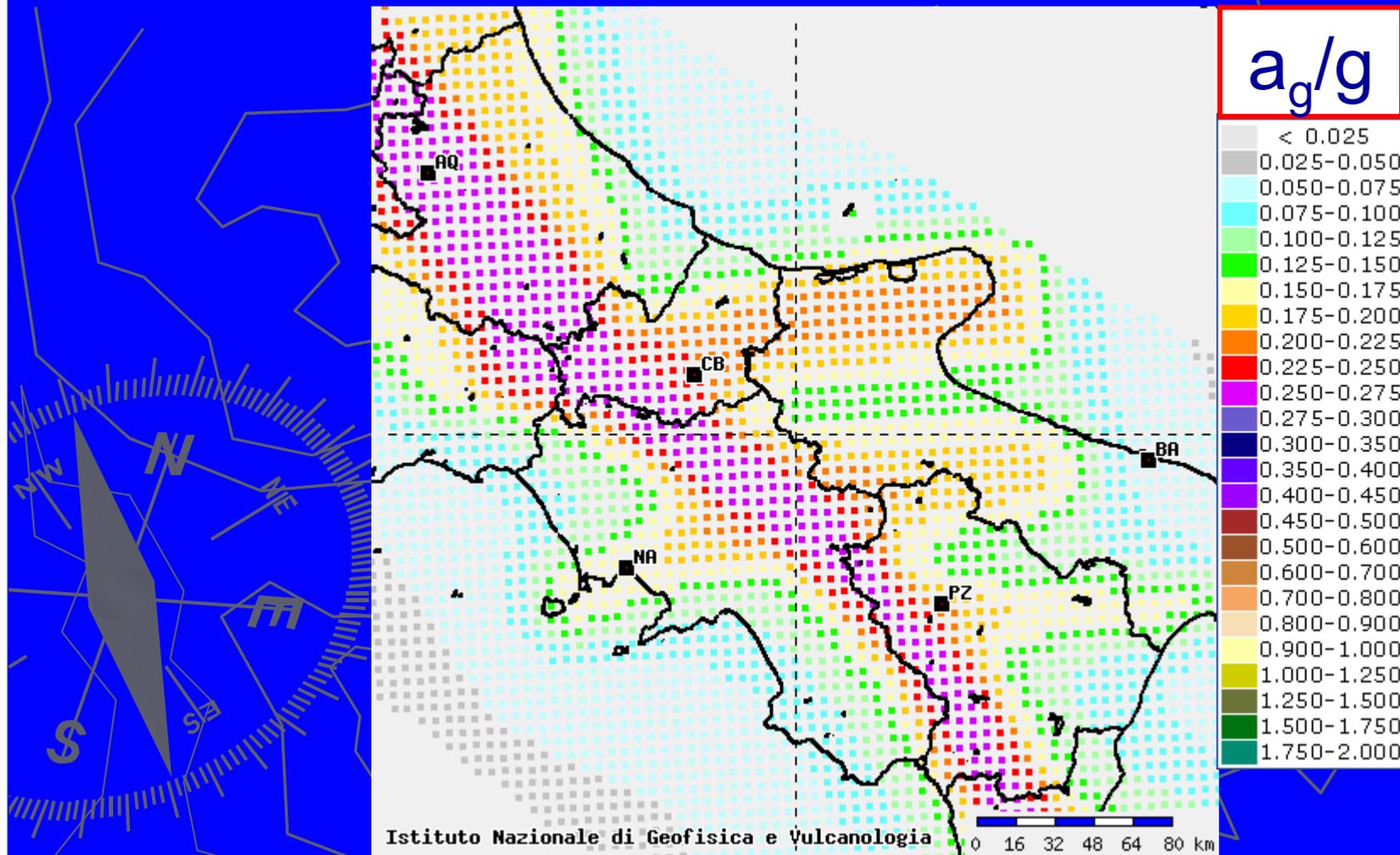
# RETICOLO DI RIFERIMENTO

Sul territorio italiano è stata individuata una maglia di circa 10 km di lato, assegnando a ciascun nodo i valori di  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_c^*$ .



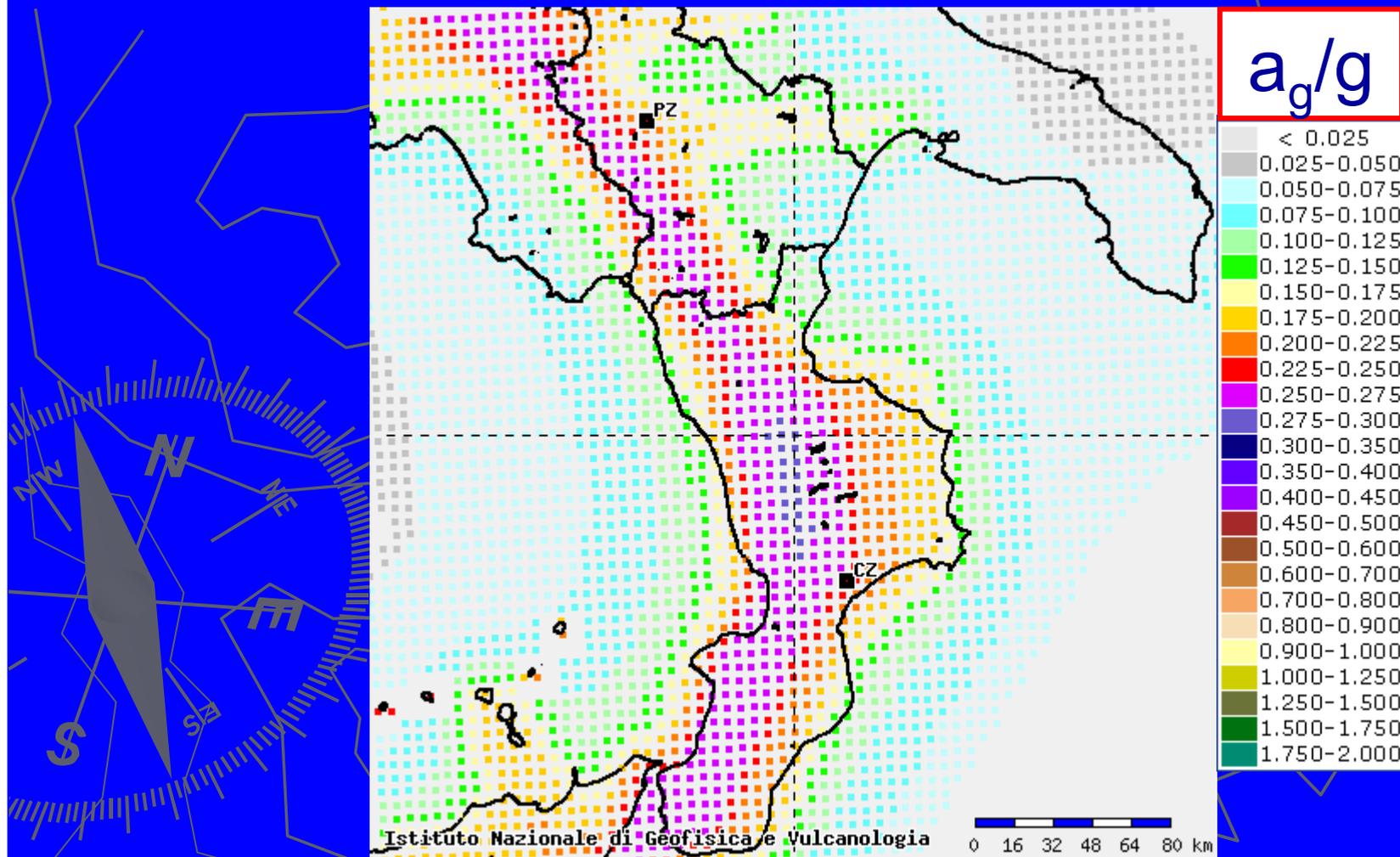
# RETICOLO DI RIFERIMENTO

Sul territorio italiano è stata individuata una maglia di circa 10 km di lato, assegnando a ciascun nodo i valori di  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T^*_c$ .



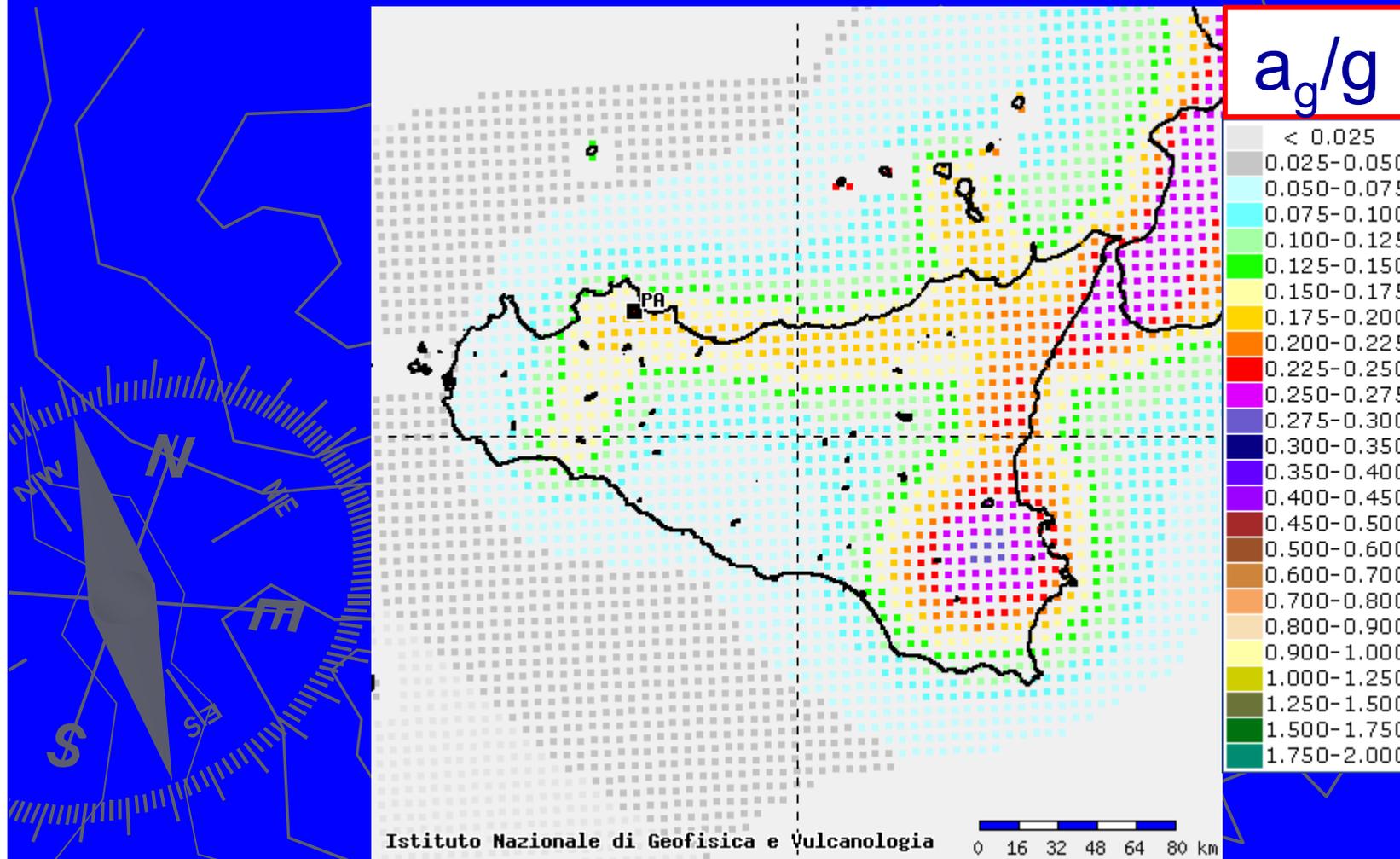
# RETICOLO DI RIFERIMENTO

Sul territorio italiano è stata individuata una maglia di circa 10 km di lato, assegnando a ciascun nodo i valori di  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T^*_c$ .



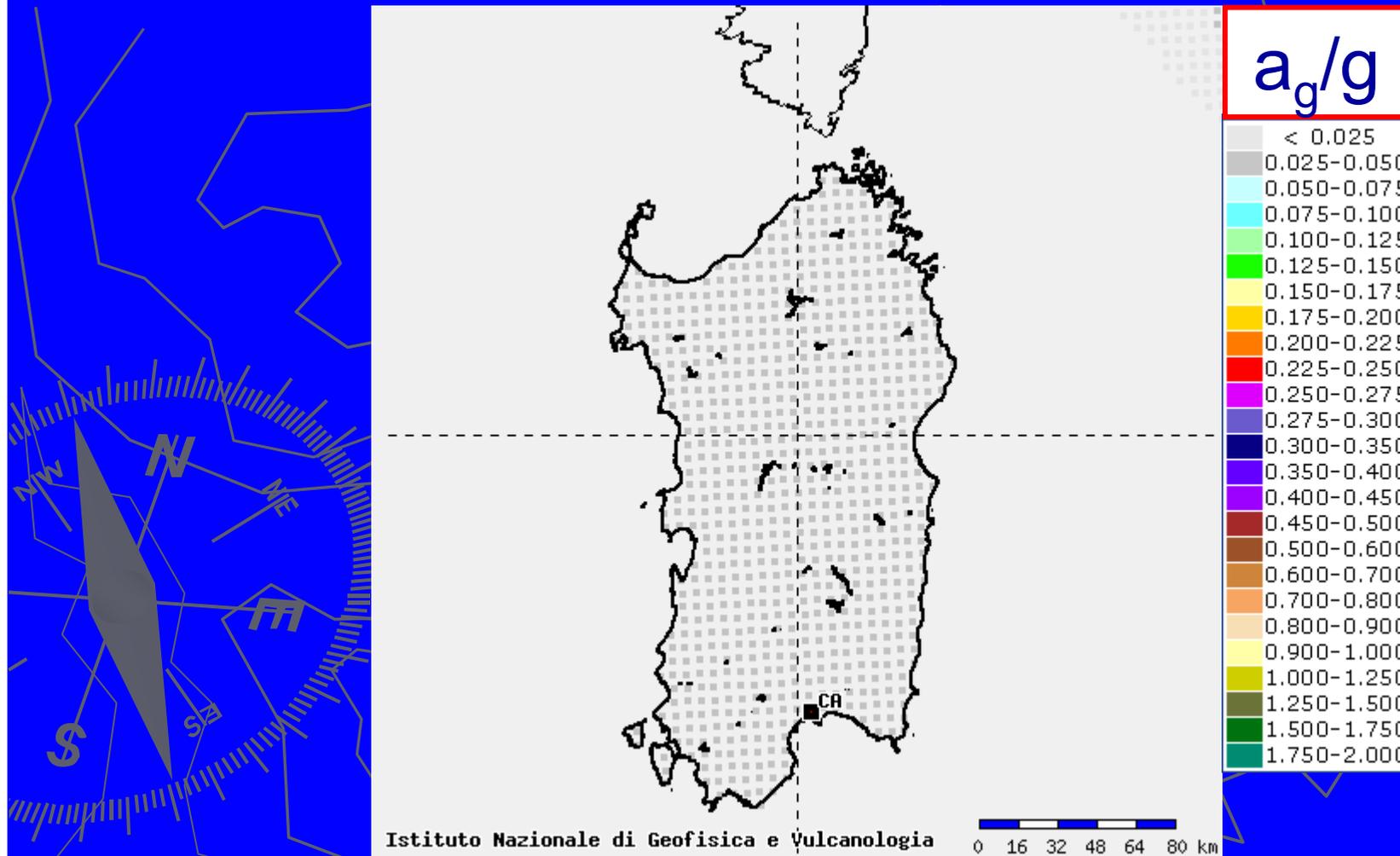
# RETICOLO DI RIFERIMENTO

Sul territorio italiano è stata individuata una maglia di circa 10 km di lato, assegnando a ciascun nodo i valori di  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T^*_c$ .

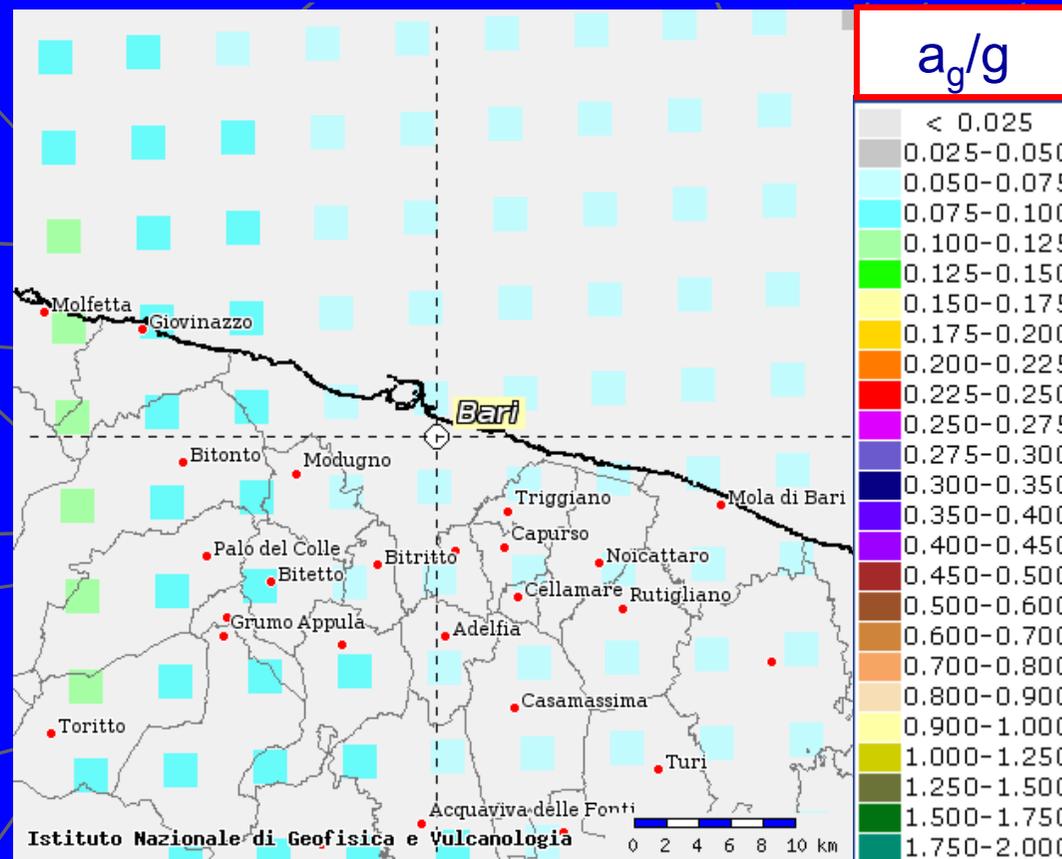


# RETICOLO DI RIFERIMENTO

Sul territorio italiano è stata individuata una maglia di circa 10 km di lato, assegnando a ciascun nodo i valori di  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T^*_c$ .



Partendo dai valori nei nodi, per ogni punto individuato sul territorio mediante le sue coordinate geografiche (longitudine, latitudine) e attraverso interpolazione, è possibile individuare i parametri di pericolosità sismica per un **periodo di ritorno ( $T_R$ )** assegnato.



Il **periodo di ritorno ( $T_R$ )** viene valutato in funzione del **periodo di riferimento ( $V_R$ )** ed in base alla corrispondente **probabilità di superamento  $P_{V_R}$**  di prestabiliti Stati Limite nel periodo di riferimento.

Il **periodo di riferimento ( $V_R$ )** viene calcolato in funzione della **vita nominale ( $V_N$ )** e del **coefficiente d'uso ( $C_U$ )**.

Il **coefficiente d'uso** è un parametro definito in funzione della **classe d'uso** del fabbricato (livello di affollamento ed interesse strategico).

# VITA NOMINALE ( $V_N$ )

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

TIPI DI COSTRUZIONE	$V_N$
1- Opere provvisorie – Opere provvisionali – Strutture in fase costruttiva	$\leq 10$
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

**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 Classi d'uso III e 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 ... appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

# COEFFICIENTE D'USO ( $C_U$ )

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
$C_U$	0.7	1.0	1.5	2.0

# PERIODO DI RIFERIMENTO $V_R$

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

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

# STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)

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 o 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 ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

# STATI LIMITE ULTIMI (SLU)

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 strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali.
- **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.

# PROBABILITA' DI SUPERAMENTO ( $P_{VR}$ )

Le probabilità  $P_{VR}$  di superamento nel periodo di riferimento  $V_R$ , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli Stati Limite considerati, sono le seguenti:

SLE	SLO	81%
	SLD	63%
SLU	SLV	10%
	SLC	5%

# PERIODO DI RITORNO ( $T_R$ )

Fissati il periodo di riferimento  $V_R$  e la probabilità di superamento  $P_{VR}$  nel periodo di riferimento, il periodo di ritorno si ricava mediante l'espressione:

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

La Normativa prevede solo valori del periodo di ritorno compresi nell'intervallo

$$30 \text{ anni} \leq T_R \leq 2475 \text{ anni}$$

# PERIODO DI RITORNO ( $T_R$ )

Se il periodo di ritorno  $T_R$  calcolato è compreso tra i valori di  $T_R$  previsti dalla *pericolosità sismica* sul *reticolo di riferimento*, il valore del generico parametro  $p$  ( $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_c^*$ ) ad esso corrispondente sarà pari a:

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

$p$  valore del parametro di interesse corrispondente a  $T_R$

$T_{R1}, T_{R2}$  periodi di ritorno più prossimi a  $T_R$ , per i quali si dispone dei valori  $p_1$  e  $p_2$  del generico parametro  $p$

# TABELLE VALORI DI $a_g$ , $F_o$ , $T^*_C$

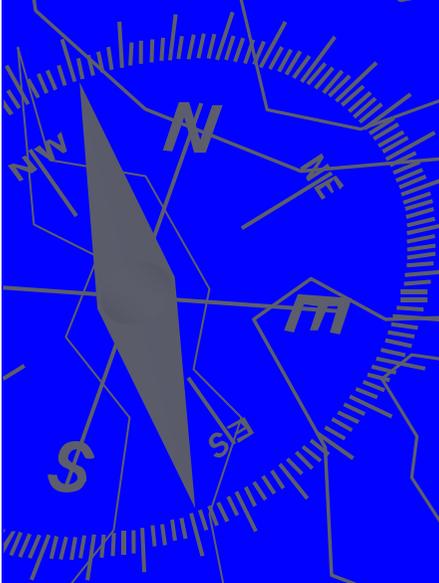
I valori dei tre parametri relativi alla *pericolosità sismica* sono forniti nelle tabelle riportate nell'ALLEGATO B alle NTC per i 10751 punti del *reticolo di riferimento*.

ID	LON	LAT	$T_R=30$			$T_R=50$			$T_R=72$			$T_R=101$			$T_R=140$			$T_R=201$			$T_R=475$			$T_R=975$			$T_R=2475$		
			$a_g$	$F_o$	$T^*_C$	$a_g$	$F_o$	$T^*_C$	$a_g$	$F_o$	$T^*_C$	$a_g$	$F_o$	$T^*_C$	$a_g$	$F_o$	$T^*_C$	$a_g$	$F_o$	$T^*_C$	$a_g$	$F_o$	$T^*_C$	$a_g$	$F_o$	$T^*_C$	$a_g$	$F_o$	$T^*_C$
10677	7.0504	45.714	0.322	2.44	0.20	0.406	2.50	0.22	0.487	2.47	0.24	0.562	2.50	0.25	0.645	2.50	0.26	0.756	2.48	0.27	1.077	2.45	0.28	1.404	2.46	0.29	1.909	2.48	0.30
16669	7.054	44.361	0.352	2.46	0.20	0.466	2.46	0.22	0.557	2.48	0.23	0.657	2.48	0.25	0.768	2.47	0.26	0.911	2.45	0.26	1.315	2.45	0.28	1.738	2.46	0.30	2.425	2.50	0.31
13784	7.055	45.012	0.399	2.45	0.21	0.531	2.42	0.23	0.629	2.44	0.23	0.736	2.44	0.24	0.846	2.45	0.25	0.980	2.45	0.25	1.342	2.46	0.27	1.689	2.49	0.27	2.189	2.55	0.29
10899	7.0558	45.664	0.317	2.45	0.20	0.398	2.52	0.22	0.475	2.48	0.24	0.556	2.51	0.25	0.633	2.50	0.26	0.743	2.48	0.27	1.058	2.44	0.28	1.382	2.45	0.29	1.883	2.47	0.30
16891	7.0594	44.311	0.343	2.46	0.20	0.453	2.46	0.22	0.546	2.48	0.23	0.642	2.49	0.24	0.752	2.48	0.25	0.890	2.48	0.26	1.293	2.48	0.28	1.733	2.48	0.30	2.471	2.50	0.31
14006	7.0604	44.963	0.400	2.45	0.21	0.531	2.43	0.23	0.629	2.44	0.23	0.736	2.44	0.24	0.845	2.45	0.25	0.979	2.45	0.25	1.341	2.46	0.27	1.688	2.49	0.27	2.187	2.55	0.29
11121	7.0612	45.614	0.315	2.46	0.20	0.396	2.52	0.22	0.473	2.48	0.24	0.550	2.50	0.24	0.632	2.50	0.26	0.742	2.48	0.26	1.053	2.45	0.28	1.376	2.46	0.28	1.874	2.46	0.30
17113	7.0646	44.261	0.331	2.44	0.20	0.435	2.48	0.21	0.528	2.48	0.23	0.619	2.50	0.24	0.730	2.48	0.25	0.865	2.48	0.26	1.270	2.48	0.28	1.714	2.48	0.30	2.470	2.50	0.32
14228	7.0657	44.913	0.400	2.46	0.21	0.531	2.43	0.23	0.628	2.44	0.23	0.735	2.44	0.24	0.844	2.45	0.25	0.978	2.45	0.26	1.339	2.46	0.27	1.686	2.49	0.27	2.185	2.55	0.29
11343	7.0665	45.565	0.318	2.46	0.20	0.400	2.52	0.22	0.482	2.47	0.24	0.560	2.49	0.24	0.647	2.49	0.25	0.757	2.47	0.26	1.072	2.46	0.27	1.394	2.47	0.28	1.890	2.47	0.29
17335	7.0699	44.211	0.316	2.45	0.20	0.412	2.51	0.21	0.504	2.49	0.23	0.589	2.52	0.24	0.696	2.49	0.25	0.824	2.50	0.26	1.222	2.48	0.28	1.661	2.48	0.30	2.403	2.50	0.32
14450	7.071	44.863	0.400	2.46	0.21	0.530	2.43	0.23	0.627	2.44	0.23	0.734	2.44	0.25	0.843	2.45	0.25	0.976	2.45	0.26	1.337	2.47	0.27	1.684	2.49	0.28	2.183	2.55	0.29
11565	7.072	45.515	0.324	2.46	0.20	0.415	2.49	0.22	0.501	2.46	0.24	0.582	2.48	0.24	0.678	2.46	0.25	0.790	2.46	0.26	1.121	2.45	0.27	1.449	2.47	0.28	1.945	2.49	0.29
17557	7.0751	44.161	0.300	2.46	0.19	0.390	2.53	0.21	0.475	2.49	0.23	0.559	2.52	0.24	0.654	2.52	0.25	0.775	2.52	0.26	1.151	2.48	0.29	1.562	2.49	0.30	2.268	2.50	0.32
14672	7.0763	44.813	0.399	2.46	0.21	0.529	2.43	0.23	0.626	2.44	0.23	0.733	2.44	0.25	0.841	2.45	0.25	0.974	2.45	0.26	1.335	2.47	0.27	1.681	2.49	0.28	2.180	2.55	0.29
11787	7.0773	45.465	0.336	2.45	0.20	0.438	2.45	0.22	0.528	2.44	0.23	0.617	2.45	0.24	0.722	2.43	0.25	0.846	2.44	0.26	1.190	2.45	0.27	1.629	2.48	0.27	2.028	2.52	0.29
14894	7.0816	44.763	0.399	2.46	0.21	0.528	2.43	0.23	0.625	2.44	0.24	0.732	2.43	0.25	0.840	2.45	0.25	0.973	2.45	0.26	1.333	2.47	0.27	1.678	2.50	0.28	2.177	2.55	0.29
12009	7.0827	45.415	0.350	2.44	0.20	0.464	2.41	0.23	0.559	2.43	0.23	0.660	2.42	0.24	0.768	2.42	0.25	0.902	2.42	0.25	1.260	2.45	0.26	1.602	2.49	0.27	2.106	2.53	0.29
15116	7.0869	44.713	0.398	2.46	0.21	0.527	2.43	0.23	0.624	2.44	0.24	0.731	2.43	0.25	0.839	2.45	0.25	0.972	2.45	0.26	1.330	2.47	0.27	1.674	2.50	0.28	2.173	2.55	0.29
12231	7.0882	45.365	0.364	2.43	0.21	0.488	2.39	0.23	0.583	2.43	0.23	0.693	2.41	0.24	0.802	2.42	0.25	0.941	2.42	0.25	1.307	2.44	0.26	1.653	2.48	0.27	2.156	2.54	0.28
15338	7.0922	44.663	0.396	2.46	0.21	0.525	2.43	0.23	0.621	2.44	0.24	0.729	2.42	0.25	0.837	2.44	0.25	0.970	2.45	0.26	1.328	2.47	0.27	1.671	2.50	0.28	2.169	2.55	0.29
12453	7.0934	45.315	0.375	2.42	0.21	0.502	2.39	0.23	0.599	2.43	0.24	0.711	2.41	0.24	0.822	2.42	0.25	0.960	2.43	0.25	1.327	2.45	0.26	1.677	2.48	0.27	2.179	2.54	0.28
9568	7.0947	45.967	0.391	2.39	0.21	0.529	2.36	0.24	0.637	2.40	0.25	0.758	2.38	0.26	0.890	2.38	0.26	1.052	2.37	0.27	1.505	2.35	0.28	1.992	2.31	0.29	2.760	2.31	0.31
15560	7.0975	44.614	0.394	2.46	0.21	0.522	2.43	0.23	0.618	2.44	0.24	0.727	2.42	0.25	0.837	2.43	0.25	0.970	2.44	0.26	1.329	2.47	0.27	1.671	2.50	0.28	2.172	2.54	0.30
12675	7.0988	45.265	0.382	2.43	0.21	0.512	2.40	0.23	0.612	2.42	0.23	0.724	2.41	0.24	0.837	2.42	0.25	0.974	2.42	0.25	1.336	2.45	0.26	1.686	2.48	0.27	2.188	2.54	0.28
9790	7.1001	45.917	0.376	2.40	0.21	0.502	2.36	0.24	0.597	2.42	0.25	0.713	2.42	0.26	0.830	2.42	0.26	0.980	2.41	0.27	1.404	2.38	0.28	1.887	2.31	0.29	2.609	2.29	0.31
15782	7.1027	44.564	0.391	2.46	0.21	0.520	2.43	0.23	0.616	2.44	0.24	0.726	2.42	0.25	0.837	2.43	0.25	0.974	2.42	0.26	1.334	2.46	0.27	1.680	2.50	0.29	2.187	2.54	0.30
12897	7.1041	45.216	0.387	2.44	0.21	0.521	2.41	0.23	0.622	2.42	0.23	0.733	2.41	0.24	0.846	2.42	0.25	0.982	2.42	0.25	1.342	2.46	0.26	1.690	2.49	0.27	2.191	2.55	0.28
10012	7.1055	45.868	0.360	2.41	0.21	0.474	2.39	0.24	0.564	2.42	0.25	0.663	2.44	0.26	0.769	2.45	0.26	0.911	2.43	0.27	1.314	2.37	0.28	1.730	2.33	0.29	2.335	2.37	0.30
16004	7.106	44.514	0.389	2.46	0.20	0.518	2.43	0.23	0.615	2.44	0.24	0.726	2.42	0.25	0.838	2.42	0.25	0.977	2.42	0.26	1.347	2.45	0.28	1.702	2.49	0.29	2.227	2.53	0.30
13119	7.1095	45.166	0.393	2.44	0.21	0.527	2.41	0.23	0.628	2.42	0.23	0.738	2.41	0.24	0.851	2.42	0.25	0.986	2.43	0.25	1.345	2.46	0.26	1.692	2.49	0.27	2.192	2.55	0.28
10234	7.1109	45.818	0.345	2.42	0.21	0.447	2.43	0.24	0.533	2.43	0.24	0.617	2.45	0.26	0.718	2.45	0.26	0.834	2.48	0.27	1.167	2.49	0.28	1.506	2.50	0.29	2.037	2.53	0.30
16226	7.1133	44.464	0.386	2.46	0.20	0.514	2.44	0.23	0.612	2.44	0.24	0.725	2.42	0.25	0.840	2.42	0.25	0.981	2.42	0.26	1.368	2.43	0.28	1.744	2.46	0.29	2.298	2.53	0.30
13341	7.1148	45.116	0.397	2.45	0.21	0.531	2.42	0.23	0.632	2.43	0.23	0.742	2.42	0.24	0.854	2.43	0.25	0.988	2.43	0.25	1.347	2.47	0.26	1.694	2.49	0.27	2.193	2.55	0.28
10456	7.1163	45.768	0.332	2.43	0.21	0.424	2.47	0.23	0.506	2.45	0.24	0.583	2.48	0.26	0.674	2.47	0.26	0.780	2.49	0.27	1.105	2.48	0.28	1.436	2.48	0.29	1.944	2.51	0.30
16448	7.1185	44.414	0.382	2.46	0.20	0.510	2.44	0.23	0.605	2.46	0.23	0.721	2.43	0.25	0.839	2.43	0.25	0.984	2.43	0.26	1.386	2.43	0.28	1.785	2.46	0.29	2.400	2.52	0.31
13563	7.1201	45.066	0.400	2.45	0.21	0.534	2.42	0.23	0.635	2.43	0.23	0.744	2.42	0.24	0.856	2.43	0.25	0.989	2.44	0.25	1.347	2.47	0.26	1.694	2.49	0.27	2.194	2.55	0.28
10678	7.1217	45.718	0.322	2.45	0.20	0.405	2.50	0.22	0.485	2.47	0.24	0.559	2.50	0.25	0.640	2.51	0.26	0.751	2.48	0.27	1.067	2.45	0.28	1.392	2.46	0.29	1.893	2.48	0.30
16670	7.1237	44.364	0.376	2.45	0.20	0.504	2.43	0.23	0.599	2.47	0.23	0.713	2.45	0.25	0.829	2.46	0.25	0.978	2.44	0.26	1.395	2.45	0.28	1.819	2.46	0.30	2.492	2.52	0.31
13785	7.1255	45.016	0.403	2.45	0.21	0.536	2.42	0.23	0.636	2.44	0.23	0.745	2.43	0.24	0.857	2.44	0.25	0.990	2.44	0.25	1.348	2.47	0.26	1.695	2.49	0.27	2.194	2.55	0.29
10900	7.127	45.668	0.315	2.45	0.20	0.395	2.52	0.22	0.470	2.49																			

# TABELLE VALORI DI $a_g$ , $F_o$ , $T^*_c$

Per un qualunque punto del territorio non ricadente nei nodi del *reticolo di riferimento*, i valori dei parametri  $p$  ( $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T^*_c$ ) 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 l'espressione seguente:

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



# CATEGORIE DI SOTTOSUOLO

La classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente  $V_{s,30}$  di propagazione delle onde sismiche di taglio entro i primi 30 metri di profondità:

- A. Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi*
- B. Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti*
- C. Depositì di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti*
- D. Depositì di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti*
- E. Terreni dei sottosuoli di tipo C e D per spessore non superiore a 20 metri*

# 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:

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 $i > 30^\circ$

# ZONE SISMICHE (OPCM 3519/2006)

Il territorio nazionale è suddiviso in 4 zone sismiche, ciascuna contrassegnata da un diverso intervallo di valori del parametro  $a_g$  = **accelerazione orizzontale massima convenzionale su suolo di categoria "A"** con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni:

Zona	$a_g$
1	$0.25g < a_g \leq 0.35g$
2	$0.15g < a_g \leq 0.25g$
3	$0.05g < a_g \leq 0.15g$
4	$a_g \leq 0.05g$

# DESCRIZIONE DELL'AZIONE SISMICA

Un modello di riferimento per la descrizione del moto sismico sul piano di fondazione è costituito dallo

## **SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO.**

Un altro modello consiste nel descrivere il moto del suolo mediante **accelerogrammi**.

Il moto può decomporsi in tre componenti traslazionali, due orizzontali contrassegnate da X e Y ed una verticale contrassegnata da Z, da considerare tra di loro indipendenti.



# SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO IN ACCELERAZIONE DELLE COMPONENTI ORIZZONTALI

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

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

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

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

**T**

periodo di vibrazione proprio della struttura

# SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO IN ACCELERAZIONE DELLE COMPONENTI ORIZZONTALI

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

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

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

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

**$S_e(T)$**  accelerazione spettrale orizzontale

# SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO IN ACCELERAZIONE DELLE COMPONENTI ORIZZONTALI

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

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

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

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

**S = S<sub>S</sub> · S<sub>T</sub>**

coefficiente che tiene conto della categoria del sottosuolo e delle condizioni topografiche

# COEFFICIENTE $S_s$

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	$1.00 \leq 2.00 - 1.10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.60$	$1.15 \cdot (T_C^*)^{-0.40}$

# COEFFICIENTE $S_T$

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

# SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO IN ACCELERAZIONE DELLE COMPONENTI ORIZZONTALI

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

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

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

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

$\eta = \sqrt{10 / (5 + \xi)} \geq 0.55$  fattore di smorzamento;  $\xi$  coefficiente di smorzamento viscoso

# SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO IN ACCELERAZIONE DELLE COMPONENTI ORIZZONTALI

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

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

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

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

**$F_o$**  fattore di amplificazione spettrale ( $\geq 2.2$ )

# SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO IN ACCELERAZIONE DELLE COMPONENTI ORIZZONTALI

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

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

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

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

$$T_C = C_C \cdot T^*_C$$

periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro

# SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO IN ACCELERAZIONE DELLE COMPONENTI ORIZZONTALI

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

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

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

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

$$T_B = T_C / 3$$

periodo corrispondente all'inizio del tratto ad accelerazione costante dello spettro

# SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO IN ACCELERAZIONE DELLE COMPONENTI ORIZZONTALI

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

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

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

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

**$T_D = 4.0 \cdot a_g / g + 1.6$**  periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro

# SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO IN ACCELERAZIONE DELLA COMPONENTE VERTICALE

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

$$T_B \leq T < T_C \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \frac{T_C}{T}$$

$$T_D \leq T \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \frac{T_C \cdot T_D}{T^2}$$

$F_v = 1.35 \cdot F_o \cdot (a_g/g)^{0.5}$       fattore di amplificazione spettrale

# SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO IN ACCELERAZIONE DELLA COMPONENTE VERTICALE

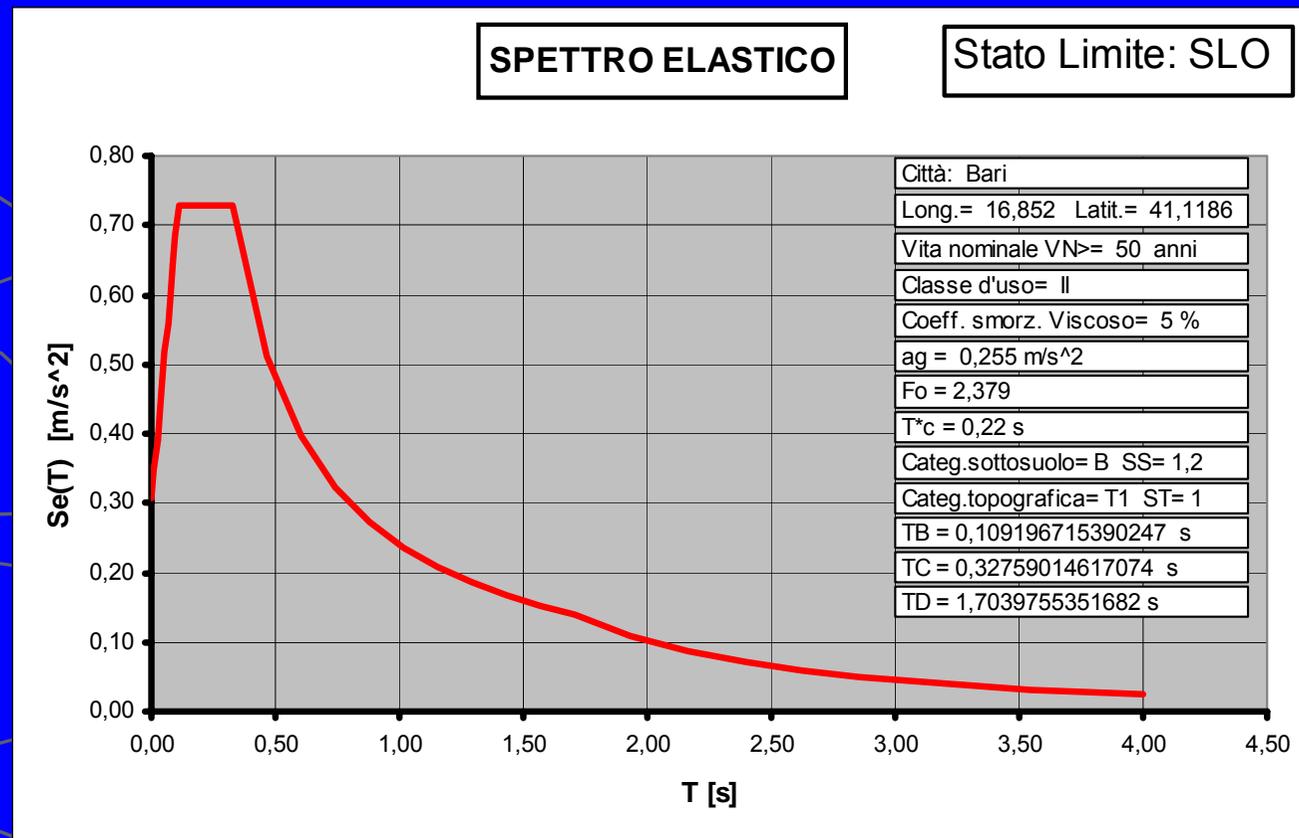
$$\begin{aligned}
 0 \leq T < T_B & \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_v} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\
 T_B \leq T < T_C & \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \\
 T_C \leq T < T_D & \quad S_{ve}(T) = a_g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

Categoria sottosuolo	$S_s$	$T_B$	$T_C$	$T_D$
A,B,C,D,E	1.0	0.05 s	0.15 s	1.0 s

# SPETTRI DI PROGETTO - S.L.E.

Per gli SLE 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  $P_{VR}$  di superamento nel periodo di riferimento.

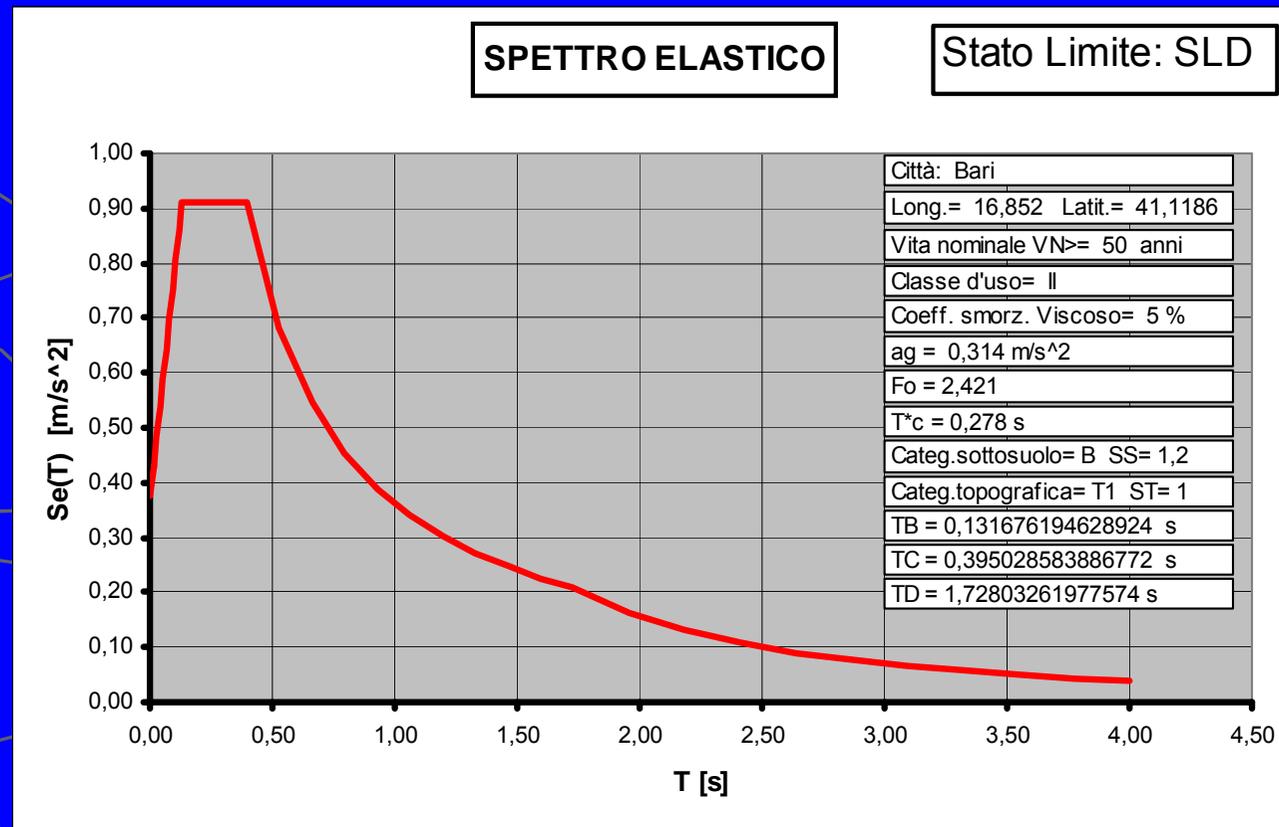
$T_R = 30$  anni



# SPETTRI DI PROGETTO - S.L.E.

Per gli SLE 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  $P_{VR}$  di superamento nel periodo di riferimento.

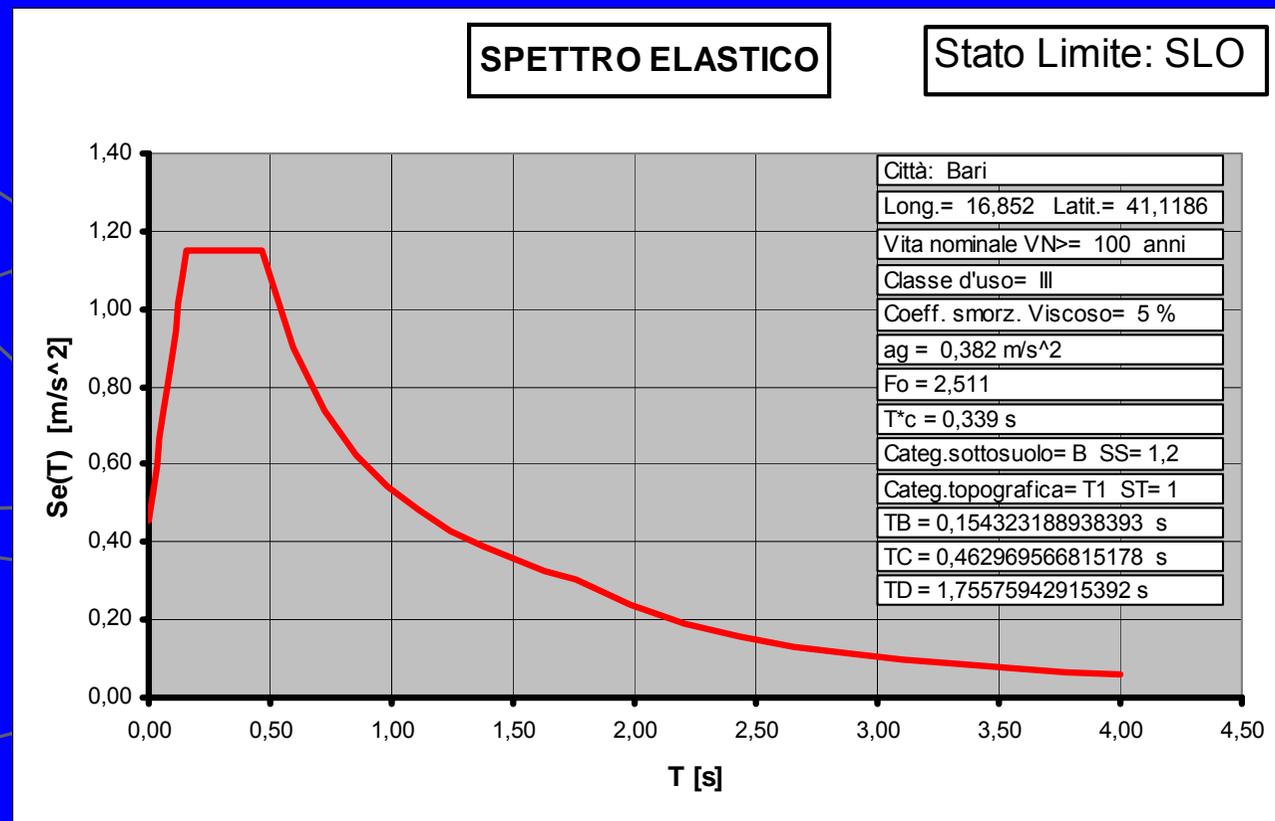
$T_R = 50$  anni



# SPETTRI DI PROGETTO - S.L.E.

Per gli SLE 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  $P_{VR}$  di superamento nel periodo di riferimento.

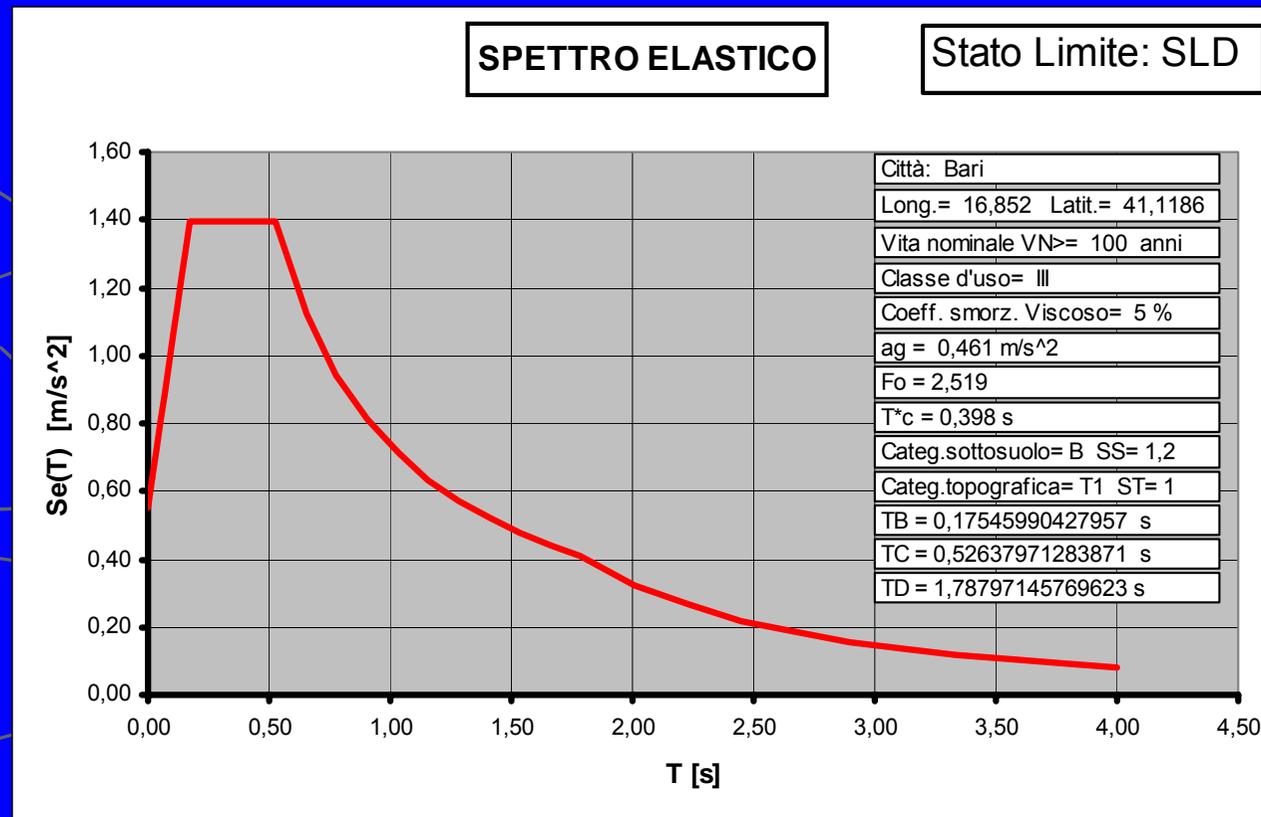
$T_R = 90$  anni



# SPETTRI DI PROGETTO - S.L.E.

Per gli SLE 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  $P_{VR}$  di superamento nel periodo di riferimento.

$T_R = 151$  anni



# SPETTRI DI PROGETTO - S.L.U.

Le capacità dissipative anelastiche delle strutture possono essere messe in conto attraverso un fattore riduttivo delle forze elastiche, denominato

## FATTORE DI STRUTTURA "q"

dipendente dal materiale, dalla tipologia strutturale e dal grado di iperstaticità, dalla duttilità attesa (CD"B", CD"A") e dalla interazione terreno-struttura.

Per strutture in c.a. a telaio:

$$q = q_0 \cdot K_R$$

$$q = q_0 \cdot K_R$$

$$q_0 = 3.0 \alpha_u / \alpha_1 \quad \text{per CD "B"}$$

$$q_0 = 4.5 \alpha_u / \alpha_1 \quad \text{per CD "A"}$$

Per strutture a telaio regolari in pianta:

$\alpha_u / \alpha_1 = 1.1$  per strutture a telaio di un piano

$\alpha_u / \alpha_1 = 1.2$  per strutture a telaio con più piani ed una sola campata

$\alpha_u / \alpha_1 = 1.3$  per strutture a telaio con più piani e più campate

$K_R = 1$  per edifici "regolari" in altezza

$K_R = 0.8$  per edifici non regolari in altezza

# REGOLARITA' STRUTTURALE

## Regolarità in pianta

- a) Configurazione in pianta compatta e approssimativamente simmetrica rispetto a due direzioni orizzontali, in relazione alla distribuzione di masse e rigidezze
- b) Il rapporto tra i lati di un rettangolo in cui l'edificio risulta inscritto è inferiore a 4
- c) Nessuna dimensione di eventuali rientri o sporgenze supera il 25% della dimensione totale della costruzione nella direzione corrispondente
- d) Gli orizzontamenti possono essere considerati infinitamente rigidi nel loro piano rispetto agli elementi verticali e sufficientemente resistenti

# REGOLARITA' STRUTTURALE

## Regolarità in altezza

- e) Tutti i sistemi resistenti verticali dell'edificio (telai e pareti) si estendono per tutta l'altezza dell'edificio
- f) Massa e rigidezza rimangono costanti o variano gradualmente, senza bruschi cambiamenti, dalla base alla sommità della costruzione (variazioni di massa tra due piani consecutivi  $\leq 25\%$ ; variazioni di rigidezza tra due piani consecutivi  $\leq 30\%$ )
- g) Eventuali restringimenti della sezione orizzontale della costruzione avvengono in modo graduale da un orizzontamento al successivo rispettando i seguenti limiti: ad ogni piano il rientro non supera il 30% della dimensione corrispondente al primo piano, né il 20% della dimensione corrispondente al piano immediatamente sottostante

# SPETTRI DI PROGETTO - S.L.U.

Da utilizzare sia per le componenti orizzontali ( $F=F_o$ ) che per quella verticale ( $F=F_v$ ) dell'azione sismica

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

$$T_B \leq T < T_C \quad S_d(T) = \frac{a_g \cdot S \cdot F}{q}$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_d(T) = \frac{a_g \cdot S \cdot F}{q} \cdot \frac{T_C}{T}$$

$$T_D \leq T \quad S_d(T) = \frac{a_g \cdot S \cdot F}{q} \cdot \frac{T_C \cdot T_D}{T^2}$$

Assumendo una struttura a telaio con più piani e più campate che soddisfi tutti i requisiti di “regolarità in altezza” ( $K_R=1$ ) e che rientri nella “Classe di duttilità bassa” CD”B”, il **fattore di struttura** assume il valore:

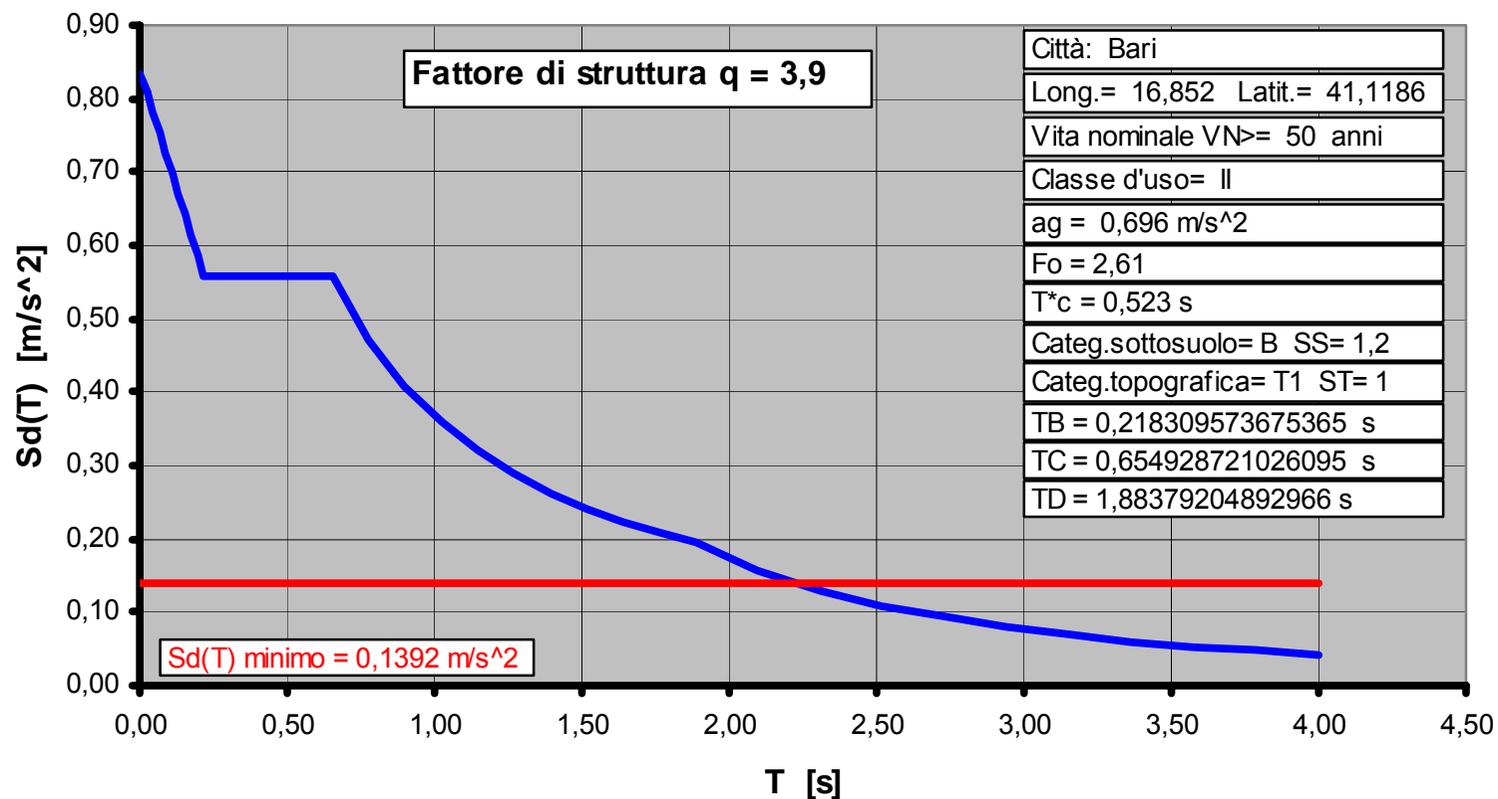
$$q = 3.0 \cdot 1.3 \cdot 1.0 = 3.9$$

Di seguito si riportano, a titolo esemplificativo, gli spettri di progetto in accelerazione allo S.L.U. delle componenti orizzontali e verticale dell'azione sismica per la città di Bari, per categoria di sottosuolo “B” e per le Classi d'uso II e III.

# SPETTRI DI PROGETTO - S.L.U.

SPETTRO DI PROGETTO

Stato Limite: SLV

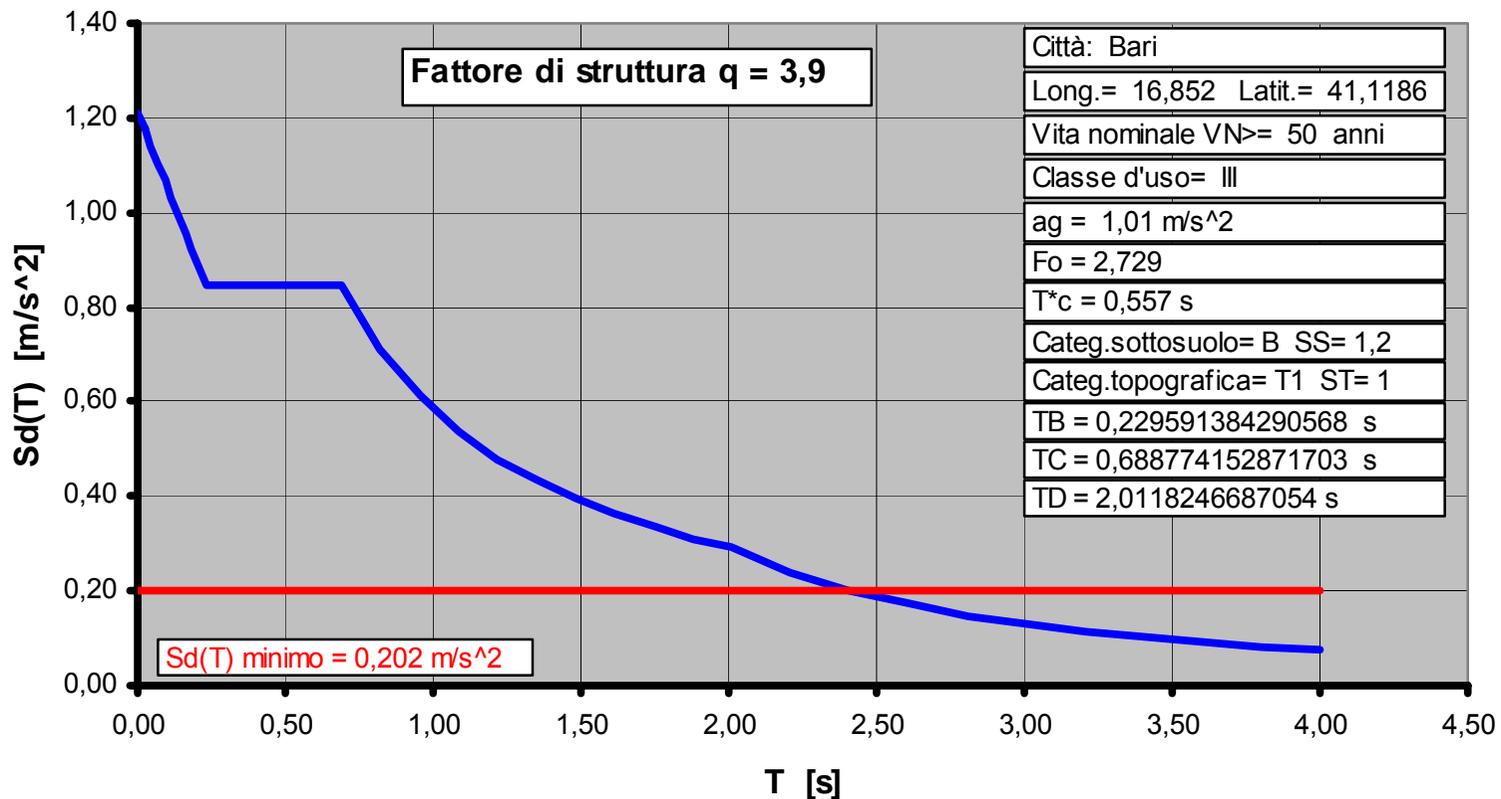


$T_R = 475$  anni

# SPETTRI DI PROGETTO - S.L.U.

SPETTRO DI PROGETTO

Stato Limite: SLC

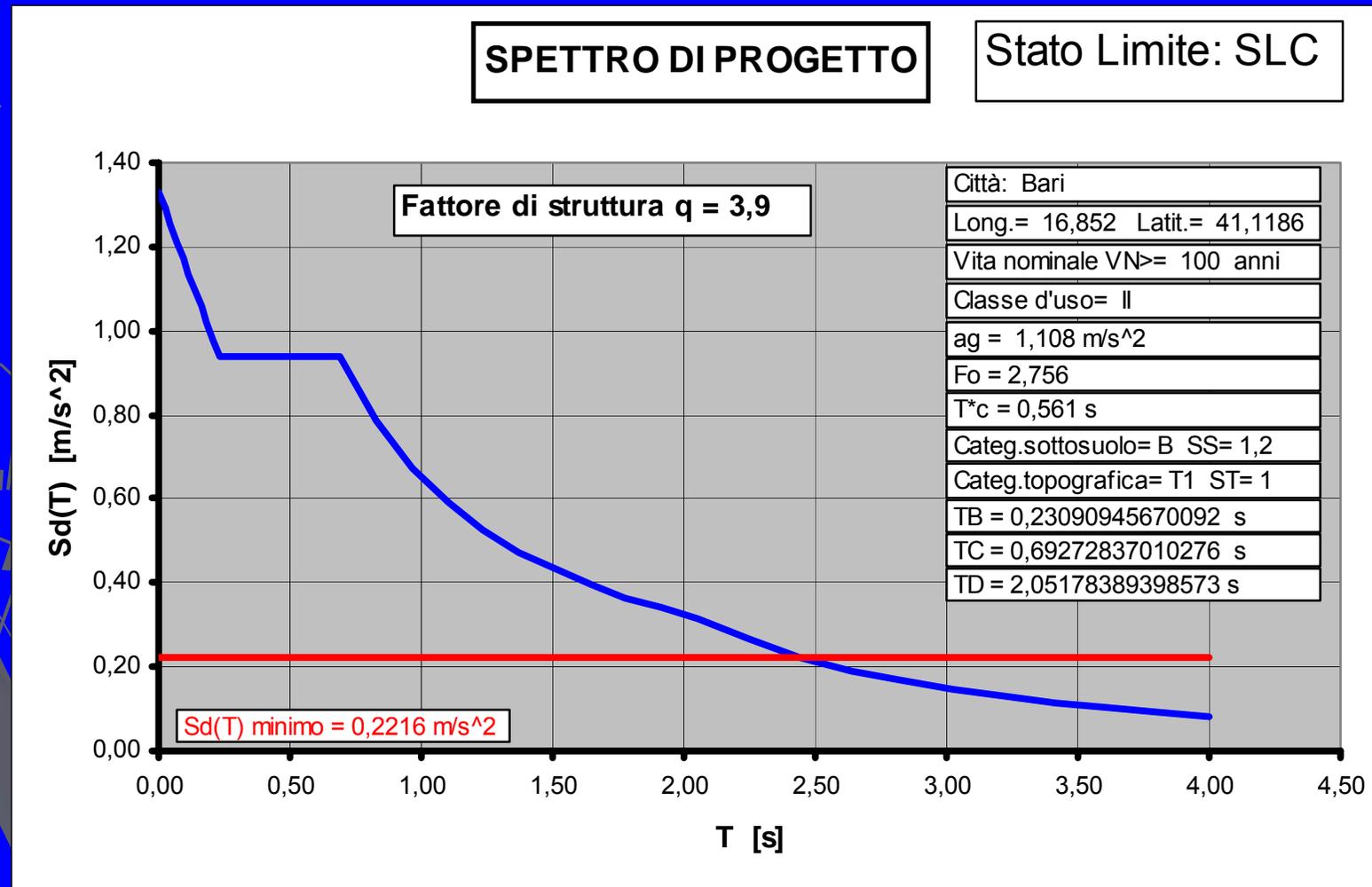


$T_R = 1462$  anni

# SPETTRI DI PROGETTO - S.L.U.

SPETTRO DI PROGETTO

Stato Limite: SLC

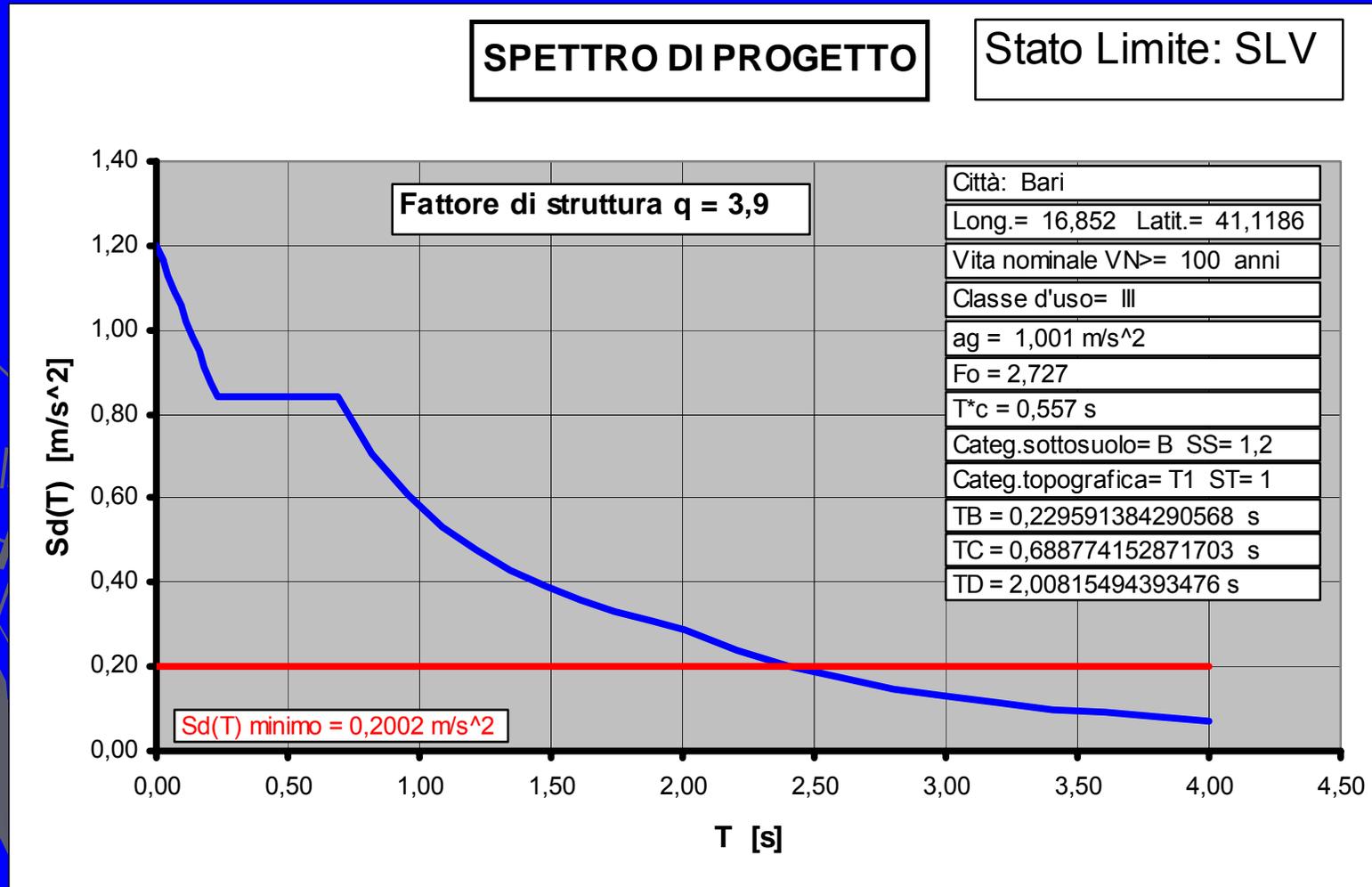


$T_R = 1950$  anni

# SPETTRI DI PROGETTO - S.L.U.

SPETTRO DI PROGETTO

Stato Limite: SLV



$T_R = 1424$  anni

# TIPI DI ANALISI

Le NTC prevedono i seguenti tipi di analisi:

a) ANALISI LINEARE DINAMICA

b) ANALISI LINEARE STATICA

c) ANALISI NON LINEARE STATICA

d) ANALISI NON LINEARE DINAMICA

# ANALISI LINEARE STATICA

Si applica solo per l'analisi di edifici:

- regolari in altezza

- con periodo proprio fondamentale  $T_1 \leq 2.5 T_C$

( $T_C$  dipende dalla categoria di suolo e dallo S.L. in esame)

Per edifici che non superino i 40 m di altezza,  $T_1$  può essere stimato nel modo seguente:

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

dove  $H$  è l'altezza (in metri) dell'edificio e  $C_1 = 0.075$  per edifici con struttura a telaio in calcestruzzo armato.

# ANALISI LINEARE STATICA

L'analisi statica lineare consiste nell'applicazione di un sistema di forze statiche equivalenti alle forze d'inerzia indotte dall'azione sismica.

La forza da applicare a ciascun piano è data dalla formula seguente:

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

dove:

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

$F_i$  è la forza da applicare al piano "i"

$W_i$  e  $W_j$  sono i pesi delle masse ai piani "i" e "j" rispettivamente

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

$z_i$  e  $z_j$  sono le altezze dei piani "i" e "j" rispetto alle fondazioni

$S_d(T_1)$  è l'ordinata dello spettro di progetto

$W$  è il peso complessivo della struttura

$\lambda$  è un coefficiente pari a 0.85 se l'edificio ha almeno 3 piani e se  $T_1 \leq 2T_C$ , pari ad 1.0 in tutti gli altri casi

$g$  è l'accelerazione di gravità

# PESO SISMICO DI PIANO

$$W_{\text{piano}} = G_1 + G_2 + \sum \psi_{2j} Q_{kj}$$

dove:

$G_1, G_2$  peso proprio elementi strutturali e non strutturali

$Q_{kj}$  generica azione verticale variabile

$\psi_{2j}$  coefficiente di combinazione

Categoria/Azione variabile	$\psi_{2i}$
Cat. A Ambienti ad uso residenziale	0.30
Cat. B Uffici	0.30
Cat. C Ambienti suscettibili di affollamento	0.60
Cat. D Ambienti ad uso commerciale	0.60
Cat. E Biblioteche, archivi, magazzini	0.80
Cat. F Rimesse e parcheggi ( $\leq 30$ kN)	0.60
.....	.....