

**SCHEDA O.1** Il periodo di ritorno

NTC (parr. 2.4, 2.5, Allegato A, Allegato B)  
CIRC. (par. C3.2)

Per eseguire qualsiasi verifica sismica, la prima grandezza da determinare è il **periodo di ritorno**  $T_R$  dell'azione sismica.

Secondo le NTC, infatti, il periodo di ritorno caratterizza la *pericolosità sismica* di un luogo, definita come probabilità che, in un certo lasso di tempo, si verifichi nello stesso luogo un evento sismico di entità almeno pari a un valore prefissato.

Tale lasso di tempo, espresso in anni, è detto *periodo di riferimento*  $V_R$ . La probabilità è detta *probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento*  $P_{VR}$ .

**Periodo di riferimento per l'azione sismica**

(par. 2.4.3)

Nelle variazioni normative del Modulo G si era già visto come le NTC definiscano la **vita nominale** di una costruzione solo in funzione del *tipo* di opera (tab. 2.4.I).

**Tabella 2.4.I**

Vita nominale  $V_N$  per diversi tipi di opere

Tipi di costruzione	$V_N$ (anni)
1 Opere provvisorie - Opere provvisionali Strutture in fase costruttiva (*)	≤ 10
2 Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
3 Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 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.

Nei riguardi del sisma, le costruzioni sono caratterizzate anche dalla **classe d'uso**, come descritto nel par. 2.4.2.

*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 DM 5 novembre 2001, n. 6792, «Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade», e di tipo C quando appartenenti a 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.

A ogni classe d'uso è assegnato un *coefficiente d'uso*  $C_U$ , come riportato nella tabella 2.4.II.

**Tabella 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

Il **periodo di riferimento**  $V_R$  si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale  $V_N$  per il *coefficiente d'uso*  $C_U$ . Si ha:

$$(2.4.1) \quad V_R = V_N \cdot C_U$$

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

**Probabilità di superamento nel periodo di riferimento**

(par. 3.2.1)

La probabilità di superamento è strettamente collegata alle prestazioni attese dalla costruzione, cioè dallo stato limite che si intende non sarà superato.

Le NTC prevedono i seguenti quattro stati limite.

**Stati limite di esercizio**

- **Stato limite di operatività (SLO):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni e 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.

**Stati limite ultimi**

- **Stato limite di salvaguardia della vita (SLV):** a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali e 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 e impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali e un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Le probabilità di superamento  $P_{VR}$  sono riportate nella tabella 3.2.I.

**Tabella 3.2.I**

Probabilità di superamento  $P_{VR}$  al variare dello stato limite considerato

Stato limite		$P_{VR}$ , probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$
SLE	SLO	81%
	SLD	63%
SLU	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.

Modulo 0 • Azione sismica sulle strutture

Il **periodo di ritorno**  $T_R$  del sisma si ricava dalla relazione:

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

ottenendo, per i vari stati limite, le espressioni di  $T_R$  in funzione di  $V_R = V_N C_U$  riportate nella tabella C.3.2.I della Circolare.

**Tabella C.3.2.I**

Valori di  $T_R$  espressi in funzione di  $V_R$

Stato limite		Valori in anni del periodo di ritorno $T_R$ al variare del periodo di riferimento $V_R$
SLE	SLO	$30 \text{ anni} \leq T_R < 0,60 V_R$
	SLD	$T_R = V_R$
SLU	SLV	$T_R = 9,5 V_R$
	SLC	$T_R = 19,50 V_R \leq 2745 \text{ anni}$

**Esempio** Si determini il periodo di ritorno  $T_R$  del sisma per un edificio a uso civile abitazione, che si vuole calcolare allo stato limite di salvaguardia della vita (SLV).

Si ha:

- vita nominale (tab. 2.4.I)  $\rightarrow V_N = 50$  anni
- classe d'uso II
- coefficiente d'uso (tab. 2.4.II)  $\rightarrow C_U = 1,0$

Con la (2.4.1) si calcola la vita di riferimento:

$$V_R = V_N \cdot C_U = 50 \cdot 1,0 = 50 \text{ anni}$$

Dalla tabella 3.2.I si ricava la probabilità di superamento:

$$P_{VR} = 10\% = 0,1$$

Si determina infine il periodo di ritorno, con la formula generale:

$$T_R = -V_R / \ln(1 - P_{VR}) = 475 \text{ anni}$$

oppure con la tabella C.3.2.I:

$$T_R = 9,5 V_R = 9,5 \cdot 50 = 475 \text{ anni}$$

TESTO DM 96 - DM 2005 - OPCM 3274			NTC (parr. 2.4, 3.2, Allegato A, Allegato B) CIRC. (par. C3.2)										
Par.	Riferimento												
<b>1.6</b>	<b>Pag. 20</b> <b>Zone sismiche</b>	<p><b>Tabella O.3</b> <i>Zone sismiche e valori di <math>a_g</math></i></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Zona</th> <th><math>a_g</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>0,35 g</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0,25 g</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>0,15 g</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>0,05 g</td> </tr> </tbody> </table> <p>L'OPCM 3274 classificava tutti i comuni italiani collocando ciascuno in una determinata zona sismica. Un luogo, o una costruzione, erano caratterizzati sismicamente dall'appartenenza a una determinata zona e da <b>un unico parametro sismico</b> (<math>a_g</math>), immediatamente reperibile.</p>	Zona	$a_g$	1	0,35 g	2	0,25 g	3	0,15 g	4	0,05 g	<p>La determinazione dell'azione sismica non fa più riferimento alla classificazione sismica del territorio (il riferimento alle <i>zone</i> rimane comunque nella trattazione di alcuni problemi amministrativi o tecnici; si pensi, per esempio, al riferimento alla zona 4 nel caso di verifica alle tensioni ammissibili).</p> <p>Per calcolare l'azione sismica sono ora necessari <b>tre parametri sismici</b> (<math>a_g</math>, <math>F_0</math> e <math>T_c^*</math>), tipici del luogo o della costruzione in esame.</p>
Zona	$a_g$												
1	0,35 g												
2	0,25 g												
3	0,15 g												
4	0,05 g												

Modulo O • Azione sismica sulle strutture

TESTO DM 96 - DM 2005 - OPCM 3274		NTC (parr. 2.4, 3.2, Allegato A, Allegato B) CIRC. (par. C3.2)																					
Par.	Riferimento																						
1.7	Pag. 20 Classificazione del suolo di fondazione	<b>Tabella O.4 e Sis2, Prontuario</b> Categorie del suolo di fondazione																					
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Cat.</th> <th>Descrizione</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td><i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i>, caratterizzati da valori di <math>V_{s,30}</math> superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 5 m.</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td><i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i>, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di <math>V_{s,30}</math> compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero <math>NSPT_{30} &gt; 50</math> nei terreni a grana grossa e <math>c_{u,30} &gt; 250</math> kPa nei terreni a grana fina).</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td><i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i>, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di <math>V_{s,30}</math> compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero <math>15 &lt; NSPT_{30} &lt; 50</math> nei terreni a grana grossa e <math>70 &lt; c_{u,30} &lt; 250</math> kPa nei terreni a grana fina).</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td><i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i>, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di <math>V_{s,30}</math> inferiori a 180 m/s (ovvero <math>NSPT_{30} &lt; 15</math> nei terreni a grana grossa e <math>c_{u,30} &lt; 70</math> kPa nei terreni a grana fina).</td> </tr> </tbody> </table>	Cat.	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 5 m.	B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , 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 $NSPT_{30} > 50$ 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> , 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 $15 < NSPT_{30} < 50$ 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> , caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $NSPT_{30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Categoria</th> <th>Descrizione</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td><i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i>, caratterizzati da valori di <math>V_{s,30}</math> superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td><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 <math>V_{s,30}</math> compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero <math>NSPT_{30} &gt; 50</math> nei terreni a grana grossa e <math>c_{u,30} &gt; 250</math> kPa nei terreni a grana fina).</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td><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 <math>V_{s,30}</math> compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero <math>15 &lt; NSPT_{30} &lt; 50</math> nei terreni a grana grossa e <math>70 &lt; c_{u,30} &lt; 250</math> kPa nei terreni a grana fina).</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td><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 <math>V_{s,30}</math> inferiori a 180 m/s (ovvero <math>NSPT_{30} &lt; 15</math> nei terreni a grana grossa e <math>c_{u,30} &lt; 70</math> kPa nei terreni a grana fina).</td> </tr> </tbody> </table>	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 $NSPT_{30} > 50$ 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 $15 < NSPT_{30} < 50$ 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 $NSPT_{30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
		Cat.	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 5 m.																						
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , 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 $NSPT_{30} > 50$ 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> , 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 $15 < NSPT_{30} < 50$ 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> , caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $NSPT_{30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).																						
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 $NSPT_{30} > 50$ 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 $15 < NSPT_{30} < 50$ 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 $NSPT_{30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).																						
		<table border="1"> <tbody> <tr> <td>S1</td> <td>Terreni che includono uno strato di almeno 10 m di argille o limi di bassa consistenza, con elevato indice plastico (<math>&gt; 40</math>) e alto contenuto di acqua.</td> </tr> <tr> <td>S2</td> <td>Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.</td> </tr> </tbody> </table>	S1	Terreni che includono uno strato di almeno 10 m di argille o limi di bassa consistenza, con elevato indice plastico ( $> 40$ ) e alto contenuto di acqua.	S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.	<b>Tabella 3.2.III</b> Categorie aggiuntive di sottosuolo																
S1	Terreni che includono uno strato di almeno 10 m di argille o limi di bassa consistenza, con elevato indice plastico ( $> 40$ ) e alto contenuto di acqua.																						
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.																						
			<table border="1"> <tbody> <tr> <td>S1</td> <td>Depositi di terreni caratterizzati da valori di <math>V_{s,30}</math> inferiori a 100 m/s (ovvero <math>10 &lt; c_{u,30} &lt; 20</math> kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.</td> </tr> <tr> <td>S2</td> <td>Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.</td> </tr> </tbody> </table>	S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.	S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.																
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.																						
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.																						

Sono evidenziate le parti aggiunte o variate rispetto al DM 2005.

Modulo 0 • Azione sismica sulle strutture

TESTO DM 96 - DM 2005 - OPCM 3274		NTC (parr. 2.4, 3.2, Allegato A, Allegato B) CIRC. (par. C3.2)																																				
Par.	Riferimento																																					
1.8	<p><b>Pag. 24</b> <b>Spettri di risposta elastici</b></p> <p>Spettri di risposta elastici delle componenti orizzontali, formule (O.4):</p> $0 \leq T < T_B$ $S_e(T) = a_g S [1 + T/T_B (2,5 \eta - 1)]$ $T_B \leq T < T_C$ $S_e(T) = a_g S \eta \cdot 2,5$ $T_C \leq T < T_D$ $S_e(T) = a_g S \eta \cdot 2,5(T_C/T)$ $T_D \leq T$ $S_e(T) = a_g S \eta \cdot 2,5(T_C T_D/T^2)$ <p>nelle quali i parametri hanno i seguenti significati.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>T</math> è il periodo di vibrazione della struttura.</li> <li>• <math>\eta</math> è il fattore che altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali <math>\xi</math> diversi dal 5%, mediante la relazione                     <math display="block">\eta = 10/(5 + \xi) \geq 0,55</math>                     dove <math>\xi</math> (espresso in percentuale) è valutato sulla base di materiali, tipologia strutturale e terreno di fondazione.</li> </ul> <p>• Il fattore del suolo <math>S</math> e i periodi <math>T_B, T_C</math> e <math>T_D</math> che separano i diversi rami dello spettro dipendono soltanto dalla categoria del suolo (tabella O.5).</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Categoria del suolo</th> <th><math>S</math></th> <th><math>T_B</math></th> <th><math>T_C</math></th> <th><math>T_D</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>1,00</td> <td>0,15</td> <td>0,40</td> <td rowspan="3">2,00</td> </tr> <tr> <td>B, C, E</td> <td>1,25</td> <td>0,15</td> <td>0,50</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>1,35</td> <td>0,20</td> <td>0,80</td> </tr> </tbody> </table>	Categoria del suolo	$S$	$T_B$	$T_C$	$T_D$	A	1,00	0,15	0,40	2,00	B, C, E	1,25	0,15	0,50	D	1,35	0,20	0,80	<p>Formule (3.2.4):</p> $0 \leq T < T_B$ $S_e(T) = a_g S \eta F_0 [T/T_B + 1/\eta F_0 (1 - T/T_B)]$ $T_B \leq T < T_C$ $S_e(T) = a_g S \eta F_0$ $T_C \leq T < T_D$ $S_e(T) = a_g S \eta F_0 (T_C/T)$ $T_D \leq T$ $S_e(T) = a_g S \eta F_0 (T_C T_D/T^2)$ <p>nelle quali i parametri hanno i seguenti significati.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>T</math> è il periodo di vibrazione della struttura.</li> <li>• <math>\eta</math> è il fattore che altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali <math>\xi</math> diversi dal 5%, mediante la relazione                     <math display="block">\eta = 10/(5 + \xi) \geq 0,55</math>                     dove <math>\xi</math> (espresso in percentuale) è valutato sulla base di materiali, tipologia strutturale e terreno di fondazione.</li> </ul> <p>• <math>S</math> è un coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo (tab. 3.2.II, tab. 3.2.III) e delle condizioni topografiche mediante la relazione seguente:</p> $(3.2.5) \quad S = S_S \cdot S_T$ <p>essendo</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>S_S</math> il coefficiente di amplificazione stratigrafica (tab. 3.2.V);</li> <li>• <math>S_T</math> il coefficiente di amplificazione topografica (tab. 3.2.VI).</li> </ul> <p><b>Tabella 3.2.V</b> Coefficiente di amplificazione stratigrafica <math>S_S</math></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Categoria sottosuolo</th> <th><math>S_S</math></th> <th><math>C_C</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td><math>1,00 \leq 1,40 - 0,40 F_0 \frac{a_g}{g} \leq 1,20</math></td> <td><math>1,10 (T_C^*)^{-0,20}</math></td> </tr> <tr> <td>C</td> <td><math>1,00 \leq 1,70 - 0,60 F_0 \frac{a_g}{g} \leq 1,50</math></td> <td><math>1,05 (T_C^*)^{-0,33}</math></td> </tr> <tr> <td>D</td> <td><math>0,90 \leq 2,40 - 1,50 F_0 \frac{a_g}{g} \leq 1,80</math></td> <td><math>1,25 (T_C^*)^{-0,50}</math></td> </tr> <tr> <td>E</td> <td><math>1,00 \leq 2,00 - 1,10 F_0 \frac{a_g}{g} \leq 1,60</math></td> <td><math>1,15 (T_C^*)^{-0,40}</math></td> </tr> </tbody> </table>	Categoria sottosuolo	$S_S$	$C_C$	A	1	1	B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 F_0 \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 (T_C^*)^{-0,20}$	C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 F_0 \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 (T_C^*)^{-0,33}$	D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 F_0 \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 (T_C^*)^{-0,50}$	E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 F_0 \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 (T_C^*)^{-0,40}$
Categoria del suolo	$S$	$T_B$	$T_C$	$T_D$																																		
A	1,00	0,15	0,40	2,00																																		
B, C, E	1,25	0,15	0,50																																			
D	1,35	0,20	0,80																																			
Categoria sottosuolo	$S_S$	$C_C$																																				
A	1	1																																				
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 F_0 \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 (T_C^*)^{-0,20}$																																				
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 F_0 \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 (T_C^*)^{-0,33}$																																				
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 F_0 \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 (T_C^*)^{-0,50}$																																				
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 F_0 \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 (T_C^*)^{-0,40}$																																				

Modulo 0 • Azione sismica sulle strutture

TESTO DM 96 - DM 2005 - OPCM 3274		NTC (parr. 2.4, 3.2, Allegato A, Allegato B) CIRC. (par. C3.2)																																			
Par.	Riferimento																																				
	<p>► Si noti l'analogia con lo stesso coefficiente <math>S_T</math> riportato nella <b>tabella O.7 (Sis5, Prontuario)</b>. Nel DM 2005, però, <math>S_T</math> era associato solo alle costruzioni <i>importanti</i>, mentre nelle NTC è associato anche alle costruzioni <i>ordinarie</i> e direttamente inserito nell'espressione dello spettro elastico.</p> <p>• Il coefficiente amplificatore è costante e vale 2,5.</p>	<p><b>Tabella 3.2.IV</b> <i>Categorie topografiche</i></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Categoria</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>T1</td> <td>Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media <math>i \leq 15^\circ</math></td> </tr> <tr> <td>T2</td> <td>Pendii con inclinazione media <math>i &gt; 15^\circ</math></td> </tr> <tr> <td>T3</td> <td>Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media <math>15^\circ \leq i \leq 30^\circ</math></td> </tr> <tr> <td>T4</td> <td>Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media <math>i &gt; 30^\circ</math></td> </tr> </tbody> </table> <p>Le suesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.</p> <p><b>Tabella 3.2.VI</b> <i>Coefficiente di amplificazione topografica <math>S_T</math></i></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Categoria</th> <th>Ubicazione dell'opera o dell'intervento</th> <th><math>S_T</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>T1</td> <td>–</td> <td>1,0</td> </tr> <tr> <td>T2</td> <td>In corrispondenza della sommità del pendio</td> <td>1,2</td> </tr> <tr> <td>T3</td> <td>In corrispondenza della cresta del rilievo</td> <td>1,2</td> </tr> <tr> <td>T4</td> <td>In corrispondenza della cresta del rilievo</td> <td>1,4</td> </tr> </tbody> </table> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>F_0</math> è un fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, e ha valore minimo pari a 2,2.</li> <li>• <math>T_C</math> è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro, dato da             <math display="block">(3.2.7) \quad T_C = C_C T_C^*</math>             dove <math>T_C^*</math> è il periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro e <math>C_C</math> è un coefficiente funzione della categoria di sottosuolo, i cui valori sono dati ancora dalla tabella 3.2.V.</li> <li>• <math>T_B</math> è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante:             <math display="block">(3.2.8) \quad T_B = T_C/3</math> </li> <li>• <math>T_D</math> è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro, espresso in secondi mediante la relazione             <math display="block">T_D = 4,0 a_g/g + 1,6</math> </li> </ul> <p>Formule 3.2.10:</p> $0 \leq T < T_B \quad S_{ev}(T) = a_g S \eta F_V [T/T_B + 1/\eta F_V (1 - T/T_B)]$ $T_B \leq T < T_C \quad S_{ev}(T) = a_g S \eta F_V$ $T_C \leq T < T_D \quad S_{ev}(T) = a_g S \eta F_V (T_C/T)$ $T_D \leq T \quad S_{ev}(T) = a_g S \eta F_V (T_C T_D/T^2)$ <p>dove:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>a_g, S, F_0, \eta</math> hanno il significato noto;</li> <li>• il fattore amplificativo <math>F_V</math> si ricava dalla formula             <math display="block">(3.2.11) \quad F_V = 1,35 F_0 (a_g/g)^{0,5}</math> </li> <li>• <math>S_s, T_B, T_C</math> e <math>T_D</math> sono riportati nella tabella 3.2.VII.</li> </ul> <p><b>Tabella 3.2.VII</b> <i>Valori dei parametri dello spettro di risposta elastico della componente verticale</i></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Categoria di sottosuolo</th> <th>S</th> <th><math>T_B</math></th> <th><math>T_C</math></th> <th><math>T_D</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A, B, C, D</td> <td>1,0</td> <td>0,05 s</td> <td>0,15 s</td> <td>1,0 s</td> </tr> </tbody> </table>	Categoria		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 $i > 30^\circ$	Categoria	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	Categoria di sottosuolo	S	$T_B$	$T_C$	$T_D$	A, B, C, D	1,0	0,05 s	0,15 s	1,0 s
Categoria																																					
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 $i > 30^\circ$																																				
Categoria	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																																			
Categoria di sottosuolo	S	$T_B$	$T_C$	$T_D$																																	
A, B, C, D	1,0	0,05 s	0,15 s	1,0 s																																	
	<p>Spettri di risposta elastici della componente verticale, formule (O.4):</p> $0 \leq T < T_B$ $S_{ev}(T) = 0,9 \cdot a_g S [1 + T/T_B (3 \eta - 1)]$ $T_B \leq T < T_C$ $S_{ev}(T) = 0,9 \cdot a_g S \eta \cdot 3$ $T_C \leq T < T_D$ $S_{ev}(T) = 0,9 \cdot a_g S \eta \cdot 3 (T_C/T)$ $T_D \leq T$ $S_{ev}(T) = 0,9 \cdot a_g S \eta \cdot 3 (T_C T_D/T^2)$																																				

Modulo 0 • Azione sismica sulle strutture

TESTO DM 96 - DM 2005 - OPCM 3274		NTC (parr. 2.4, 3.2, Allegato A, Allegato B) CIRC. (par. C3.2)	
Par.	Riferimento		
<p>Si noti che, nelle NTC:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• sono previsti quattro stati limite, mentre il DM 2005 ne prevedeva solo due: stato limite di danno (SLD) e stato limite ultimo (SLU);</li> <li>• l'azione sismica è valutata non più sulla base dei limiti amministrativi dei comuni, ma sui singoli punti geografici, <i>sito per sito e costruzione per costruzione</i>;</li> <li>• i parametri sismici sono tre (<math>a_g</math>, <math>F_0</math> e <math>T_c^*</math>) e non più uno solo (<math>a_g</math>);</li> <li>• la pericolosità sismica di un luogo è basata sul periodo di ritorno <math>T_R</math> del sisma;</li> <li>• è messa in conto anche la situazione topografica del luogo;</li> <li>• i valori delle componenti spettrali dipendono dallo stato limite che si vuole verificare.</li> </ul> <p>Anche se le formule delle componenti spettrali sono rimaste le stesse (la prima è solo formalmente diversa) i valori che si ottengono nella stessa zona possono cambiare molto da quelli forniti dal DM 2005, e in modo imprevedibile.</p> <p>Come si può vedere dall'esempio riportato nella scheda O.2 di pag. O.7, il procedimento manuale di determinazione dello spettro elastico è molto laborioso. Si segnala in proposito che:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• tutti i programmi di calcolo eseguono automaticamente tale determinazione;</li> <li>• entrando nel sito del Consiglio Superiore dei Lavori pubblici <a href="http://www.cslp.it">http://www.cslp.it</a> (o semplicemente digitando <i>Spettri NTC</i>) è possibile scaricare gratuitamente il programma SPETTRI-NTC.xls; inserendo le coordinate geografiche (o il nome del comune) e il tempo di ritorno del sisma si hanno direttamente i tre parametri di pericolosità sismica; inserendo anche la categoria del suolo e lo stato limite considerato si ha direttamente l'ordinata spettrale.</li> </ul>			
<b>2.2</b>	<b>Pag. 29</b> <b>Duttilità e riflessi normativi</b>	<p>Spettro di progetto, formula (O.10):</p> $S_d(T) = S_c(T)/q$ <p>dove <math>q</math> è il fattore di struttura</p>	<p><b>Parr. 3.2.3.4, 3.2.3.5</b></p> <p>Per gli stati limite di esercizio lo spettro di progetto <math>S_d(T)</math> da utilizzare è lo spettro elastico corrispondente (<math>q = 1</math>).</p> <p>Per gli stati limite ultimi lo spettro di progetto <math>S_d(T)</math> da utilizzare è lo spettro elastico con le ordinate ridotte sostituendo nelle formule <math>\eta</math> con <math>1/q</math>. Si assumerà comunque <math>S_d(T) \geq 0,2 a_g</math>.</p> <p><b>Par. 7.3.1</b></p> <p>In caso di analisi lineare della componente verticale dell'azione sismica il valore di <math>q</math> utilizzato, a meno di adeguate analisi giustificative, è <math>q = 1,5</math> per qualunque tipologia strutturale e di materiale, tranne che per i ponti per i quali è <math>q = 1</math>.</p>
<p>Per <math>\eta = 1</math> le due formulazioni coincidono anche agli SLU. Per i valori del coefficiente di struttura si vedano i successivi capitoli sulle costruzioni in calcestruzzo armato, acciaio e muratura.</p>			
	<b>Pag. 31</b> <b>Regolarità in pianta</b>	<p>Quarta condizione:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• almeno una dimensione di eventuali rientri o sporgenze supera il 25% della dimensione totale della costruzione nella corrispondente direzione.</li> </ul>	<p><b>Par. 7.2.2</b></p> <p>c) nessuna dimensione di eventuali rientri o sporgenze supera il 25% della dimensione totale della costruzione nella corrispondente direzione.</p>
<b>2.3</b>	<b>Pag. 33</b> <b>Analisi statica lineare</b>	<p>L'analisi statica lineare può essere applicata solo agli edifici regolari in elevazione con periodo proprio</p> $T_1 < 2,5 T_C$	<p><b>Par. 7.3.3.2</b></p> <p>L'analisi statica lineare può essere applicata solo agli edifici regolari in altezza con periodo proprio</p> $T_1 < 2,5 T_C \text{ oppure } T_D$
<b>2.5</b>	<b>Pag. 37</b> <b>SLU</b>	<p>Forza sismica equivalente, formula (O.11)</p> <p>Massa associata ai carichi gravitazionali, formula (O.13)</p>	<p><b>Par. 7.3.3.2 Forza sismica equivalente:</b></p> $F_h = S_d(T_1) \cdot W/g \cdot \lambda$ <p><math>\lambda</math> è un coefficiente pari a 0,85 se la costruzione ha almeno tre orizzontamenti e se <math>T_1 &lt; 2T_C</math>, pari a 1,0 in tutti gli altri casi.</p>
<b>2.6</b>	<b>Pag. 40</b> <b>SLD</b>	<p>Riduzione dello spettro di progetto all'SLD, formula (O.15)</p> <p>Massa associata ai carichi gravitazionali, formula (O.16)</p>	<p>Formula (3.2.17)</p> <p>Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:</p> $G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} \cdot Q_{kj}$
<p>Le NTC propongono un'espressione unica per tutti gli stati limite, in quanto già lo spettro di risposta è legato allo stato limite che si vuole verificare (scheda O.2). Nell'esempio di pagina 37 è lecito ridurre <math>S_d(T)</math> del fattore 0,85. Nell'espressione delle masse gravitazionali è soppresso il fattore <math>\varphi</math> (<math>= 1</math> all'ultimo piano, <math>= 0,5</math> ai piani inferiori) introdotto dall'OPCM 3274.</p>			
<b>2.7</b>	<b>Pag. 41</b> <b>Combinazioni di carico</b>		<p>Formula (2.5.5)</p> <p>Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica <math>E</math>:</p> $E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$ <p>I valori dei coefficienti <math>\psi_2</math> sono quelli della tabella 2.5.I, già riportata nel modulo G.</p>

## SCHEDA O.2 Determinazione dello spettro elastico

NTC (parr. 2.4, 3.2, Allegato A, Allegato B)  
CIRC. (par. C3.2)

Si svolga secondo le NTC l'esempio di pagina 26 (par. 1.8).

In zona sismica 2, su suolo di categoria B, si deve calcolare una struttura con periodo di vibrazione  $T = 0,8$  s.

Si determini:

- la componente orizzontale  $S_e(T)$  dello spettro elastico;
- la componente verticale  $S_{ev}(T)$  dello spettro elastico;
- il massimo spostamento orizzontale del suolo  $d_g$ .

Risolvere l'esercizio secondo le prescrizioni del DM 2005 era immediato. Bastava leggere nelle tabelle O.3 e O.5 i valori di  $a_g$ ,  $S$ ,  $T_B$  e  $T_C$  e scegliere tra le (O.4) la formula appropriata. Si aveva:

$$S_e(T) = 4,79 \text{ m/s}^2 \quad S_{ev}(T) = 1,24 \text{ m/s}^2 \quad d_g = 7,6 \text{ cm}$$

Questi risultati erano validi per qualsiasi tipo di verifica e per tutti gli edifici progettati in zona 2, per esempio a Cosenza, Siracusa o Castiglione dei Pepoli (Bologna), purché collocati sulla stessa categoria di suolo di fondazione.

Per risolvere l'esercizio secondo le NTC servono ulteriori informazioni e il testo dell'esercizio va ristrutturato, per esempio, nel modo seguente.

Si deve progettare allo stato limite di salvaguardia della vita un edificio a uso civile abitazione, con periodo di vibrazione  $T = 0,8$  s, collocato nel comune di Castiglione dei Pepoli (Bologna) nel punto di coordinate geografiche (Lon 11,164; Lat 44,1 43) <sup>(1)</sup> su suolo di categoria B, in zona pianeggiante.

Bisogna innanzi tutto determinare il periodo di ritorno. Nell'esercizio svolto nella scheda O.1 si era ottenuto, in analoghe condizioni:

$$TR = 475 \text{ anni}$$

È ora necessario determinare, per il preciso punto  $P$  in esame, i tre parametri sismici:

- $a_g$ , accelerazione orizzontale massima del luogo (espressa in  $g/10$ , ossia in decimi dell'accelerazione di gravità);
- $F_0$ , valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale (adimensionale);
- $T_C^*$ , periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro delle componenti orizzontali (espresso in secondi).

Le modalità di determinazione di tali parametri sono contenute nell'Allegato A alle NTC, mentre l'Allegato B contiene due tabelle.

Nella tabella 1 sono elencati i valori dei parametri per 10 751 nodi, identificati dal codice ID e dalle coordinate geografiche (latitudine e longitudine). L'insieme di questi nodi, che non distano più di 10 km l'uno dall'altro, forma un reticolo di riferimento che copre tutta l'Italia continentale e le isole di Sicilia, Ischia, Procida e Capri <sup>(2)</sup>.

I valori di  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_C$  sono riportati per ogni ID e per 9 valori del periodo di ritorno  $T_R$  (30, 50, 72, 101, 140, 201, 475, 975, 2475 anni).

I nodi del reticolo sono ordinati per latitudine e longitudine crescenti, facendo variare prima la longitudine e poi la latitudine.

È molto improbabile, naturalmente, che il punto  $P$  coincida con uno dei nodi. Si determinerà quindi la maglia elementare che lo contiene, che ha

<sup>(1)</sup> Come trovare le coordinate geografiche di una costruzione.

Latitudine e longitudine possono essere cercate in linea, per esempio all'indirizzo <http://www.getlatlon.com>.

Le coordinate devono essere espresse in gradi decimali (GD) nel sistema WGS84 (World Geodetic System 1984). Per coordinate espresse in altri sistemi, come ED50, la conversione può essere eseguita con vari programmi (si veda per esempio al sito [http://www.ultrasoft3d.it/Conversione\\_Coordinate.aspx](http://www.ultrasoft3d.it/Conversione_Coordinate.aspx)).

<sup>(2)</sup> Con convenzioni del tutto analoghe, la tabella 2 fornisce gli stessi parametri, costanti su tutto il territorio di ciascuna isola, per tutte le altre isole.

per vertici quattro nodi del reticolo <sup>(3)</sup>, dei quali sono noti sia le coordinate, sia i valori dei tre parametri  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_C^*$  in corrispondenza del periodo di ritorno  $T_R = 475$  anni (posti tra parentesi quadre). Il luogo

$$P \text{ (Lon 11,164; Lat 44,1)}$$

è contenuto nella maglia di vertici:

- ID 18281 → (Lon 11,121; Lat 44,161) [1,887 - 2,38 - 0,29]
- ID 18282 → (Lon 11,191; Lat 44,162) [1,799 - 2,49 - 0,29]
- ID 18503 → (Lon 11,123; Lat 44,111) [1,991 - 2,37 - 0,29]
- ID 18504 → (Lon 11,193; Lat 44,112) [1,995 - 2,36 - 0,29]

I valori di  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_C^*$  relativi al punto  $P$  si possono calcolare come media pesata dei valori assunti dagli stessi parametri nei quattro vertici della maglia, utilizzando come pesi gli inversi delle distanze tra il punto e i quattro vertici. Si ha:

$$\frac{\sum_i p_i / d_i}{\sum_i 1 / d_i}$$

dove:

- $p$  è il valore del generico parametro;
- $p_i$  è il valore dello stesso parametro nel vertice  $i$ -esimo;
- $d_i$  è la distanza tra il punto  $P$  e il vertice  $i$ -esimo.

Le distanze di  $P$  dai 4 vertici sono:

$$d_{18281} = \sqrt{(11,121 - 11,164)^2 + (44,161 - 44,143)^2} = 0,046$$

$$d_{18282} = \sqrt{(11,191 - 11,164)^2 + (44,162 - 44,143)^2} = 0,033$$

$$d_{18503} = \sqrt{(11,123 - 11,164)^2 + (44,111 - 44,143)^2} = 0,052$$

$$d_{18504} = \sqrt{(11,193 - 11,164)^2 + (44,112 - 44,143)^2} = 0,042$$

$$\sum_i \frac{1}{d_i} = \frac{1}{0,046} + \frac{1}{0,033} + \frac{1}{0,052} + \frac{1}{0,042} = 95$$

Si ha quindi, nel punto  $P$ :

$$a_g = \frac{1}{95} \cdot \left( \frac{1,887}{0,046} + \frac{1,799}{0,033} + \frac{1,991}{0,052} + \frac{1,995}{0,042} \right) = 1,91 \frac{g}{10} = 0,191 g$$

$$F_0 = \frac{1}{95} \cdot \left( \frac{2,38}{0,046} + \frac{2,49}{0,033} + \frac{2,37}{0,052} + \frac{2,36}{0,042} \right) = 2,41$$

$$T_C^* = 0,29 \text{ s}$$

E inoltre:

- coefficiente di amplificazione stratigrafica (tab. 3.2.V) →

$$S_S = 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \frac{a_g}{g} = 1,40 - 0,40 \cdot 2,41 \cdot 0,191 = 1,21 \rightarrow 1,20$$

- coefficiente di amplificazione topografica (tab. 3.2.VI) →  $S_T = 1,0$  da cui, per la (3.2.5):

$$S = S_S \cdot S_T = 1,20$$

- (3.2.7), tab. 3.2.V →

$$T_C = C_C T_C^* = 1,10 (T_C^*)^{-0,20} \cdot T_C^* = 1,10 \cdot 0,29^{-0,20} \cdot 0,29 = 0,41 \text{ s}$$

- (3.2.8) →  $T_B = T_C / 3 = 0,13 \text{ s}$
- (3.2.9) →  $T_D = 4,0 a_g / g + 1,6 = 4,0 \cdot 0,191 + 1,6 = 1,67 \text{ s}$

Supponendo infine un fattore di smorzamento  $\xi = 5\%$ , dalla (3.2.6) si ha  $\eta = 1$ .

<sup>(3)</sup> I quattro vertici della maglia si possono ricercare nell'Allegato B o, più semplicemente, all'indirizzo <http://esse1-gis.mi.ingv.it> gestito dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. ▶

Modulo 0 • Azione sismica sulle strutture

Riassumendo, per la costruzione in esame si ha:

- parametri sismici:  
 $a_g = 0,191 \text{ g} = 0,191 \cdot 9,81 = 1,87 \text{ m/s}^2$   
 $F_0 = 2,41$
- $S = 1,20$
- $\eta = 1$
- $T = 0,8 \text{ s}$
- $T_B = 0,13 \text{ s}; T_C = 0,39 \text{ s}; T_D = 1,67 \text{ s}$ .

Essendo:

$$T_C = 0,39 \text{ s} < T = 0,8 \text{ s} < T_D = 1,67 \text{ s}$$

- la componente orizzontale dello spettro elastico va calcolata con la terza delle (3.2.4). Si ottiene:

$$S_e(T) = a_g S \eta F_0 \left( \frac{T_C}{T} \right) = 0,191 \text{ g} \cdot 1,20 \cdot 2,41 \cdot \left( \frac{0,39}{0,80} \right) = 0,269 \text{ g} = 0,269 \cdot 9,81 = 2,64 \text{ m/s}^2$$

- la componente verticale va calcolata con la terza delle (3.2.10), dopo avere ricavato (tab. 3.2.VII) i valori  $S = 1$  e  $T_c = 0,15 \text{ s}$  e, dalla (3.2.11):

$$F_V = 1,35 \cdot F_0 \left( \frac{a_g}{g} \right)^{0,5} = 1,35 \cdot 2,41 \cdot 0,191^{0,5} = 1,42$$

Si ha:

$$S_{ev}(T) = a_g S \eta F_V \left( \frac{T_C}{T} \right) = 0,191 \text{ g} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,42 \cdot \left( \frac{0,15}{0,80} \right) = 0,05 \text{ g} = 0,50 \text{ m/s}^2$$

- il massimo spostamento orizzontale del suolo si determina con la (3.2.15), identica alla (O.6), e vale:

$$d_g = 0,025 a_g S T_C T_D = 0,025 \cdot 1,87 \cdot 1,21 \cdot 0,39 \cdot 1,67 = 0,037 \text{ m} = 3,7 \text{ cm}$$