

C.T.E. – COLLEGIO DEI TECNICI DELLA INDUSTRIALIZZAZIONE EDILIZIA

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI NUORO

CORSO DI AGGIORNAMENTO

**PROGETTAZIONE DELLE STRUTTURE
DI CALCESTRUZZO CON GLI EUROCODICI**

alla luce di

**Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni
Annessi Tecnici nazionali agli Eurocodici**

Nuoro, 17 - 24 settembre 2007

VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

SISMICITA' DEL TERRITORIO

Le azioni sismiche di progetto, con le quali valutare il rispetto dei diversi stati limite, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione.

La pericolosità sismica viene definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa (PGA - Pick Ground Acceleration = a_g) in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido (suolo di categoria **A**) con superficie topografica orizzontale, nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissati periodi di ritorno T_R .

L'attuale fonte di riferimento per i dati necessari all'elaborazione di queste forme spettrali è il sito dell'INGV - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - <http://esse1.mi.ingv.it/>.

Da tale sito è possibile ricavare i valori dell'accelerazione a_g per varie probabilità di eccedenza in 50 anni, corrispondenti a diversi periodi di ritorno T_R : 30, 50, 72, 101, 140, 201, 475, 975, 2475 anni. Inoltre, per gli stessi periodi di ritorno è possibile scaricare anche i dati relativi allo spettro $S_e(T)$ e cioè le accelerazioni per diversi periodi propri di vibrazione T : 0,10, 0,15, 0,20, 0,30, 0,40, 0,50, 0,75, 1,0, 1,5, 2,0 secondi. Per periodi di ritorno diversi da quelli sopra riportati bisogna applicare le opportune formule di interpolazione.

Tutto il territorio Nazionale è stato suddiviso mediante una griglia di calcolo (passo 0,05°, pari a circa 5,5 Km, in latitudine e longitudine) i cui punti vengono individuati da codici numerici (*ID*). Per ciascuno dei 16852 punti, ordinati da ovest ad est e da nord a sud, vengono forniti i valori medi (50° percentile) e quelli corrispondenti al 16° e al 84° percentile.

Come mostrato in Tab.1, per ogni punto vengono forniti i seguenti parametri:

| | |
|--------------------|---|
| <i>ID</i> | codice identificativo del punto della griglia di calcolo; |
| <i>lon</i> | longitudine espressa in gradi sessagesimali-decimali; |
| <i>lat</i> | latitudine espressa in gradi sessagesimali-decimali; |
| $\alpha_g = a_g/g$ | accelerazione massima del suolo espressa come frazione della accelerazione di gravità g per i tre percentili: |
| $\alpha_{g0,50}$ | accelerazione media; |
| $\alpha_{g0,84}$ | accelerazione al frattile 84 %; |
| $\alpha_{g0,16}$ | accelerazione al frattile 16 %; |

più le corrispondenti ordinate spettrali $\sigma_e(T) = S_e(T)/g$ per i diversi periodi propri di vibrazione.

Il frattile 50 % sarà preso come riferimento normalizzato $PGA = \alpha_g = \alpha_{g0,50}$ per rappresentare l'azione sismica di progetto.

In Fig.1 sono mostrati i valori di pericolosità sismica espressa in termini di accelerazione massima al suolo α_g con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, (corrispondente ad un periodo di ritorno di 475 anni) riferita a suoli rigidi (Categoria A).

| ID | lon | lat | $\alpha_{g0,50}$ | $\alpha_{g0,84}$ | $\alpha_{g0,16}$ |
|------|---------|---------|------------------|------------------|------------------|
| 5420 | 12.0991 | 47.0771 | 0.0894 | 0.1066 | 0.0262 |
| 5421 | 12.1723 | 47.0779 | 0.0909 | 0.1082 | 0.0287 |
| 5640 | 11.9542 | 47.0254 | 0.0893 | 0.1070 | 0.0261 |
| 5641 | 12.0273 | 47.0262 | 0.0910 | 0.1087 | 0.0288 |
| 5642 | 12.1003 | 47.0271 | 0.0928 | 0.1104 | 0.0316 |
| 5643 | 12.1735 | 47.0279 | 0.0947 | 0.1122 | 0.0342 |
| 5852 | 11.2254 | 46.9641 | 0.0812 | 0.1002 | 0.0000 |

Tab.1 – Esempio di file di dati scaricati dal sito dell'INGV <http://esse1.mi.ingv.it/>

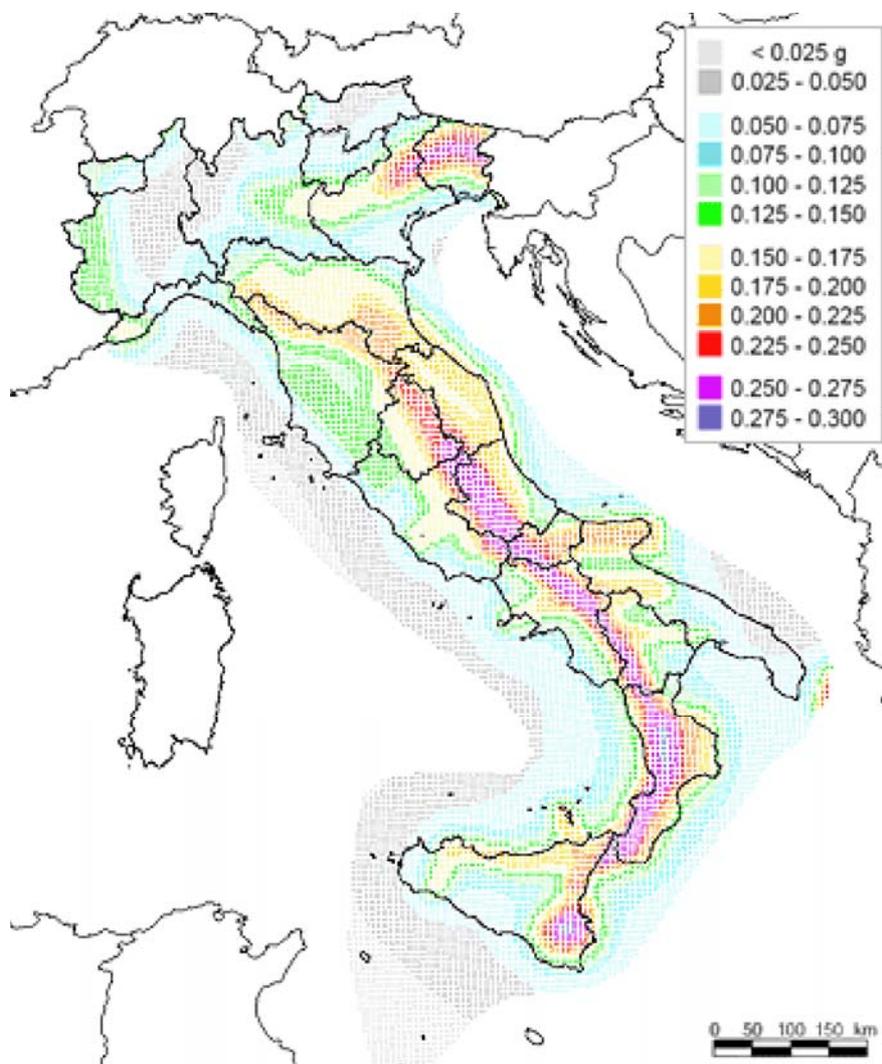


Fig. 1 – Pericolosità sismica - $PGA=\alpha_{g0,50}$ con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni

In fig.2 sono rappresentati alcuni spettri di risposta presi a campione su tutta l'Italia, con valori di α_g via via crescenti.

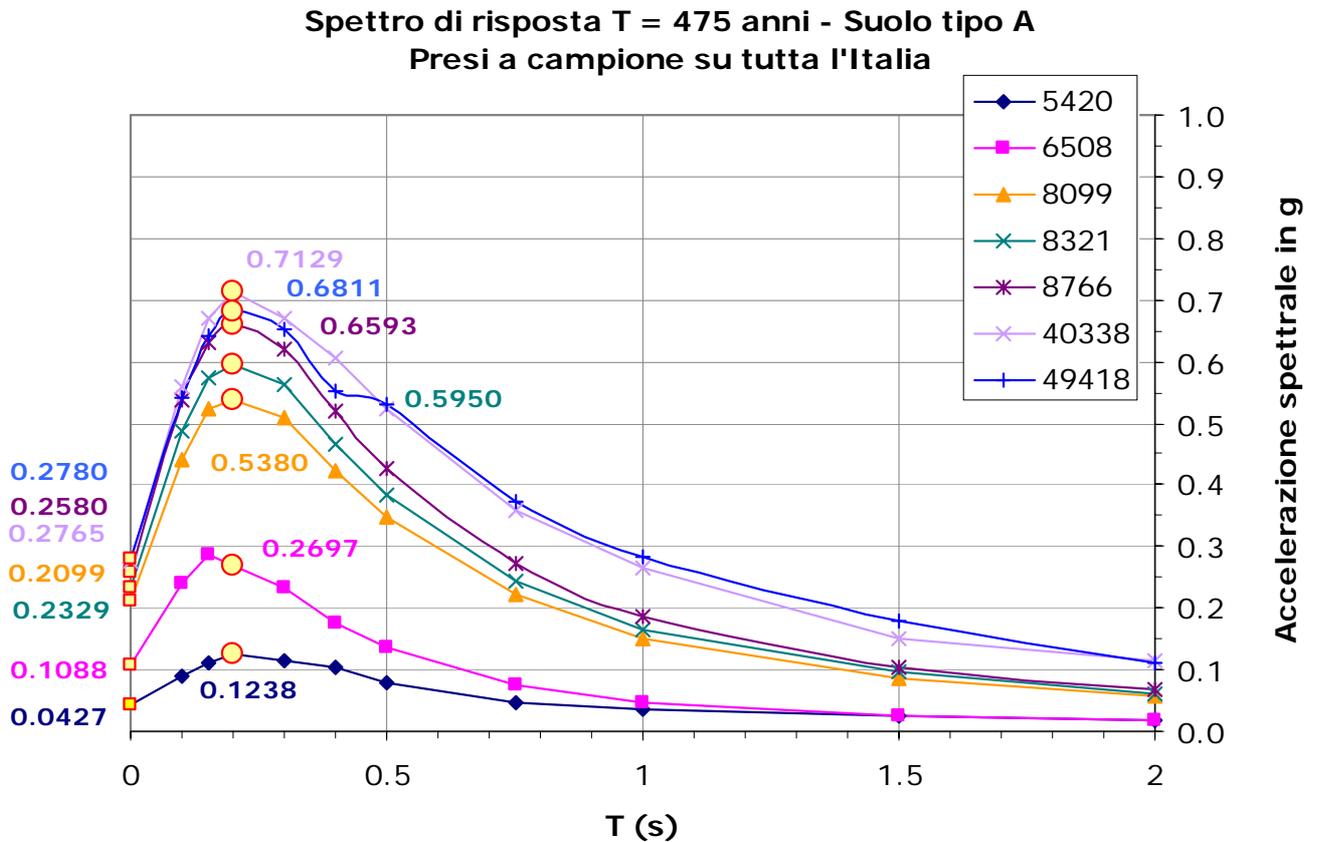


Fig. 2 – Spettri di risposta $T_R = 475$ anni – Suolo di tipo A

AZIONE SISMICA DI PROGETTO

Ai fini delle nuove Norme Tecniche le forme spettrali vengono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento P_V nel periodo normalizzato $V=50$ anni di osservazione, a partire dai valori dei seguenti parametri:

- $\alpha_g = a_g/g$ accelerazione orizzontale massima in superficie;
- $\sigma_{emax} = S_{emax}/g$ risposta spettrale massima in accelerazione;
- $\sigma_{e1} = S_{Vemax}/g$ risposta spettrale massima in velocità.

dove in particolare quest'ultimo parametro discende dalla risposta spettrale massima in accelerazione secondo la formula;

$$S_{Vemax} = \max \left\{ \frac{S_e(T)T}{2\pi} \right\}$$

Le azioni sismiche sono assunte con riferimento a due diversi stati limite:

- *Stato limite di immediato utilizzo o di Danno – SLD*: a cui è associata una probabilità di superamento $P_V = 10\%$ nel periodo di riferimento $V = 10$ anni;
- *Stato limite di non collasso o ultimo – SLU*: a cui è associata una probabilità di superamento $P_V = 10\%$ nel periodo di riferimento $V = 50$ anni.

Per lo stato limite di danno SLD e per lo stato limite ultimo SLU sono richieste verifiche rispettivamente di deformazione e di resistenza.

Si distinguono poi quattro classi di importanza:

CLASSE I costruzioni con presenza occasionale di persone;

CLASSE II costruzioni con normali affollamenti

CLASSE III costruzioni con affollamenti significativi

CLASSE IV costruzioni importanti per la protezione civile

alle quali si associano livelli di sicurezza differenziati tramite probabilità di superamento P_V opportunamente scalate.

Si ricorda il legame

$$T_R = -\frac{V}{\ln(1 - P_V)}$$

fornito dalla Teoria dei massimi per le tre grandezze probabilistiche in gioco.

A titolo esemplificativo si riportano in Tab.2 alcuni periodi di ritorno riferiti a diverse probabilità di superamento P_V in 10 ed in 50 anni cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente rispettivamente nei due stati limite SLD e SLU e per ciascuna delle classi di importanza considerate.

| Classe di importanza | | SLD | SLU |
|-------------------------|-------|-------|-------|
| | P_V | T_R | T_R |
| I | 22 | 34 | 201 |
| II | 10 | 95 | 475 |
| III | 5 | 195 | 975 |
| IV | 2,5 | 395 | 1975 |

Tab.2 – Probabilità di superamento in % e periodi di ritorno in anni

Il segnale sismico subisce modifiche a causa delle caratteristiche stratigrafiche e topografiche del terreno. Tali modifiche, rapportate alla risposta su sito di riferimento rigido

(categoria A), costituiscono la risposta sismica locale. Le tipologie di sottosuolo localmente definite sono raggruppate in 5 categorie:

- Categoria A - *litoidi rigidi* (di riferimento)
- Categoria B - *depositi molto consistenti*
- Categoria C - *depositi di media consistenza*
- Categoria D - *depositi poco consistenti*
- Categoria E - *alluvionali su substrato rigido*

Il modello normalizzato dello spettro di risposta elastico in accelerazione, riferito allo smorzamento convenzionale del 5%, è espresso da una forma spettrale \bar{S} moltiplicata per l'accelerazione a_g che caratterizza il sito.

$$S_e(T) = a_g \bar{S}(T)$$

Indipendentemente dalla probabilità di superamento considerata, lo spettro di risposta elastico normalizzato della componente orizzontale è definito dunque dalle espressioni seguenti:

$$0 \leq T < T_B \quad \bar{S}_e(T) = S \left[1 + (F_0 - 1) \frac{T}{T_B} \right]$$

$$T_B \leq T \leq T_C \quad \bar{S}_e(T) = S F_0$$

$$T_C \leq T \leq T_D \quad \bar{S}_e(T) = S F_0 \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad \bar{S}_e(T) = S F_0 \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

dove in particolare, per smorzamenti viscosi maggiori del 5 %, si moltiplica F_0 per un coefficiente η minore di 1.

I parametri presenti in queste espressioni sono qui di seguito definiti.

- S è il coefficiente stratigrafico quantificato in base alla categoria di suolo con la relazione:

$$S = a - b\sigma_{e\max}$$

con

| | suolo A | suolo B | suolo C | suolo D | suolo E |
|----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| a | 1,00 | 1,40 | 1,70 | 1,90 | 1,50 |
| b | 0,00 | 0,40 | 0,60 | 0,75 | 0,10 |

Entro i limiti

$$S_{\min} \leq S \leq S_{\max}$$

dove si ha:

| | suolo A | suolo B | suolo C | suolo D | suolo E |
|------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| S_{\min} | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,90 | 1,00 |
| S_{\max} | 1,00 | 1,20 | 1,50 | 1,80 | 1,60 |

Per siti ubicati in particolari posizioni (per es. in cresta) S può essere moltiplicato per un apposito coefficiente topografico maggiore di 1.

- F_0 è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, in termini di rapporto

$$F_0 = \sigma_{\max} / \alpha_g$$

- T_B è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante, determinato mediante la relazione:

$$T_B = T_C/4$$

- T_C è il periodo corrispondente alla fine del tratto dello spettro ad accelerazione costante determinato mediante la relazione:

$$T_C = C_C \sigma_{e1} / \sigma_{\max}$$

nella quale si ha

$$C_C = c \left(\frac{\sigma_{e1}}{\sigma_{\max}} \right)^d$$

con

| | suolo A | suolo B | suolo C | suolo D | suolo E |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|
| c | 2π | 4,79 | 3,60 | 3,13 | 3,46 |
| d | 0 | 0,20 | 0,33 | 0,50 | 0,40 |

- T_D è il periodo corrispondente all'inizio dell'ultimo tratto dello spettro determinato mediante la relazione:

$$T_D = 4,0 \alpha_g + 1,6$$

In fig.3 si mostra come, sulla base delle formule qui esposte e dei dati presi dal sito dell'INGV, sia possibile ricavare lo spettro di risposta normalizzato per suolo di categoria A

da utilizzarsi nel territorio comunale correlato, in base alle sue coordinate geografiche, ad uno specifico punto della griglia di mappatura.

In Fig. 4 infine lo stesso spettro normalizzato è affiancato con quelli delle altre categorie di suolo B, C, D e E.

Spettro di risposta T = 475 anni

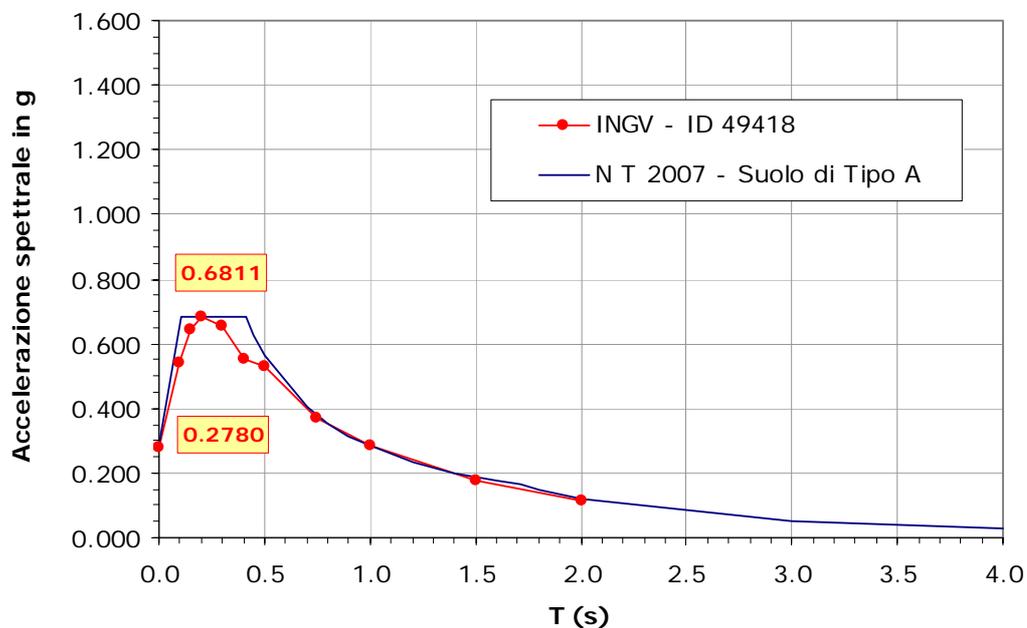


Fig. 3 – Spettri di risposta rilevato e normalizzato

Spettro di risposta T = 475 anni

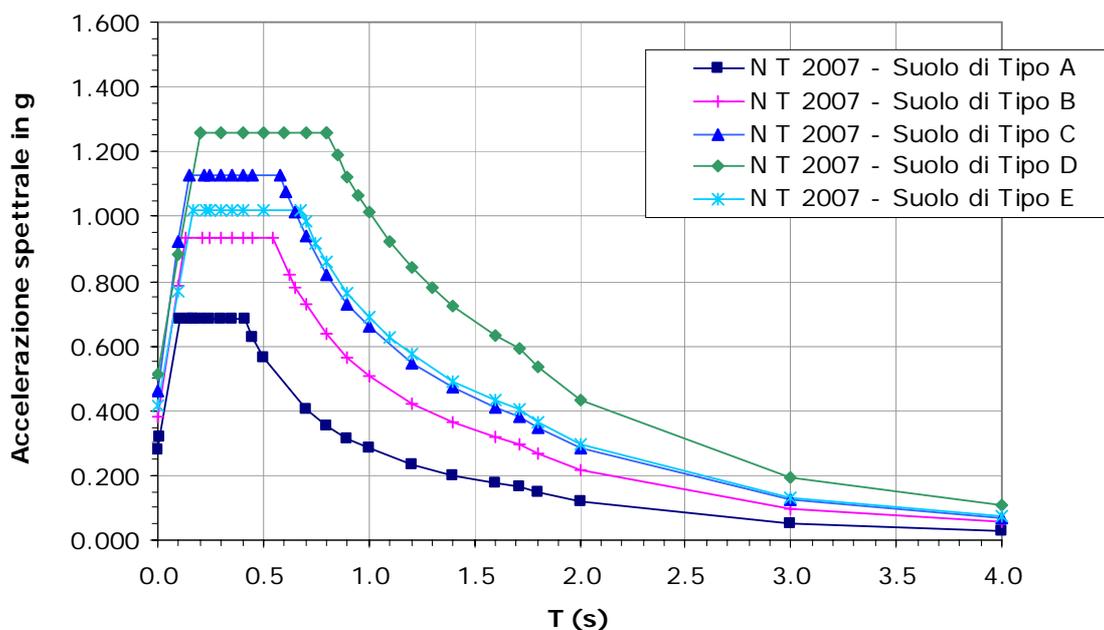


Fig. 4 – Spettri di risposta per le 5 categorie di suolo

ESEMPIO APPLICATIVO

Il dettaglio dei valori dei parametri sismici rilevati e calcolati, con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (corrispondente ad un periodo di ritorno di 475 anni), è mostra per i capoluoghi di provincia della Toscana in Tab.3.

| | a_g | $S_e(T) \max$ | $S_e(T_{Vmax})^*$ | | S_s | S | η | C_c | F_o | T_B | T_C | T_D |
|-----------------|--------|---------------|-------------------|----------|-----------|----------|--------|----------|----------|----------|----------|----------|
| AREZZO | 0.1653 | 0.4239 | 0.0196079 | A | 1 | 1 | 1 | 6.283185 | 2.564428 | 0.072659 | 0.290635 | 1.667469 |
| | 0.1653 | 0.4239 | 0.0196 | B | 1.2 | 1.2 | 1 | 8.857314 | 2.564428 | 0.102426 | 0.409703 | 1.667469 |
| | 0.1653 | 0.4239 | 0.0196 | C | 1.5 | 1.5 | 1 | 9.926525 | 2.564428 | 0.114799 | 0.459161 | 1.667469 |
| | 0.1653 | 0.4239 | 0.0196 | D | 1.8 | 1.8 | 1 | 14.55327 | 2.564428 | 0.168294 | 0.673175 | 1.667469 |
| | 0.1653 | 0.4239 | 0.0196 | E | 1.4956789 | 1.495679 | 1 | 11.83066 | 2.564428 | 0.13681 | 0.547238 | 1.667469 |
| FIRENZE | 0.1302 | 0.3326 | 0.0155972 | A | 1 | 1 | 1 | 6.283185 | 2.554531 | 0.073662 | 0.294648 | 1.653143 |
| | 0.1302 | 0.3326 | 0.0156 | B | 1.2 | 1.2 | 1 | 8.833051 | 2.554531 | 0.103556 | 0.414223 | 1.653143 |
| | 0.1302 | 0.3326 | 0.0156 | C | 1.5 | 1.5 | 1 | 9.881698 | 2.554531 | 0.11585 | 0.463399 | 1.653143 |
| | 0.1302 | 0.3326 | 0.0156 | D | 1.8 | 1.8 | 1 | 14.45381 | 2.554531 | 0.169452 | 0.677807 | 1.653143 |
| | 0.1302 | 0.3326 | 0.0156 | E | 1.4966096 | 1.49661 | 1 | 11.76594 | 2.554531 | 0.13794 | 0.55176 | 1.653143 |
| GROSSETO | 0.0647 | 0.1966 | 0.0089063 | A | 1 | 1 | 1 | 6.283185 | 3.03864 | 0.07116 | 0.284639 | 1.626408 |
| | 0.0647 | 0.1966 | 0.0089 | B | 1.2 | 1.2 | 1 | 8.894318 | 3.03864 | 0.100732 | 0.402928 | 1.626408 |
| | 0.0647 | 0.1966 | 0.0089 | C | 1.5 | 1.5 | 1 | 9.995045 | 3.03864 | 0.113198 | 0.452792 | 1.626408 |
| | 0.0647 | 0.1966 | 0.0089 | D | 1.8 | 1.8 | 1 | 14.70575 | 3.03864 | 0.166549 | 0.666195 | 1.626408 |
| | 0.0647 | 0.1966 | 0.0089 | E | 1.4979959 | 1.497996 | 1 | 11.92972 | 3.03864 | 0.135109 | 0.540437 | 1.626408 |
| LIVORNO | 0.1209 | 0.3167 | 0.0132672 | A | 1 | 1 | 1 | 6.283185 | 2.61952 | 0.065804 | 0.263214 | 1.649347 |
| | 0.1209 | 0.3167 | 0.0133 | B | 1.2 | 1.2 | 1 | 9.034613 | 2.61952 | 0.094619 | 0.378477 | 1.649347 |
| | 0.1209 | 0.3167 | 0.0133 | C | 1.5 | 1.5 | 1 | 10.25651 | 2.61952 | 0.107416 | 0.429664 | 1.649347 |
| | 0.1209 | 0.3167 | 0.0133 | D | 1.8 | 1.8 | 1 | 15.29253 | 2.61952 | 0.160158 | 0.640633 | 1.649347 |
| | 0.1209 | 0.3167 | 0.0133 | E | 1.4967717 | 1.496772 | 1 | 12.30904 | 2.61952 | 0.128912 | 0.515649 | 1.649347 |
| LUCCA | 0.1289 | 0.3258 | 0.0148969 | A | 1 | 1 | 1 | 6.283185 | 2.527541 | 0.071823 | 0.287293 | 1.652612 |
| | 0.1289 | 0.3258 | 0.0149 | B | 1.2 | 1.2 | 1 | 8.877824 | 2.527541 | 0.101483 | 0.40593 | 1.652612 |
| | 0.1289 | 0.3258 | 0.0149 | C | 1.5 | 1.5 | 1 | 9.964481 | 2.527541 | 0.113904 | 0.455617 | 1.652612 |
| | 0.1289 | 0.3258 | 0.0149 | D | 1.8 | 1.8 | 1 | 14.63767 | 2.527541 | 0.167323 | 0.669294 | 1.652612 |
| | 0.1289 | 0.3258 | 0.0149 | E | 1.4966789 | 1.496679 | 1 | 11.88552 | 2.527541 | 0.135864 | 0.543454 | 1.652612 |
| MASSA | 0.1316 | 0.3406 | 0.0155208 | A | 1 | 1 | 1 | 6.283185 | 2.588146 | 0.07158 | 0.286318 | 1.653714 |
| | 0.1316 | 0.3406 | 0.0155 | B | 1.2 | 1.2 | 1 | 8.883859 | 2.588146 | 0.101207 | 0.404828 | 1.653714 |
| | 0.1316 | 0.3406 | 0.0155 | C | 1.5 | 1.5 | 1 | 9.975661 | 2.588146 | 0.113645 | 0.454581 | 1.653714 |
| | 0.1316 | 0.3406 | 0.0155 | D | 1.8 | 1.8 | 1 | 14.66256 | 2.588146 | 0.167039 | 0.668158 | 1.653714 |
| | 0.1316 | 0.3406 | 0.0155 | E | 1.496528 | 1.496528 | 1 | 11.90168 | 2.588146 | 0.135587 | 0.542347 | 1.653714 |
| PISA | 0.1177 | 0.311 | 0.0135664 | A | 1 | 1 | 1 | 6.283185 | 2.642311 | 0.068521 | 0.274084 | 1.648041 |
| | 0.1177 | 0.3110 | 0.0136 | B | 1.2 | 1.2 | 1 | 8.961792 | 2.642311 | 0.097732 | 0.390929 | 1.648041 |
| | 0.1177 | 0.3110 | 0.0136 | C | 1.5 | 1.5 | 1 | 10.12046 | 2.642311 | 0.110368 | 0.441472 | 1.648041 |
| | 0.1177 | 0.3110 | 0.0136 | D | 1.8 | 1.8 | 1 | 14.98624 | 2.642311 | 0.163432 | 0.653726 | 1.648041 |
| | 0.1177 | 0.3110 | 0.0136 | E | 1.4968298 | 1.49683 | 1 | 12.11141 | 2.642311 | 0.13208 | 0.528321 | 1.648041 |
| PISTOIA | 0.1465 | 0.3744 | 0.0174752 | A | 1 | 1 | 1 | 6.283185 | 2.555631 | 0.073317 | 0.293269 | 1.659796 |
| | 0.1465 | 0.3744 | 0.0175 | B | 1.2 | 1.2 | 1 | 8.841342 | 2.555631 | 0.103168 | 0.412672 | 1.659796 |
| | 0.1465 | 0.3744 | 0.0175 | C | 1.5 | 1.5 | 1 | 9.897008 | 2.555631 | 0.115486 | 0.461945 | 1.659796 |
| | 0.1465 | 0.3744 | 0.0175 | D | 1.8 | 1.8 | 1 | 14.48775 | 2.555631 | 0.169055 | 0.676219 | 1.659796 |
| | 0.1465 | 0.3744 | 0.0175 | E | 1.4961835 | 1.496183 | 1 | 11.78804 | 2.555631 | 0.137552 | 0.550209 | 1.659796 |
| PRATO | 0.1341 | 0.349 | 0.016393 | A | 1 | 1 | 1 | 6.283185 | 2.602535 | 0.073782 | 0.295129 | 1.654735 |
| | 0.1341 | 0.3490 | 0.0164 | B | 1.2 | 1.2 | 1 | 8.830171 | 2.602535 | 0.103691 | 0.414764 | 1.654735 |
| | 0.1341 | 0.3490 | 0.0164 | C | 1.5 | 1.5 | 1 | 9.876384 | 2.602535 | 0.115976 | 0.463906 | 1.654735 |
| | 0.1341 | 0.3490 | 0.0164 | D | 1.8 | 1.8 | 1 | 14.44203 | 2.602535 | 0.16959 | 0.67836 | 1.654735 |
| | 0.1341 | 0.3490 | 0.0164 | E | 1.4964424 | 1.496442 | 1 | 11.75827 | 2.602535 | 0.138075 | 0.5523 | 1.654735 |
| SIENA | 0.139 | 0.376 | 0.0163038 | A | 1 | 1 | 1 | 6.283185 | 2.705036 | 0.068112 | 0.272447 | 1.656735 |
| | 0.1390 | 0.3760 | 0.0163 | B | 1.2 | 1.2 | 1 | 8.972535 | 2.705036 | 0.097265 | 0.38906 | 1.656735 |
| | 0.1390 | 0.3760 | 0.0163 | C | 1.5 | 1.5 | 1 | 10.14049 | 2.705036 | 0.109926 | 0.439704 | 1.656735 |
| | 0.1390 | 0.3760 | 0.0163 | D | 1.8 | 1.8 | 1 | 15.03119 | 2.705036 | 0.162943 | 0.651771 | 1.656735 |
| | 0.1390 | 0.3760 | 0.0163 | E | 1.4961672 | 1.496167 | 1 | 12.14047 | 2.705036 | 0.131606 | 0.526426 | 1.656735 |

Tab.3 – Parametri per il calcolo degli spettri di risposta elastici

In Fig. 5 sono riportati gli spettri di risposta rilevati dai quali si sono dedotti i dati della tabella.

In Fig. 6 è riportata infine la pianta della Toscana con indicato il reticolo della mappatura INGV assieme ai relativi gradi di sismicità:

Spettro di risposta T = 475 anni - Suolo tipo A
Province Toscane

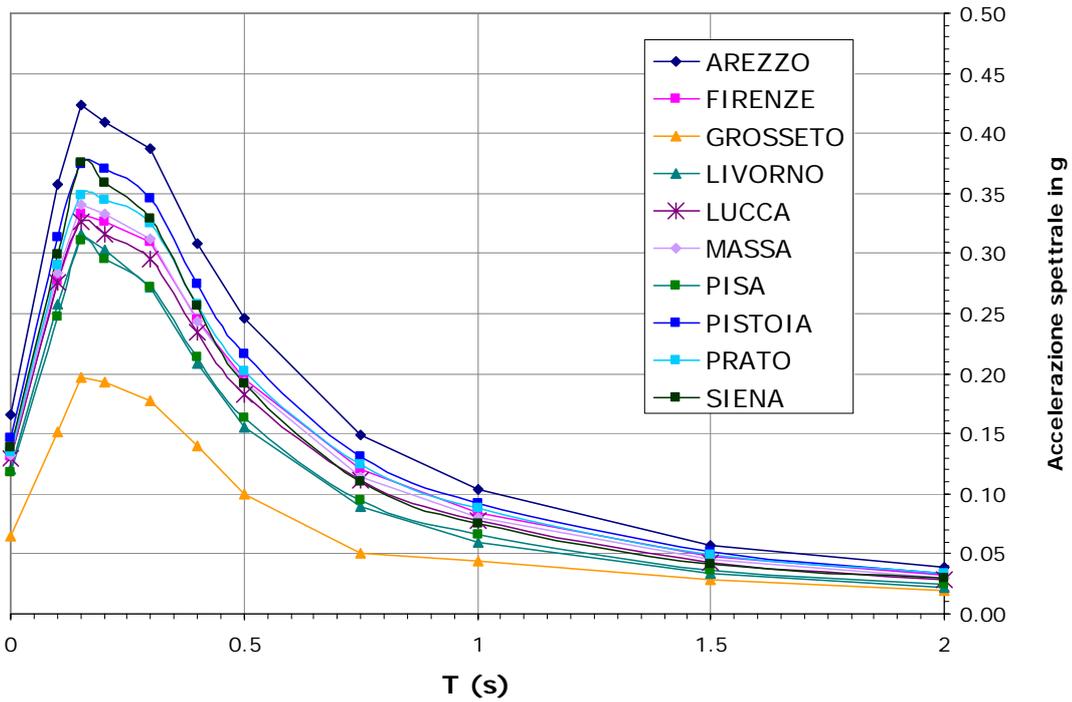


Fig.5 - Curve spettrali rilevate per i capoluoghi Toscani per $T_R=475$ anni

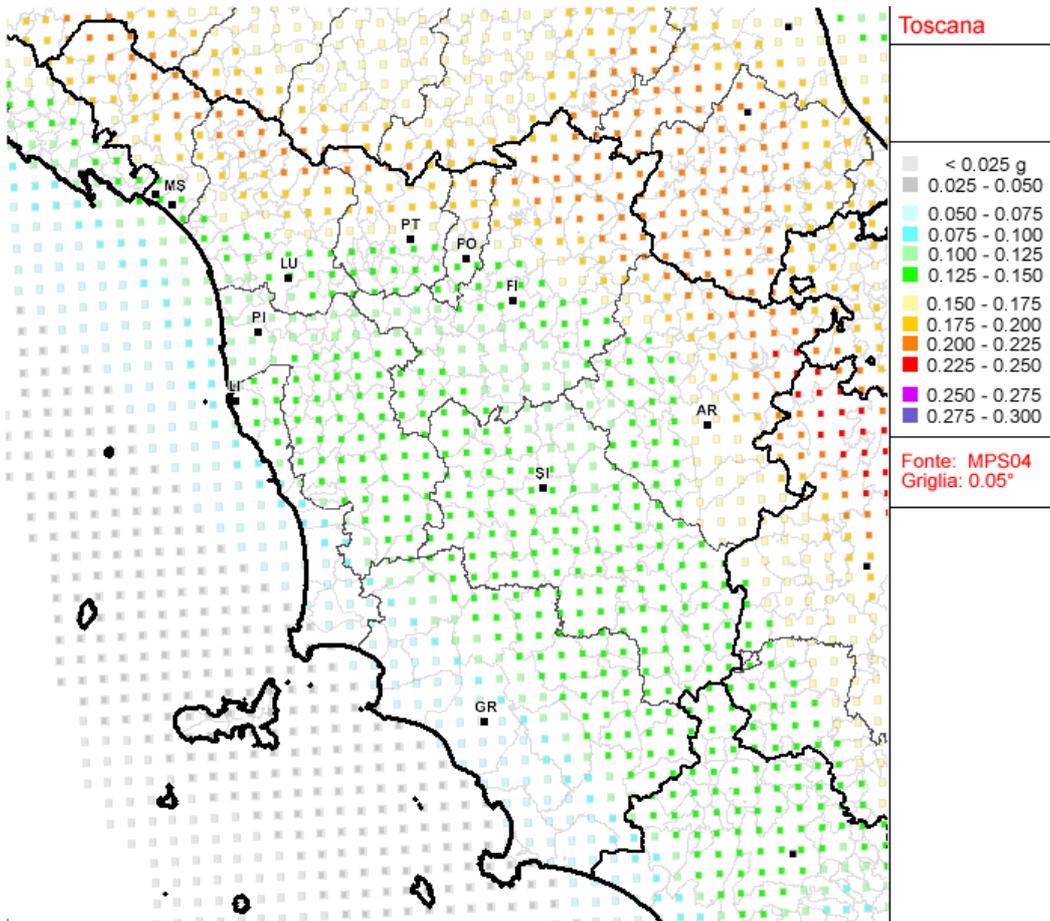


Fig. 6 – Pericolosità sismica della Toscana - α_g con probabilità P_V del 10% in 50 anni