



**Dipartimento di Ingegneria Strutturale  
Politecnico di Milano**

*Piazza Leonardo Da Vinci, 32 - 20133 Milano*

**Incarico dalla Società Methodo s.r.l.  
al Dipartimento di Ingegneria Strutturale**

**Valutazione della risposta sismica locale  
del sito Passo Varano  
(Edificio C.A.P.I.)**

Floriana Pergalani

Massimo Compagnoni

**Milano, Maggio 2006**

## INDICE

1. PREMESSA .....	3
2. INDIVIDUAZIONE DEL MOTO DI INPUT .....	3
3. MODELAZIONE DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE .....	5
3.1. Dati di input .....	5
3.2. Codice di calcolo .....	8
3.3. Risultati .....	9
3.4. Confronto con eventi registrati .....	18

## 1. PREMESSA

La presente relazione costituisce la sintesi del lavoro svolto dal Dipartimento di Ingegneria Strutturale del Politecnico di Milano nell'ambito dell'incarico affidato dalla Società Methodo s.r.l., che prevede l'individuazione del moto sismico di riferimento per il Comune di Ancona e la modellazione della risposta sismica locale nel sito ove è ubicato l'edificio in esame.

Lo studio è stato articolato in due distinte fasi:

- individuazione del moto sismico di riferimento attraverso un'analisi di pericolosità probabilistica;
- modellazione della risposta sismica locale, intesa come valutazione delle variazioni nel segnale sismico di eventi risentiti al sito di analisi, dovute alle particolari caratteristiche litologiche dell'area.

## 2. INDIVIDUAZIONE DEL MOTO DI INPUT

Al fine di effettuare la modellazione numerica per la valutazione degli effetti di sito, è necessario avere a disposizione accelerogrammi e spettri di risposta, da utilizzare come input sismici nella modellazione stessa.

A tal fine è stato seguito un percorso che ha portato all'individuazione di tali accelerogrammi e spettri di risposta.

Per ottenere questi risultati ci si è basati sulla procedura utilizzata per la determinazione della mappa di pericolosità sismica (Gruppo di lavoro, 2004)<sup>1</sup>, seguendo lo stesso albero logico, a meno dei rami che utilizzano come leggi di attenuazione quelle regionali proposte da Malagnini<sup>2,3</sup>, in quanto non prevedono come dati di output le ordinate spettrali degli spettri di risposta.

I valori delle ordinate spettrali, ricavati mediando i rispettivi valori di output ottenuti dall'applicazione dei rami che prevedono l'utilizzo delle leggi di attenuazione di Sabetta-Pugliese<sup>4</sup> e di Ambraseys<sup>5,6</sup> sono stati normalizzati al rispettivo valore di  $a_{max}$  ottenuto invece dalla combinazione di tutti i rami dell'albero logico, scalando di conseguenza tutto lo spettro.

Tale procedimento è stato seguito relativamente a diversi periodi di ritorno, precisamente per valori pari a 140 e 974 corrispondenti a diverse probabilità di eccedenza quali: 30% e 5% in 50 anni.

I periodi di ritorno scelti sono quelli previsti dalle Norme Tecniche per le Costruzioni, di cui al DM del 14 settembre 2005, previsti per gli edifici di classe 2.

Considerando tali spettri come target, sono stati generati gli accelerogrammi artificiali, compatibili con lo spettro, utilizzando la procedura di Sabetta-Pugliese: tale

---

<sup>1</sup> Gruppo di Lavoro 2004 - *Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003*. Rapporto conclusivo per il Dipartimento di Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, pp 65 + 5 appendici, aprile 2004.

<sup>2</sup> Malagnini L., Herrmann R.B., Di Bona M. - Ground motion scaling in the Apennines (Italy). *Bull. Seism. Soc. Am.*, 90, 4, pp 1062-1081, 2000.

<sup>3</sup> Malagnini L., Akinci A., Herrmann R.B., Pino N.A., Scognamiglio L., Characteristics of the ground motion in northeastern Italy. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 92, 6, pp 2186-2204, 2002.

<sup>4</sup> Sabetta, F., Pugliese, A., Estimation of response spectra and simulation of nonstationary earthquake ground motion. *Bull. Seism. Soc. Am.*, vol. 86, N° 2, pp 337-352, 1996.

<sup>5</sup> Ambraseys N.N., Srbulov M., Earthquake induced displacement of slopes. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 14, pp 59-71, 1995.

<sup>6</sup> Ambraseys N.N., Simpson K.A., Bommer J.J., Prediction of horizontal response spectra in Europe. *Earth. Eng. Struct. Dyn.* 25, pp 371-400, 1996.

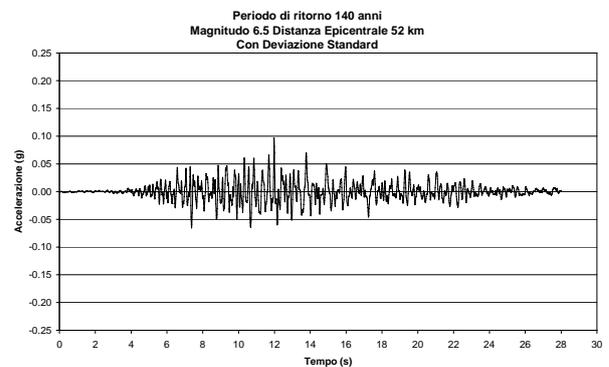
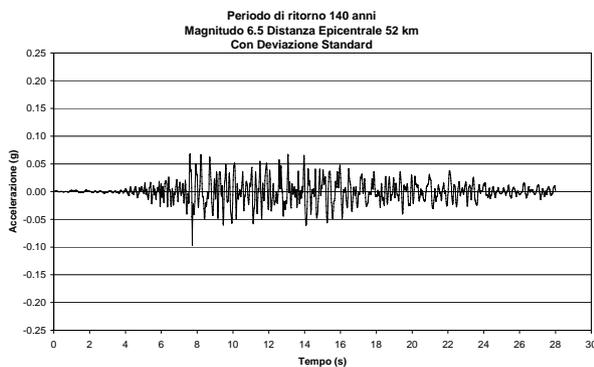
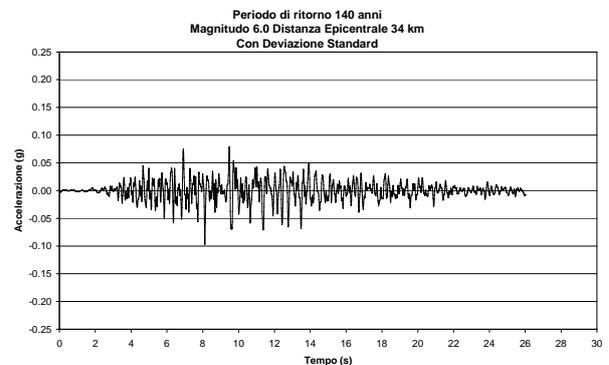
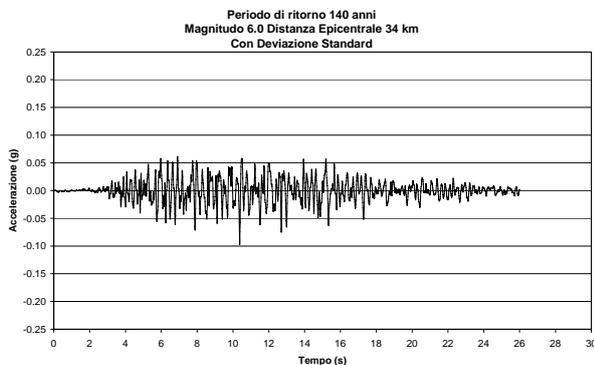
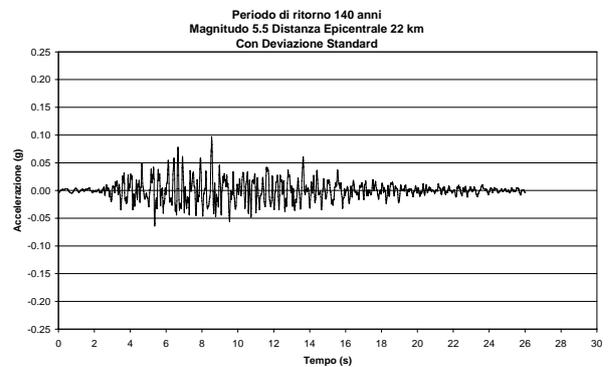
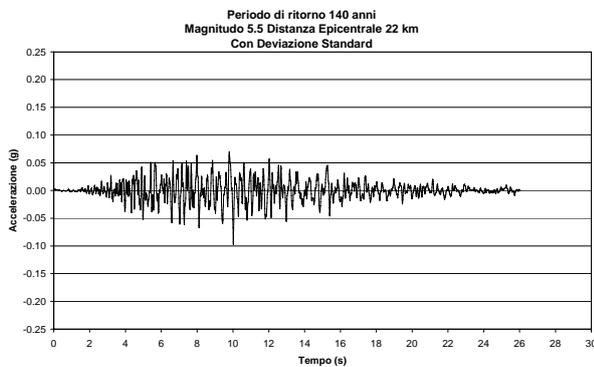
procedura richiede i valori dell'intensità di Arias<sup>7</sup> e della durata della fase significativa dell'accelerogramma. Per ottenere questi parametri si è utilizzata la legge di attenuazione di Sabetta-Pugliese scegliendo coppie di valori magnitudo-distanza compatibili con il valore di  $a_{max}$  atteso.

Gli accelerogrammi così ricavati sono stati ulteriormente elaborati per renderli maggiormente compatibili con lo spettro di target.

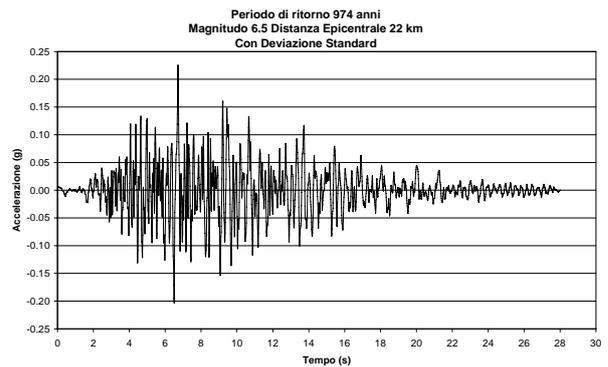
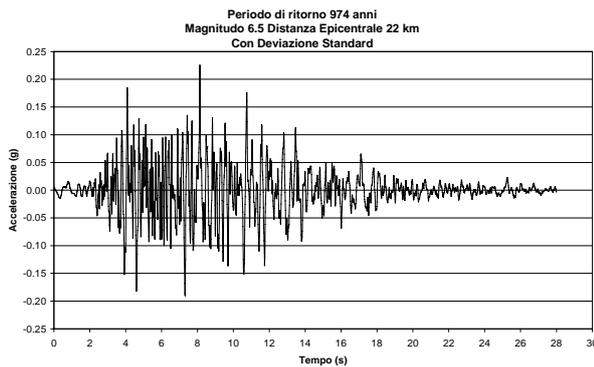
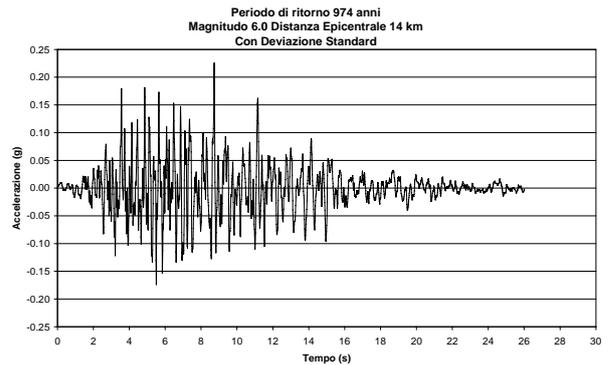
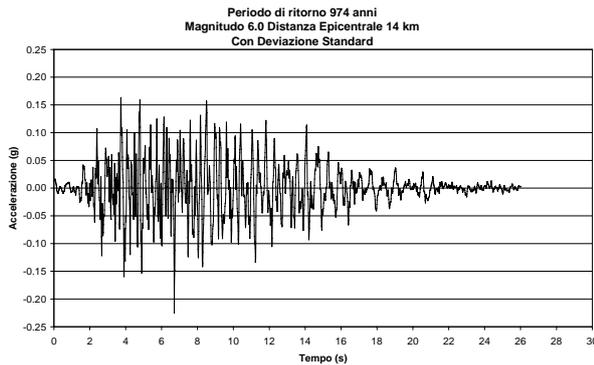
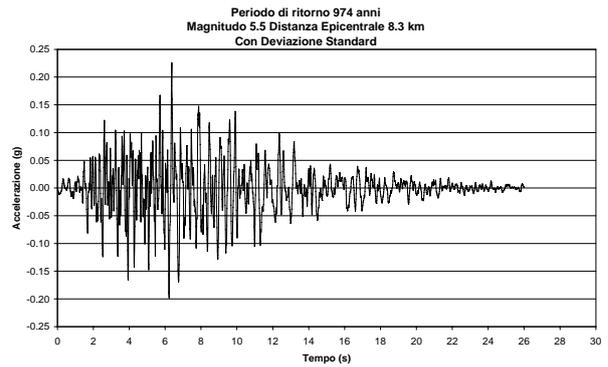
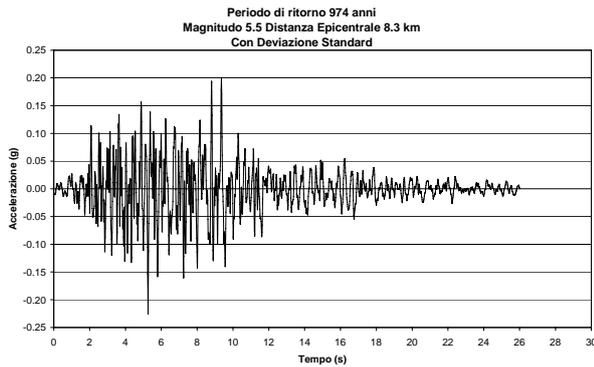
Per ogni spettro, sono stati generati 6 accelerogrammi, utilizzando la legge di attenuazione con deviazione standard. Gli accelerogrammi si distinguono per il variare della coppia di valori magnitudo-distanza, ottenuti con due distinte generazioni.

Gli accelerogrammi calcolati risultano conformi con quanto riportato nelle Norme Tecniche per le Costruzioni (DM 14-9-2005): infatti al punto 3.2.2.7 si riporta che nel caso si effettuino analisi dinamiche con accelerogrammi artificiali, questi dovranno essere almeno in numero pari a 3 ed avere la durata della parte pseudo-stazionaria pari ad almeno 10 s.

Di seguito si riportano gli accelerogrammi generati ed utilizzati come input nell'analisi di risposta sismica locale.



<sup>7</sup>Arias A., *A measure of earthquake intensity, Seismic design for nuclear power plants*, R.J.Hansen ed., Massachusetts Institute of Technology, 1970.



### 3. MODELAZIONE DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE

#### 3.1. Dati di input

Al fine di effettuare la modellazione per la valutazione degli effetti locali sono state reperite tutte le informazioni utili e necessarie dai rapporti tecnici sulle indagini geognostiche e geofisiche eseguite nell'area dalla Società Methodo s.r.l. - Dr. Geol. Anibaldi<sup>8</sup> e dalla relazione conclusiva sui risultati ed interpretazioni delle prove di laboratorio eseguite dal Dipartimento di Ingegneria Civile – Sezione Geotecnica Università degli Studi di Firenze<sup>9</sup>.

In particolare:

- la stratigrafia è stata ricostruita mediante 3 sondaggi a carotaggio continuo della profondità rispettivamente di 12.5 m, 30.0 m e 17.0 m,

<sup>8</sup> Methodo s.r.l. "Indagini geognostiche e geofisiche eseguite nei dintorni dell'edificio della Protezione Civile di Ancona in località Passo Varano (AN) – Marzo 2006

<sup>9</sup> Madaia C. "Relazione finale: risultati ed interpretazione delle prove di laboratorio" Università degli Studi di Firenze- Dipartimento di Ingegneria Civile Sezione Geotecnica – Maggio 2006

- le proprietà geofisiche sono state valutate sulla base dei risultati ottenuti da indagine di sismica a rifrazione (n.1 stendimento di lunghezza 115 m) e da indagine di sismica in foro (prova di Down hole effettuata nel sondaggio S2 di profondità 30 m),
- le proprietà geotecniche sono state valutate tramite prove SPT in foro di sondaggio, n. 1 prova CPT (profondità 10 m), prelievo di n. 5 campioni ed analisi di laboratorio su 2 campioni indisturbati ritenuti più significativi.

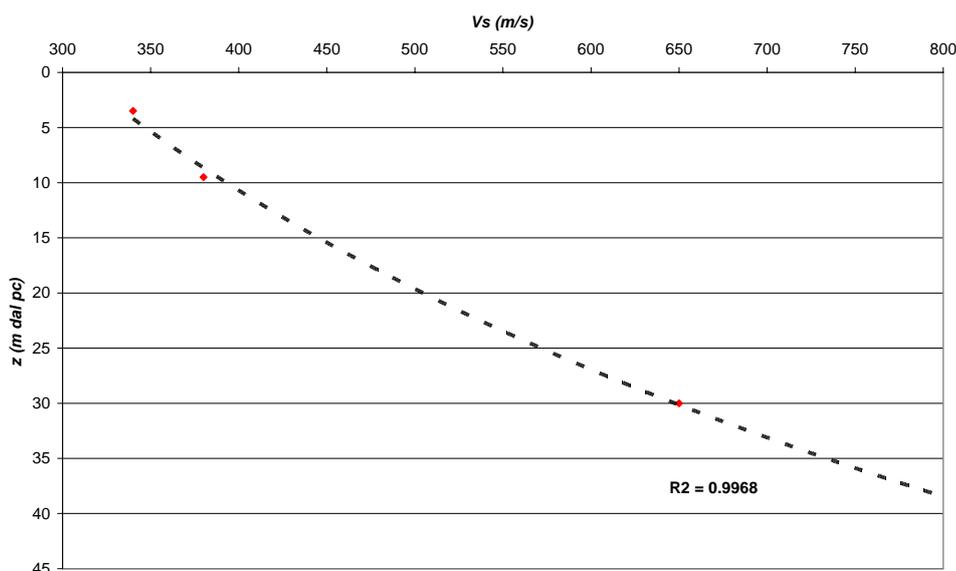
L'analisi dei dati sopra riportati ha permesso la ricostruzione di 5 modelli geofisici, rappresentativi dell'area oggetto d'indagine: 2 modelli sono rappresentativi dell'area interessata dall'edificio da adeguare con sistemi dissipativi gli altri dell'area interessata dall'edificio di nuova realizzazione con isolamento alla base.

Tutti i modelli individuati si riferiscono al piano di posa delle fondazioni così come desunte dalle informazioni progettuali.

Unità geofisiche	Edificio da adeguare		Edificio di nuova realizzazione		
	Spessori Modello 1	Spessori Modello 2	Spessori Modello 3	Spessori Modello 4	Spessori Modello 5
1	7.0 m	5.0 m	5.0 m	5.0 m	5.0 m
2	-	-	2.5 m	-	2.5 m
3	4.0 m	4.0 m	6.0 m	8.0 m	26.0 m

I modelli 1, 2, 3 e 4 derivano dall'interpretazione delle sezioni geofisiche ottenute dalle indagini di sismica a rifrazione, mentre il modello 5 deriva dall'interpretazione della prova down-hole: in quest'ultimo caso, non essendo stato rilevato direttamente il substrato geofisico, questo è stato ipotizzato ad una profondità di 38 m assegnando un gradiente delle velocità delle onde S ( $V_s$ ) con la profondità ( $z$ ) di tipo logaritmico desunto dai dati misurati nella prova.

Nella figura seguente si riporta il gradiente  $V_s$ - $z$  utilizzato:



Di seguito si riportano le caratteristiche di ciascuna unità geofisica costituente i modelli:

Unità geofisica	Litologia	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Vs (m/s)	D <sub>0</sub> (%)
1	Limo argilloso da poco consistente a consistente	19.24	350 - 380	2.6
2	Calcarenite	23.00	900	0.5
3	Argilla limosa debolmente marnosa molto consistente	20.26	650	3.2

L'unità geofisica 1 presenta una variabilità laterale del valore di Vs, in particolare nell'area sottostante l'edificio da adeguare la Vs è pari a 350 m/s, mentre è pari a 380 m/s nell'area sottostante l'edificio di nuova realizzazione.

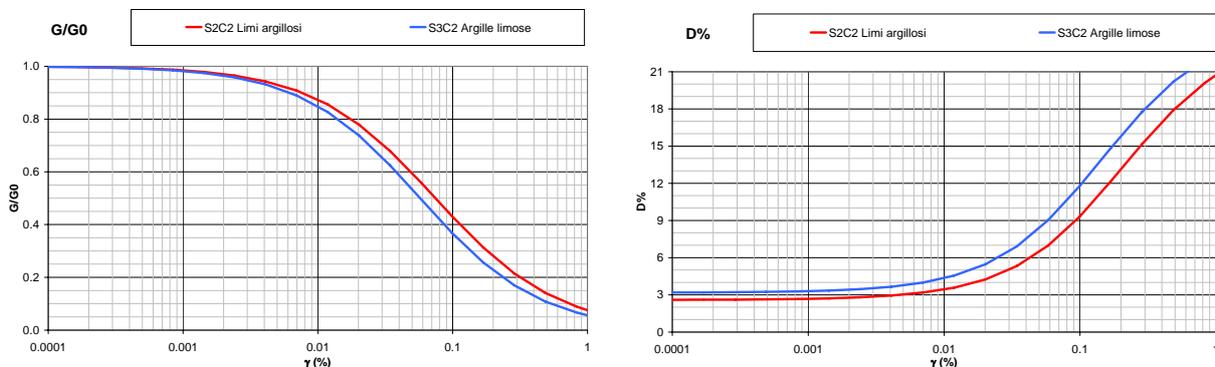
Il bedrock considerato nelle analisi presenta le seguenti caratteristiche:

Unità geofisica	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Vs (m/s)	D <sub>0</sub> (%)
Argilla marnosa molto consistente	22.0	850	0.05

Nell'analisi di risposta sismica locale il comportamento non lineare dei materiali è stato considerato attraverso il metodo dell'analisi lineare equivalente, che consiste nel continuo aggiornamento dei parametri di rigidità e smorzamento in funzione del livello deformativo tangenziale raggiunto.

Per descrivere la variazione dei parametri in funzione della deformazione tangenziale sono state utilizzate le curve ricavate da prove di laboratorio eseguite sui 2 campioni indisturbati rappresentativi delle unità geofisiche 1 e 3.

Di seguito si riportano le curve di degrado utilizzate nell'analisi:



### 3.2. Codice di calcolo

Le analisi di risposta sismica locale sono state condotte con codice di calcolo numerico monodimensionale: si è utilizzato il programma SHAKE91v\_p, nato dalla revisione del programma SHAKE91<sup>10</sup>, finalizzato ad analizzare siti caratterizzati da strati piano paralleli, ipotizzando lateralmente omogenea la stratigrafia presente ai lati della verticale di analisi.

Il codice di calcolo utilizza la trattazione del mezzo stratificato per tenere in considerazione l'eterogeneità verticale del sottosuolo, impiegando un modello continuo.

Il modello fisico utilizzato è quello a strati continui ed omogenei a comportamento viscoelastico linearizzato di Kelvin-Voigt e consiste di  $n$  strati piani e paralleli di estensione orizzontale infinita su un semispazio corrispondente al bedrock su cui si applica il moto di input (onde S) verticalmente: ogni strato è considerato omogeneo ed isotropo ed è caratterizzato dallo spessore  $h$ , dalla densità  $\rho$ , dal modulo di taglio iniziale  $G_0$  e dal rapporto di smorzamento iniziale  $D_0$ .

La frontiera inferiore (bedrock) è considerata deformabile, in modo da evitare l'intrappolamento, all'interno del modello, dell'energia associata alle onde riflesse e tenere così in conto la perdita di energia per radiazione o smorzamento geometrico; infatti una frontiera perfettamente rigida riflette completamente le onde riflesse dalla superficie, mentre nel caso di una frontiera deformabile parte delle onde vengono trasmesse nella roccia sottostante. Pertanto il codice di calcolo richiede anche i parametri del bedrock, ovvero la densità  $\rho$ , la velocità delle onde S e lo smorzamento  $D$  (considerato costante), utilizzati per il calcolo del contrasto di impedenza sismica roccia-terreno.

Il programma adotta l'*analisi lineare equivalente* per considerare, nella soluzione dell'equilibrio dinamico del sistema, il legame non lineare: tale analisi consiste nell'esecuzione di una sequenza di analisi lineari complete con aggiornamento successivo dei parametri di rigidità e smorzamento fino al soddisfacimento di un prefissato criterio di convergenza.

Il processo di calcolo è pertanto iterativo ed opera nel dominio delle frequenze, utilizzando l'analisi di Fourier; per ogni iterazione o ciclo viene calcolato il moto dell'intero sistema mediante le seguenti fasi:

- l'accelerogramma di input applicato al modello è definito nel dominio del tempo e viene reso artificialmente periodico (con periodo  $T_0$  pari alla sua durata) per decomporlo nella somma di infinite funzioni armoniche di frequenza crescente a partire dal valore  $f_0=1/T_0$ ; l'ampiezza e la fase di ciascuna armonica definiscono una variabile complessa  $X(f)$  associabile a ciascun valore di frequenza  $f$ , che rappresenta la trasformata di Fourier;
- tramite l'algoritmo FFT (Fast Fourier Transform), che opera in forma discreta su segnali campionati ad intervalli  $\Delta t$  costanti, si passa dal dominio del tempo al dominio delle frequenze, trasformando l'accelerogramma nel corrispondente spettro di Fourier, attraverso la trasformata diretta;
- attraverso la soluzione teorica relativa ad un modello di sottosuolo a strati continui, omogenei a comportamento visco-elastico poggiate su substrato deformabile viene calcolata la funzione di trasferimento tra strato e strato, in base alle proprietà meccaniche del modello del sottosuolo, partendo dall'equazione differenziale di equilibrio dinamico che governa il fenomeno della propagazione

---

<sup>10</sup> Idriss I.M., Sun J.I., 1992. User's manual for SHAKE91, A computer program for conducting equivalent linear seismic response analyses of horizontally layered soil deposits. Report of Dip. of Civil & Environmental Eng., University of California, Davis

monodimensionale delle onde all'interno di un corpo elastico ed imponendo la continuità tra deformazioni e tensioni tra lo strato  $n$  e lo strato  $n+1$ ; la funzione di trasferimento è caratterizzata da uno spettro di ampiezza (funzione di amplificazione) e da uno spettro di fase; la funzione di amplificazione ha un significato fisico più immediato, in quanto indica quali componenti del moto sismico sono amplificate o smorzate durante il passaggio attraverso il terreno e in che rapporto;

- attraverso l'operazione di convoluzione cioè il prodotto frequenza per frequenza tra lo spettro di Fourier del moto di input e la funzione di trasferimento del modello di sottosuolo si calcola lo spettro di Fourier del moto in superficie;
- tramite l'algoritmo IFFT (Inverse Fast Fourier Transform), che opera in forma discreta su segnali campionati a intervalli  $\Delta t$  costanti, si passa dal dominio delle frequenze al dominio del tempo, trasformando lo spettro di Fourier nel corrispondente accelerogramma, tramite l'antitrasformata o trasformata inversa;
- attraverso integrazioni nel tempo si ottiene per l'accelerogramma di superficie l'andamento dello spostamento del suolo nel tempo;
- attraverso la derivata dello spostamento rispetto alla profondità si ottiene l'andamento della deformazione tangenziale nel tempo, da cui si estrae il valore della deformazione tangenziale massima prodotto al terreno dal moto di input.

La procedura di iterazione sui parametri consiste nel calcolare ad ogni ciclo un valore di deformazione tangenziale mediamente rappresentativo della storia irregolare di deformazione del sistema ottenuto attraverso un'aliquota prefissata (tipicamente 0.65-0.67) del valore massimo della deformazione tangenziale calcolata rispetto al tempo; in funzione di tale valore caratteristico medio della deformazione di taglio si aggiornano, tramite le curve di decadimento  $G/G_0$  e di smorzamento  $D$ , i valori di rigidità e smorzamento da utilizzarsi nel ciclo di iterazione successivo; la procedura di iterazione va continuata per un numero di cicli tali affinché il valore di deformazione tangenziale caratteristica di un ciclo sia uguale a quella del ciclo precedente a meno di un valore di tolleranza prefissato (tipicamente dell'ordine della 3<sup>a</sup> cifra decimale).

Il codice di calcolo incorpora l'espressione del modulo di taglio non dipendente dalla frequenza, ipotesi congruente con il tipo di onde e la situazione stratigrafica esaminata; si ipotizza infatti assenza di dispersione di energia attraverso i bordi laterali del modello e una dispersione per attrito interno del materiale, non dipendente pertanto dalla frequenza: il calcolo adotta un modulo di taglio complesso che di fatto simula la dissipazione isteretica, attraverso il coefficiente  $b$ , dato dal rapporto tra  $D$  e la frequenza fondamentale  $\omega_1$  dell'intero sistema dinamico.

### 3.3. Risultati

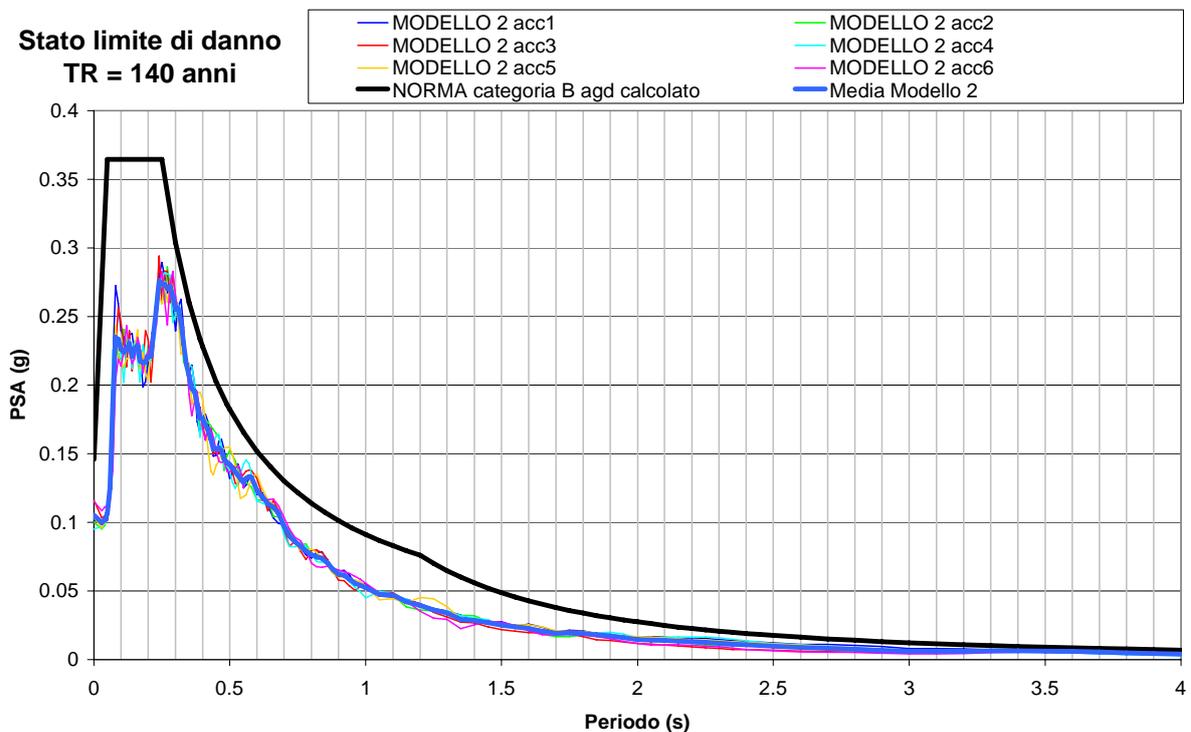
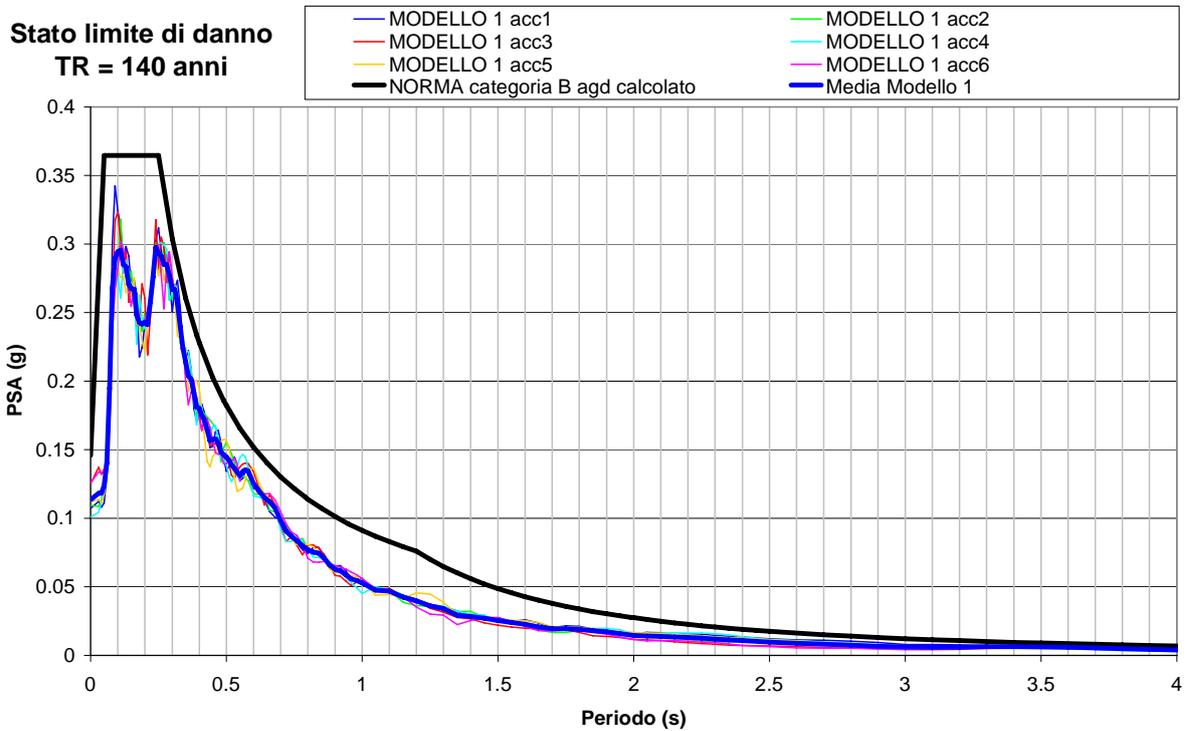
I risultati delle analisi sono riassunti in una serie di spettri elastici in pseudo-accelerazione al 5% dello smorzamento critico calcolati per i 2 periodi di ritorno e per ciascun modello analizzato, applicando i 6 accelerogrammi di input ed operando una media tra i risultati.

In ogni grafico di seguito riportato sono rappresentati, per ogni modello, gli spettri di risposta derivanti dall'applicazione dei 6 accelerogrammi e la loro media, confrontati con gli spettri proposti dalle Norme Tecniche per le Costruzioni (DM 14-9-2005) riferiti alla zona sismica 2 e alla categoria di suolo B.

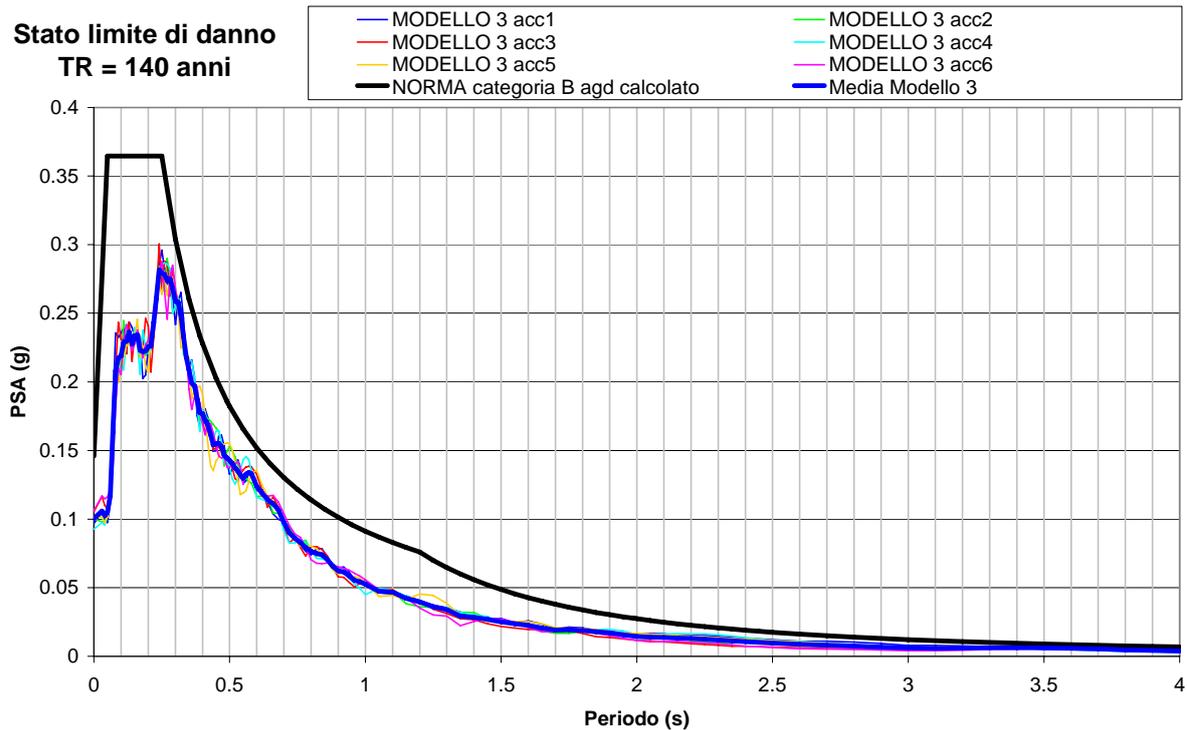
Gli spettri della norma sono:

- per il periodo di ritorno di 140 anni lo spettro di progetto per lo stato limite di danno considerando il valore di  $a_{gd}$  calcolato (0.09721 g), utilizzando i parametri spettrali riportati in Tabella 3.2.IV;
- per il periodo di ritorno di 974 anni lo spettro elastico considerando il valore di  $a_g$  calcolato (0.22574 g), utilizzando i parametri spettrali riportati in Tabella 3.2.II.

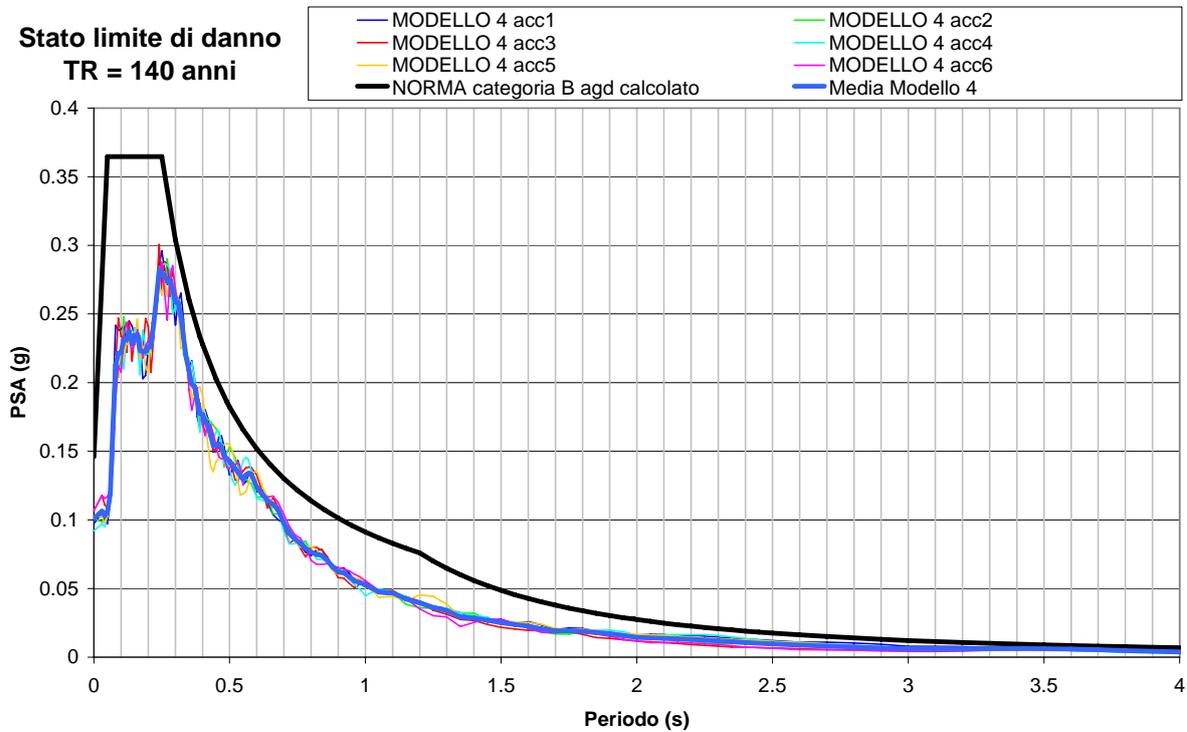
Di seguito si riportano i grafici degli spettri sopra descritti:



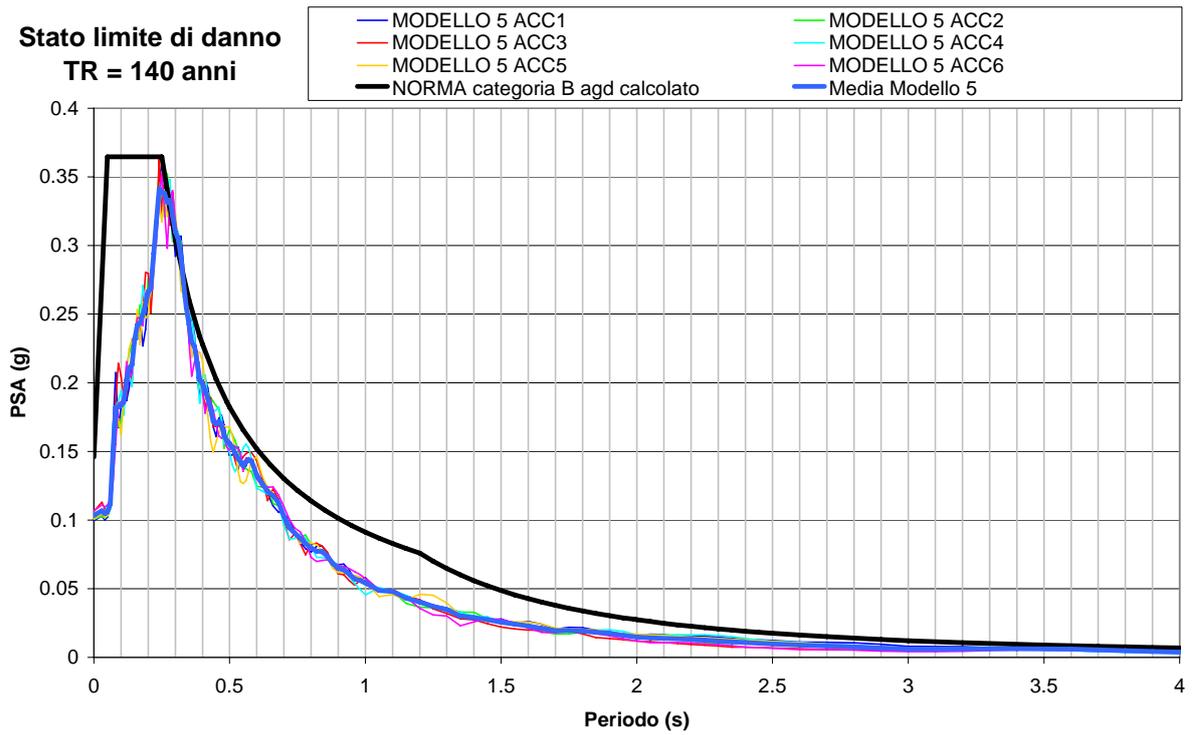
**Stato limite di danno  
TR = 140 anni**



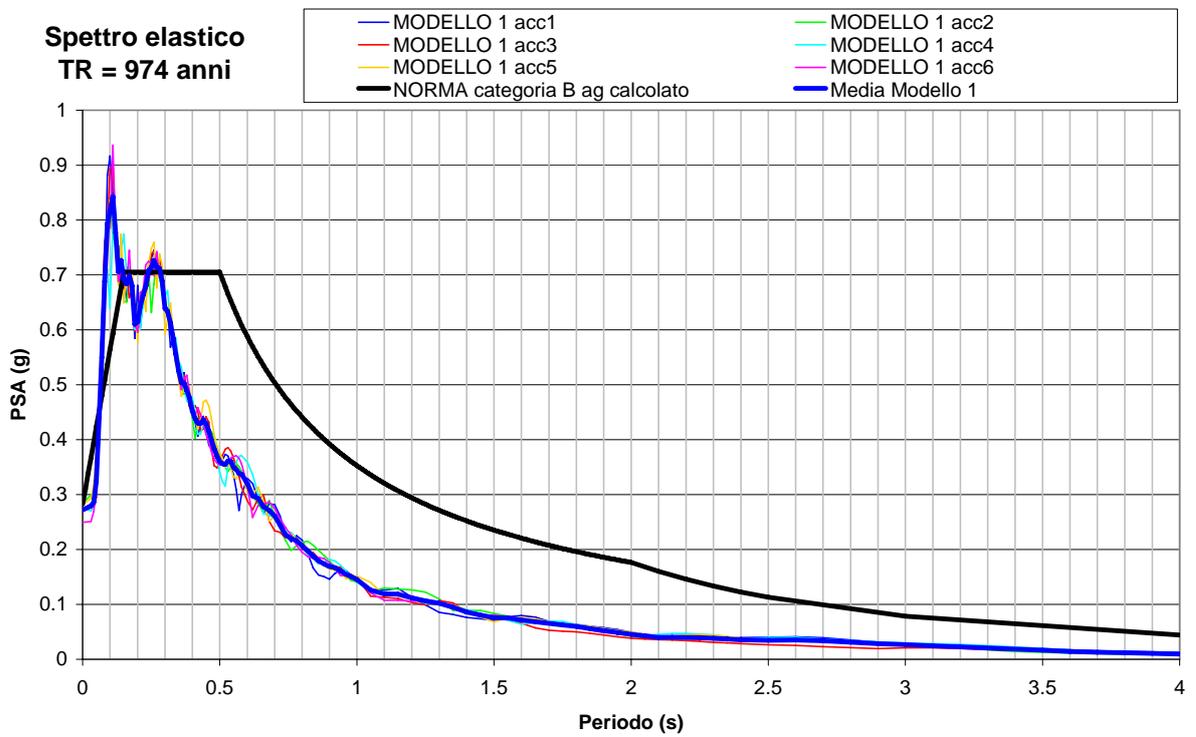
**Stato limite di danno  
TR = 140 anni**



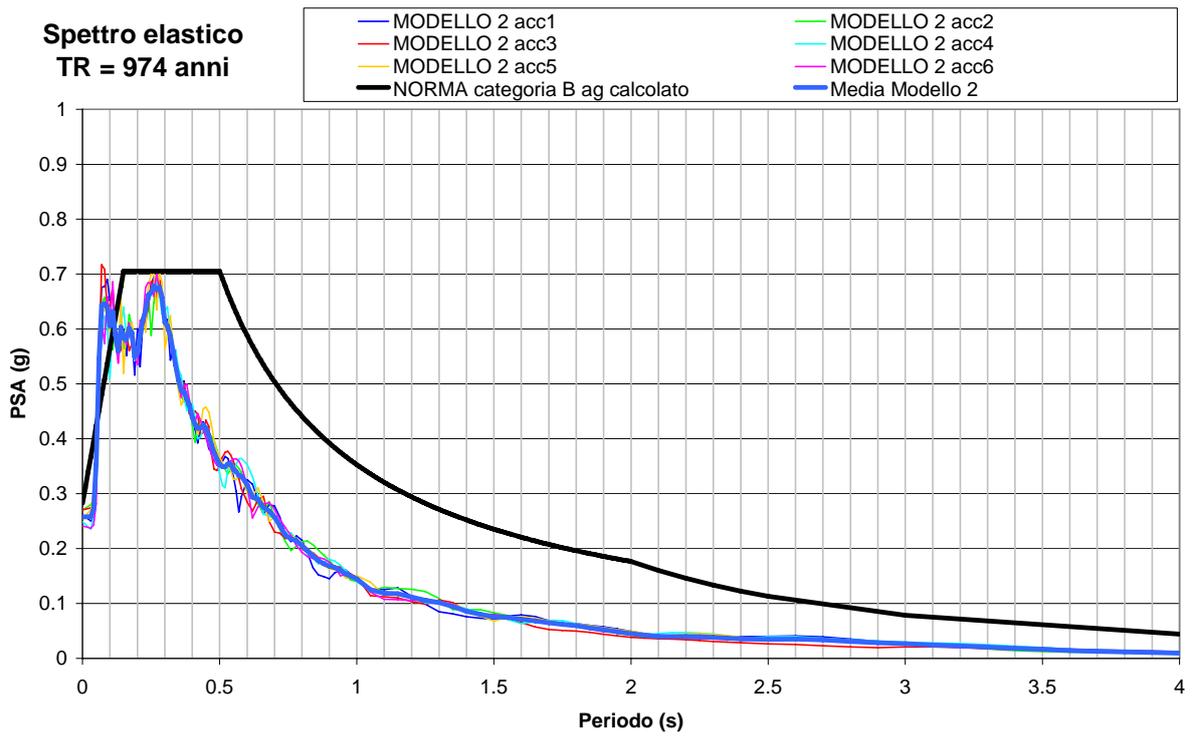
**Stato limite di danno**  
**TR = 140 anni**



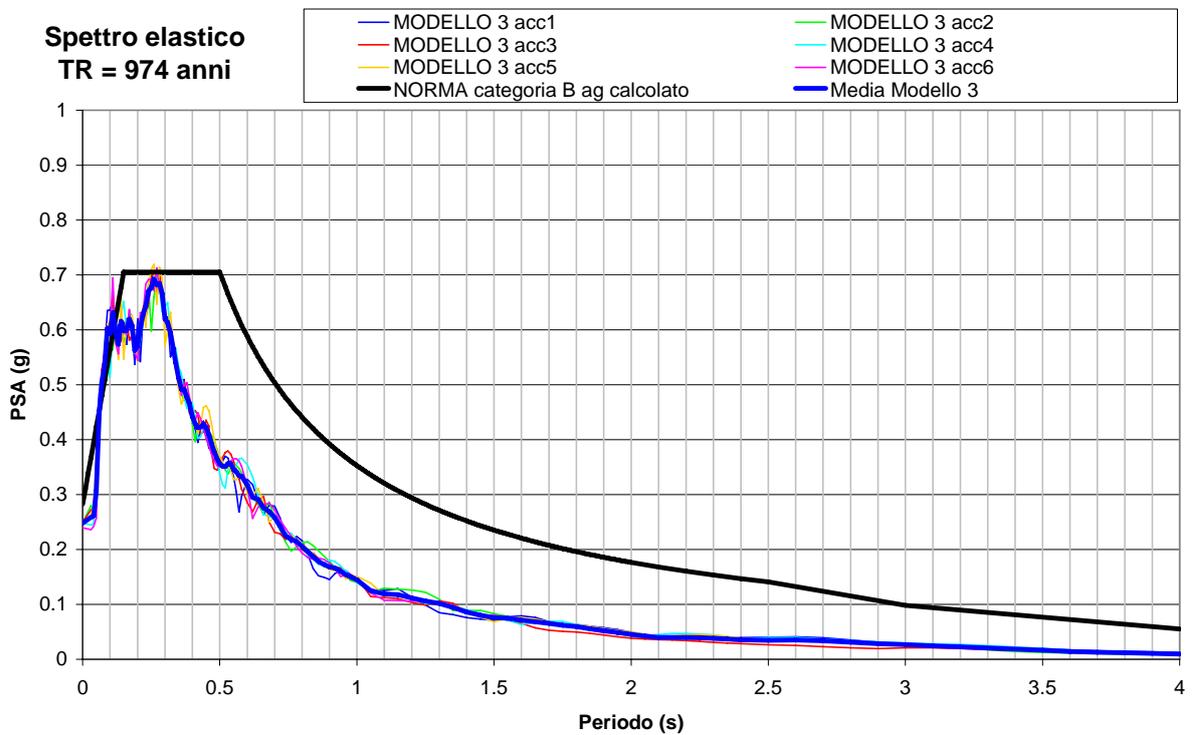
**Spettro elastico**  
**TR = 974 anni**

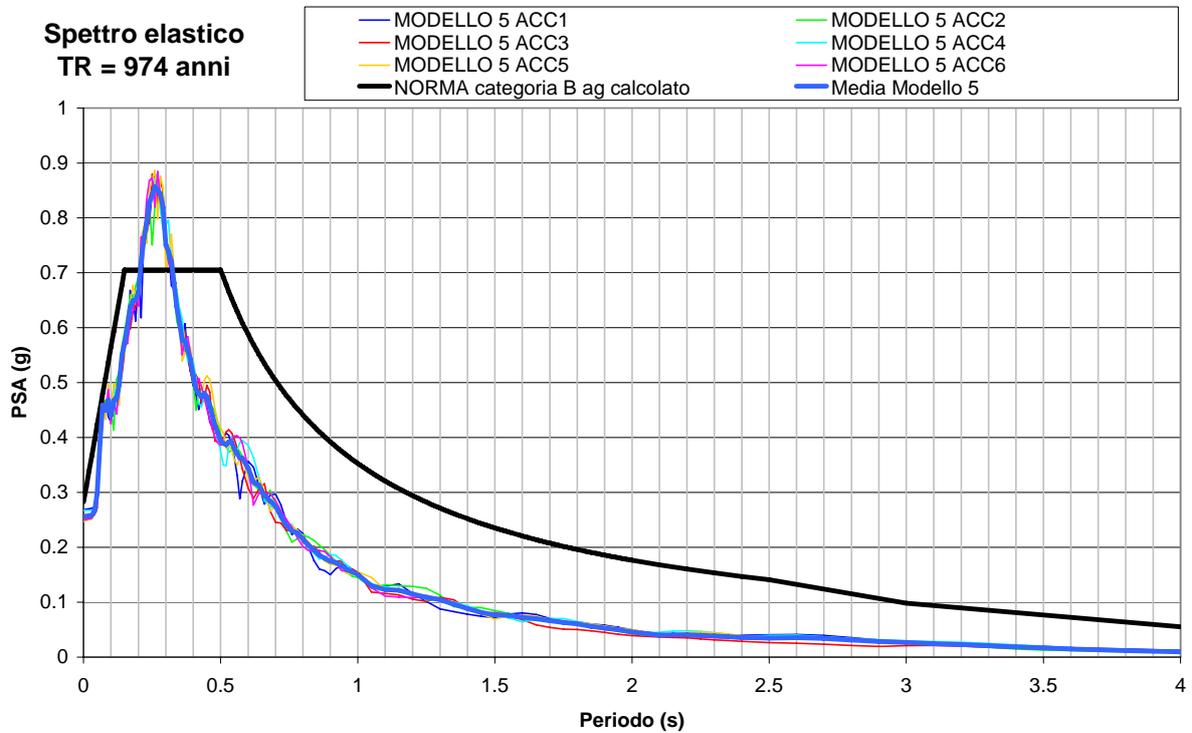
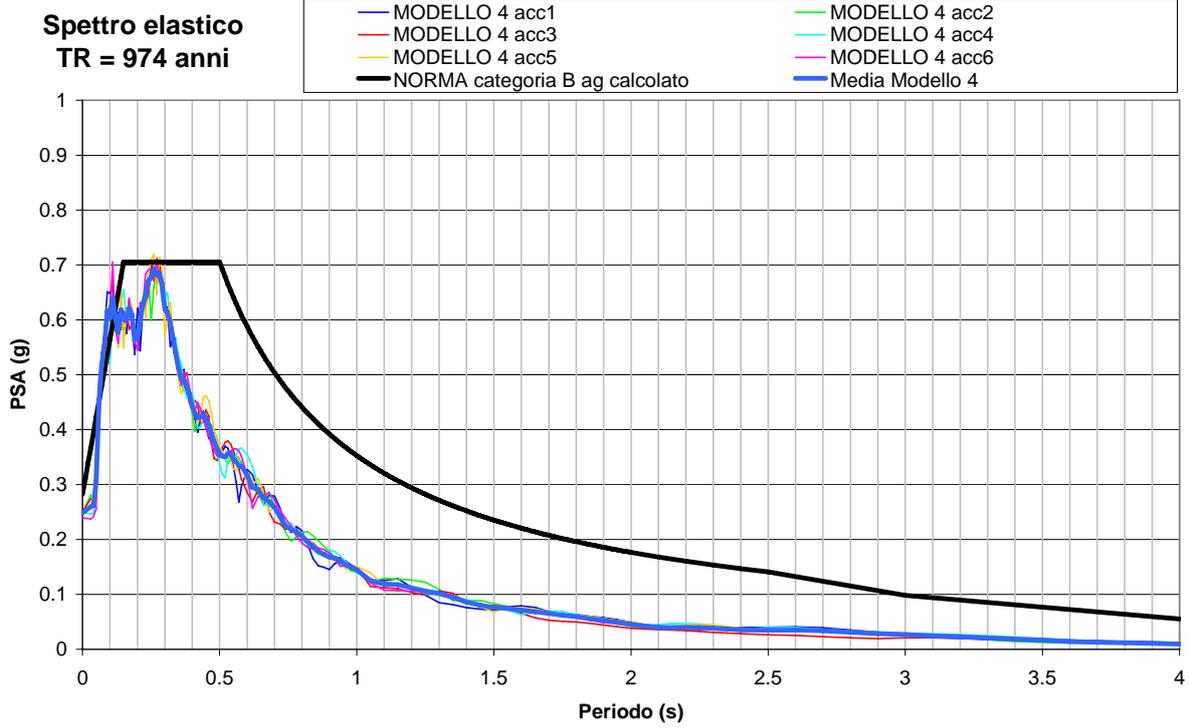


**Spettro elastico**  
**TR = 974 anni**

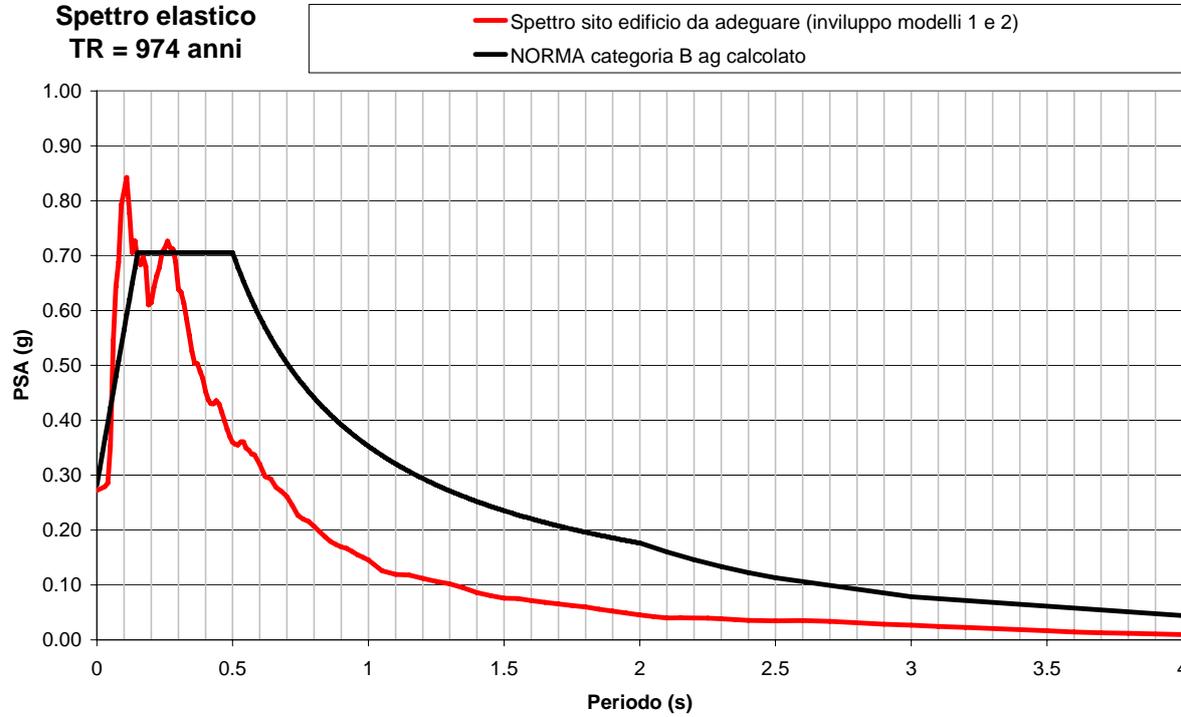
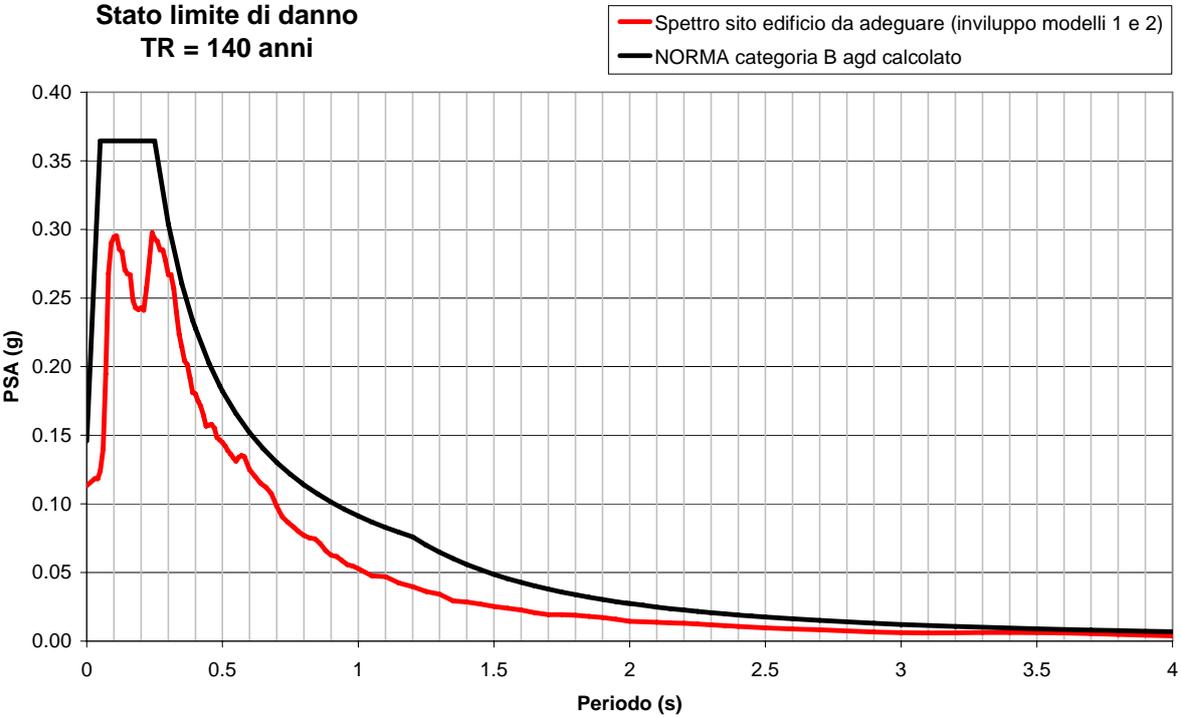


**Spettro elastico**  
**TR = 974 anni**

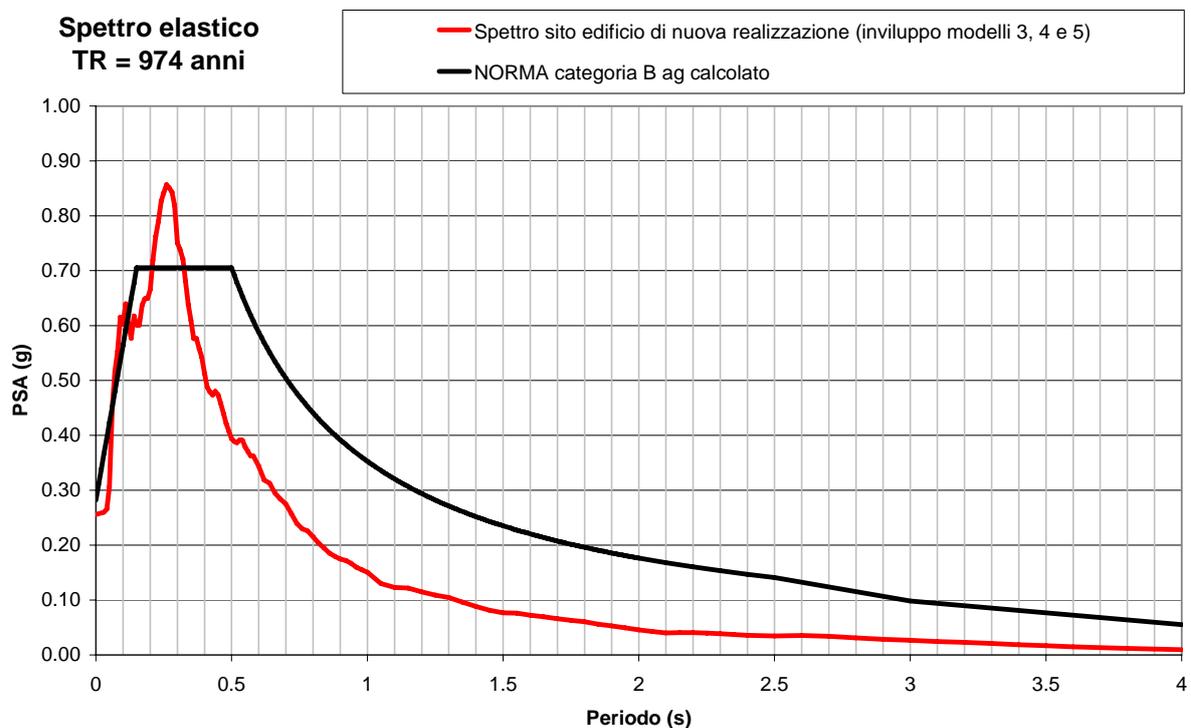
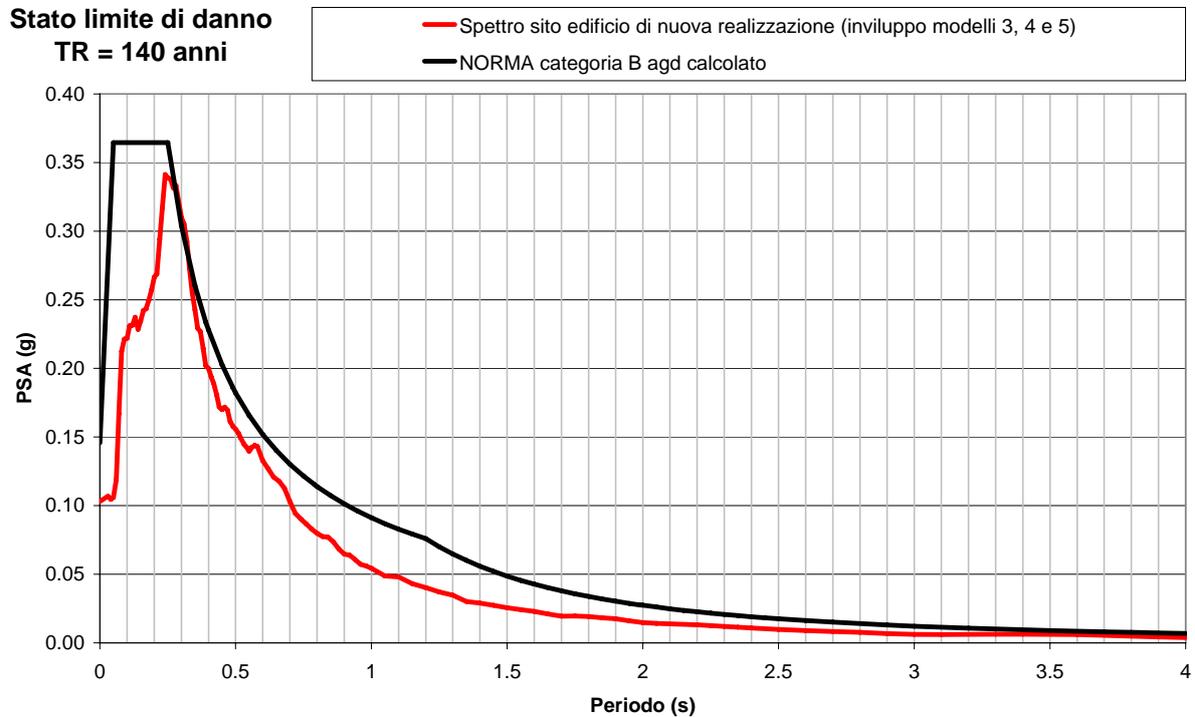




Per il settore interessato dall'edificio da adeguare è stato calcolato lo spettro di risposta rappresentativo come involucro delle medie dei modelli 1 e 2, che viene di seguito riportato per i 2 tempi di ritorno confrontati con i rispettivi spettri di normativa:



Per il settore interessato dall'edificio di nuova realizzazione è stato calcolato lo spettro di risposta rappresentativo come involucro delle medie dei modelli 3, 4 e 5 che viene di seguito riportato per i 2 tempi di ritorno, confrontati con i rispettivi spettri di normativa:



Si nota dai risultati come gli spettri di norma siano sufficientemente cautelativi per tenere in considerazione gli effetti di amplificazione attesi nei due settori dell'area: in particolare i singoli picchi degli spettri calcolati che superano i valori di normativa sono da ritenersi trascurabili in quanto di bassa entità e, nel caso del periodo di ritorno di 140 anni, interessanti periodi di vibrazione piuttosto bassi (0.1 s).

Si ricorda che l'ancoraggio degli spettri di norma corrisponde ai valori di accelerazione massima attesa calcolati seguendo lo stesso percorso logico utilizzato dal Gruppo di Lavoro 2004 per la definizione della mappa di pericolosità.

Per completezza di informazione per ogni spettro elastico è stata calcolata l'intensità spettrale (*S.I.*) negli intervalli 0.1-0.5 s e 0.5-1.5 s, come definito da Housner<sup>11</sup>, sugli spettri in pseudo-velocità (*PSV*) al 5% dello smorzamento critico  $\xi$ :

$$SI_{0.1-0.5}(PSV) = \int_{0.1}^{0.5} PSV(T, \xi) dT$$

$$SI_{0.5-1.5}(PSV) = \int_{0.5}^{1.5} PSV(T, \xi) dT$$

Sono stati quindi calcolati i rapporti tra l'intensità spettrale calcolata in superficie e l'intensità spettrale dello spettro di input. Questo rapporto (*Fa*) definisce il fattore di amplificazione legato agli effetti di sito:

$$Fa_{0.1-0.5} = \frac{SI_{0.1-0.5}(output)}{SI_{0.1-0.5}(input)} \qquad Fa_{0.5-1.5} = \frac{SI_{0.5-1.5}(output)}{SI_{0.5-1.5}(input)}$$

Di seguito si riportano i valori di *Fa* rappresentativi dei due settori dell'area esaminata per i due periodi di ritorno e per i due intervalli di periodo di vibrazione considerati, definiti come il valore massimo tra le medie calcolate per ciascun modello per i 6 accelerogrammi utilizzati.

<b>T<sub>R</sub> 140</b>	Edificio da adeguare	Edificio di nuova realizzazione
<b>Fa<sub>0.1-0.5</sub></b>	<b>1.13</b>	<b>1.23</b>
<b>Fa<sub>0.5-1.5</sub></b>	<b>1.02</b>	<b>1.05</b>

<b>T<sub>R</sub> 974</b>	Edificio da adeguare	Edificio di nuova realizzazione
<b>Fa<sub>0.1-0.5</sub></b>	<b>1.14</b>	<b>1.25</b>
<b>Fa<sub>0.5-1.5</sub></b>	<b>1.02</b>	<b>1.06</b>

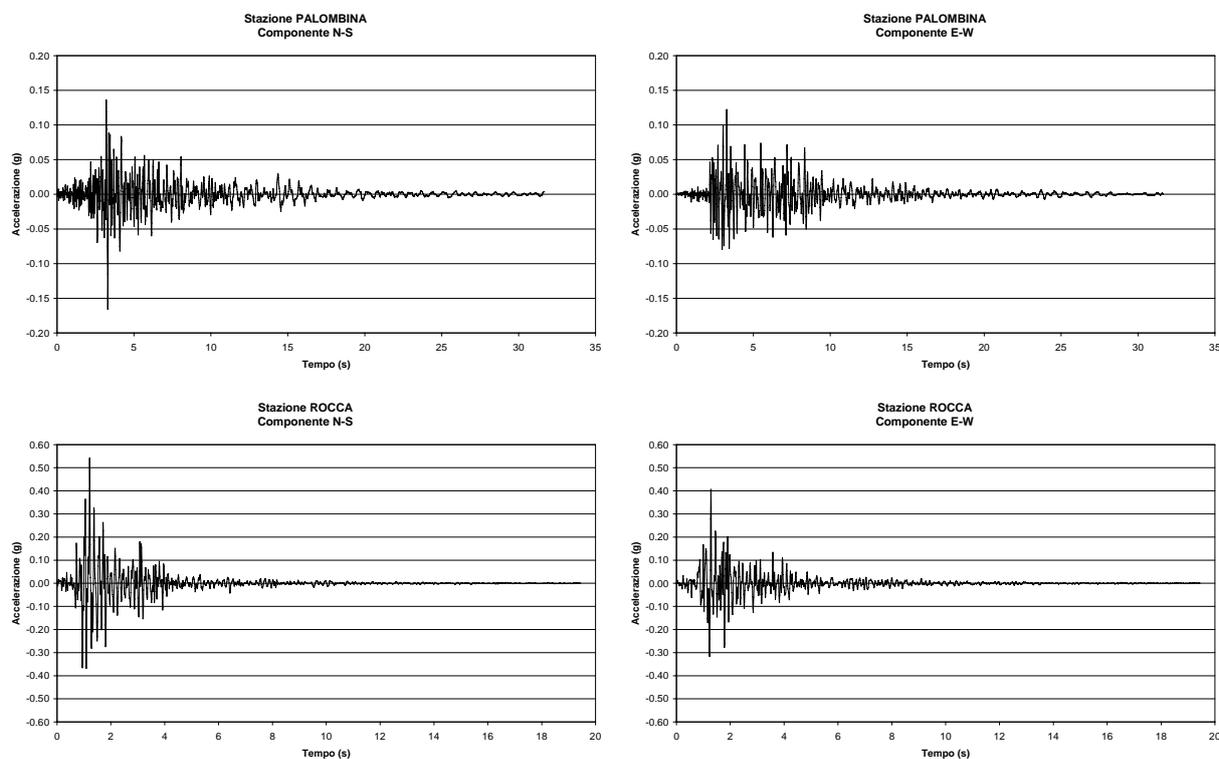
Come si nota dai risultati nell'intervallo compreso tra 0.1-0.5 s (tipico degli edifici più rigidi, a sviluppo verticale limitato e regolari) i fenomeni di amplificazione sono modesti e leggermente più alti nel settore interessato dall'edificio di nuova realizzazione; nell'intervallo compreso tra 0.5-1.5 s (tipico degli edifici più flessibili, a maggior sviluppo verticale) i fenomeni di amplificazione sono trascurabili.

<sup>11</sup> Housner GW., 1952. Spectral Intensities of strong motion earthquakes. *Proc. of the Symposium on Earthquakes and Blast Effects on Structures*. Earth. Eng. Res. Inst.

### 3.4. Confronto con eventi registrati

Per completezza di analisi e data la disponibilità di accelerogrammi registrati nelle stazioni di Rocca (Lat 43° 37' 16" Long. 13° 30' 46") e di Palombina (Lat 43° 36' 8" Long. 13° 28' 27") durante l'evento del 14 giugno 1972 alle ore 18:55:50 con magnitudo MI 4.7, Mb 4.9 e Ms 4.4, con intensità 7.5, con epicentro Lat. 43.71 e Long. 13.47 e con profondità di 14 km<sup>12</sup>.

Di seguito si riportano gli accelerogrammi delle componenti N-S ed E-W dei due eventi registrati:



Alcuni parametri caratteristici degli accelerogrammi sono riassunti nella seguente tabella (Pga, picco di accelerazione; Pgv, picco di velocità; Pgd, picco di spostamento; Ai, Intensità di Arias; Pdp, periodo proprio dominante; Tf, durata della registrazione; SI05, intensità spettrale tra 0.1-0.5 s; SI25, intensità spettrale tra 0.1-2.5 s):

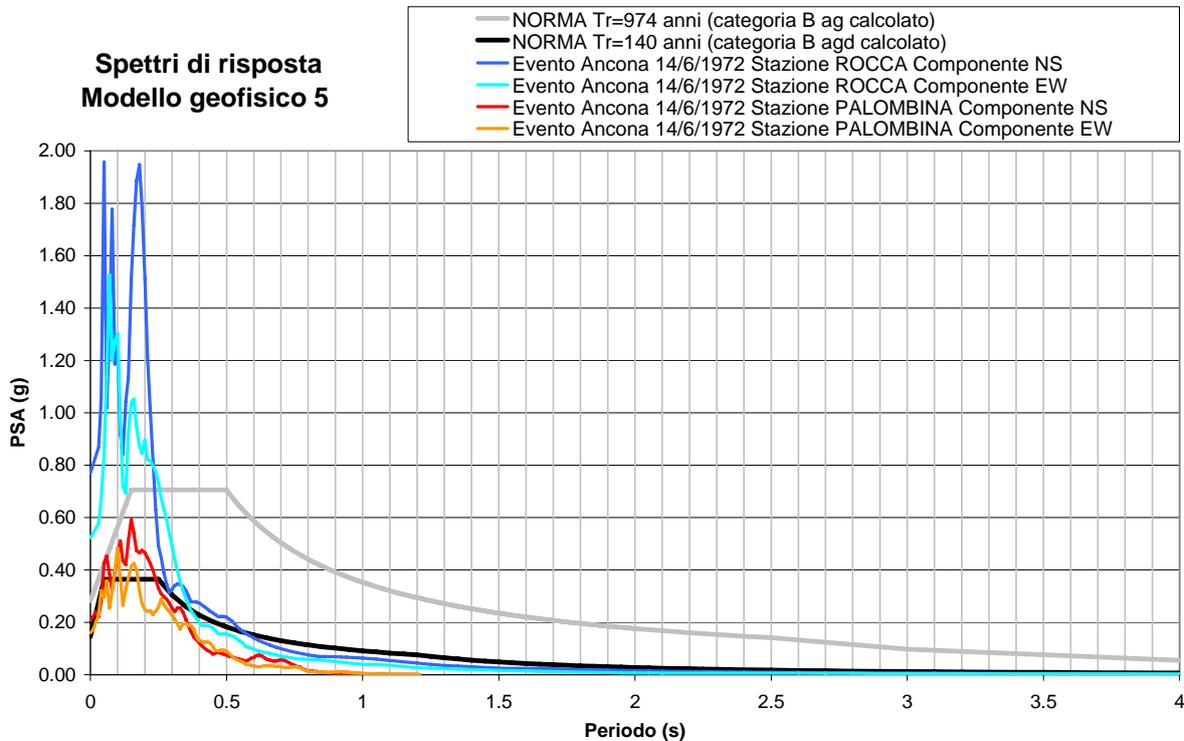
Stazione	Comp.	Pga (g)	Pgv (m/s)	Pgd (m)	Ai (m/s)	Pdp (s)	Tf (s)	Si 05 (m)	Si 25 (m)
Palombina	N-S	-0.166	0.043	-0.005	0.112	0.165	31.63	0.035	0.092
	E-W	0.122	0.031	0.007	0.105	0.161	31.35	0.030	0.081
Rocca	N-S	0.541	0.110	0.019	0.618	0.130	19.45	0.072	0.202
	E-W	0.406	-0.109	-0.018	0.361	0.172	19.45	0.060	0.142

Dai dati è evidente la differenza tra i valori di Pga delle due componenti dell'evento registrato nelle due stazioni, poste a distanza dell'ordine della decina di km e il basso valore del periodo dominante delle registrazioni, caratterizzate quindi dalla preponderante presenza di alte frequenze.

<sup>12</sup> Dati INGV

Le 4 registrazioni sono state applicate come moti di input al modello geofisico 5, ritenuto il più sfavorevole.

I risultati espressi in termini di spettri di risposta in pseudo-accelerazione al 5% dello smorzamento critico sono stati confrontati con gli spettri di normativa e di seguito riportati:



E' evidente come l'applicazione di registrazioni di uno stesso evento possa portare a risultati molto diversi tra di loro e molto diversi da quelli ottenuti applicando accelerogrammi generati.

In particolare nel caso in esame le registrazioni effettuate nella stazione di Rocca presentano un picco di accelerazione molto alto, anche in considerazione della magnitudo dell'evento stesso.

Vale la pena anche di segnalare come gli accelerogrammi registrati potrebbero non coprire tutta la banda di frequenze possibili, in quanto rappresentativi solo di un unico evento.

Inoltre è molto difficile associare un determinato tempo di ritorno all'evento registrato e quindi operare un diretto confronto con quanto richiesto dalla normativa.

Di seguito si riportano i valori del fattore di amplificazione  $F_a$  ricavati dall'applicazione dei 4 accelerogrammi registrati al modello geofisico 5:

Stazione	Componente	$F_{a_{0.1-0.5}}$	$F_{a_{0.5-1.5}}$
<b>Palombina</b>	N-S	<b>1.28</b>	<b>1.06</b>
	E-W	<b>1.25</b>	<b>1.08</b>
<b>Rocca</b>	N-S	<b>1.26</b>	<b>1.10</b>
	E-W	<b>1.27</b>	<b>1.10</b>

Il valore di  $F_a$  non mostra grandi differenze con quelli ottenuti con l'uso di accelerogrammi generati e quindi presenta un comportamento stabile rispetto all'applicazione di input di origine diversa.