

NUOVA METODOLOGIA PER UNA SELEZIONE FREQUENZA ORIENTATA DI ACCELEROGRAMMI NATURALI E SIMULATI

G. Acunzo¹, N. Fiorini¹, F. Mori¹, G. Naso², F. Sabetta²

¹ CNR-IGAG, Roma, Italia

² Dipartimento Protezione Civile, Uff. Rischio Sismico e Vulcanico, Roma, Italia

Introduzione. La verifica della capacità di risposta degli edifici a eventi sismici di media-forte energia è una tematica rilevante di notevole difficoltà tecnico-scientifica, soprattutto perché prevede conoscenze afferenti a diversi settori disciplinari (sismologia, geologia, geotecnica, ingegneria delle strutture).

La normativa sismica italiana (NTC08 - C.S.LL.PP., 2009), come quella degli altri paesi avanzati, regola le scelte dei responsabili delle progettazioni e delle verifiche e definisce standard facilmente applicabili.

La progettazione e la verifica antisismica in un'accezione allargata in genere prevede:

- Analisi della risposta sismica alle fondazioni dell'edificio;
- scelta di accelerogrammi di input al basamento sismico;
- costruzione di un modello di sottosuolo;
- produzione di accelerogrammi e/o spettri alle fondazioni dell'edificio, tramite codici numerici.
- Analisi delle caratteristiche geometriche e meccaniche dell'edificio necessarie a coglierne l'assetto strutturale.
- Analisi del comportamento dinamico dell'edificio, sottoposto alla sollecitazione sismica.

La selezione di accelerogrammi da utilizzare come input per analisi dinamiche, è un argomento attualmente molto dibattuto nella letteratura scientifica nazionale e internazionale, sia in campo strutturale che geotecnico (ad es. Bommer e Acevedo, 2004; Pagliaroli e Lanzo, 2008; Iervolino *et al.*, 2008; Scasserra *et al.*, 2009).

Le NTC08 descrivono (capitolo 3.2.3.6, capitolo 7.11.3 e relativa Circolare esplicativa) quali accelerogrammi utilizzare nelle analisi delle opere: *“Gli stati limite, ultimi e di esercizio, possono essere verificati mediante analisi dinamiche al passo con l'uso di accelerogrammi, artificiali o simulati o naturali. Gli accelerogrammi simulati devono avere uno spettro di risposta elastico coerente con lo spettro adottato nella progettazione. La coerenza con lo spettro elastico è da verificare in base alla media delle ordinate spettrali ottenute con i diversi accelerogrammi. L'ordinata spettrale media non deve presentare uno scarto in difetto superiore al 10%. L'uso di accelerogrammi naturali è ammesso, a condizione che la loro scelta sia rappresentativa della sismicità del sito e sia adeguatamente giustificata in base alle caratteristiche sismogenetiche della sorgente, alle condizioni del sito di registrazione, alla magnitudo, alla distanza dalla sorgente e alla massima accelerazione orizzontale attesa al sito. Le storie temporali del moto del terreno registrate devono essere selezionate e scalate in modo tale che i relativi spettri di risposta approssimino gli spettri di risposta elastici nel campo dei periodi propri di vibrazione di interesse per il problema in esame.”*

Si propone una metodologia (FONTS: Frequencies Oriented Natural Time-histories Selection) per guidare la scelta degli accelerogrammi di input al basamento per il calcolo della risposta in superficie, proponendosi di risolvere alcune criticità riscontrabili nella selezione di accelerogrammi di input.

In particolare la metodologia proposta:

1. permette di considerare anche negli spettri generati a partire da accelerogrammi naturali le incertezze presenti negli studi probabilistici di pericolosità (ad es. negli spettri a pericolosità uniforme).
2. consente di eseguire una selezione guidata degli accelerogrammi, orientata a considerare le frequenze di risonanza del terreno e dell'edificio.
3. prevede l'impiego di accelerogrammi simulati che vadano ad integrare i dati

accelerometrici esistenti nelle banche dati, qualora essi siano mancanti a causa del limitato periodo di osservazione (in genere non superiore ai 40-50 anni).

La procedura viene descritta ed illustrata nel caso in cui si abbia un edificio da verificare (del quale quindi si conoscono i modi di vibrare), ma la stessa procedura può essere applicata, con alcuni accorgimenti e assunzioni, sia per la progettazione di una generica struttura sia per la valutazione del rischio sismico di un intero centro abitato.

Agli accelerogrammi di input, selezionati attraverso la procedura proposta, viene associata una percentuale di contributo alla pericolosità con un tempo di ritorno variabile, ricavata dalla disaggregazione della pericolosità. La percentuale di contributo alla pericolosità viene utilizzata per pesare gli accelerogrammi selezionati. Essi vengono inoltre ordinati sulla base di alcuni parametri ritenuti rappresentativi del danno sulla struttura e delle amplificazioni delle onde sismiche nel terreno.

Dati di base e strumenti operativi. Una caratteristica della metodologia proposta è di essere facilmente riproducibile anche da operatori che non abbiano conoscenze e strumenti sofisticati. I dati e gli strumenti necessari sono:

- valori di disaggregazione in magnitudo e distanza (M-R <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>);
- valori delle frequenze fondamentali di vibrazione del terreno;
- valori delle frequenze fondamentali di vibrazione della struttura da verificare o progettare;
- Data Base (DB) di accelerogrammi naturali ITACA (<http://itaca.mi.ingv.it>; Luzi *et al.*, 2010);
- software per il calcolo di accelerogrammi simulati (in questo contributo si utilizzerà Seismoartif, <http://www.seismosoft.com/SeismoArtif>);
- software In-Spector per la scalatura degli accelerogrammi (ottenibile da inspector.igag@gmail.com);
- software inedito Class_SE (presto in linea).

Le assunzioni e i limiti della procedura attualmente sono due:

- in questa fase iniziale si utilizza unicamente il DB ITACA
- si assume che i siti del DB ITACA marcati con A e A* siano effettivamente corrispondenti a siti di riferimento rigidi.

La Metodologia FONTS (Frequencies Oriented Natural Time-histories Selection).

Quando si ricercano accelerogrammi naturali sulla base di parametri sismologici (magnitudo, distanza dal sito, dominio tettonico ecc.) vanno considerati i seguenti aspetti (Bommer e Acedvedo, 2004):

- la magnitudo costituisce il parametro più importante nella ricerca in quanto influenza fortemente il contenuto in frequenza (quindi la forma spettrale) e la durata del moto sismico;
- la distanza ha una minore influenza sulla forma spettrale mentre condiziona sensibilmente l'ampiezza del moto; tuttavia su quest'ultima si può agire applicando un fattore di scala all'accelerogramma;
- il regime tettonico gioca generalmente un ruolo secondario rispetto alla magnitudo e alla distanza sorgente-sito; in particolare non esistono evidenze sperimentali di sensibili e sistematiche differenze quantitative tra i parametri del moto associati a eventi estensionali e quelli relativi a meccanismi trascorrenti, mentre maggiori ampiezze sono generalmente associate a faglie inverse; tuttavia tali incrementi sono dell'ordine del 15% nel campo di periodi compresi tra 0.1 e 1 s.

a) *Definizione degli intervalli di magnitudo di interesse per le analisi e contributo percentuale alla pericolosità di base (analisi di disaggregazione per il valore di PGA).* Data la disponibilità in rete e la facilità con cui sono accessibili i dati di PGA probabilistica con vari tempi di ritorno (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>), il primo passo della procedura è quello dell'individuazione di un livello di PGA probabilistica su suolo rigido (categoria A).

Sulla base del valore di PGA verrà effettuata l'analisi di disaggregazione necessaria alla definizione delle coppie Magnitudo-Distanza che contribuiscono maggiormente alla pericolosità de sito.

Secondo passo della procedura è la scelta di intervalli di magnitudo (con un passo di 0.5) che in termini di disaggregazione contribuiscono, con percentuali diverse, alla pericolosità di base. La selezione degli intervalli di magnitudo da considerare è basata sullo studio di disaggregazione disponibile in rete per la mappa ufficiale di pericolosità italiana (MPS04 <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>).

Il numero degli intervalli di magnitudo è a discrezione dell'operatore, si consiglia comunque di scegliere un numero di intervalli per il quale il contributo totale alla pericolosità sia superiore al 50%, privilegiando quelle classi per le quali il contributo percentuale è maggiore.

Per l'analisi di disaggregazione, il numero degli intervalli di magnitudo e distanza da considerare è variabile e funzione del tasso di sismicità dell'area. Nei siti ad alta sismicità è sufficiente scegliere le magnitudo per una sola classe di distanza (0-10 km) per raggiungere un buon contributo percentuale alla pericolosità, ma in altri siti a sismicità inferiore sarà probabilmente necessario scegliere più classi di distanza (in genere 2). Nelle aree a pericolosità molto bassa (Piemonte, Trentino, Salento) per avere un contributo robusto alla pericolosità bisognerà tener conto di più intervalli di distanza.

Ascopo illustrativo in Tab.1 è riportata la disaggregazione relativa ad un sito a sufficientemente elevata sismicità (Sansepolcro) mentre in Tab. 2 quella relativa ad un sito a bassa sismicità (Biella).

Sono messi in evidenza, a supporto di quanto espresso sopra, i differenti intervalli di magnitudo e di distanza selezionati nella procedura, per ottenere un contributo totale alla pericolosità consistente: come si può notare, per raggiungere un contributo alla pericolosità consistente (maggiore o uguale 60%) è sufficiente considerare un solo intervallo di distanza nel caso di Sansepolcro, mentre è necessario considerare distanze tra i 60 e 90 km nel caso di Biella.

Tab. 1 - Percentuali di contributo alla pericolosità dall'analisi di disaggregazione in PGA, con probabilità di eccedenza 10% in 50 anni, per il sito di Sansepolcro (AR) ad alta sismicità.

Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 43.5775, lon: 12.1789, ID: 20960)										
	Magnitudo										
	3,5-4,0	4,0-4,5	4,5-5,0	5,0-5,5	5,5-6,0	6,0-6,5	6,5-7,0	7,0-7,5	7,5-8,0	8,0-8,5	8,5-9,0
0-10	0	10.2	25.9	22.3	16	8.22	0	0	0	0	0
10-20	0	0.179	1.82	4.06	5.29	4.27	0.042	0	0	0	0
20-30	0	0	0.001	0.12	0.575	0.778	0.026	0	0	0	0

Tab. 2 - Percentuali di contributo alla pericolosità dall'analisi di disaggregazione in PGA, con probabilità di eccedenza 10% in 50 anni, per il sito di Biella (BI) a bassa sismicità.

Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 43.5775, lon: 12.1789, ID: 20960)										
	Magnitudo										
	3,5-4,0	4,0-4,5	4,5-5,0	5,0-5,5	5,5-6,0	6,0-6,5	6,5-7,0	7,0-7,5	7,5-8,0	8,0-8,5	8,5-9,0
10-50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50-60	0	1.16	3.54	3.62	2.07	0.321	0	0	0	0	0
60-70	0	2.05	6.9	7.56	4.89	0.804	0	0	0	0	0
70-80	0	1.65	6.85	8.27	5.88	1	0	0	0	0	0
80-90	0	0.601	4.43	6.45	5.12	0.899	0	0	0	0	0
90-100	0	0.072	2.26	4.23	3.35	0.589	0	0	0	0	0

b) *Selezione accelerogrammi naturali*. In base alla definizione degli intervalli di distanza e magnitudo, si effettua una selezione di accelerogrammi sul DB ITACA. Questa ricerca porterà a selezionare, per ogni intervallo di magnitudo e distanza, un certo numero di accelerogrammi naturali su suolo rigido.

c) *Integrazione con un set di accelerogrammi simulati per gli intervalli di magnitudo in cui non sono disponibili accelerogrammi naturali*. Questo passo si pone l'obiettivo di integrare con accelerogrammi simulati le classi di magnitudo per le quali non sono disponibili accelerogrammi naturali nel DB ITACA o ne sono disponibili meno di 3 (questo generalmente può accadere per le classi di $M > 6$ qualora si ricerchino solo su suolo rigido). Per generare questi accelerogrammi simulati si può utilizzare uno dei diversi software disponibili, ad esempio Belfagor (Mucciarelli *et al.*, 2004), SeismoArtif (Halldorsson e Papageorgiou, 2005 - <http://www.seismosoft.com/SeismoArtif>), Simnost (Sabetta e Pugliese, 1996). Si consiglia di generare gli accelerogrammi simulati con il valore mediano di magnitudo e distanza dell'intervallo di magnitudo (ad esempio qualora manchino segnali accelerometrici nella classe di magnitudo 5.5-6 e distanza 0-10 km, devono essere generati con $M=5.75$ e $R=5$ km).

d) *Scalatura degli accelerogrammi di input mediante software In-Spector*. Nell'analisi probabilistica della pericolosità viene automaticamente tenuto conto dell'incertezza nella stima della PGA o di altri parametri del moto del terreno integrando nel calcolo la deviazione standard σ della relazione di attenuazione utilizzata (Bommer e Abrahamson, 2006; Sabetta *et al.*, 2005; Krinitzsky, 2002). Ne consegue che l'analisi di disaggregazione viene di solito rappresentata, oltre che in termini di M e R , anche in funzione di ϵ frazione di sigma utilizzata nel calcolo e funzione crescente del periodo di ritorno (per la pericolosità italiana i valori di ϵ sono ricavabili dal sito <http://esse1-gis.mi.ingv.it>). Poiché gli accelerogrammi selezionati non possono ovviamente includere ϵ , è necessario moltiplicarli per un fattore di scala ottenuto da una spettro-compatibilità con lo spettro a pericolosità uniforme del sito in esame.

La verifica della compatibilità spettrale impone che lo spettro di risposta di ogni accelerogramma sia il più possibile sovrapponibile a quello obiettivo, in corrispondenza del periodo caratteristico dell'edificio o del terreno di interesse. La ricerca del *best-fit* può essere realizzata facilmente mediante il software gratuito In-Spector (Acunzo *et al.*, 2014) e consiste nella ricerca di un fattore di scala che rende minima la differenza con lo spettro obiettivo nel range di periodi di interesse, ammettendo un valore compreso tra 0.25 e 4 (Krinitzsky e Chang, 1979). Come condizione di spettro-compatibilità, invece, seguendo le indicazioni della normativa, si verifica che la media spettrale degli accelerogrammi selezionati non presenti uno scarto in difetto superiore al 10% rispetto alle ordinate dello spettro di riferimento in corrispondenza del periodo di interesse. Se per una classe di M - R gli accelerogrammi selezionati non riescono, sebbene scalati nei limiti definiti, a "riprodurre" lo spettro obiettivo, quella classe sarà integrata da accelerogrammi simulati, di cui al punto c. Nel caso anche questi abbiano fattori di scala non ammissibili allora la classe verrà eliminata dall'analisi.

e) *Graduatoria degli accelerogrammi maggiormente gravosi per la struttura e per il terreno*. Ogni accelerogramma selezionato è caratterizzato da un contenuto in frequenza che lo rende diversamente gravoso per l'edificio e/o per il terreno, con forti amplificazioni dello scuotimento sismico atteso quando la frequenza della forzante è uguale o simile alla frequenza propria fondamentale del sistema strutturale o del sito rispettivamente (fenomeno della risonanza).

Per considerare questo aspetto è stato sviluppato un software denominato Class_SE che, per gli accelerogrammi naturali e sintetici scelti, consente di stilare una graduatoria degli accelerogrammi maggiormente gravosi per la struttura e per il terreno. La scelta della PGA come parametro quantitativo della pericolosità di base del sito è in generale criticabile perché, come più volte dimostrato, non è necessariamente un buon indicatore del danneggiamento. In questo senso indicatori come lo spettro di Fourier e l'Intensità di Housner (IH –Housner, 1952), sono più appropriati e sono risultati sperimentalmente più rappresentativi degli effetti sul terreno e sulla struttura, per cui il software adotta i seguenti criteri:

- la graduatoria orientata alla struttura è ottenuta a partire dal calcolo dello spettro di risposta in pseudovelocità di ciascun accelerogramma selezionato. Si procede quindi al calcolo dell'IH, effettuato utilizzando come estremi di integrazione il 2°/3° periodo della struttura e il 1° periodo “elongato” (l’abbattimento della frequenza fondamentale dell’edificio è circa il 50% se l’edificio è in muratura e il 30% se l’edificio è in cemento armato).
- la graduatoria orientata al terreno è ottenuta a partire dallo spettro di Fourier di ogni accelerogramma attraverso il calcolo di un integrale in un range di ± 0.2 Hz intorno alla frequenza fondamentale del terreno, così da individuare quegli accelerogrammi per i quali sono attesi effetti di amplificazione più gravosi.

Gli accelerogrammi considerati hanno una specifica collocazione in ciascuna delle due graduatorie così ottenute, cui si aggiunge come attributo il fattore di scala adottato per il *fitting* con lo spettro obiettivo (paragrafo *d*) e la percentuale di contributo alla pericolosità del sito con tempo di ritorno di 475 anni per quell’intervallo di magnitudo (paragrafo *a*).

Caso di studio: Palazzo delle Laudi a Sansepolcro (AR). Si riporta un esempio applicativo per la selezione di accelerogrammi di input condotta secondo la metodologia FONTS nell’ambito di un’analisi della vulnerabilità condotta sul Palazzo delle Laudi di Sansepolcro (AR) con il fine di valutarne l’operatività strutturale.

L’edificio è un palazzo neoclassico risalente al XIII secolo, irregolare sia in pianta sia in elevazione (Fig. 1), ed è uno degli edifici strategici facenti parte della Condizione Limite dell’Emergenza (CLE) dell’insediamento urbano di Sansepolcro.



Fig. 1 – Sezione planimetrica e altimetrica del Palazzo delle Laudi di Sansepolcro.

Per la selezione degli accelerogrammi di input, per prima cosa si definiscono gli intervalli di magnitudo e distanza di interesse per le successive analisi, valutati a partire dal loro contributo percentuale alla pericolosità di base, espresso dall’analisi di disaggregazione per il sito di Sansepolcro, in termini di PGA. L’analisi di disaggregazione fornisce i risultati sia in forma grafica (Fig. 2) che in forma tabellare (Tab. 1).

Le classi da considerare in termini di magnitudo M e distanza R sono quelle che contribuiscono maggiormente alla pericolosità del sito, ovvero:

- $4.5 < M < 5.0$ e $0 < R < 10$ km, caratterizzate da un contributo alla pericolosità del 25.9 %
- $5.0 < M < 5.5$ e $0 < R < 10$ km, caratterizzate da un contributo alla pericolosità del 22.3 %
- $5.5 < M < 6.0$ e $0 < R < 10$ km, caratterizzate da un contributo alla pericolosità del 16.0 %

Gli intervalli di magnitudo e di distanza così selezionati sono sufficienti poiché considerano un contributo totale alla pericolosità ampiamente consistente, nella misura del 65% circa.

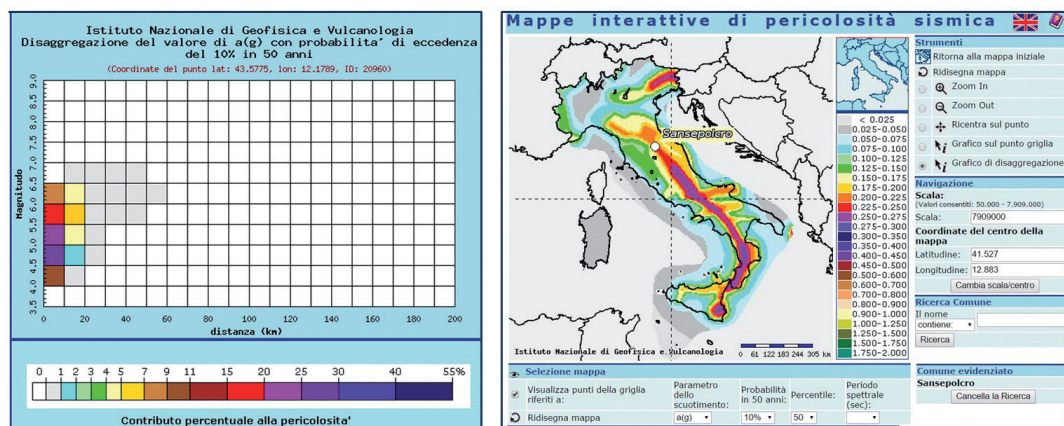


Fig. 2 – Analisi di disaggregazione del valore di PGA con tempo di ritorno di 475 anni per il comune di Sansepolcro.

Vengono pertanto selezionati gli accelerogrammi naturali dal database ITACA aventi parametri previsti dagli intervalli specificati di sopra, su suolo rigido di tipo A o A*, nel numero di 14, 20 e 8 per le tre classi rispettivamente.

Il segnali accelerometrici vengono tutti importati nel software In-Spector (Acunzo *et al.*, 2014) e il loro spettro di risposta viene opportunamente scalato, secondo il criterio di ricerca del fattore di scala capace di minimizzare lo scarto con lo spettro probabilistico a pericolosità uniforme a 475 anni. La ricerca della compatibilità avviene nell'intervallo specifico di interesse per l'edificio, considerando un numero di modi di vibrazione tale da garantire il raggiungimento di almeno l'85% della massa partecipante totale. Nel caso esaminato è sufficiente considerare i primi due modi di vibrazione stimati da analisi modale sperimentale (2.9 Hz e 3 Hz rispettivamente) per cui il limite inferiore dell'intervallo è il secondo periodo dell'edificio pari a 0.33 s, mentre il limite superiore è pari a 0.7 s e corrisponde al primo periodo di vibrazione elongato per effetto del sisma (vedi il punto e).

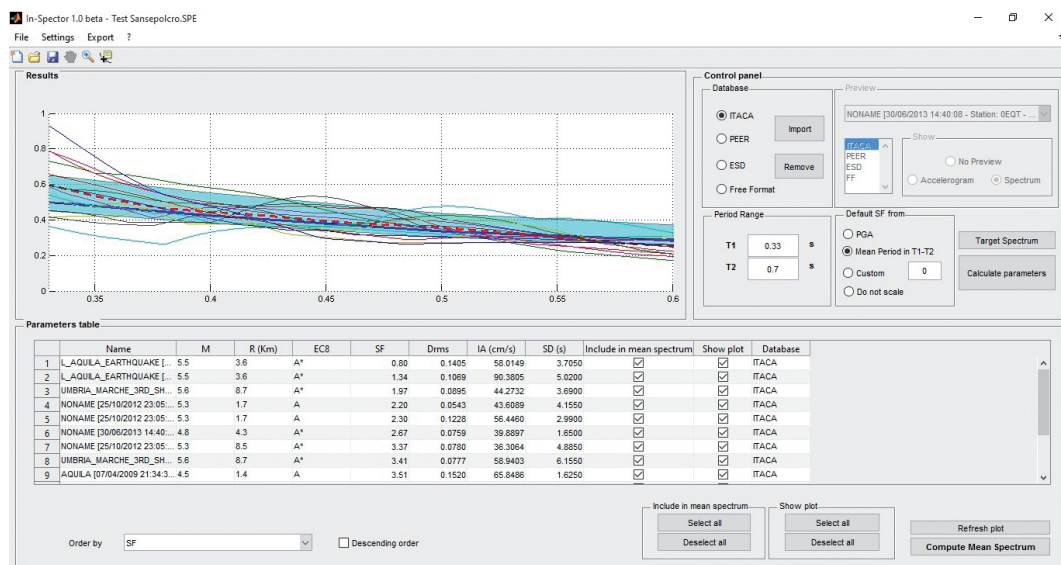


Fig. 3 – Visualizzazione grafica (In-Spector) degli spettri di risposta nell'intervallo di periodi selezionati per il Palazzo delle Laudi a Sansepolcro. Spettri dei diversi accelerogrammi (linee colorate), spettro a pericolosità uniforme (linea spessa blu) e spettro medio degli accelerogrammi (linea rossa tratteggiata).

Vengono esclusi dalle analisi successive tutti i segnali in cui la ricerca della compatibilità spettrale genera fattori di scala FS non compresi nell'intervallo ammissibile specificato al punto *d* (0.25 – 4). Si verifica quindi che la media spettrale dei restanti accelerogrammi sia spettro-compatibile nel rispetto dei vincoli della normativa NTC08. Il risultato delle operazioni descritte è illustrato in Fig. 3, a supporto della bontà dei risultati ottenuti.

Gli accelerogrammi scalati vengono sottoposti ad analisi mediante il software Class_SE (illustrato al punto *e*) che restituisce una classifica dei segnali analizzati, ordinandoli in relazione ai possibili effetti che si stimano sull'edificio e sul terreno, dal più al meno gravoso. Le frequenze di riferimento per il terreno e per l'edificio a partire dalle quali Class_SE esegue l'analisi, e conseguentemente la graduatoria, sono state ottenute da misure di rumore ambientale eseguite in situ. La frequenza fondamentale del terreno da prove HVSr è pari a 1.3 Hz; per l'edificio si sono considerati i periodi di vibrazione del primo e del secondo modo tenendo conto poi dell'elongazione del periodo, come fatto per la ricerca della spettrocompatibilità.

Al termine dell'analisi sono disponibili quindi in forma tabellare (Tab. 3) per ciascun accelerogramma di input le informazioni che ne evidenziano i potenziali effetti nei confronti del terreno e della struttura sovrastante, unitamente al loro contributo probabilistico alla pericolosità del sito. Gli eventi riquadrati sono quelli stimati come maggiormente gravosi per l'edificio e per il terreno e nel caso presentato essi risultano in realtà gravosi per entrambi poiché occupano la prima e la seconda posizione della relativa classifica. Si sottolinea che la metodologia, in quanto frequenze orientata, non identifica come eventi più gravosi necessariamente quelli aventi magnitudo maggiori a brevi distanze.

Tab. 3 - Set di accelerogrammi selezionati con relativi indicatori del contributo percentuale alla pericolosità, fattore di scala impiegato e posizione in graduatoria da Class_SE.

Nome stazione	Data evento	Mw	Repi [Km]	Componente	Contributo pericolosità [%]	Fattor e di Scala	Posizione in graduatoria edificio	Posizione in graduatoria terreno
0EQT Temporanea	30/06/2013	4.8	4.3	E/O	25.9	3.65	10	11
0EQT Temporanea	30/06/2013	4.8	4.3	N/S	25.9	2.67	8	12
Laino Temporanea	25/10/2012	5.3	8.5	E/O	22.3	3.37	4	3
Laino Temporanea	25/10/2012	5.3	8.5	N/S	22.3	3.63	13	7
L'Aquila-V.Aterno-M.Pettino	07/04/2009	4.5	1.4	E/O	25.9	3.51	7	10
L'Aquila-V.Aterno-M.Pettino	09/04/2009	5.4	11	N/S	22.3	3.53	1	2
Cesi Monte	14/10/1997	5.6	8.7	E/O	16	3.41	12	8
Cesi Monte	14/10/1997	5.6	8.7	N/S	16	1.97	5	9
Mormanno	25/10/2012	5.3	1.7	E/O	22.3	2.3	2	1
Mormanno	25/10/2012	5.3	1.7	N/S	22.3	2.2	6	4
Tarcento	11/09/1976	5.2	7	N/S	22.3	3.64	3	5
Sant'eusanio forconese	07/04/2009	5.5	5.3	E/O	16	0.801	14	13
Sant'eusanio forconese	07/04/2009	5.5	5.3	N/S	16	1.34	11	14
RM03	07/04/2009	5.5	3.4	E/O	16	3.74	9	6

Conclusioni. La metodologia proposta vuole valorizzare una selezione dei segnali accelerometrici di input specifica per il singolo sistema strutturale esistente o per il sottosuolo di fondazione tenendo conto degli aspetti probabilistici legati alla pericolosità di base e nel rispetto delle prescrizioni della normativa NTC08.

Lo scopo è quello di risolvere alcuni aspetti critici quali la ridotta disponibilità nei database di accelerogrammi naturali di magnitudo elevate e brevi distanze registrati su sito rigido e la poca specificità nella ricerca della spettrocompatibilità imposta dalla normativa in un range di periodi ampio e poco rappresentativo.

La prima criticità viene risolta integrando i segnali naturali disponibili con accelerogrammi simulati, la seconda con una ricerca mirata della spettrocompatibilità nel range di periodi specifici del sistema strutturale che tenga conto dell'effettivo comportamento dinamico.

Inoltre è stata posta particolare attenzione a garantire la migliore corrispondenza possibile tra lo spettro del singolo accelerogramma e quello a pericolosità uniforme (che include la deviazione standard dell'attenuazione) con il conseguente vantaggio di preservare una coerenza spettrale non solo in termini di media.

Infine la metodologia restituisce, per ognuno degli accelerogrammi appartenenti al set, sia il contributo percentuale alla pericolosità del sito sia la posizione in graduatoria relativamente alla vulnerabilità del sistema strutturale e al sottosuolo di fondazione.

Bibliografia

- Acunzo G., Pagliaroli A., Scasserra G.; 2014: *In-Spector: un software di supporto alla selezione di accelerogrammi naturali spettrocompatibili per analisi geotecniche e strutturali*. 33° Convegno Nazionale NGGTS, Bologna 25-27 novembre 2014, volume 2, 107-114, ISBN 978-88-940442-2-5
- Bommer J.J., Abrahamson N.A.; 2006: *Why Do Modern Probabilistic Seismic-Hazard Analyses Often Lead to Increased Hazard Estimates?* Bull. Seism. Soc. Am, Vol. 96, No. 6, pp. 1967-1977.
- Bommer J.J., Acevedo A.B.; 2004: *The use of real earthquake accelerograms as input to dynamic analysis*. Journal of Earthquake Engineering, 8, 4, 1-50.
- C.S.L.L.PP.; 2009: *Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008*. Circolare 2 febbraio 2009 (GU n. 47 del 26-2-2009 - Suppl. Ordinario n.27), n. 617.
- Halldorsson B., Papageorgiou A.; 2005: *Calibration of the Specific Barrier Model to Earthquakes of Different Tectonic Regions* Bull. Seism. Soc. Am. 95, 4, 1276-1300.
- Housner G.W.; 1952: *Spectrum intensity of strong motion earthquakes*. Proceedings of the Symposium on Earthquakes and Blast Effects on Structures, Earthquake Engineering Research Institute, California: 20-36.
- Iervolino I., Manfredi G., Cosenza E.; 2008: *Eurocode 8 compliant real records sets for seismic analysis of structures*. Earthquake Eng. & Structural Dynamics, 12, 1, pp. 54-90.
- Krinitzsky E. L.; 2002: *How to obtain earthquake ground motions for engineering design*. Eng. Geol. 65, 1-16.
- Krinitzsky E.L., Chang F. K.; 1979: *Specifying peak motions for design earthquakes*. *State-of-Art for Assessing Earth. Hazards in the U.S.*, paper S-73-1, US Army Corps of Engineers, Vicksburg, Mississippi.
- Luzi L., Sabetta F., Mele F., Castello B.; 2010: *Italian strong motion database relative to the period 1972-2004: motivations and aims*. Bulletin of Earthquake Engineering. Vol 8 n. 5 pp 1159-1174. DOI: 10.1007/s10518-009-9140-7
- Mucciarelli M., Spinelli A., Pacor F.; 2004: *Un programma per la generazione di accelerogrammi sintetici "fisici" adeguati alla nuova normativa*. 11° Congresso Nazionale l'Ingegneria Sismica in Italia, Genova 25-29 gennaio 2004.
- Pagliaroli A., Lanzo G.; 2008: *Selection of real accelerograms for the seismic response analysis of the historical town of Nicastro (Southern Italy) during the March 1638 Calabria earthquake*. Engineering Structures, 30, 2211-2222.
- Sabetta F., Pugliese, A.; 1996: *Estimation of response spectra and simulation of nonstationary earthquake ground motion*. Bull. Seism. Soc. Am. 86, 337-352.
- Sabetta F., Lucantoni A., Bungum H., Bommer J.J.; 2005: *Sensitivity of PSHA results to ground-motion prediction relations and logic-tree weights*. Soil Dyn Earthq Eng 25:317-329
- Scasserra G., Stewart J.P., Kayen, R. e Lanzo G.; 2009: *Database for earthquake strong motion studies in Italy*, Journal of Earthquake Engineering, 13, 6, 852-881.