

Afterwards, the basin has been discretized through a regular mesh of points: according to its position within the basin, each point has been then associated to a cluster and to a given relation  $f_0$  vs. distance from the outcropping bedrock. A  $f_0$  value has been associated to each point, then extrapolating the data for each in situ measurement. After that, through a linear interpolation we reconstructed, for the entire study area, a  $f_0$  surface model which was then validated with several experimental noise measurements. Finally, on the basis of the available bibliographic and experimental data, a s-waves velocity representative of the basin alluvial filling has been defined and, combining it with the obtained  $f_0$  values, the thickness of the alluvial body in each point of the basin surface has been calculated.

Future research will focus on detailed analyses of the stratigraphic and lithological characteristics of the alluvial filling, with the aim of refining the 3D morphology reconstruction as well as of expanding the geophysical database.

### References

- Capecchi F., Guazzone G. and Pranzini G.; 1975: Il bacino di Firenze - Prato - Pistoia. Geologia del sottosuolo e ricostruzione evolutiva. Boll. Soc. Geol. It. 94, 637 - 660
- Capecchi F. and Pranzini G.; 1986: *Studi geologici e idrogeologici nella pianura di Pistoia*. Boll. Soc. Geol. It., 104, 601-620.
- Coli M., Agili F., Pini G. and Coli N.; 2004: *Firenze: il suo impatto sull'evoluzione geomorfica dell'area*. It. J. Quat. Sci., 17, 195-211
- Nakamura Y.; 1989: *A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremors on the ground surface*. Quart. Rep. Railway Tech. Res. Inst. (RTRI), 30, 25-33
- Puccinelli A., D'Amato Avanzi G., Perilli N. and Verani M.; 2015: *Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 262—Pistoia*. Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici (APAT)—Dipartimento Difesa del Suolo-Servizio Geologico d'Italia, Ente Realizzatore Università di Pisa, Dipartimento di Scienze della Terra, Pisa, Italy, 161 pp.

## SULLA DISUNIFORMITÀ DELLA SICUREZZA SISMICA DEGLI EDIFICI DI NUOVA PROGETTAZIONE

I. Iervolino

*Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura, Università degli Studi di Napoli Federico II, Italy*

Le *Norme Tecniche per le Costruzioni* (di seguito NTC; CS.LL.PP. 2018) richiedono di progettare in riferimento a una serie di soglie prestazionali prestabilite, o *stati limite*. Agli stati limite di norma corrispondono intensità dello scuotimento sismico al suolo che hanno uno specifico periodo di ritorno del superamento al sito della costruzione.

Nell'ambito di un vasto programma di ricerca nazionale, il progetto *RINTC - Rischio Implicito delle Strutture Progettate Secondo le NTC* (Iervolino e Dolce 2018), sono stati progettati diversi edifici appartenenti a cinque tipologie strutturali presso tre siti: Milano (MI), Napoli (NA) e L'Aquila (AQ), caratterizzati da pericolosità bassa, media e alta, rispettivamente. Gli edifici progettati appartengono a una vasta gamma di tipologie strutturali: muratura, cemento armato gettato in opera, cemento armato prefabbricato, acciaio, e edifici isolati alla base. Il progetto ha considerato due stati limite definiti dalle NTC, vale a dire *danno* e *salvaguardia della vita*. A questi due stati limite corrispondono periodi di ritorno del superamento delle intensità sismiche di progetto pari a 50 e 475 anni, rispettivamente. Degli edifici progettati si è poi calcolata l'affidabilità sismica strutturale, espressa in termini di tasso di fallimento annuale. Questi tassi sono stati valutati rispetto a due livelli prestazionali definiti ad hoc, vale a dire *collasso globale* e *danno che impedisce l'utilizzo*. Il primo ha a che fare prevalentemente con il danneggiamento

delle strutture, mentre il secondo prevalentemente con il comportamento degli elementi non-strutturali.

Il risultato principale del progetto è che l’affidabilità sismica delle strutture progettate decresce sensibilmente all’aumentare della pericolosità del sito, sebbene le strutture siano tutte progettate per azioni che hanno lo stesso periodo di ritorno a ciascuno dei siti considerati. A titolo di esempio, si considerano gli edifici in cemento armato a telaio di sei piani (nudi) analizzati nel progetto e i cui tassi annuali di fallimento sono riportati in Tab. 1 (per i dettagli di progettazione strutturale e modellizzazione, si veda Ricci *et al.*, 2018). Si nota che i tassi crescono di ordini di grandezza all’aumentare della pericolosità del sito. Si discutono qui due motivi plausibili per cui ciò avviene. (1) i cosiddetti *minimi di normativa*, intendendo con questo termine tutti quei provvedimenti da prendere in progettazione indipendentemente dalla pericolosità del sito. (2) Le intensità dei terremoti per periodi di ritorno più grandi rispetto a quello massimo usato nel progetto e che sono sintetizzati nel concetto di *picco oltre la soglia*.

Tabella 1 - Tassi di fallimento e fattori di riduzione per strutture in cemento armato a sei piani. (\*Il tasso è così basso che può essere fornito solo un limite superiore; si veda Iervolino *et al.*, 2018.)

	MI	NA	AQ
Tasso di fallimento annuale per collasso globale	1.00E-5*	1.00E-5*	8.47E-5
Tasso di fallimento annuale per danno che impedisce l'utilizzo	1.86E-4	5.97E-3	1.08E-2
$R_{picco\_oltre\_la\_soglia} = E [Sa(T) Sa(T)>sa_{T=475}]/sa_y$	0.41	1.16	2.19
$R_{pericolosità\_uniforme} = sa_{T=475}/sa_y$	0.28	0.77	1.10

Il *picco oltre la soglia* è definito come l’intensità sismica in terremoti che superano l’azione di progetto. Il *picco oltre la soglia* è, dunque, una variabile aleatoria (VA). Considerando quale misura di intensità sismica una ordinata spettrale,  $Sa(T)$ , corrispondente a un certo periodo di vibrazione  $T$ , si dimostra che la funzione densità di probabilità di questa VA, che si può indicare come  $f_{Sa(T)|Sa(T)>sa_{T_r}}(sa)$ , si può ottenere dalla derivata della curva di pericolosità per il sito,  $\lambda_{Sa(T)>sa}$  divisa per il tasso di superamento della soglia ( $sa_{T_r}$ ) corrispondente al periodo di ritorno ( $T_r$ ) in questione:

$$f_{Sa(T)|Sa(T)>sa_{T_r}}(sa) \cdot d(sa) = \frac{d\lambda_{Sa(T)>sa}}{\lambda_{Sa(T)>sa_{T_r}}}, \quad \forall sa > sa_{T_r}.$$

Il valore atteso dell’intensità in terremoti che superano la soglia, che si può indicare come  $E[Sa(T)|Sa(T)>sa_{T_r}]$ , non è altro che la media di tale distribuzione. A titolo di esempio, in Fig. 1, si riporta la curva di pericolosità, su roccia, in termini di  $Sa(T = 1s)$  per il sito di L’Aquila, e anche la distribuzione del *picco oltre la soglia* che ha 475 anni di periodo di ritorno del superamento,  $sa_{T_r=475}$ , allo stesso sito.

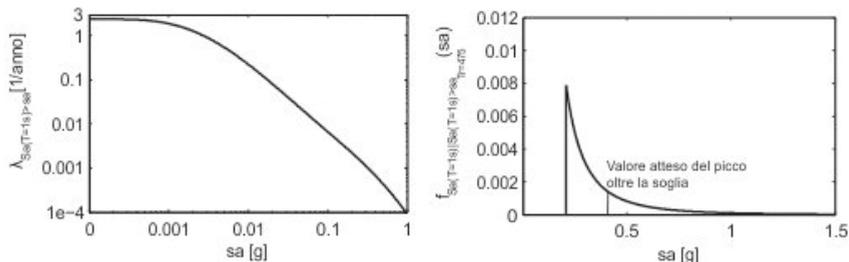


Fig. 1 - Sinistra: curva di pericolosità considerando come misura di intensità la pseudo-accelerazione spettrale per un periodo di vibrazione di 1s (5% di fattore di smorzamento) a L’Aquila. Destra: distribuzione del *picco oltre la soglia* che corrisponde a 475 anni di periodo di ritorno.

È stato ampiamente dimostrato (si veda Iervolino *et al.*, 2019) che il valore atteso del picco oltre la soglia, pur considerando sempre lo stesso periodo di ritorno, aumenta considerevolmente con la pericolosità del sito e ciò può avere un effetto rilevante sulla affidabilità sismica delle strutture. La Fig. 2 (in alto) mostra le *backbone* dei sistemi a singolo grado di libertà equivalenti alle strutture considerate sopra (ottenute da modelli strutturali tridimensionali come discusso in Suzuki e Iervolino 2019). Si può vedere che, come previsto, la resistenza e capacità di spostamento ( $S_d$ ) delle strutture progettate secondo norma aumentano all'aumentare della pericolosità del sito. A fini di comparazione può essere utile rendere adimensionali i legami costitutivi strutturali mostrati. Ciò avviene nel pannello basso di Fig. 2, dove le coordinate sono la duttilità di spostamento,  $\mu$ , e il fattore di riduzione della resistenza,  $R$ . Nello stesso grafico sono riportati gli spettri a pericolosità uniforme per 475 anni di periodo di ritorno per i tre siti (cioè, approssimativamente quelli usati per la progettazione per salvaguardia della vita), così come gli spettri medi del picco oltre la soglia, nello stesso formato accelerazione-spostamento. A Milano, lo spettro a pericolosità uniforme interseca la *backbone* nel tratto elastico, mentre il punto di prestazione, secondo Fajfar (2000), si sposta a destra della all'aumentare della pericolosità. Questo può essere considerato l'effetto dei requisiti minimi di codice discussi in

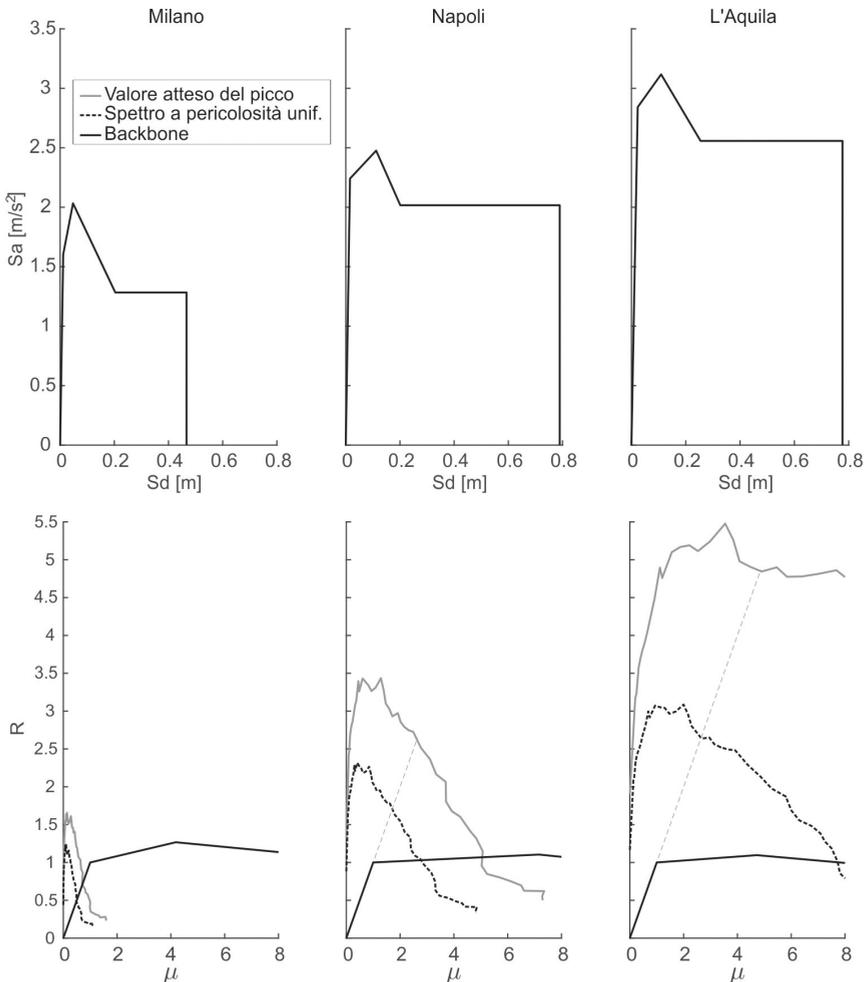


Fig. 2 - In alto: backbone di sistemi a un grado di libertà equivalenti a strutture in cemento armato a sei piani progettate secondo norma. In basso: spettri in formato accelerazione-spostamento e punti di prestazione in formato normalizzato (ovvero fattore di riduzione della forza vs duttilità).

precedenza. Tuttavia, nella figura, vengono mostrati anche gli spettri del picco oltre la soglia per i tre siti. Anche i punti di prestazione secondo questi spettri cambiano all'aumentare della pericolosità del sito; tuttavia, ciò avviene in modo non proporzionale rispetto a ciò che accade per lo spettro di progetto.

Per quantificare questo effetto, la Tab. 1 fornisce i fattori di riduzione della forza calcolati rispetto agli spettri del piccolo oltre la soglia e a pericolosità uniforme. Questi fattori sono definiti come i valori dei rispettivi spettri, al periodo di vibrazione del sistema considerato, divisi per l'accelerazione spettrale di snervamento del sistema ( $s_v$ ). È facile notare un aumento maggiore, con la pericolosità del sito, dei fattori di riduzione del picco oltre la soglia rispetto a quelli calcolati per gli spettri a pericolosità uniforme. Se ne può concludere che il moto al suolo per periodi di ritorno maggiori di quello del progetto, per cui la struttura non è verificata, è significativamente diverso nei tre siti, quindi ha un effetto sulla sicurezza sismica strutturale anche se l'intensità sismica di progetto ha lo stesso periodo di ritorno tra i siti, e la situazione peggiore è per i siti esposti alla pericolosità più alta.

Una soluzione a questo problema è, in linea di principio, la progettazione tesa a garantire esplicitamente una certa sicurezza strutturale. Tuttavia, questo paradigma non ha ancora trovato la sua strada in molti dei codici in uso, che sono basati su analisi statiche e modali e fattori di struttura. Quindi, per tenere conto delle questioni sollevate dal picco oltre la soglia in questo quadro, si possono investigare dei rimedi. Uno semplice sarebbe quello di calibrare i fattori di struttura in modo che risultino dipendenti dalla pericolosità del sito. In alternativa, si potrebbe sostenere che per le strutture situate in siti in cui il valore atteso del picco oltre la soglia è più grande, si debba verificare un ulteriore obiettivo prestazionale. L'azione sismica per questo ulteriore stato limite dovrebbe essere derivata dalla distribuzione del picco oltre la soglia. Tuttavia, la fattibilità ed efficacia di queste strategie richiede ricerca ad hoc e che va molto oltre quanto qui presentato.

### Bibliografia

- CS.LL.PP.; 2018: Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni. Gazz. Uff. Repubb. Ital. **42** (In Italian)
- Fajfar P.; 2000: *A Nonlinear Analysis Method for Performance-Based Seismic Design*. Earthq. Spectra. **16**:573–592. doi: 10.1193/1.1586128
- Iervolino I. and Dolce M.; 2018: *Foreword to the Special Issue for the RINTC (The Implicit Seismic Risk of Code-Conforming Structures) Project*. J. Earthq. Eng. **22**:1–4. doi: 10.1080/13632469.2018.1543697
- Iervolino I., Giorgio M. and Cito P.; 2019: *The peak over the design threshold in strong earthquakes*. Bull. Earthq. Eng. **17**:1145–1161. doi: 10.1007/s10518-018-0503-9
- Iervolino I., Spillatura A. and Bazzurro P.; 2018: *Seismic Reliability of Code-Conforming Italian Buildings*. J. Earthq. Eng. **22**:5–27. doi: 10.1080/13632469.2018.1540372
- Ricci P., Manfredi V, Noto F, et al.; 2018: *Modeling and Seismic Response Analysis of Italian Code-Conforming Reinforced Concrete Buildings*. J. Earthq. Eng. **22**:105–139. doi: 10.1080/13632469.2018.1527733
- Suzuki A. and Iervolino I.; 2019: *Seismic fragility of code-conforming Italian buildings based on SDoF approximation*. J. Earthq. Eng. doi:10.1080/13632469.2019.1657989