

EFFETTO DELLA PARETE ROCCIOSA SULLA RISPOSTA DINAMICA DI BLOCCHI DI ROCCIA

Mariano Mennitti

Università degli Studi di Napoli Parthenope
mariano.mennitti@studenti.uniparthenope.it

Rosa Maria Stefania Maiorano

Università degli Studi di Napoli Parthenope
rossella.maiorano@uniparthenope.it

Stefano Aversa

Università degli Studi di Napoli Parthenope
stefano.aversa@uniparthenope.it

Sommario

Il moto oscillatorio (*rocking*) di un blocco rigido su base rigida soggetto ad un'eccitazione sismica è stato studiato da diversi autori con riferimento a una varietà di strutture snelle, quali statue o pietre tombali, colonne o opere monumentali, arredi o attrezzature interne. Gli studi effettuati sulla risposta dinamica di blocchi rigidi rettangolari liberi di oscillare in entrambe le direzioni e soggette all'azione sismica della sola componente orizzontale hanno mostrato come l'approccio pseudostatico (formula di West), che considera il potenziale di ribaltamento di un terremoto come prodotto tra il rapporto base/altezza di un blocco e l'accelerazione massima del terremoto, sia un criterio molto cautelativo e che consente di individuare solo l'inizio del moto di *rocking* e non la condizione di ribaltamento. Tali studi hanno anche mostrato che la presenza della componente verticale del moto sismico è poco influente e, in alcuni casi, stabilizzante. In questa nota viene presentato un nuovo modello meccanico bidimensionale, chiamato "rocking one-sided", in cui si tiene conto della presenza di una parete rigida retrostante il blocco, scenario tipico per i blocchi di roccia completamente staccati dalla parete ma posti in adiacenza ad essa. In questo studio è stata analizzata la risposta dinamica per un elevato numero di registrazioni accelerometriche (di terremoti da database internazionali, europei e italiani) su base rigida, considerando solo la componente orizzontale del moto sismico. I risultati ottenuti hanno mostrato che la presenza della parete ha un effetto negativo sulla stabilità dei blocchi. Tuttavia, resta ancora un margine significativo di sicurezza per i blocchi di dimensioni maggiori. Tale riserva potrebbe essere tenuta in considerazione nell'utilizzo dell'approccio pseudostatico attraverso i coefficienti riduttivi dell'azione sismica, nell'ottica di una progettazione che tenga conto della prestazione del pendio, filosofia alla base degli attuali codici normativi.

1. Titolo

Durante un evento sismico, diverse strutture snelle come, per esempio, statue, pietre tombali, colonne, opere monumentali, arredi, serbatoi, cabine elettriche e altre strutture simili, potrebbero oscillare, scorrere su un piano e ribaltare. Nel presente lavoro, si considera esclusivamente il moto di *rocking* di un blocco rigido poggiante su base rigida, posto in adiacenza ad una parete e soggetto ad azioni sismiche.

I primi studi sul *rocking* hanno analizzato il comportamento di elementi snelli in condizioni dinamiche individuando le equazioni e i parametri che influenzano il moto con approcci di tipo probabilistico e metodologico (Housner, 1963; Yim, Chopra. et al., 1980; Ishiyama, 1982). La maggior parte di tali studi propone modelli di calcolo con soluzioni analitiche in forma chiusa per segnali semplici, quali impulsi rettangolari e cicli o mezzi cicli di funzioni cosinusoidali o sinusoidali (Spanos e Koh, 1984;

Makris e Roussos, 1998; Zhang e Makris, 1999; Kounadis, 2010; Voyaagaki et al., 2013), altri con soluzioni numeriche o formulazioni miste analitiche numeriche con accelerogrammi reali (Shi, Anooshehpour et al., 1996; Makris e Konstantinidis, 2003; Kaneko e Hayashi, 2004; Apostolou et al., 2007; Arredondo e Reinoso, 2008; Chatzis e Smyth, 2012; Vassiliou et al., 2013; Schau e Johannes, 2013). Solo pochi studi si concentrano su soluzioni sperimentali su piccola scala (Lipscombe e Pellegrino, 1993; Anooshehpour e Brune, 2002; Baratta et al., 2006). L'estensione del modello alla meccanica delle rocce, ovvero all'analisi di blocchi presenti in costoni rocciosi è stata proposta in letteratura da pochissimi autori (Surch e Becker, 2005; Brune et al., 2007).

Maiorano et al. (2015) hanno analizzato il moto oscillatorio di corpi rettangolari rigidi liberi di ruotare in entrambe le direzioni e soggetti sia ad impulsi semplici, come un ciclo coseno, sia ad accelerogrammi reali, considerando solo la componente orizzontale del segnale attraverso un modello meccanico bidimensionale sviluppato nell'estensione SIMULINK di Matlab. Dalle analisi svolte si era osservato che la risposta dinamica di un blocco rigido su suolo rigido è molto complessa e non è direttamente correlabile al valore dell'accelerazione massima dell'input sismico (PGA), ma è fortemente influenzata dalle caratteristiche geometriche del blocco. Inoltre, gli studi parametrici condotti su diversi blocchi sottoposti ad accelerogrammi reali avevano consentito di determinare un coefficiente riduttivo delle azioni sismiche dato dal rapporto tra la base stabile in condizioni dinamiche e quella stabile in condizioni statiche, che può essere utilizzato per la analisi di stabilità con i metodi pseudostatici. Nel prosieguo di tale studio, gli stessi autori (Maiorano et al., 2019) hanno apportato delle modifiche analizzando la risposta dinamica in presenza della componente verticale del moto sismico, osservando l'effetto trascurabile di quest'ultima.

Nella presente nota si introduce una modifica a questo modello meccanico per tenere conto della presenza di una parete verticale contro cui il blocco in moto di *rocking* può impattare.

2. Definizione del problema

Diversamente dai blocchi che possono oscillare da entrambi i lati (*Rocking Two-Sided*), ci sono alcuni casi in cui il moto di *rocking* può verificarsi da un solo lato (*Rocking One-Sided*). Questo scenario è molto comune per i blocchi di roccia staccati dalla parete rocciosa retrostante, ma posti in adiacenza ad essa.

Tale problema è stato studiato da pochissimi autori, contrariamente a quello bilaterale. Un problema simile, analizzato da Hogan (1992), è il *rocking* di arredi interni posti a contatto con la parete (armadi, librerie), durante un evento sismico. Winkler et al. (1995) hanno analizzato il moto di *rocking* di corpi prossimi ad una parete attraverso elaborazioni sperimentali e numeriche agli Elementi Distinti, notando che in corrispondenza delle basse frequenze, il modello che considera la possibilità di ribaltamento su un solo lato è più stabile di quello che permette il ribaltamento su entrambi i lati, mentre accade il contrario per elevati valori di frequenza. Tale studio è stato ripreso da Sigurdsson et al., (2017), con riferimento ad un blocco rigido rettangolare avente le dimensioni tipiche della libreria BRIMNESS dell'IKEA. Da questo studio è emerso che il *rocking one-sided* risulta essere molto meno stabile del *two-sided*. Altri studi sul *rocking one-sided* sono stati condotti con riferimento alle strutture in muratura per lo studio del ribaltamento nel piano, per la definizione di curve di fragilità (Giresini et al., 2018).

2.1 Moto oscillatorio di un blocco rigido adiacente ad una parete

La configurazione del problema è illustrata in Fig. 1. Il blocco rigido poggiante su base rigida ha una forma rettangolare di dimensioni $2b \times 2h$ e massa m ; è caratterizzato dal parametro di snellezza $a=b/h$ o dall'equivalente angolo critico di rotazione $\alpha=\tan^{-1}(b/h)$ e dal parametro di dimensione R che corrisponde alla distanza tra il centro di rotazione e il baricentro del blocco. In base all'ampiezza e alla

frequenza del segnale sismico, il blocco può slittare, oscillare o slittare e oscillare contemporaneamente.

Nell'ipotesi di attrito elevato da impedire lo scorrimento, il blocco sottoposto ad un'accelerazione orizzontale \ddot{u}_g del suolo può ruotare intorno ad O o ad O' se:

$$|\ddot{u}_g| \geq a \quad (1)$$

Per simulare la presenza della parete adiacente al blocco è stata apportata una modifica nel modello sviluppato in SIMULINK da Maiorano et al. (2015), imponendo un valore limite nella rotazione, fissato in base al caso da analizzare. La rotazione limite imposta al modello, in accordo con le convenzioni di Fig. 1, è negativa.

Sempre con riferimento alle convenzioni di Fig. 1, assumendo accelerazioni verticali alla base nulle, le equazioni del moto sono:

$$I_0 \ddot{\theta}(t) + mgR \sin(-\alpha - \theta(t)) = -m\ddot{u}_g R \cos(-\alpha - \theta(t)) \quad \theta(t) < 0 \quad (2)$$

$$I_0 \ddot{\theta}(t) + mgR \sin(\alpha - \theta(t)) = -m\ddot{u}_g R \cos(\alpha - \theta(t)) \quad \theta(t) > 0 \quad (3)$$

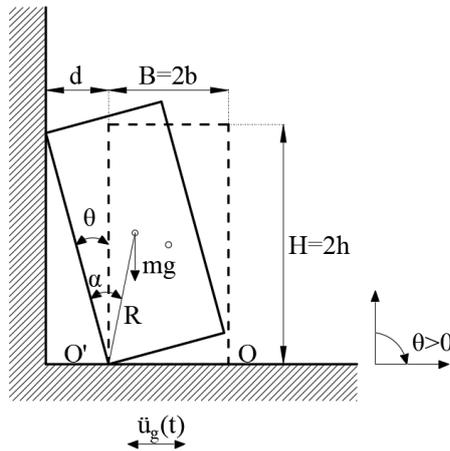


Fig 1. Blocco rettangolare rigido in moto di rocking adiacente ad una parete.

Per un blocco rettangolare il momento d'inerzia polare I_0 intorno ad uno dei due vertici della base è dato da:

$$I_0 = \frac{4}{3} mR^2 \quad (4)$$

Introducendo la funzione segno, le equazioni (2) e (3) possono essere rappresentate nella forma compatta:

$$\ddot{\theta}(t) = -p^2 \left\{ \sin[\alpha \operatorname{sgn}(\theta(t)) - \theta(t)] + \frac{\ddot{u}_g(t)}{g} \cos[\alpha \operatorname{sgn}(\theta(t)) - \theta(t)] \right\} \quad (5)$$

dove:

$$p = \sqrt{\frac{3g}{4R}} \quad (6)$$

è un parametro di frequenza (rad/s), indice delle caratteristiche dinamiche del blocco. Il comportamento dei materiali è assunto elastico all’impatto. Ciò nonostante, al momento dell’impatto al suolo, esclusivamente per il cambio del punto di rotazione, si ha una dissipazione di energia cinetica (Housner, 1963):

$$\dot{\theta}^2(t_0^+) = r \cdot \dot{\theta}^2(t_0^-) \quad (7)$$

Tale riduzione viene valutata attraverso il coefficiente di restituzione, il quale risulta essere funzione della snellezza del blocco:

$$r = \left(1 - \frac{3}{2} \sin^2 \alpha\right)^2 \quad (8)$$

L’impatto con la parete retrostante, invece, non comportando il cambio di punto di rotazione, non produce dissipazione di energia cinetica, ma solo un cambio di verso, al momento dell’urto, del vettore velocità. Il modello meccanico per la risoluzione dell’equazione del moto nella forma compatta (5) è stato calcolato numericamente con solutore ODE 3 dell’estensione SIMULINK di Matlab.

3. Risposta del blocco per impulso seno

Lo studio del *rocking one-sided* è stato condotto sottoponendo un blocco di dimensioni fisse ($b=0.5$ m e $h=2.5$ m) ad una serie di segnali dinamici semplici, quali un ciclo seno, per diversi valori di ampiezze e frequenze. L’onda sinusoidale è quella che più si avvicina alle registrazioni sismiche poiché parte con un valore nullo delle ampiezze.

Contrariamente al moto oscillatorio bidirezionale, in questo caso il problema è asimmetrico e per tale ragione le analisi sono state svolte cambiando il segno del segnale in ingresso per considerare una diversa posizione della parete, in entrambi i lati.

Con riferimento alle convenzioni di Fig. 1, se il segnale parte con ampiezze positive, il blocco inizia a ruotare con rotazioni negative e potrebbero verificarsi i seguenti scenari:

- il blocco ribalta direttamente senza alcun impatto;
- il blocco ruota con rotazioni negative senza impattare contro la parete retrostante, la velocità diminuisce dopo un impatto al suolo ma il blocco ribalta;
- il blocco ruota con rotazioni negative, impatta contro la parete retrostante e successivamente ribalta;
- il blocco non ribalta.

Le analisi sono state svolte considerando due distanze tra il blocco e la parete rispettivamente pari a 1 e 10 cm, diversi valori di ampiezza delle accelerazioni compresi tra 0 e 5 g e un range di frequenze comprese tra 0 e 2.5 Hz. I risultati di queste analisi sono mostrati nelle Figg. 2(a-b) e 3(a-b).

Gli spettri riportati nelle Figg. 2(a) e 2(b) si riferiscono alle analisi svolte per il blocco sottoposto all’azione dinamica con accelerazioni iniziali positive. È possibile individuare due aree: la regione di “safe” (campita in blu), in cui le rotazioni del blocco si smorzano fino ad annullarsi, e la regione di “overturning” (campita in giallo), in cui il blocco ribalta direttamente senza alcun impatto, né al suolo né contro la parete retrostante. Invece, negli spettri in Fig. 3(a) e 3(b), rappresentative delle analisi con ampiezza in ingresso negativa, si individua una nuova area: la regione di “overturning with impact”, in cui si ha ribaltamento del blocco dopo un impatto contro la parete ed il suolo.

I risultati mostrano che l’area di instabilità incrementa nel caso in cui il blocco urta contro la parete (nel caso di accelerazioni iniziali positive) e, in particolare, si ha una situazione più critica per il blocco posto a 10 cm dalla parete. Confrontando questi risultati con quelli del *rocking two-sided* di Maiorano et al. (2015), si conferma che la parete ha un effetto negativo nei confronti del meccanismo

di ribaltamento.

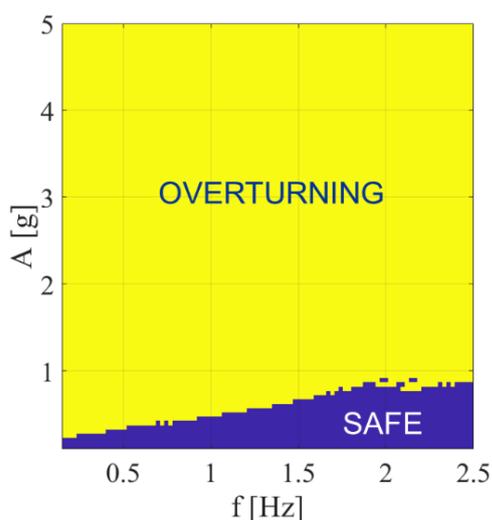


Fig. 2(a). Spettro di ribaltamento per un blocco ($p=1.70$ rad/s, $\alpha=0.197$ rad, $r=0.89$, $b=0.5$ m, $h=2.5$ m) soggetto ad un ciclo seno con accelerazioni iniziali positive e posto ad 1 cm dalla parete.

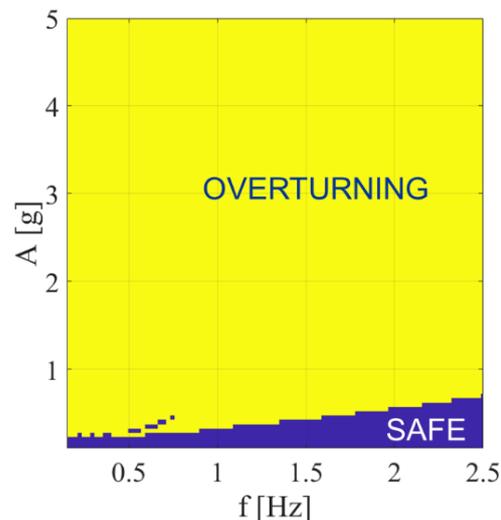


Fig. 2(b). Spettro di ribaltamento per un blocco ($p=1.70$ rad/s, $\alpha=0.197$ rad, $r=0.89$, $b=0.5$ m, $h=2.5$ m) soggetto ad un ciclo seno con accelerazioni iniziali positive e posto ad 10 cm dalla parete.

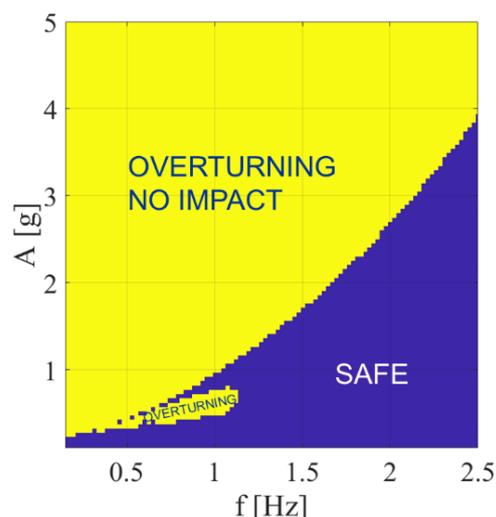


Fig. 3(a). Spettro di ribaltamento per un blocco ($p=1.70$ rad/s, $\alpha=0.197$ rad, $r=0.89$, $b=0.5$ m, $h=2.5$ m) soggetto ad un ciclo seno con accelerazioni iniziali negative e posto ad 1 cm dalla parete.

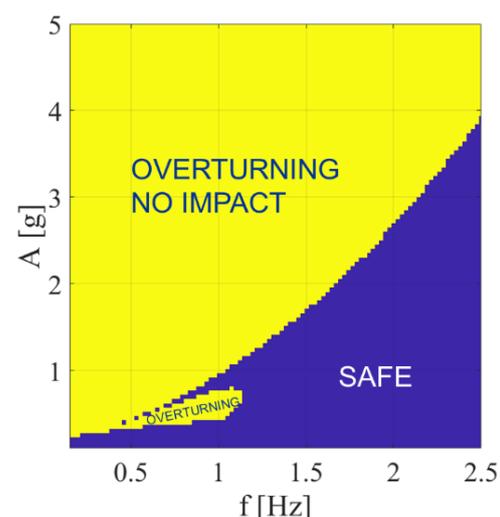


Fig. 3(b). Spettro di ribaltamento per un blocco ($p=1.70$ rad/s, $\alpha=0.197$ rad, $r=0.89$, $b=0.5$ m, $h=2.5$ m) soggetto ad un ciclo seno con accelerazioni iniziali negative e posto ad 10 cm dalla parete.

4. Risposta del blocco per registrazioni naturali

Nel seguito si discute dei recenti risultati ottenuti analizzando la risposta dinamica di blocchi rigidi adiacenti ad una parete sottoposti ad azione sismica. Gli accelerogrammi selezionati sono gli stessi utilizzati da Maiorano et al. (2015), considerando la componente orizzontale del moto sismico. Nel database sismico selezionato sono presenti eventi naturali significativi raccolti da database internazionali, europei e italiani e sono caratterizzati da diversi parametri sismici.

Per ciascun terremoto è stata analizzata la risposta dinamica di 400 blocchi rettangolari distinti per 20 valori del rapporto di snellezza a , compresi tra 0.1 e 0.5, e 20 valori di b , compresi tra 0.1 e 1 m. Le simulazioni sono state svolte ponendo i blocchi a diverse distanze dalla parete. I risultati riportati di seguito fanno riferimento a due distanze: 1 e 10 cm. I risultati delle analisi sono riportati nel piano β - T_p/T_m , dove β è il coefficiente riduttivo delle azioni sismiche, proposto da Maiorano et al. (2015):

$$\beta = \frac{b}{b_{ps}} = \frac{PGA}{b \cdot h} \quad (9)$$

e T_p/T_m è un parametro adimensionale, rappresentativo delle frequenze caratteristiche del terremoto e della geometria del blocco. T_p è l'inverso del parametro di frequenza p :

$$T_p = \frac{2\pi}{p} = 2\pi \sqrt{\frac{4R}{3g}} \quad (10)$$

mentre T_m è il periodo medio alla Rathje et al. (1998) della componente orizzontale del moto sismico. La curva limite superior ricavata da Maiorano et al. (2015) per il rocking two-sided e data dalla seguente equazione:

$$\beta = 1.35 \cdot \exp[-0.12 \cdot (T_p/T_m)] \quad (11)$$

è stata sovrapposta agli spettri riportati nelle Figg. 4 e 5.

Il grafico in Fig. 5 riporta i risultati delle analisi dinamiche per i blocchi posti ad una distanza di 1 cm dalla parete. Lo spettro mostra una riduzione del margine di sicurezza rispetto al moto bidirezionale: tale risultato rappresenta una conferma dell'effetto negativo dovuto alla presenza della parete. In particolare, si osserva un incremento del coefficiente sismico β per i blocchi più larghi ($T_p/T_m > 10$).

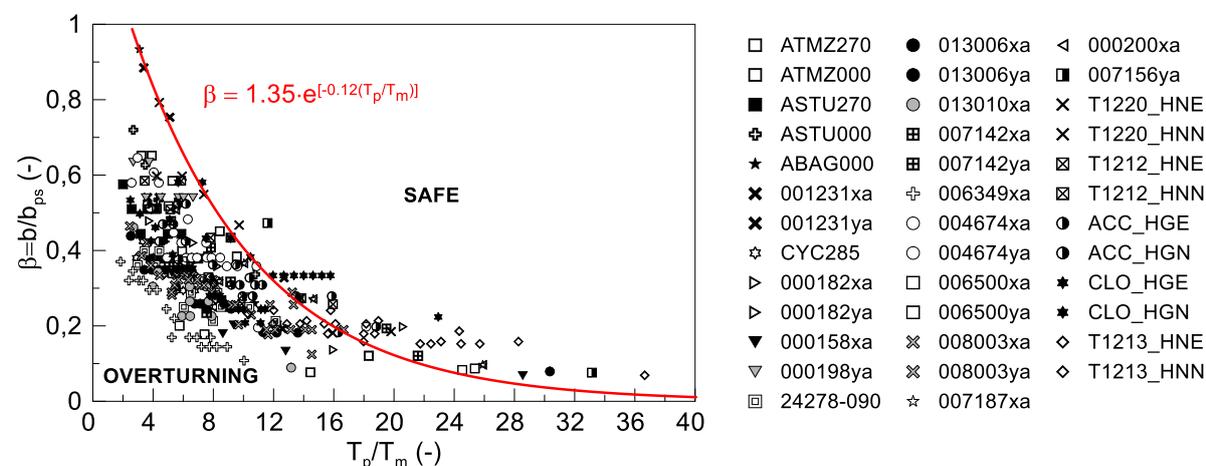


Fig 4. Spettro di ribaltamento per blocchi posti ad una distanza di 1 cm dalla parete rocciosa.

Tale effetto diventa più marcato per i blocchi rigidi posti ad una distanza di 10 cm dalla parete (Fig. 5). Si osserva un aumento dei punti sopra la curva limite superiore a cui corrisponde una riduzione dell'area di safe e, quindi, del margine di sicurezza. Questi risultati sono in buon accordo con quelli ottenuti dalle simulazioni svolte con semplici input sinusoidali. In particolare, a piccole distanze tra blocco e parete corrisponde una maggiore stabilità nei confronti del meccanismo di ribaltamento. Per altre distanze tra blocco e parete, maggiori di 10 cm, si è osservato che la risposta dinamica del *rocking one-sided* tende a quella del *rocking two-sided*.

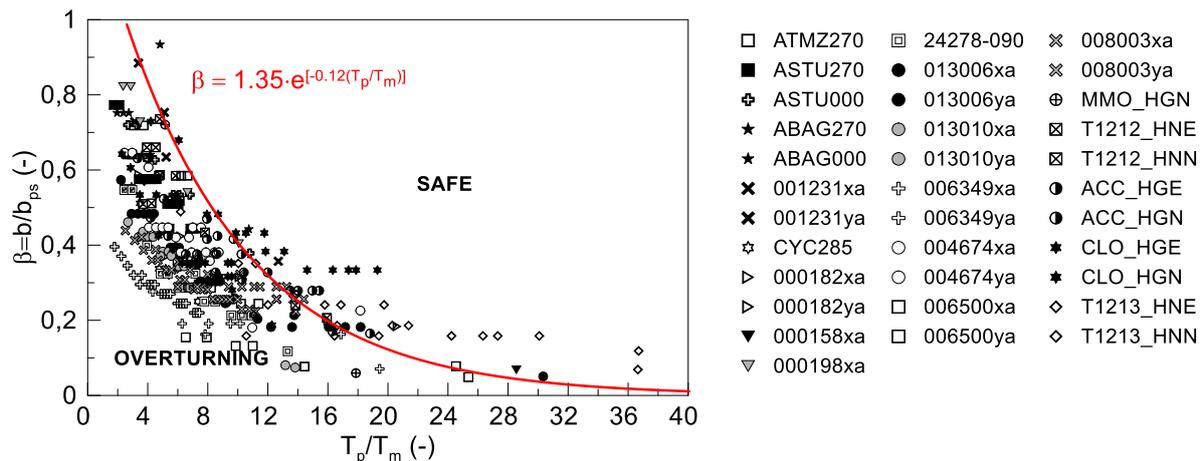


Fig 5. Spettro di ribaltamento per blocchi posti ad una distanza di 10 cm dalla parete rocciosa.

5. Considerazioni conclusive

Questo lavoro di ricerca costituisce il naturale proseguimento di uno studio precedentemente avviato da Maiorano et al. (2015) sul rocking di blocchi rocciosi. In particolare si è analizzato il moto oscillatorio di blocchi rigidi prossimi ad una parete, scenario tipico per i blocchi rocciosi completamente staccati dal pendio ma posti in adiacenza ad una parete rocciosa, sottoposti all'azione dinamica di semplici impulsi seno e di accelerogrammi naturali.

A partire dalle simulazioni con semplici cicli sinusoidali si è osservato che la presenza della parete ha un effetto negativo sulla stabilità dei blocchi. Tale effetto diventa marcato quando la distanza blocco-parete aumenta di un ordine di grandezza passando da 1 cm a 10 cm.

I risultati ricavati dalle simulazioni numeriche con accelerogrammi naturali di Maiorano et al. (2015) sul *rocking two-sided* sono stati sovrapposti a quelli del *rocking one-sided*: da questo confronto è emerso che la parete incide negativamente sulla stabilità al ribaltamento, confermando quanto ricavato precedentemente con le analisi svolte con input seno.

A partire dalla distanza tra blocco e parete di 1 cm si è osservato che la stabilità e, quindi, il margine di sicurezza, tende a diminuire. Per blocchi posti ad una distanza dalla parete maggiore di 10 cm, la risposta dinamica tende a quella del *rocking two-sided*.

Bibliografia

- Adinolfi M., Maiorano R. M. S., Aversa S. (2019). "On the stability of slender blocks subjected to horizontal and vertical seismic accelerations". International Conference on Earthquake and Geotechnical Engineering (VII ICEGE), Rome, 17-20 June 2019.
- Apostolou M., Gazetas G., Garini E. (2007). "Seismic response of slender rigid structures with foundation uplifting", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 27 (Amsterdam: Elsevier), pp. 642-654.
- Arredondo C. A., Reinoso E. (2008). "Influence of Frequency Content and Peak Intensities in the Rocking Seismic Response of Rigid Bodies", *Journal of Earthquake Engineering*, vol. 12, pp. 517-533.
- Brune J. N., Pruvance M. D., and Anooshehpour A. (2005). "Gauging Earthquake Hazards with Precariously Balanced Rocks", *American Scientist*, vol. 95.
- Chatzis M. N., Smyth A. W. (2012). "Robust Modeling of the Rocking Problem", *Journal of Engineering Mechanics*, vol. 138 (Reston: American Society of Civil Engineers), pp. 247-262.
- Dimitrakopoulos E. G., Paraskeva T. S. (2015). "Dimensionless fragility curves for rocking response to near fault excitations", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, vol. 44, n. 12, pp. 2015-2033.
- Giresini L., Casapulla C., Denysiuk R., Matos J., Sassu M. (2018). "Fragility curves for free and restrained rocking masonry façades in one-sided motion", *Engineering Structures*, vol. 164 (Amsterdam: Elsevier), pp. 195-213.

- Hogan S. (1992). “On the motion of a rigid block, tethered at one corner, under harmonic forcing”, *Proceedings of the Royal Society of London: Mathematical and Physical Sciences*, vol. 439, pp. 35-45.
- Housner G.W. (1963). “The behaviour of inverted pendulum structures during earthquakes”. *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol 53, n 2, pp 403-417.
- Ishiyama Y. (1983). “Motions of rigid bodies and criteria for overturning by earthquake excitations”. Third South Pacific Regional Conference on Earthquake Engineering (Wellington).
- Kaneko M., Hayashi Y. G. (2004). “A proposal for simple equations to express a relation between overturning ratios of rigid bodies and input excitations”. Proceedings of the 13th World Conference on Earthquake Engineering.
- Kounadis K. (2010). “On the overturning instability of a rectangular rigid block under ground excitation”, *The Open Mechanics Journal*, vol. 4, pp. 43-57.
- Kramer S. L. (1996). “Geotechnical earthquake engineering” (Upper Saddle River: Prentice Hall).
- Maiorano R. M. S., Adinolfi M., Aversa S. (2015). “Rocking of slender rock blocks under seismic excitation”, *Rivista Italiana di Geotecnica*, vol. 49, pp. 87-101.
- Makris N., Konstantinidis D. (2003). “The rocking spectrum and the limitations of practical design methodologies”, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, vol. 32, pp. 265–289.
- Makris N., Roussos Y. (1998). “Rocking response and overturning of equipment under horizontal pulse-type motions”. Report Pacific Earthquake Engineering Research Center 1998/05 (Berkeley: College of Engineering, University of California).
- Makris N., Zhang J. (1999). “Rocking response and overturning of anchored equipment under seismic excitations”. Report Pacific Earthquake Engineering Research Center 1999/06 (Berkeley: College of Engineering, University of California).
- MATLAB R2019a. The language of Technical Computing. The Mathworks, Inc.: Natick, MA, R2019a.
- Rathje M. E., Abrahamson N. A., Bray J. D. (1998). “Simplified frequency content estimates of earthquake ground motions”, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, vol. 124 (Reston: American Society of Civil Engineers), pp. 150-159.
- Schurch P., Becker A. (2005). “Studies on ‘precarious rocks’ in the epicentral area of the AD 1356 Basle earthquake”, *Switzerland Geophysical Journal International*, vol. 163 (Oxford: Oxford University Press), pp. 689-697.
- Shi B., Anoshehpour A., Zeng Y., Brune J. N. (1996). “Rocking and Overturning of Precariously Balanced Rocks”. *Earthquakes Bulletin of the Seismological Society of America*. Vol. 86, n. 5, pp., 1364-1371.
- Sigurdsson G. Ö., Rupakhety R., Ólafsson S. (2017). “A study of rigid blocks rocking against rigid wall”. International Conference on Earthquake engineering and Structural Dynamics, Reykjavík, Iceland, 12-14 June 2017.
- Spanos P. D., Koh A. S. (1984). “Rocking of rigid blocks due to harmonic shaking”, *Journal of Engineering Mechanics*, vol. 110 (Reston: American Society of Civil Engineers), pp. 1627-1642.
- Vassiliou M. F., Mackie K. R., Stojadinovic B. (2013). “Rocking and sliding of unanchored bodies subjected to seismic load according to conventional and nuclear rules”. COMPDYN 4th ECCOMAS Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering.
- Vassiliou M. F., Mackie K. R., Stojadinovic B. (2013). “Rocking response of slender flexible columns under pulse excitation”. COMPDYN 4th ECCOMAS Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering.
- Voyagaki E., Psycharis I. N. and Mylonakis G. (2013). “Rocking response and overturning criteria for free standing rigid blocks to single – lobe”, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 46 (Amsterdam: Elsevier), pp. 85-95.
- Winkler T., Meguro K., Yamazaki F. (1995). “Response of rigid body assemblies to dynamic excitation”, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, vol. 24, pp. 1389-1408.
- Yim C. S., Chopra K. A., Penzien J. (1980). “Rocking response of rigid blocks to earthquakes”, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, vol. 8, pp. 565-587.
- Zhang J., Makris N. (2001). “Rocking response of free standing blocks under cycloidal pulses”, *Journal of Engineering Mechanics*, vol CXXVII (Reston: American Society of Civil Engineers), pp. 473-483.