

POSSIBILI SVILUPPI DI MODELLI PER PIATTAFORMA VIBRANTE.

Premesse.

Ho raccolto qui alcune mie riflessioni sulle possibili evoluzioni dei modelli e delle sperimentazioni da realizzare mediante tavole vibranti. Molte di queste idee derivano dall'analisi di filmati presenti su Youtube, i cui riferimenti ho inserito nelle ultime pagine di questa mia nota.

Variatione della direzione del sisma.

Mi sono posto il problema di valutare l'influenza dell'inclinazione della direzione del sisma (direzione di oscillazione della tavola) rispetto ai piani di simmetria dei modelli.

Praticamente, sarebbe molto facile cambiare la direzione di sollecitazione del sisma: sarebbe sufficiente inserire nella piastra di base dei modelli quattro ulteriori fori che consentano di ruotare il modello stesso rispetto ad un asse verticale.

I modelli, però, hanno dei montanti a sezione rettangolare molto allungata, con una elevata differenza di rigidezza nelle due direzioni principali. Ne consegue che le frequenze proprie che sono state prese in considerazione corrispondono alla direzione di oscillazione che impegna i pilastri secondo la minima rigidezza. Ne consegue che applicando una forzante inclinata, ad esempio, di 15° si avrebbe un comportamento oscillatorio analogo a quello che già conosciamo, senza chiamare in causa movimenti significativi trasversali, al di fuori del piano medio di simmetria del modello.

Questa ipotesi di lavoro, quindi, sarebbe praticabile solamente con modelli i cui montanti avessero inerzia confrontabile nelle due direzioni.

Variatione delle masse e/o delle rigidezze per innescare componenti torsionali.

Una casistica abbastanza completa dei vari casi modellabili è disponibile nel **video A1**, messo a punto dall'Università di Bergamo. I casi analizzati sono riassunti qui sotto.



- modello semplice
- modello controventato
- modello con piano debole
- modello con eccentricità delle rigidezze
- modello con eccentricità delle masse
- modello con eccentricità delle rigidezze e delle masse



Da A1



Da A3

La differenziazione in termini di rigidezza viene ottenuta diagonalizzando un rettangolo della maglia del telaio. Nel caso particolare sembra che l'efficacia delle diagonali sia buona in trazione, ma non altrettanto in compressione.

Più efficace appare il metodo di irrigidimento a croce di S.Andrea proposto nel **video A3**, incastrato in corrispondenza dei nodi, che, però, corrisponde ad un vincolamento rigido (non elastico).

Per simulare la deformabilità di una parete di muratura, costruita come irrigidimento all'interno di una maglia di telaio, si potrebbe inserire un prisma rettangolare realizzato con quella spugna deformabile utilizzata per la protezione dagli urti nei pacchi. Se il modello fornisse una risposta soddisfacente, potrebbe essere utile tracciare sulla superficie di questo diaframma una maglia quadrata che ne evidenzia le deformazioni.

Nel **video A2** è riportata una prova su un telaio a due piani, con l'inserimento di accelerometri di misura ai due livelli.

Modellazione di strutture in muratura.

Come riferimento ho riportato un esempio di prove in media scala nel **video B2** dove si porta a rottura una vera costruzione in muratura, costituita da blocchi uniti da malta.

L'utilizzo di modelli ottenuti per assemblaggio "a secco", come nel **video B1** e nel **video B3** presenta, a mio parere, due limiti ben precisi:

- Il fatto che la struttura, inizialmente, sia molto rigida non evidenzia la correlazione tra la frequenza propria della struttura e la frequenza della forzante;
- il meccanismo di crisi non è un vero meccanismo di rottura, ma un meccanismo innescato dal superamento della resistenza per attrito che unisce gli elementi.

Per altro, ricordo alcuni studi sulle colonne greche e romane realizzate a conci che evidenziava come i periodi propri di queste fossero molto diversi da quelli di analoghe colonne monolitiche. Analogamente, il periodo proprio di un modello ottenuto per assemblamento a secco di “mattoncini” è ben diverso da quello dello stesso modello, quando i “mattoncini” risultino ben collegati tra loro.

Mi pare, insomma, che questi modelli abbiano un loro fascino legato essenzialmente alla spettacolarizzazione del crollo della struttura, mentre dicono abbastanza poco, se non nulla, dal punto di vista concettuale.

Mi sembra interessante, invece, il metodo semplice ed efficace di modellare un isolamento alla base utilizzato nel **video B2**, semplicemente inserendo, tra la piastra vibrante e la base del modello, due cerniere cilindriche a rotolamento che rendono evidenti:

- l’abbattimento dell’azione orizzontale sull’edificio,
- i rilevanti movimenti relativi tra “terreno ed edificio” che si possono verificare.



Il meccanismo di crisi per attrito visto qui sopra, viceversa, penso possa essere utile per fissare l’attenzione sul comportamento degli arredi durante le oscillazioni sismiche e sui pericoli di ribaltamento di armadi e, in genere, dispositivi con dimensioni ridotte della base. In questo caso mi riferisco, a titolo puramente indicativo, al **video C1**.

Modellazione di strutture con isolatori e/o dissipatori.

Data per scontata l’osservazione sulla modellazione di un sistema di isolamento visto nel **video B2**, come inquadramento preliminare dei casi di interesse ho riportato un esempio di prove in piccola scala: **video D1**. Sempre in relazione all’isolamento sismico, risulta tecnicamente interessante il **video D2**, anche se didatticamente mi sembra particolarmente interessante (e facilmente riproducibile) l’impostazione di isolamento a rulli autocentranti del **video D3**.

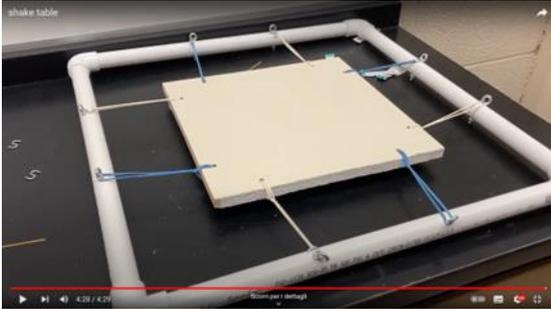
Nel **video D4** un’esperienza per la protezione delle opere d’arte mediante isolamento sismico alla base della teca. Analoga metodologia venne utilizzata, durante la sequenza sismica Modenese-Ferrarese del 2012, per la protezione delle botticelle di aceto balsamico (che devono essere aperte superiormente) per evitare la perdita di liquido.

La creazione di modelli con smorzatori di tipo idraulico (vedi **video D5**) potrebbe essere interessante, ma mi sembra problematica, a meno che non si trovino in commercio piccoli smorzatori di questo tipo (problema che ignoro completamente). Un’osservazione: con questi modelli piuttosto leggeri, la massa del dispositivo dello smorzatore non è trascurabile e, quindi, il periodo proprio del telaio viene modificato da questa massa aggiuntiva. Il confronto, quindi, andrebbe fatto tra un modello con smorzatori ed un secondo che preveda l’inserimento al piano dello smorzatore (come massa), senza però, attivarlo collegandolo alla struttura.

Potrebbe essere interessante la creazione di un modello con inserito uno smorzatore a massa accordata, sistema reso popolare con le presentazioni nei media del progetto di Taipei 101. Un esempio di modello è presentato nel **video D1**, ma trovo molto interessante e completa la presentazione del modello “Taipei 101” effettuata nel **video D6**, che prevede anche l’inserimento di un liquido viscoso che riduce le oscillazioni del pendolo superiore.

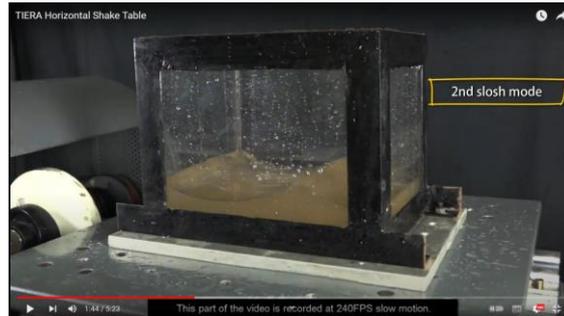
Modellazioni particolari.

Modellazione della deformabilità del terreno – La modellazione della deformabilità del terreno al di sotto del modello dell’edificio mi sembra piuttosto difficile da realizzare mediante la realizzazione di un vero basamento in terreno. Mi sembra che potrebbe essere utile, invece, la creazione di una base connessa elasticamente alla piastra vibrante, come nel **video E2**. Si potrebbero mettere a confronto direttamente l’accelerogramma misurato sulla piastra vibrante e quello misurato sulla piastra “di fondazione”. Successivamente si potrebbe collegare, sulla piastra “di fondazione”, un modello di oscillatore, che verrebbe, così, a tener conto dell’“effetto di sito”.



La cornice bianca esterna è connessa direttamente alla piastra vibrante, mentre la piastra interna è connessa alla cornice con delle molle. Ritengo che, in prossimità degli angoli, la piastra interna dovrebbe trovare dei vincoli allo spostamento verticale per evitare che si verificano campi di spostamento tridimensionali. Analogamente i 4 vincoli in una direzione dovrebbero essere rigidi, in modo da ottenere un campo di spostamento unidirezionale.

Modellazione dei movimenti di un fluido all’interno di un serbatoio – La modellazione del comportamento di un fluido all’interno di un serbatoio può essere ottenuta collegando una scatola trasparente alla piastra vibrante, inserendovi uno strato d’acqua (possibilmente colorata) ed attivando il movimento della piastra. Una prova di questo tipo è presentata nel **video E4**.



Modellazione degli effetti della liquefazione di un terreno incoerente saturo – È possibile inserire, in una vasca come quella vista al punto precedente, uno strato di sabbia asciutta. L’attivazione della vibrazione favorirà la costipazione della sabbia. Si può posare ora, sulla superficie dello strato di sabbia, un prisma di opportuno peso. Riattivando la vibrazione si dovrebbe avere un modesto assestamento della sabbia al di sotto del prisma e del prisma stesso.

Tolto il prisma, si dovrebbe, a questo punto, aggiungere acqua fino a raggiungere la saturazione della sabbia, utilizzando la vibrazione per favorire l’espulsione di bolle d’aria. A questo punto, si appoggia nuovamente il prisma pesante e si riattiva la vibrazione. Si dovrebbe manifestare un fenomeno di liquefazione del terreno ed un affondamento del prisma nella sabbia saturo. Un’esperienza sulla liquefazione della sabbia è riportata (in grande scala) nel **video E3**.

RIFERIMENTI A VIDEO DI YOUTUBE

Propongo una carrellata di alcuni video presenti su Youtube relativi a tavole vibranti utilizzate per mettere in evidenza alcuni aspetti della dinamica delle strutture.

A – MODELLI ELASTICI CON VARIAZIONE DELLE MASSE E/O DELLE RIGIDENZE

A1 – Varie prove di modelli di tavola vibrante elaborati dall'Università di Bergamo.

<https://www.youtube.com/channel/UCw1p9uSEk-ThMIW72iZqLCg>

doppio telaio a due campate e quattro piani

- modello semplice
- modello controventato
- modello con piano debole
- modello con eccentricità delle rigidezze
- modello con eccentricità delle masse
- modello con eccentricità delle rigidezze e delle masse

A2 – Oscillatore a 2 DOF – con accelerometri al piano – Federico II – SAIE 50° 2014

<https://www.youtube.com/watch?v=eYJ5TvtMfg>

A3 – Effetti irrigidimento piano inferiore

<https://www.youtube.com/watch?v=QT9OjViyb-A>

B – MODELLI DI MURATURA CON CRISI PER SUPERAMENTO DELLA RESISTENZA DEI GIUNTI

B1 – Modello per testare elementi in muratura (collasso per attrito)

<https://www.youtube.com/watch?v=OD6skhqaxoo>

B2 – Prove su struttura in muratura in media scala: College of Engineering, Ahmedabad

<https://www.youtube.com/watch?v=UMzsVicg0CQ>

B3 – Modelli rigidi assemblati per attrito: Isolamento Sismico - I.I.S.S. GIORGIO VASARI 2021-2022; Figline-Incisa Valdarno (FI)

<https://www.youtube.com/watch?v=qdT-oqTn16U>

C – MODELLI DI COMPORTAMENTO DEGLI ARREDI

C1 – Prove su tavola vibrante di componenti non strutturali di edifici ospedalieri – Federico II

<https://www.youtube.com/watch?v=Zk0AgsKF2EQ>

D – MODELLI ELASTICI CON ISOLATORI O DISSIPATORI

D1 – Metodi di controllo delle vibrazioni di strutture edili mediante tavola vibrante

Normale, con isolamento sismico alla base, Liquid Tuned Mass Damper LMD, Tuned Mass Damper TMD.

<https://www.youtube.com/watch?v=nIREnUYQPqao>

D2 – Dimostrazione con tavola vibrante Eucentre: edificio elastico con isolamento sismico (SAIE 2013)

https://www.youtube.com/watch?v=1xtaNLGw_M

D3 – Sistema di isolamento sismico su rulli autocentranti per gravità di Vincenzo Casa
<https://www.youtube.com/watch?v=ectBH-TFXro>

D4 – Isolamento alla base di opere d'arte. EQX Global
<https://www.youtube.com/watch?v=YomPhUKiviY>

D5 – Shake table: Dampers for earthquake protection
<https://www.youtube.com/watch?v=xp2pGxFzrzI>

D6 – Test per Smorzatori a massa accordata (Inglese, con sottotitoli) Da 6:40 riferimenti a Taipei 101
<https://www.youtube.com/watch?v=VCxm3vTWgvU>

E – MODELLI PARTICOLARI O CURIOSI

E1 – Una curiosità: la tavola vibrante della LEGO: LEGO® Earthquake Shake Table
https://www.youtube.com/watch?v=gM0AkVv_5oA

E2 – Come potrebbe essere possibile simulare l'effetto della deformabilità del terreno.
<https://www.youtube.com/watch?v=actsugRNqJI>

E3 – Sulla possibilità di valutare i problemi di liquefazione mediante tavola vibrante (qui in grande scala)
<https://www.youtube.com/watch?v=o-UBPsi0NSw>

E4 – Valutazione dei modi d'onda di un liquido in un contenitore
<https://www.youtube.com/watch?v=pTaZnmi2eg8>