

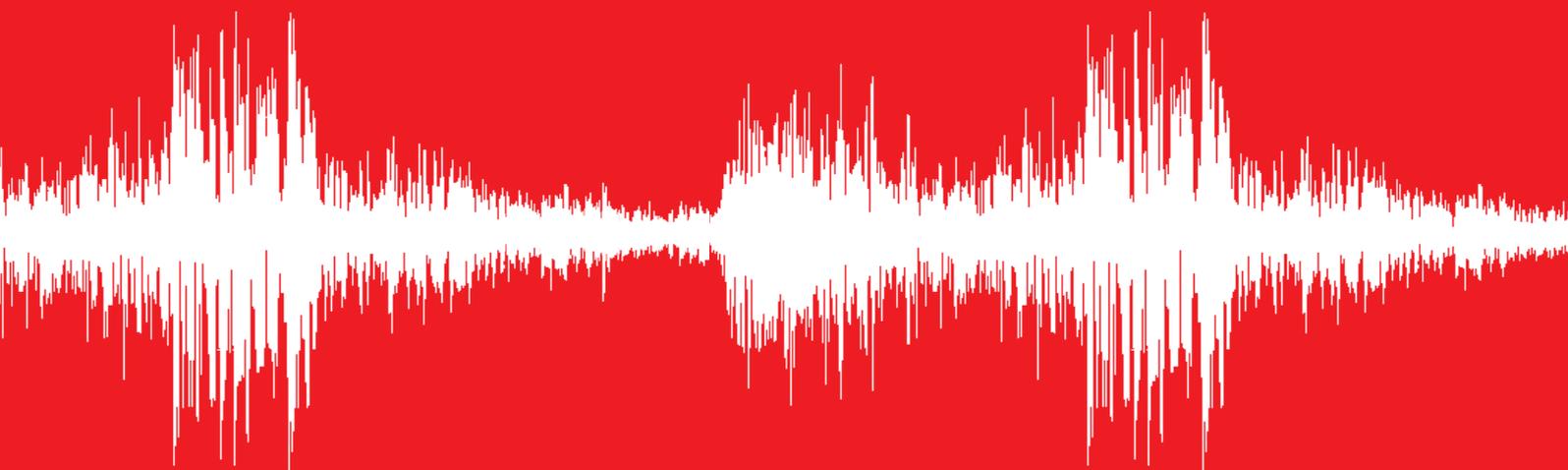
ECEL – Earthquake and Civil Engineering Laboratory
Centro Sperimentale per l'Ingegneria Sismica e Civile

PROGETTO TAVOLA VIBRANTE

RELAZIONE TECNICO-ECONOMICA SUL PROGETTO
DI UNA TAVOLA VIBRANTE DI ELEVATA CAPACITÀ A MODENA
PER SIMULAZIONI DI SCUOTIMENTO SISMICO SU STRUTTURE
ED INFRASTRUTTURE CIVILI IN SCALA REALE

- ANALISI DI FATTIBILITÀ
- ANALISI TECNICO-SCIENTIFICA
- BUSINESS PLAN

a cura del
Corso di Laurea in Ingegneria Civile
Facoltà di Ingegneria di Modena
Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia



Introduzione

La principale finalità del “Progetto Tavola Vibrante” è rendere sicure ed affidabili le strutture e le infrastrutture civili nei riguardi degli eventi sismici. Ciò a sostanziale beneficio della incolumità delle persone, ma anche a tutela dei beni culturali, monumentali, storici e di tutte quelle costruzioni essenziali alle attività umane. Il Progetto di Ricerca Sperimentale, che si intende sviluppare mediante la realizzazione di una Tavola Vibrante innovativa appositamente ideata, è di grande rilevanza tecnico-scientifica, e, inoltre, possiede la valenza di un *Servizio di Pubblica Utilità*.

Una Tavola Vibrante è un dispositivo di ampio e versatile utilizzo che consente di sottoporre i manufatti che vengano posti sulla Tavola a dei cicli di vibrazione, opportunamente programmati. Con tale dispositivo è possibile, ad esempio, simulare, in maniera accurata, l'azione sismica su strutture, infrastrutture, opere stradali, ponti, viadotti, sottopassi, opere marittime, opere portuali, dighe, opere geotecniche, rilevati, muri di sostegno, serbatoi, acquedotti, simulare le fasi di infissione di pali e palancole, replicare l'effetto del traffico stradale o ferroviario su edifici prossimi, stimare l'effetto del sisma sulla instabilità dei suoli e sulle opere su questi realizzate.

In virtù delle elevate capacità portanti della Tavola, sarà possibile, per la prima volta, riprodurre una qualsivoglia time-history, con un certo contenuto di frequenze, su una struttura (intelaiata o a pannelli portanti) realizzata in scala reale, includendo nel modello anche il terreno di fondazione. Queste prove consentirebbero di stimare direttamente l'effetto dinamico dell'interazione suolo-struttura. Come già menzionato, la Tavola Vibrante costituisce un importante strumento di sperimentazione dalle rilevanti implicazioni tecniche, scientifiche ed economiche.

Sperimentazione tecnica e implicazioni legislative

Dal punto di vista tecnico, risulta insufficiente e inadeguata la conoscenza del comportamento dinamico delle costruzioni quando queste hanno una configurazione strutturale complessa, quando sono dotate di grandi dimensioni e di grandi masse, quando esse interagiscono con i suoli o con le acque. Tutto ciò si riflette in una notevole incertezza nello stimare le azioni sismiche di progetto di tali strutture, incertezza che ha condotto a divergenti impostazioni normative, a dimensionamenti esuberanti ed antieconomici con l'obiettivo apparente di stare in sicurezza e alla impossibilità di determinare, con sufficiente precisione, il coefficiente di sicurezza del progetto, ovvero di stimare quel margine di sovrarresistenza a disposizione della struttura nell'eventualità di fenomeni sismici.

La disponibilità di una Tavola Vibrante adeguata consentirebbe di colmare il deficit di conoscenza attuale e di pervenire a modelli affidabili di comportamento, tramite i quali progettare, con la necessaria sicurezza, le strutture e le infrastrutture civili.

Indagine scientifica

Le Tavole Vibranti attuali si distinguono in relazione alla natura dei test che compiono e dunque, nel complesso, si può affermare che le diverse tavole sono rivolte a differenti campi di applicazione (aerospaziale, componentistica meccanica e veicolare, sociale ed educativo, etc.).

Tuttavia, nel settore delle costruzioni civili, le esperienze di laboratorio attualmente disponibili sono insufficienti a definire alcuni fenomeni importanti, quali ad esempio, gli effetti sismici su sistemi strutturali complessi o su di manufatti dotati di grandi masse. Sono altresì da indagare gli effetti dell'interazione suolo-struttura, dell'interazione fluido-struttura e l'effetto scala sulle strutture intelaiate.

Infatti, mentre si può affermare che l'indagine scientifica moderna abbia compiuto, grazie anche alle Tavole Vibranti, importanti passi in avanti nel campo della dinamica delle strutture e che, già oggi, sia ben noto e condiviso il comportamento dinamico delle stesse, altrettanto non si può affermare per le complesse interazioni che si verificano tra le strutture ed i suoli su cui esse posano.

Ciò dipende anche dal fatto che, mentre lo studio delle strutture richiede potenze di vibrazione relativamente contenute (in quanto esse sono sostanzialmente vuote), al contrario, lo studio dei terreni accoppiati alle strutture richiede di analizzare la vibrazione di masse particolarmente consistenti.

La Tavola Vibrante in oggetto sarebbe specificamente progettata e costituirebbe:

1. un unicum nel panorama mondiale;
2. uno strumento di grandissima valenza scientifica, in grado di costruire una nuova consapevolezza nella progettazione antisismica delle strutture e delle infrastrutture civili;
3. la premessa per lo sviluppo sul territorio di un polo di eccellenza tecnico-scientifica di rilevanza mondiale.

Con la realizzazione di un Centro sperimentale dedicato si realizzerà inoltre una struttura indispensabile per la didattica e la ricerca del Corso di Laurea in Ingegneria Civile. Il Centro svolgerà una funzione di supporto all'attività di didattica e ricerca dei docenti, ricercatori e laureandi afferenti al Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Civile. In sostanza, i vantaggi che potrebbero ricavare gli allievi ingegneri nella loro formazione, seguendo le simulazioni di terremoti su manufatti in scala reale e studiandone gli effetti sulle strutture sono numerosi e irripetibili nella pratica professionale e lavorativa. È evidente quindi che disporre di un Centro per la sperimentazione sismica con la Tavola Vibrante in progetto costituirebbe una opportunità unica per gli studenti, offrendo loro esperienze e competenze in altro modo non conseguibili.

La Tavola Vibrante in progetto costituirà una strumentazione unica che funzionerà da attrattore per tutti i ricercatori del settore, italiani e stranieri. Le campagne sperimentali che si potranno svolgere saranno seguite e concordate con altre università ed enti di ricerca internazionali e avranno lo scopo di incrementare le conoscenze scientifiche in materia antisismica e di fornire indicazioni preziose al legislatore. Con queste attività Modena ospiterà un polo di eccellenza in ingegneria sismica.

Competitività ed internazionalizzazione delle imprese del territorio operanti nel settore edilizio e delle costruzioni civili

In Emilia-Romagna ci sono 6 tra le prime 10 imprese di costruzioni in Italia (classifica Sole 24 Ore) e quasi 58.000 imprese di costruzioni (fonte Istat, *Struttura e dimensione delle imprese – Archivio statistico delle imprese attive*, 24 Luglio 2008) pari al 15,2% delle imprese totali.

Questi dati, pur essendo sintetici, fotografano un territorio in cui l'attività edilizia e delle costruzioni rappresenta sicuramente un punto di forza del proprio sistema produttivo.

La disponibilità di strutture in grado di supportare l'attività tecnica delle imprese, di ridurre le incertezze di progetto e di comprimere le diseconomie delle opere, rende possibile conseguire importanti risparmi economici a fianco di rilevanti contributi in termini di qualità delle opere, di affidabilità e di durabilità.

La Tavola Vibrante ed il laboratorio che la accompagna è certamente in grado di fornire un servizio di consulenza alle imprese a tutti i livelli: dalle prove materiali obbligatorie per legge, indispensabili ad ogni impresa, sino alle simulazioni in scala reale. Questo strumento risulterebbe fondamentale per il progetto di grandi opere e la partecipazione a gare di appalto internazionali. Tutto ciò a favore della competitività delle nostre imprese che operano in un mercato globale sempre più articolato.

In tal senso, la presenza sul territorio di un laboratorio di ricerca unico al mondo costituisce un supporto tecnico-scientifico di sicuro prestigio per le aziende che, presso il laboratorio, potranno svolgere la propria attività di progetto e verifica.

Applicazioni educational

Accanto ad un importante contributo di carattere tecnico-scientifico, l'attività sviluppata da ECEL potrà estendersi ad una opera di sensibilizzazione della società riguardo al problema dei terremoti, alla gestione del rischio sismico, alla necessità di adeguare la risposta sismica degli edifici, con particolare riferimento ai benefici che una progettazione antisismica consapevole può comportare in termini sociali ed economici.

Infatti, a causa del rischio per l'incolumità umana e per i danni ingenti causati alle strutture, gli eventi sismici rappresentano fenomeni di grande impatto sociale, la cui trattazione non può esulare dal percorso formativo degli studenti, a partire dalla giovane età. In effetti, nonostante l'Italia sia un paese ad elevato rischio sismico, in ragione della sua conformazione geologica e delle caratteristiche uniche del patrimonio edilizio esistente, nel nostro Paese manca un'attività di divulgazione rivolta a tutti i cittadini, in particolare ai più giovani, verso il problema rappresentato dai terremoti e dalle loro conseguenze.

La nascita a Modena di un centro di livello internazionale per l'ingegneria sismica consentirebbe di svolgere una estesa attività di sensibilizzazione, coinvolgendo le autorità e gli enti locali, organizzando incontri, seminari, conferenze, giornate di studio e visite guidate al Centro e ai laboratori ad esso afferenti, finalizzati a coinvolgere l'intera popolazione e, in particolare, gli studenti degli istituti tecnici. Ad essi sarebbe consentito assistere alle prove di simulazione di eventi sismici sulle strutture, con particolare rilievo per gli aspetti didattici ed educativi. Questa attività, pressoché unica nel panorama nazionale ma piuttosto comune all'estero, assume particolare rilevanza se estesa a tutti coloro che operano, a vario titolo, nel settore delle costruzioni e, più in generale, nella gestione e nella salvaguardia del territorio e delle risorse ambientali.

Progetto tecnico della Tavola Vibrante

Il progetto della Tavola Vibrante è stato redatto dal gruppo di lavoro del Corso di Laurea in Ingegneria Civile dell'Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia in collaborazione con il gruppo di ricercatori americani guidati dal professor Paul Ibanez.

La macchina progettata ha caratteristiche innovative e risulta unica nel suo genere. Oltre alla sua elevata capacità portante, essa è dotata di tutti e sei i gradi di libertà di un corpo rigido nello spazio. Ciò permetterà di riprodurre con grande affidabilità le tre componenti dell'accelerogramma di un generico evento sismico. Inoltre, occorre precisare che per le sue peculiarità la macchina non potrà essere perfezionata significativamente nei prossimi anni, in quanto essa possiede già tutti i possibili gradi di libertà e ha una capacità portante notevolmente superiore rispetto a quelle già esistenti nel mondo. Con la Tavola Vibrante in progetto potranno essere condotte simulazioni di terremoti su manufatti dotati di masse elevate. Ciò consentirà da un lato di valutare il comportamento dinamico di strutture realizzate praticamente in scala reale e, dall'altro, di testare manufatti di notevole massa quali, ad esempio, opere geotecniche, opere portuali, infrastrutture viarie, ecc., per le quali non sono attualmente disponibili esperienze di laboratorio.

Caratteristiche di Progetto

La Tavola Vibrante è concepita con le seguenti caratteristiche:

- carico utile 250 tonn
- massima accelerazione a pieno carico 0.5g, a carico medio/basso 1÷2g
- frequenza utile 0÷20 Hz
- velocità massima 0.5 m/s
- escursione utile ± 10 cm
- struttura ad elevata rigidità e leggerezza
- prove sismiche della durata dell'ordine di 1 min.
- costo contenuto
- elevata affidabilità
- elevata versatilità di utilizzo

Specifiche Tecniche

Lo studio condotto dal Gruppo di Lavoro del Corso di Laurea in Ingegneria Civile dell'Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia, evidenzia che le soluzioni tecniche attualmente disponibili rendono possibile concepire e realizzare una Tavola Vibrante con le proprietà innovative descritte al Paragrafo precedente.

La Tavola dovrà avere le seguenti caratteristiche:

- essere costituita da una grande scatola in acciaio, la cui base rappresenta la Tavola vera e propria su cui sono fissati, mediante collegamenti bullonati, i lati;
- peso stimato in 10-15 tonn di ogni lato in acciaio;
- scatola sormontata da un elemento di chiusura che ha come unico scopo l'irrigidimento della stessa, mantenendo prerogative di accessibilità e ispezionabilità, ad esempio mediante barre di controventamento o un bulkhead di irrigidimento;
- verniciatura della scatola per evitarne la corrosione;
- posizionamento della Tavola su 4 airbags di diametro 1 m, in grado di sostenere l'elevato carico utile di 250 tonn ed il peso della struttura, stimabile in 75 tonn, per un complesso di 325 tonn;
- gli airbags sostengono la Tavola in modo diffuso, così da rendere snella la struttura della stessa, che vi poggia direttamente, realizzando al contempo una bassa inerzia e rigidezza nell'ostacolare le prove dinamiche;
- la dimensione degli airbags è tale da richiedere una pressione di esercizio contenuta a circa 7 atm, con conseguente dimensione limitata dei compressori.

Gli attuatori, oleodinamici ed in numero di 6, pari ai gradi di libertà di corpo rigido della Tavola nello spazio, sono:

- oleodinamici a doppio effetto;
- progettati per esercitare una forza utile, ciascuno, di 100 tonn;
- dotati di servovalvole ad elevata velocità, in grado di gestire una portata di circa 1500 lt/min;
- dotati di una corsa utile di 10 cm e massima di 18 cm;
- la corsa degli attuatori è limitata a 10 cm da appositi bumpers fissi, allo scopo di evitare danneggiamento degli attuatori per eccessivi spostamenti della Tavola;
- dotati di una velocità di azionamento di circa 0,5 m/s
- posti in corrispondenza delle pareti della scatola, ove la rigidezza della struttura è più grande, e, per gli attuatori giacenti sul piano orizzontale, posti all'altezza stimata del baricentro del complesso scatola/carico.

Il sistema di alimentazione oleodinamica deve provvedere, in condizioni stazionarie, una alimentazione dei 6 attuatori per circa 9.000 lt/min teorici ovvero, considerando la non contemporanea azione di tutti gli attuatori, per circa 4.500 lt/min.

Tuttavia, allo scopo di contenere i costi e realizzare prove di durata stimata attorno ad 1 min, è consigliabile dotare il sistema di alimentazione di accumulatori idraulici per 2.200 lt i quali vengono alimentati da una pompa di portata utile stimata di 880 lt/min e che, nell'esecuzione delle prove, forniscono la portata necessaria ad alimentare gli attuatori per la quota parte che eccede le capacità stazionarie della pompa.

Con tali dimensionamenti si può prevedere un tempo di:

- 10 minuti di ricarica degli accumulatori;
- 30 secondi teorici di prova, che si prolungano a 60 secondi reali.

Le linee di alimentazione sono fisse, in acciaio, con una parte terminale flessibile per il collegamento con la Tavola.

Conto economico

Elemento	euro complessivi	% sul territorio	euro sul territorio
Carroponte	100,000	100%	100,000
Fondazioni	300,000	100%	300,000
Tavola in acciaio	600,000	100%	600,000
Attuatori (6X)	1,500,000	35%	525,000
Pompa oleodinamica ed accumulatori	400,000	75%	300,000
Computer e sensori	100,000	0%	0
Attrezzature ausiliarie	500,000	100%	500,000
Totale	3,500,000	di cui	2,325,000

Al costo della macchina va aggiunto quello del capannone che dovrà accoglierla. Tenendo presente le dimensioni dei campioni e le esigenze derivanti dalla loro movimentazione, occorre disporre di una superficie di 1.200 mq. Pertanto, per la realizzazione del capannone e delle relative pertinenze, si può stimare un costo complessivo di 2 mln di euro.

Rimangono esclusi gli oneri di cessione/acquisto/noleggio del terreno.

Costo totale del progetto 5,5 mln euro