

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II



SCUOLA POLITECNICA E DELLE SCIENZE DI BASE

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE ED AMBIENTALE

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO

SINTESI DELL'ELABORATO DI TESI:

ANALISI NUMERICHE STATICHE E DINAMICHE DI BARRIERE INTERRATE PER L'ISOLAMENTO SISMICO

Relatore

Ch.mo Prof. Alessandro Flora

Correlatori

Ch.mo Prof. Emilio Bilotta

Dott. Ing. Valeria Nappa

Candidata

Roberta Ventini

Matricola

M67/232

ANNO ACCADEMICO 2015/2016

ABSTRACT

Negli anni gli eventi sismici hanno provocato numerosi danni all'edilizia ed alle infrastrutture ma ciò che ha sofferto di più è stata l'edilizia storica a causa della sua fragilità intrinseca. L'installazione di sistemi strutturali passivi è molto comune nella protezione di edifici esistenti. Isolatori e ammortizzatori, normalmente collocati tra la struttura e la sua fondazione, sono in grado di dissipare parte dell'energia sismica ma le procedure di installazione sono costose e non sempre fattibili. Precisamente questa tipologia di intervento non è adatta ai manufatti aventi rilevanza storica e/o architettonica poiché ne possono modificare l'integrità, andando in contrasto con le recenti normative per la valutazione e la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale. In alternativa il rischio sismico può essere ridotto tramite iniezioni di miscele che modificano le proprietà del terreno, in modo da attenuare l'intensità sismica a livello del suolo.

Il lavoro svolto ha avuto lo scopo di testare, tramite simulazioni numeriche, la fattibilità statica e dinamica di barriere interrate per l'isolamento sismico di edifici esistenti. L'obiettivo è di ridurre la propagazione delle onde di taglio nella parte superficiale, prossima alla fondazione dell'edificio da salvaguardare. Per fare ciò è necessaria una miscela che abbia bassa densità, bassa velocità di propagazione delle onde di taglio e, di conseguenza, bassa impedenza dinamica e rigidità iniziale. L'idea di fondo è che lo strato trattato debba essere caratterizzato da un'impedenza dinamica $\rho \times V_s$ (dove ρ è la densità e V_s è la velocità delle onde di taglio) più bassa rispetto a quella del solo terreno. Il materiale trovato è un polimero super assorbente (SAP) cioè un polimero che può assorbire e trattenere grandi quantità di un liquido rispetto alla propria massa. Il SAP utilizzato nell'attività di ricerca, in corso da alcuni anni presso il Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile ed Ambientale, è un sale sodico parziale di acido poliacrilico le cui caratteristiche sono state determinate sperimentalmente (Flora et al., 2015). Si riportano alcuni dei risultati ottenuti in termini di velocità delle onde P ed S, da cui è stato possibile ricavare numericamente il coefficiente di Poisson (Fig. 1) ed i risultati di prove di taglio diretto ed anulare (Fig. 2).

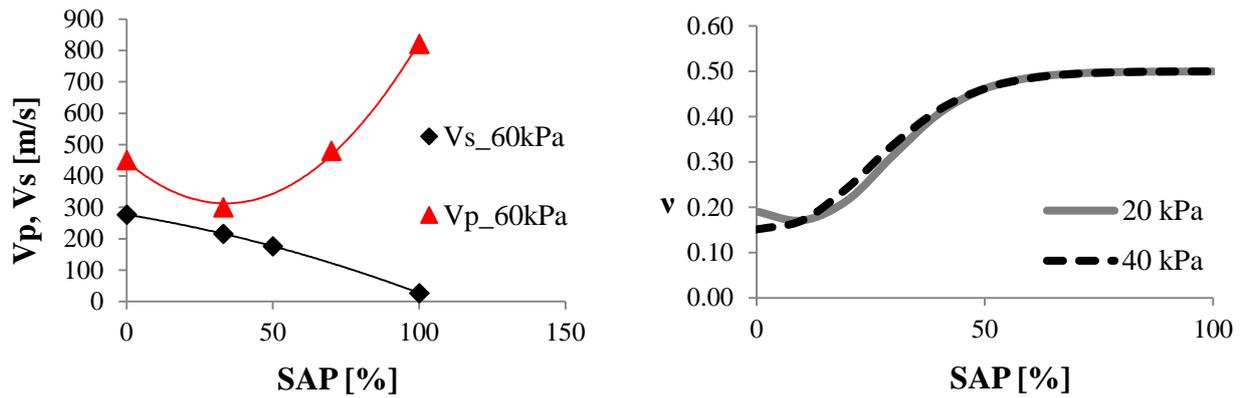


Figura 1- *Variazione delle velocità delle onde sismiche e del coefficiente di Poisson*

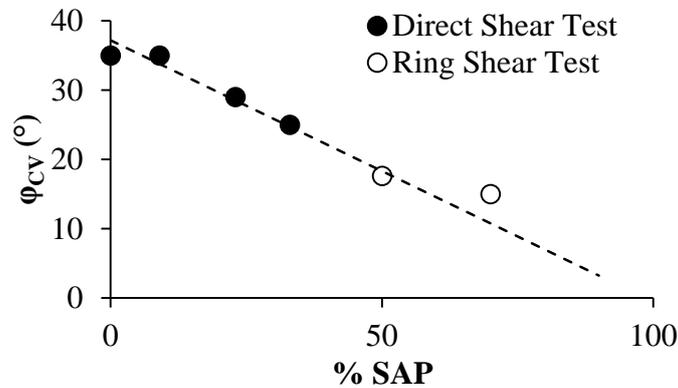
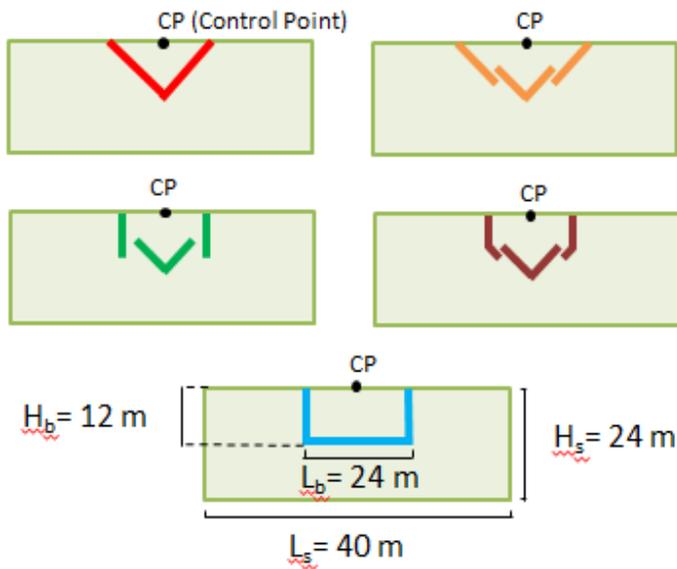


Figura 2- *Andamento dell'angolo d'attrito di stato critico al variare della percentuale di SAP*

Nelle analisi numeriche è stata considerata una sabbia densa (Hostun sand) implementata nel codice di calcolo agli elementi finiti PLAXIS 2D con un modello denominato “HS small”. Questo modello fornisce spostamenti più affidabili in applicazioni dinamiche ed è in grado di catturare il comportamento isteretico della sabbia sottoposta a carichi ciclici, come nel caso di scuotimento dovuto a terremoti.

Al fine di valutare gli aspetti statici e dinamici del problema e l’influenza di alcuni parametri geometrici e meccanici, sono state esaminate diverse geometrie della barriera isolante facendo variare le combinazioni di materiali nei diaframmi (Fig. 3).



PARAMETRI	SAP 100%	MATERIALE SOFFICE	SAP 60%
$V_{s,b}$ [m/s]	25	25	150
$V_{p,b}$ [m/s]	560	47	404
G_b [MPa]	0,64	0,64	22,9
ρ_b [kg/m ³]	10000	10000	10000
ϕ_b [°]	5	5	15
Ψ_b [°]	0	0	0
ν_b [-]	0,499	0,3	0,42
E [MPa]	1,91	1,66	65

Figura 3- Schemi geometrici e parametri caratteristici dei materiali adottati

L'analisi dinamica non lineare è stata eseguita applicando alla base del modello una serie di diversi accelerogrammi di ingresso. Ogni segnale è stato estratto da un database di registrazioni di eventi naturali in modo da considerare una vasta gamma di contenuti in frequenza, durata ed ampiezza delle vibrazioni sismiche. Per modellare il comportamento dei terreni reali, è necessario inoltre introdurre nei calcoli dinamici lo smorzamento viscoso alla Rayleigh attraverso i coefficienti α e β . Il primo tiene conto dell'influenza della massa sullo smorzamento del sistema mentre il secondo considera l'influenza della rigidezza.

Studi precedenti hanno dimostrato che la frequenza che governa il sistema è quella della massa isolata. Un metodo per valutare tale frequenza consiste nel considerare la massa isolata come un sistema SDOF cioè un sistema ad un grado di libertà sismico. La rigidezza k è essenzialmente legata alla geometria e alle proprietà meccaniche della barriera stessa. Una valutazione approssimativa di k può essere fatta con riferimento ad uno spostamento orizzontale, considerando i contributi sulle diverse dimensioni della rigidezza a compressione k_1 e della rigidezza a taglio degli strati molli k_2 . Dunque la prima frequenza naturale di un sistema SDOF dipende dalla massa isolata m e dalla rigidezza k come mostrato in Fig. 4.

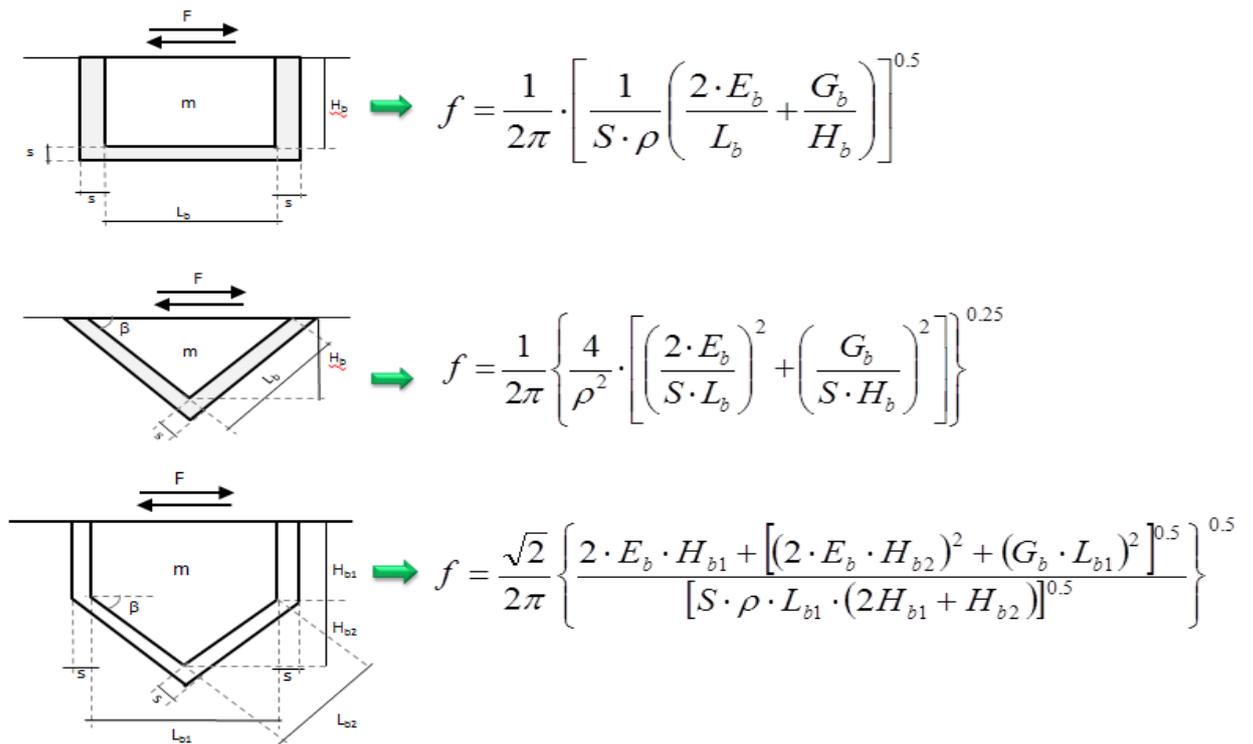


Figura 4- Frequenze naturali di diversi schemi geometrici

Un parametro utilizzato per confrontare le diverse configurazioni geometriche della barriera isolante è il valore massimo dell'accelerazione orizzontale (espressa come accelerazione di gravità) indotta nel *Contro Point* (CP). L'intervento è ovviamente efficace quando l'accelerazione orizzontale massima con trattamento, normalizzata con il corrispettivo valore in condizione *free field*, è minore di 1. Si osserva in Fig. 5, ove le accelerazioni sono state mediate per i 9 segnali di input, che il trattamento risulta efficace per tutti gli schemi.

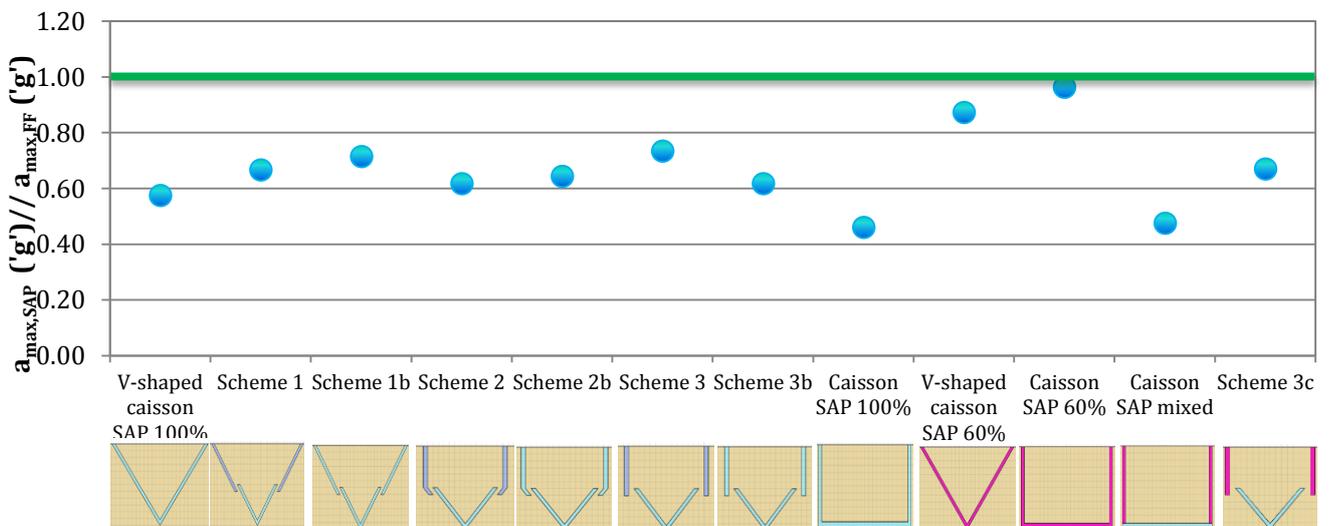


Figura 5- Massimo rapporto di accelerazione orizzontale in 'g' $a_{max, SAP} / a_{max, FF}$ mediata per i segnali di input

Altro parametro di confronto è l'intensità di Housner che risulta particolarmente efficace per la misurazione del potere distruttivo di un evento sismico nei riguardi delle costruzioni. L'intensità spettrale del terreno trattato, normalizzata dal corrispondente valore in condizione *free field*, ha messo in evidenza che la barriera isolante è più efficace nell'intervallo di periodi T (0,1-0,5) quindi è adatta maggiormente alla protezione di edifici in muratura tozzi.

Infine non bisogna trascurare i problemi statici che l'iniezione di materiale con proprietà meccaniche differenti può causare. Il primo punto è quello che riguarda la verifica di stabilità dell'insieme terreno-fondazione, ovvero la determinazione del carico limite, che rappresenta la pressione massima che una fondazione può trasmettere al terreno prima che questo raggiunga la rottura. Le analisi numeriche, svolte considerando un'opera di fondazione superficiale di lunghezza pari a 6 m e piano di posa coincidente con il piano campagna, hanno messo in evidenza che l'intervento comporta la riduzione del carico limite (Fig. 6) e l'incremento dei cedimenti indotti nel *Control Point*.

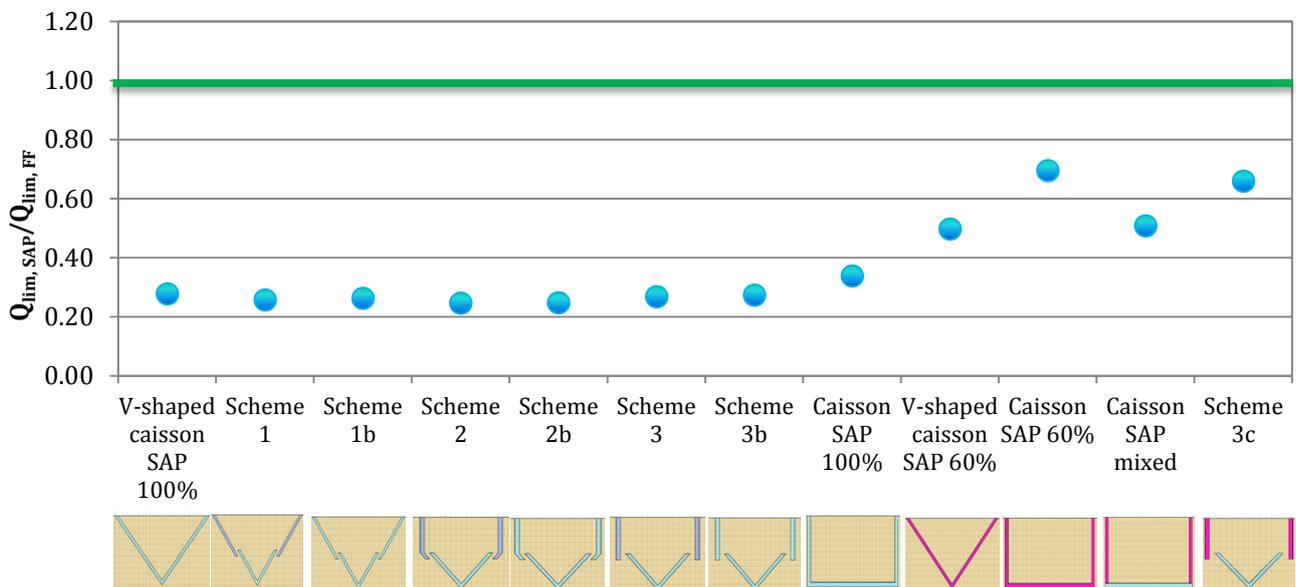


Figura 6- Rapporti tra le capacità portanti in presenza ed in assenza di trattamento per le diverse configurazioni adottate

Tuttavia la fattibilità statica dell'intervento migliora laddove si utilizzi il "SAP 60%", caratterizzato da un angolo d'attrito più alto ed una maggiore rigidità.

Il modello statico è inoltre influenzato dalla profondità del trattamento e in misura minore dallo spessore della barriera, a cui invece il modello dinamico è più sensibile. In particolare lasciando inalterati il materiale adottato nel trattamento, l'intensità del carico d'esercizio e la sua estensione, la fattibilità statica aumenta sia che si incrementi la profondità del trattamento sia che se ne riduca lo spessore. Di contro la resa dinamica dell'intervento cresce se lo spessore aumenta. Tuttavia poiché questa variazione è più significativa, la scelta dello spessore è principalmente legata, oltre che a valutazioni economiche, agli aspetti dinamici del problema.

Eppure il ruolo più considerevole, nell'incremento o meno dei fattori di stabilità, lo giocano le caratteristiche del materiale. La percentuale di SAP utilizzata nelle iniezioni determina in maniera univoca i valori dell'angolo d'attrito e delle velocità delle onde sismiche. Il primo ovviamente incide sulla stabilità statica post intervento mentre V_S e V_P del materiale influenzano notevolmente l'abbattimento dell'intensità sismica a livello della fondazione. Non a caso lo schema che più si adatta alle diverse problematiche sorte è il cassone rettangolare con iniezioni miste. Comporta una maggiore riduzione dell'intensità sismica e parallelamente consente di attingere valori del carico limite prossimi a quelli del solo terreno. Tuttavia tale schema è di difficile realizzazione ai fini pratici rispetto al modello con iniezioni oblique. Difatti in cantiere bisognerebbe monitorare attentamente l'iniezione del diaframma orizzontale poiché la sua inclinazione influenza la resa del trattamento.