



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI NAPOLI

“FEDERICO II”

*Dipartimento di Ingegneria Civile Edile ed Ambientale*

Corso di laurea magistrale in Ingegneria per l'ambiente e il territorio

Tesi Di Laurea in: Stabilità dei pendii

“Sollecitazione sismica nei pendii: analisi numerica degli effetti  
dell'asincronismo”

Relatori:

Ch.mi Prof.ri

Urciuoli Gianfranco

Bilotta Emilio

Candidata:

Matilde Zarrella

M67/35

Anno Accademico 2012/2013

## SOLLECITAZIONE SISMICA NEI PENDII: Analisi numerica degli effetti dell'asincronismo

Fino a qualche decennio fa i metodi tradizionali di tipo pseudo-statico hanno rappresentato l'unico strumento disponibile in letteratura per la verifica sismica dei pendii. Come noto il modulo delle forze pseudo-statiche (orizzontali  $F_h$  e verticali  $F_v$ ), applicate nel baricentro della potenziale massa instabile, è dato dal prodotto del peso  $W$  della massa stessa per un coefficiente adimensionale definito coefficiente sismico. Calcolate le forze statiche equivalenti ( $F_h = k_h * W$ ;  $F_v = k_v * W$ ) la verifica sismica richiede una stima degli stati tensionali nell'ipotesi di mezzo rigido (approcci tradizionali) o deformabile e si riconduce, quindi, alla valutazione del coefficiente di sicurezza.

I coefficienti sismici  $k_h$  e  $k_v$  sono parametri adimensionali che possono esprimersi come accelerazione equivalente ( $a_{eq}$ ) adimensionalizzata rispetto all'accelerazione gravitazionale  $g$ . La caratterizzazione quantitativa di  $a_{eq}$  rappresenta un aspetto ancora molto controverso. Assumere come valore  $a_{eq}$  la massima accelerazione prevista in superficie ( $a_{eq} = a_{max,s}$ ) equivale a ipotizzare, poco verosimilmente, che in un medesimo istante tutta la massa potenzialmente instabile attinga il valore dell'accelerazione in superficie e il metodo risulta in genere eccessivamente cautelativo. Nella realtà le oscillazioni sismiche all'interno della massa, soprattutto se di volume significativo, non sono sincrone e l'azione del sisma produce effetti inerziali minori di quelli calcolabili in base alla precedente assunzione.

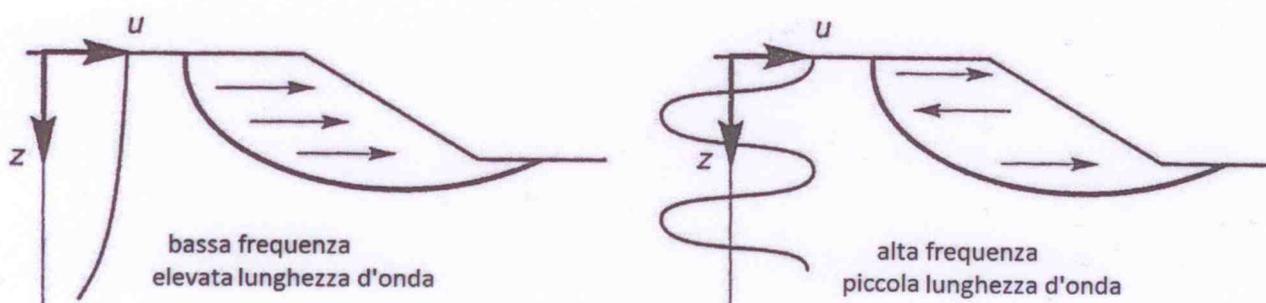


Figura 1 . Influenza della lunghezza d'onda sull'asincronismo del moto in un pendio

Il coefficiente sismico  $k_h$  può essere considerarsi inferiore al rapporto  $a_{max,s}/g$  perché, in virtù del rapporto tra le lunghezze d'onda significative del moto sismico nel pendio (che per un assegnato contenuto in frequenze dipendono dalle caratteristiche di rigidità del pendio) e lo sviluppo lineare

del pendio stesso, le accelerazioni sono asincrone per effetto dell'attivazione di modi di vibrare di ordine superiore al primo.

La normativa tecnica italiana (NTC, 2008) suggerisce di valutare il coefficiente sismico in funzione della massima accelerazione attesa e della tipologia di sottosuolo.

Nel presente lavoro di tesi si sono verificati i valori suggeriti dalla normativa in alcune condizioni tipiche conducendo analisi dinamiche ad elementi finiti con il programma di calcolo QUAKE/W.

I sette eventi sismici adoperati come segnali di input delle analisi sono stati selezionati sulla base di studi precedenti finalizzati alla valutazione del comportamento dinamico di una diga appenninica (Calvi et al., 2004; Convertito & Herrero, 2004) al variare del periodo di ritorno del terremoto. Essi sono selezionati dalle banche dati dell'European Strong Ground Motion Database (Friuli Tolmezzo, 1976; Valnerina, 1979; Montenegro UH e PH, 1979) e del Kyoshin Network database giapponese (SZO002, 1997; KGS005, 1997; MYG010, 2003).

Le geometrie dei pendii considerate sono due, diversi in altezza e in pendenza, le cui caratteristiche di rigidezza li rendono classificabili in categoria B secondo la norma (corrispondente a un ammasso di roccia fratturata). Il mezzo è stato modellato come visco-elastico lineare equivalente, con smorzamento pari a 0.005.

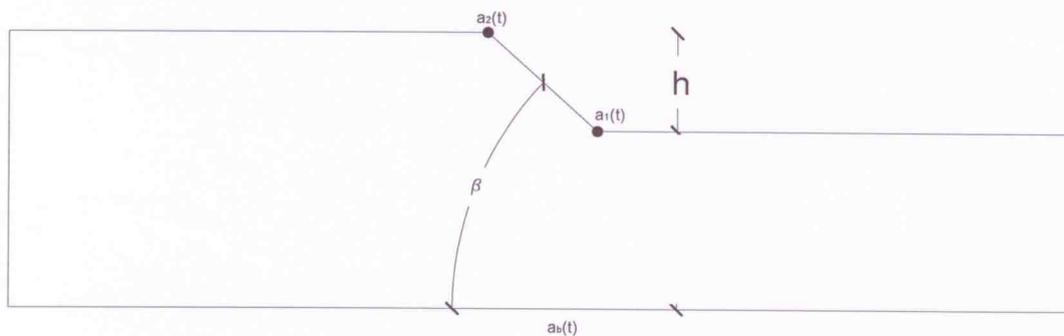
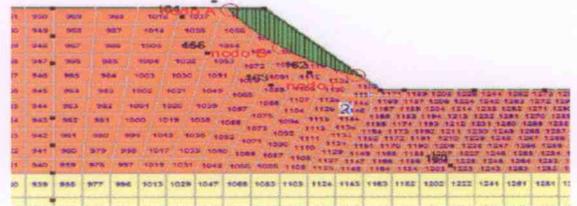
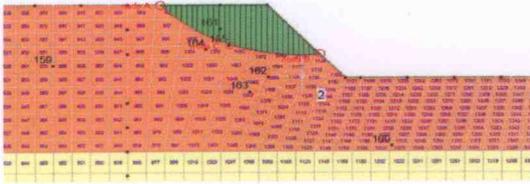


Figura 2 . Schema di pendio considerato

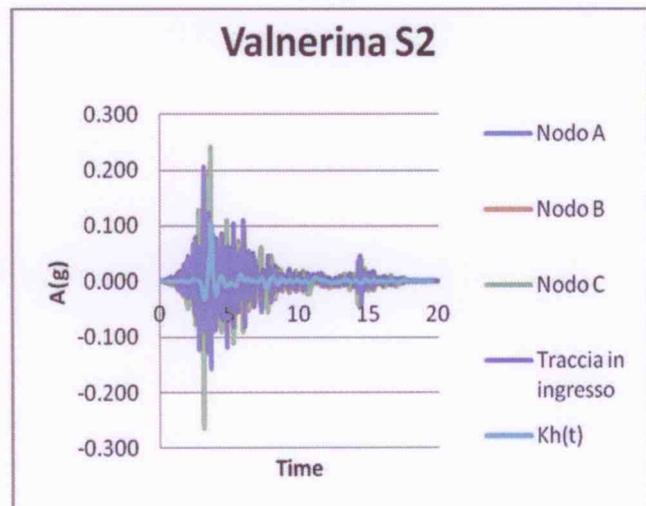
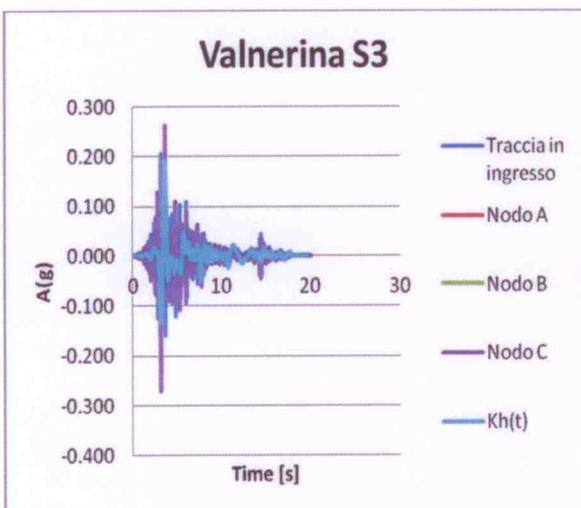
Per l'analisi sono state scelte alcune superfici di scorrimento, a direttrice circolare e planare, corrispondenti a meccanismi di rottura superficiale e profonda. Lo stato tensionale in corrispondenza della superficie di scorrimento predefinita e delle interfacce tra le strisce è stato calcolato con l'analisi a elementi finiti.

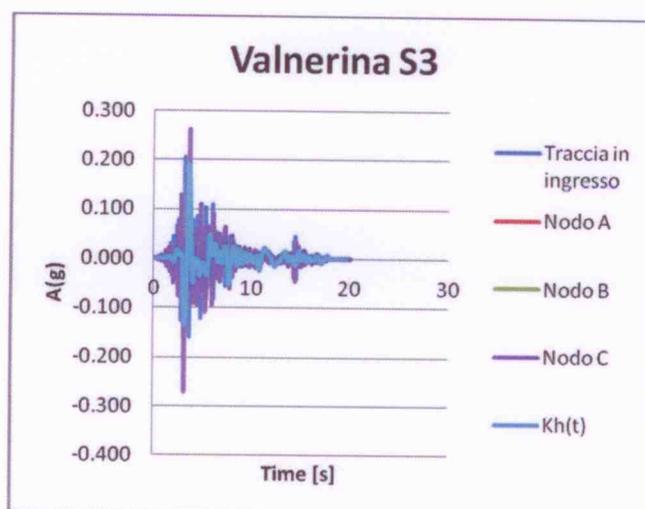


L'andamento del coefficiente  $k_h$  nel tempo, per effetto dell'applicazione di una storia temporale di accelerazioni al reticolo di elementi finiti, è stato determinato integrando lungo ciascuna superficie le componenti orizzontali dello stato tensionale agente alla base di ciascuna striscia ( $N_{ih}$  e  $T_{ih}$ ):

$$k_h(t) = \frac{\sum_i (N_{ih}(t) + T_{ih}(t))}{W} \quad (1)$$

Si riportano, a titolo esemplificativo, alcuni dei risultati ottenuti.





L'analisi dei risultati porta a concludere che il coefficiente sismico  $k_h$  aumenta al diminuire della profondità della potenziale superficie di scorrimento. I valori calcolati per mezzo delle analisi dinamiche sono inoltre generalmente inferiori a quelli suggeriti dalla normativa. L'altezza del pendio è risultato un fattore positivo, in quanto gli effetti dell'asincronismo sono più evidenti per pendii con altezza maggiore, a parità di lunghezza d'onda.

Al fine di valutare le conseguenze pratiche sulla progettazione di interventi di stabilizzazione di pendii in roccia, si è infine considerato un tipico intervento di chiodatura del pendio.

Dal momento che tale intervento è di solito adoperato per volumi limitati e prossimi alla superficie del pendio, si è evidenziato che in tal caso l'effetto benefico dell'asincronismo del moto sulle forze sollecitanti è minore e che le differenze con i valori suggeriti dalla normativa sono trascurabili.

L'analisi pseudo statica, tuttavia, che assume rigido il volume instabile, non è in grado di determinare le sollecitazioni assiali che possono insorgere nel chiodo per effetto del campo di deformazioni in cui è immerso durante lo scuotimento sismico. A tal fine si è proceduto a calcolare la sollecitazione assiale nel chiodo indotta dal campo deformativo valutato a partire dagli spostamenti nodali calcolati nelle analisi a elementi finiti, assumendo perfetta aderenza tra il chiodo iniettato con malta e la roccia circostante.

Per il caso in esame, si è mostrato che il chiodo dimensionato sulla base delle forze inerziali e con il metodo pseudo statico è certamente in grado di resistere alle deformazioni indotte su di esso dal campo di spostamenti in cui è immerso, rimanendo al di sotto del limite di snervamento.