
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI

“FEDERICO II”



FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Dipartimento di Ingegneria Strutturale

Corso di Laurea

in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio

ELABORATO DI TESI

**INDAGINE SPERIMENTALE SULLA DINAMICA DI
TERRAPIENO**

Relatori
Prof. Ing.
MARIO PASQUINO

Dott. Ing.
MARCELLO FULGIONE

Candidata
RITA CLEMENTE
Matr. 518/581

Anno Accademico 2010/2011

ABSTRACT

Viene adottato un metodo per l'analisi dinamica dei terrapieni nell'ipotesi di uno strato inteso come un agglomerato uniforme e coerente.

Il modello meccanico proposto è costituito da sfere rigide collegate da tiranti convenuti come la schematizzazione di legami elasto- plastici intercentrali che simulano, in buona aderenza con il fatto fisico, il legame coesivo.

Il modello si presta bene al nostro tentativo di valutare gli effetti dinamici prodotti dal sisma sulle caratteristiche meccaniche cambiando, l'angolo di attrito e coesione.

La teoria proposta è stata verificata alla luce di alcune esperienze realizzate simulando terrapieni con materiali di diverse caratteristiche meccaniche (coesione e angolo di attrito) ottenuti artificialmente in laboratorio, ma corrispondenti a terreni reali.

DESCRIZIONE DEL MODELLO

Il modello proposto è riportato in figura 1; è di tipo piatto, con elementi circolari rigidi i cui centri sono legati da tiranti, che sono idealmente elasto -plastici. Si studia il modello per $T \geq 0$.

I tiranti AC e BC sono caratterizzati dalla legge bi-lineare:

$$S = k\Delta l = k * 2r\varepsilon \quad \text{se } \varepsilon \in [0, \varepsilon_l] \tag{1}$$

$$S = S_0 = k * 2r\varepsilon_l \quad \text{se } \varepsilon \in [0, \varepsilon_l]$$

e quindi dai due parametri S_0 ed ε_l .

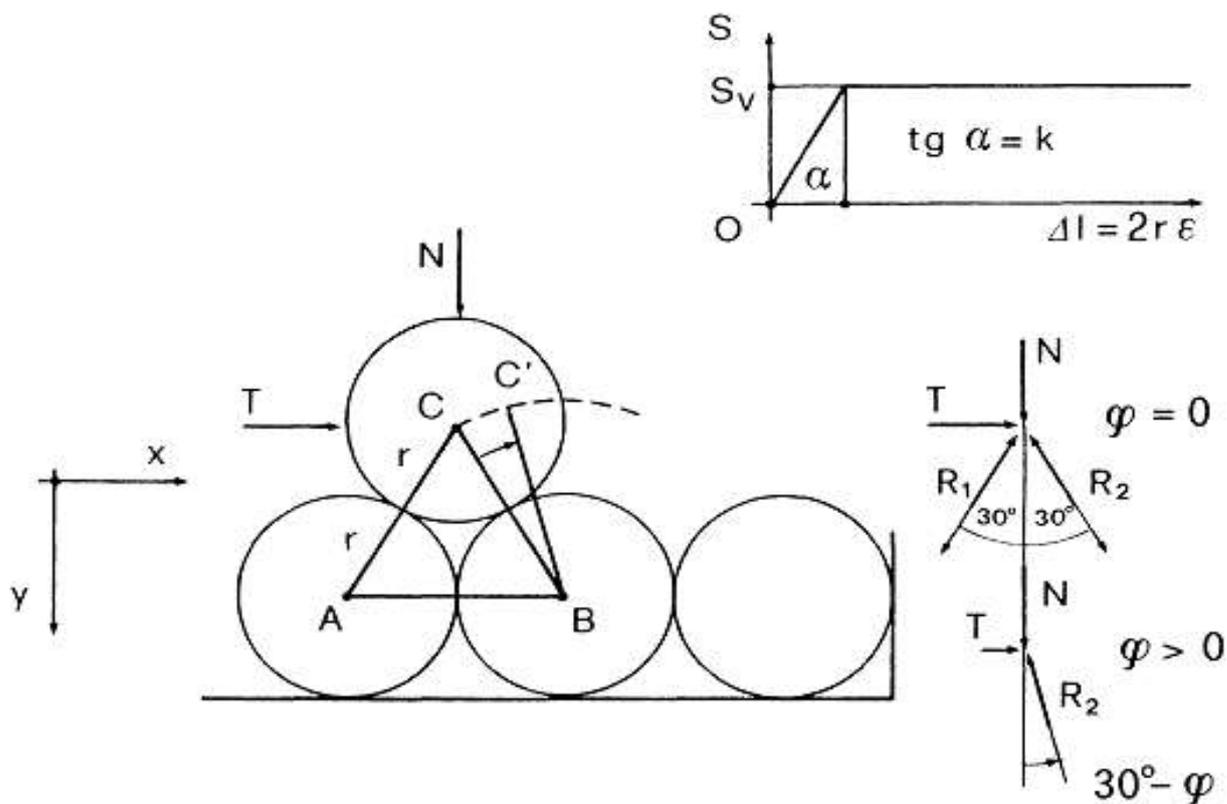


Fig. 1

La coordinata lagrangiana è φ .

Le condizioni

$$R_1 < S_0$$

(2)

$$R_2 \leq S_0$$

limitano ancora di più le due reazioni R_1 ed R_2 ; e le altre reazioni possono essere unite ad esse

$$BC' = BC$$

(3)

che è valida invece per l'ipotesi $R_2 < 0$. Si deve riconoscere anche che la (3) è valida se

$$R_2 \in [0, S_0].$$

Il problema, tuttavia, si pone solo per $N < 0$, e l'errore appare particolarmente trascurabile soprattutto se φ assume valori rilevanti.

Nelle ipotesi (3) abbiamo (fig.2), esprimendo φ in gradi,

$$\frac{AC'}{2} = 2r \cos\left(60^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)$$

$$AC' - AC = 2r \left[2 \cos\left(60^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) - 1 \right]$$

e quindi

$$\varepsilon = 2 \cos\left(60^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) - 1 \quad (3a)$$

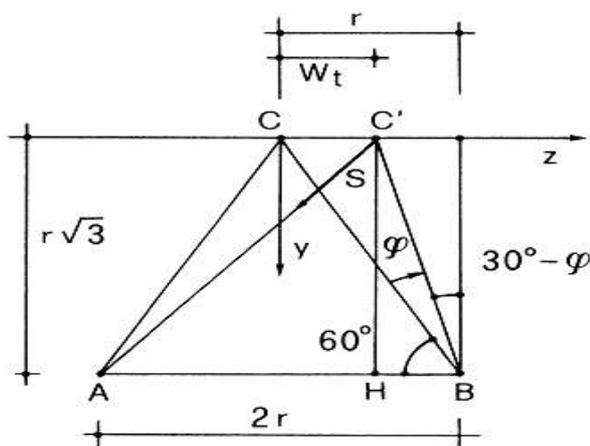


Fig.2

IL LEGAME DI DISGREGAZIONE

Una interessante utilizzazione del modello proposto è quella rivolta all'effetto disgregante dei sismi e microsismi. Lo studio è effettuato nella situazione in figura 3 che definisce in forma schematica un supporto vibrante contenente due sfere solide poste inferiormente, ed una terza è legata ad esse con tiranti intercentrali.

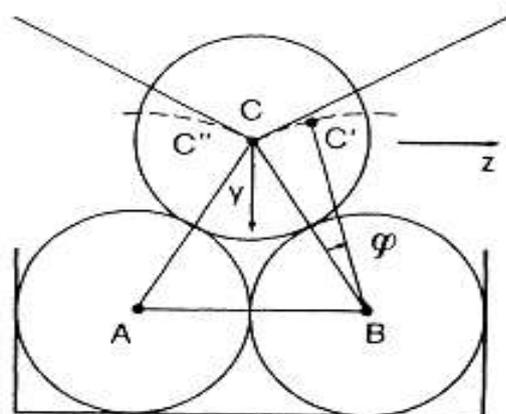


Fig.3

La condizione di sicurezza impone

$$\eta \leq \eta_l = \frac{\omega - \omega_p}{\omega_p} \cdot \frac{4\pi}{180\sqrt{3}} \cdot r\varphi_l \quad (4)$$

Per aggirare il grave ostacolo della irregolarità della curva di vincolo nel punto C, si studia il modello modificato incoraggiati dall'ipotesi molto simile al reale movimento sismico in cui il masso è coinvolto globalmente e il lavoro dello sforzo normale è nullo.

È interessante considerare come si trasforma tale condizione (4), valida per il modello a curva di vincolo appiattita, se si usano le condizioni relative al modello originale.

In tal caso, per piccoli spostamenti, abbiamo:

$$S_t = -\frac{\pi}{180} \text{sen}60^\circ * rk\varphi$$

$$w_r = -\frac{\pi}{180} 2\text{sen}60^\circ * r\varphi.$$

Pertanto la condizione (4) diventa

$$\eta \leq \eta_l = \frac{\omega - \omega_p}{\omega_p} \cdot \frac{\sqrt{3}\pi}{180} \cdot r\varphi_l$$

dove

$$\omega^2 = \frac{k}{2m},$$

e la massa m è fornita in funzione del peso specifico γ , da

$$m = \frac{4}{3} \pi r^3 \frac{\gamma}{g}$$

ed inoltre si ha

$$\varphi_l = 30^\circ - \phi$$

$$k = \frac{2rc}{\varepsilon_l} \cdot \frac{\text{sen}(60^\circ + \varphi_l)}{\text{sen}(60^\circ - \frac{\varphi_l}{2})}$$

$$\varepsilon_l = 2\cos\left(60^\circ - \frac{\varphi_l}{2}\right) - 1.$$

Con

c = coesione, Φ = angolo di attrito, γ = peso specifico, r = granulometria.

IL MODELLO DEL TERRAPIENO

Quanto verificato dalla teoria proposta su una serie di test su modelli preparati in scala considerando terrapieni realizzati con pozzolana selezionata in modo da avere una granulometria uniforme tale in modo da poter prendere in considerazione il diametro della singola particella $\approx 0,2$ mm. La massa del materiale secco è di circa 20 KN/mc e la forma delle singole particelle è sufficientemente regolare.

Per realizzare un materiale coesivo sono state utilizzate le caratteristiche naturali di adesione della pozzolana ed è stata utilizzata una miscela di acqua e cemento con le seguenti proporzioni:

- 30 kg di pozzolana
- 500 kg di cemento
- 7,6 l di acqua.

Tale miscela è stata modellata secondo uno schema di terrapieno le cui dimensioni sono 40×40 cm alla base e la cui altezza varia da un minimo di 9 cm ad un massimo di 30 cm.

Per determinare le caratteristiche meccaniche del materiale, sono stati realizzati, tre provini cubici per ogni test, e questi dovevano essere compressi sul lato di 4 cm, e tre provini a otto dimensioni da sottoporsi alla prova di trazione, con resistenza a 2×2 cm, i test sono stati effettuati sul materiale in una sola

volta prima di effettuare il test sul modello del terrapieno. I risultati dei test sono riportati nella seguente curva intrinseca costruita in modo bilaterale.

Di seguito abbiamo riportato le due bilatere più importanti:

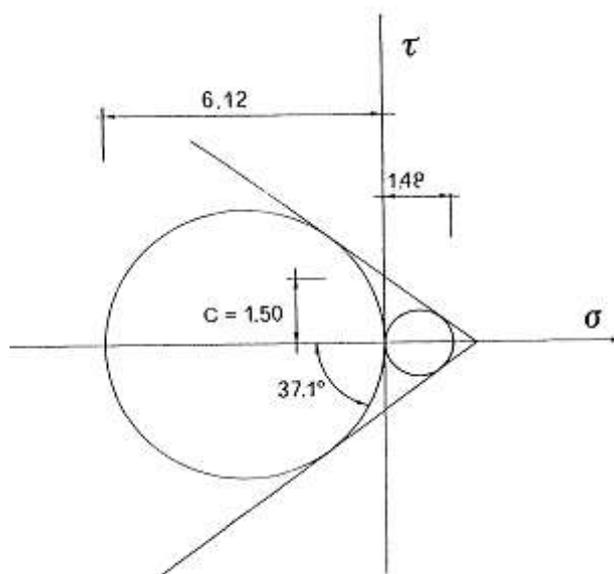


Fig. 4

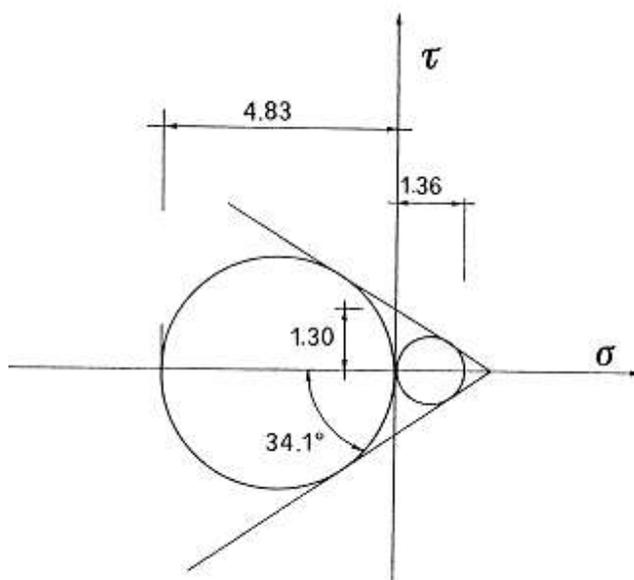


Fig. 5

Con i valori che abbiamo ottenuto, sostituiti nelle formule 2.44 e 2.46 otteniamo una curva ω_p, η_l che determina la frequenza critica per il nostro agglomerato coesivo (fig. 2.14).

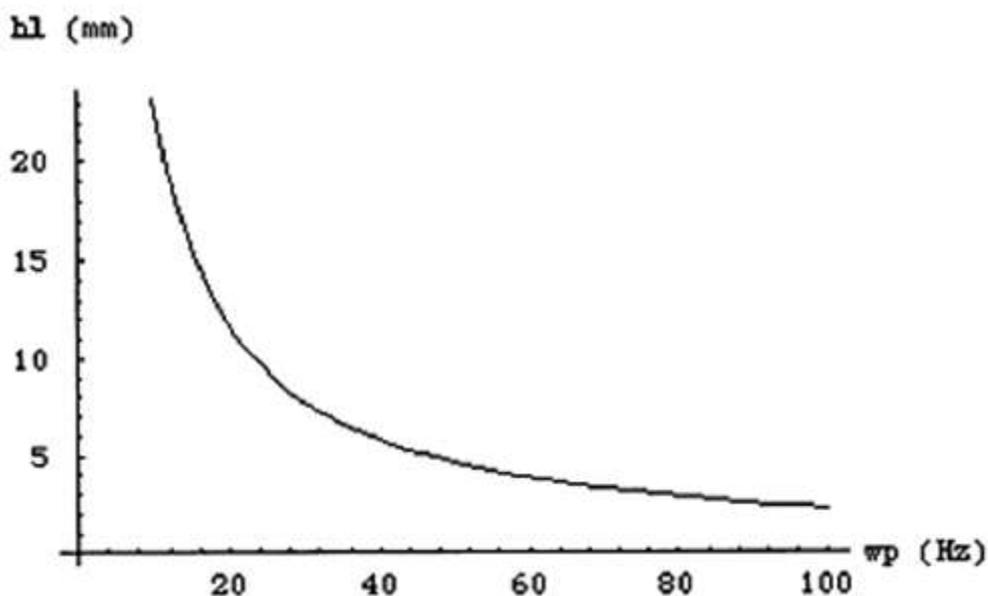


Fig. 6

STRUMENTI UTILIZZATI PER LE PROVE

L'apparecchio utilizzato nel test consiste di una tavola vibrante che è stata creata in laboratorio per le prove sui materiali presso l'Istituto di Scienza delle Costruzioni, Facoltà di Ingegneria, Università di Napoli. È stato costruito su una piastra d'acciaio del peso kg 9.500, le cui dimensioni sono 40x50x8 cm, la faccia inferiore che è stata resa opportunamente liscia poggia su tre cuscinetti di spinta disposti in senso di un triangolo equilatero, per consentire i movimenti orizzontali in qualsiasi direzione.

Sulla faccia superiore sono stati fatti tre fori che permettono ai campioni di essere fissati. Questa piastra è stata posta al centro di un controtelaio capace di assorbire la spinta prodotta dall'eccentrico e per permettergli di vibrare in modo armonico attorno alla posizione di equilibrio statico. Gli impulsi monodirezionali sono trasmessi dal contatto tra un cuscinetto sferico che ruota attorno ad un asse verticale fissato su un lato del piatto e una camma, opportunamente sagomata, applicata alla testa di un albero motore con potenza HP la cui velocità può essere regolata. Il numero di giri è determinato dalla lettura di un contatore elettrico applicato all'albero motore che a sua volta, è governato da un variatore di velocità.

Nella speranza di raggiungere più impulsi durante una rotazione l'eccentrico è stato sagomato a forma di quadrifoglio imponendo che, quando la camma ha completato un quarto di giro la piastra deve completare una oscillazione intera. Se con $r(\theta)$ indichiamo il raggio della camma, l'equazione che ci dà il valore della variabile r è:

$$r(\theta) = R - \left[\frac{\Delta}{2} - \frac{\Delta}{2} \cos 4\theta \right]$$

dove:

R = raggio massimo della camma;

Δ = estensione del movimento di spostamento.

Nel corso di questa esperienza sia la frequenza che l'ampiezza delle oscillazioni prese da un trasduttore PR 9267 (gamma di frequenza: 0 - 100 Hz; accelerazione massima: 10 g; misura massima: $\pm 2,5 \div 3,0$ mm dalla linea centrale), sono state registrate su un OSCILLOSCOPIO PT 5000 P della Philips (range di frequenze $0 \div 120$ Hz; velocità della carta 10 mm/sec). L'estensione delle oscillazioni è determinata dalla camma utilizzata (5 mm). Tutti i macchinari sono stati posti su un tavolo adatto rigido e resistente al vento in modo tale da poter descrivere e valutare così i movimenti.

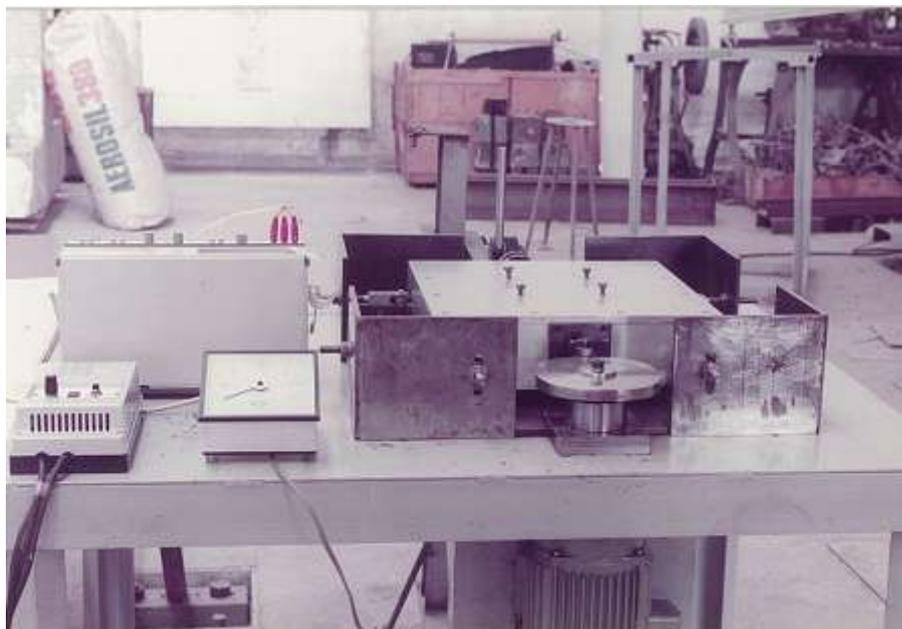


Fig. 7 Strumentazione di prova.

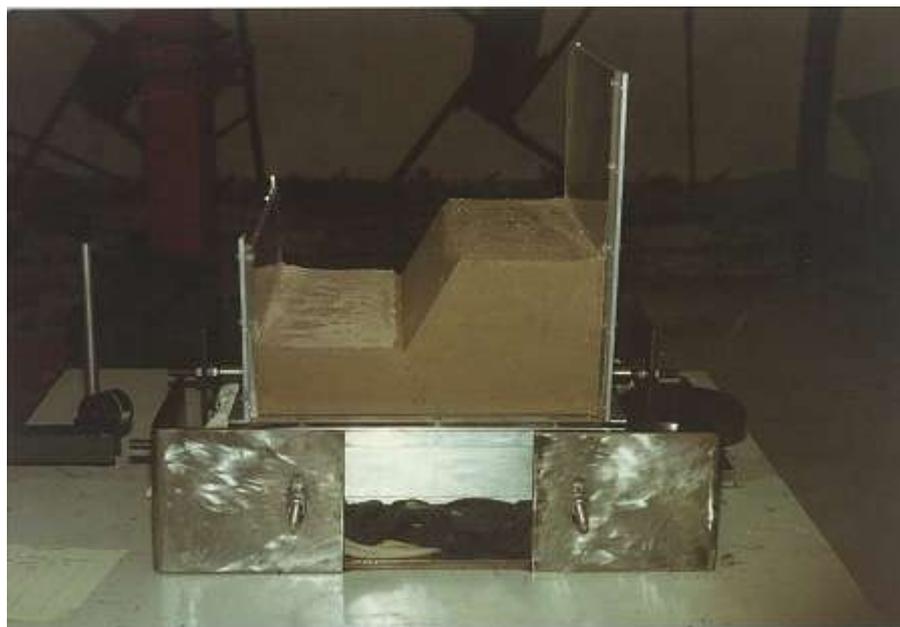


Fig. 8 Modello di terrapieno



Fig. 9 Esperienza effettuata

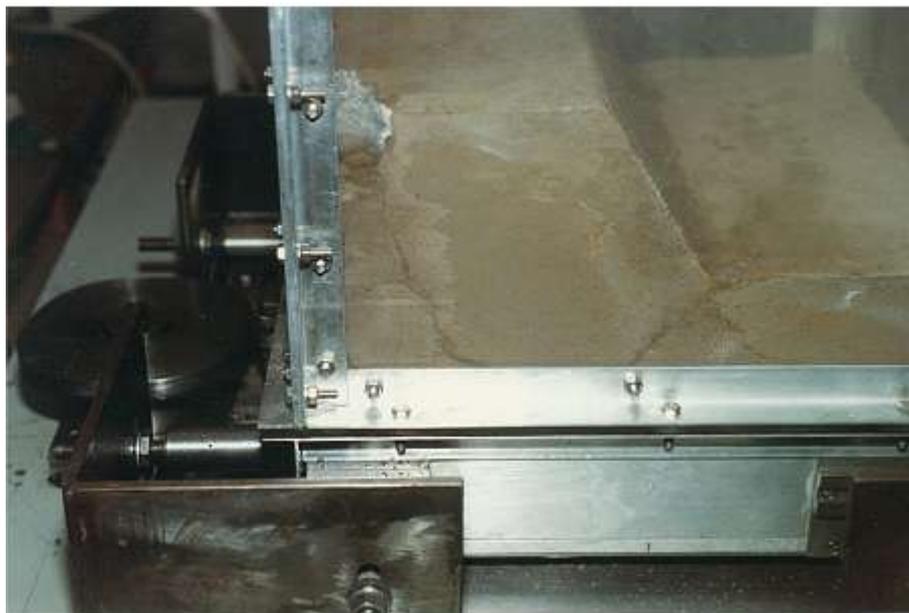


Fig.10 Esperienza effettuata

RISULTATI

Per quanto stabilito dalla camma (5 mm), la frequenza critica è di 45 Hz e i test sui modelli predisposti sono stati effettuati per tale valore. In tutti i casi accertati si è avuta la rottura del provino in un tempo compreso tra 30" e 15 '. Come si può vedere nella foto allegata, in alcuni casi siamo in grado di costruire esattamente la curva di crisi come una circonferenza che è inclusa in attacco tra l'orizzontale e il parametro inclinato. In altri casi il modello è caduto a pezzi in diverse parti, senza l'individuazione esatta della superficie di scorrimento.