# POLITECNICO DI TORINO

Facoltà di Ingegneria Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile Indirizzo Geotecnico

Tesi di Laurea Magistrale

# Calcolo dei Cedimenti di Fondazioni Superficiali su sabbie: Confronto fra Metodi Empirici e Modelli Numerici



Relatori: Prof. Ing. Sebastiano Foti Prof. Renato Maria Cosentini Studente: Stefano Cruciata 243859

Marzo 2020

#### **ABSTRACT**

Le fondazioni superficiali sono elementi di connessione tra il terreno e la sovrastruttura che consentono di trasferire il carico di quest'ultima al suolo. La loro progettazione dipende dall'entità del carico che devono trasmettere rispetto alle caratteristiche di resistenza del terreo, cioè dal carico di collasso, e dai cedimenti massimi ammissibili. Quest'ultimi devono essere limitati per evitare problemi alla sovrastruttura, soprattutto in presenza di cedimenti differenziali. Risulta pertanto essenziale poter stimare l'entità dei cedimenti attesi già in fase progettuale. In presenza di terreni sabbiosi, o in generale a grana grossa, il prelievo di campioni indisturbati in situ per le indagini di laboratorio è tecnicamente complesso oltre che oneroso, per cui la pratica comune è quella di utilizzare le prove in situ per la valutazione delle caratteristiche meccaniche e soprattutto di quelle deformative, necessarie per la valutazione dei cedimenti in tali terreni. In letteratura sono presenti molti metodi empirici, generalmente basati sulla teoria dell'elasticità, per la valutazione dei cedimenti da prove in situ. Nel presente lavoro è stato condotto un confronto tra differenti metodi di valutazione dei cedimenti di fondazioni superficiali in sabbie con riferimento ad un caso studio costituito da un campo prova ben caratterizzato mediante prove di sito e di laboratorio, su cui fondazioni di diverse dimensioni sono state sottoposte a prove di carico. Il confronto è stato condotto tra relazioni empiriche di letteratura, alcune delle quali tengono in conto della non linearità del terreno, un metodo elastico non lineare iterativo basato sulla disponibilità di prove sia in sito che in laboratorio e un modello numerico agli elementi finiti (FEM). È stato infine proposto un approccio ingegneristico per la previsione dei cedimenti basato sulla opportuna valutazione di un modulo di rigidezza operativo.

#### <u>ABSTRACT</u>

Shallow foundations are elements that connect the ground to the structure, which allow to transfer the load on the soil. The design of the shallow foundation depends on the magnitude of the load that they have to transmit considering the strength of the soil, i.e. the collapsing load, and on the maximus allowed settlements. The settlements must be limited to avoid problems on the structure, especially in case of differential settlements. It is therefore essential to be able to estimate the magnitude of the expected settlements already in the planning phase. In the presence of sand soils, or in general granular soils, it's technically complex and expensive getting undisturbed samples from the site for the purpose of the laboratory tests, so the common practice is using the in situ tests to evaluate the mechanical and specially strain characteristics, necessary for the assessment of the settlements in these type of soils. In the literature there are many empirical methods, generally based on the theory of elasticity, to evaluate the settlements using the results of the in-situ tests. In the present work, a comparison between different methods to evaluate the settlements of shallow foundation on sand was made with reference to a case study consisting of a well test field characterization by site and laboratory tests, where different dimension foundations have been subjected to load tests. The comparison was conducted between empirical literature relationship, some of which take into account the non-linearity of the soil, an iterative non-linear elastic method based on the availability of tests both on site and in the laboratory and a finite element numerical model (FEM). Finally, an engineering approach to predicting settlements was proposed based on the appropriate evaluation of an operational stiffness module.

#### **INTRODUZIONE**

La previsione dei cedimenti di fondazioni superficiali su terreni sabbiosi è un tema che è stato discusso e ampiamente studiato negli anni dalla comunità scientifica nell'ambito dell'ingegneria geotecnica. La normativa italiana in ambito geotecnico impone di progettare facendo riferimento a stati limiti di esercizio, che per terreni sabbiosi consistono nell'imporre dei cedimenti massimi consentiti delle fondazioni su cui poggia la sovrastruttura. Avere una previsione accurata dei cedimenti permettere quindi di progettare in maniera intelligente ed efficace, senza imbattersi in sovradimensionamenti strutturali e soprattutto in modo da evitare il collasso della sovrastruttura a causa di cedimenti eccessivi.

I metodi di calcolo dei cedimenti sono innumerevoli e si differenziano in metodi empirici elastici o non lineari e metodi numerici agli elementi finiti.

La numerosità in letteratura di questi metodi è definita dalla difficoltà comune nel prelevare campioni indisturbati di sabbie, rendendo tecnicamente complicata e onerosa una caratterizzazione completa del materiale. Per questo motivo, vista la natura empirica, ogni metodo viene relazionato ad una specifica prova in situ da cui viene ricavato il modulo deformativo da inserire nel calcolo. I primi capitoli saranno introduttivi alla teoria del comportamento dei terreni a grana grossa insieme all'introduzione teorica dei metodi empirici utilizzati.

Uno degli obbiettivi sarà infatti quello di confrontare i risultati forniti dai diversi metodi empirici considerati nel presente lavoro applicati ad un caso studio, col fine di valutarne il campo di applicabilità e l'accuratezza dei risultati.

Oltre ai metodi empirici, negli ultimi anni sono stati ampiamente sviluppati i metodi numerici tramite l'utilizzo di software di calcolo e modelli agli elementi finiti FEM. Queste simulazioni permettono di prevedere il comportamento del suolo e di conoscere le caratteristiche tensionali e deformative in ogni punto del dominio, fornendo uno strumento utilissimo in situazioni progettuali più complicate di cui non si dispone di soluzioni analitiche in forma chiusa.

Attraverso l'uso del Software di calcolo Plaxis 2D e di un modello costituivo che tiene in conto del comportamento non lineare del terreno, sono state simulate le curve di

carico-cedimenti del sito oggetto di studio per valutare la potenzialità del modello numerico attraverso il confronto con le curve di carico effettuate in situ.

Il comportamento non lineare del suolo, descritto per esempio dal decadimento della rigidezza con l'aumentare del livello deformativo, influisce molto sul cedimento atteso di una fondazione superficiale, per questo motivo verrà esposto un metodo elastico non lineare ed iterativo per il calcolo dei cedimenti basato sulla disponibilità di prove sia in situ che in laboratorio, in quanto è necessaria un'ottima caratterizzazione del materiale per ottenere risultati rappresentativi.

Infine, per superare la difficoltà operativa di caratterizzazione delle sabbie in laboratorio, si è analizzato il calcolo elastico dei cedimenti utilizzando un modulo operativo descritto da una quota percentuale del modulo di taglio a piccolissime deformazioni. Quest'ultimo risulta di semplice e immediata valutazione attraverso le prove sismiche in situ (cross hole, down hole, SASW ecc.), permettendo così una semplice previsione del cedimento all'interno della soglia di comportamento elastico del materiale.

### <u>INDICE</u>

CA	PITOLO 1 CARATTERISTICHE DEI TERRENI A GRANA GROSSA	1				
1.1.	Descrizione generale e classificazione	1				
1.2.	Principio degli sforzi efficaci	5				
1.3.	<ul> <li>Tensioni geostatiche</li> <li>Condizioni idrauliche drenate e non drenate</li> <li>Comportamento meccanico e deformativo</li> </ul>					
1.4.						
1.5.						
1.6.	Le prove in situ	15				
<u>CA</u> ]	PITOLO 2 METODI DI CALCOLO DEI CEDIMENTI DA PROVE IN SITU	21				
2.1.	Metodi basati su prove SPT	21				
2.2.	Metodi basati su prove CPT	29				
2.3.	Metodo basato sul DMT	32				
<u>CA</u> ]	PITOLO 3 <u>SAND SITE TESTALL'UNIVERSITÀ DEL TEXAS N.G.E.S.</u>	34				
3.1.	Descrizione generale del sito	34				
3.2.	Prove SPT	37				
3.3.	Prove CPTU	37				
3.4.	Prove DMT	38				
3.5.	Prove Cross-hole	39				
3.6.	Prove di laboratorio	40				
3.7.	Curve carico-cedimenti	42				
<u>CA</u> ]	PITOLO4 CALCOLO E CONFRONTO DEI CEDIMENTI DEL SAND SITE	43				
4.1.	Calcolo cedimenti da prove SPT	43				
4.2.	Calcolo cedimenti da prove CPT	51				
4.3.	Calcolo cedimenti da prove DMT	54				
4.4.	Confronto tra i metodi, fondazione 1x1m	55				
4.5.	Confronto tra i metodi, fondazione 3x3m	57				
<u>CA</u> ]	PITOLO 5 SIMULAZIONE CURVA DI CARICO CON MODELLO F.E.M.	<u>59</u>				
5.1.	Descrizione generale del modello	59				
5.2.	Modello costitutivo HSsmall	61				

5.3.	Parametri utilizzati	63
5.4.	Risultato Simulazione per la fondazione di 1x1m	65
5.5.	Risultato Simulazione per la fondazione di 3x3m	67
<u>CA</u>	PITOLO 6 METODO NON LINEARE DI STIMA DEI CEDIMENTI	<u>69</u>
6.1.	Definizione del metodo	69
6.2.	Applicazione del metodo al Sand Site	76
6.3.	Risultato del metodo iterativo applicato al Sand Site	83
6.4.	Prova di calcolo senza taratura in laboratorio	85
<u>CA</u>	PITOLO 7 MODULO OPERATIVO PER IL CALCOLO DEI CEDIMENTI	90
7.1.	Metodo analítico elastico	90
7.2.	Simulazione FEM elastica	94
<u>CO</u>	NCLUSIONI	97
<u>BIB</u>	LIOGRAFIA	100
<u>INI</u>	DICE DELLE FIGURE	103
<u>INI</u>	DICE DELLE TABELLE	106
INI	DICE DEGLI ALLEGATI	107
<u>AL</u>	LEGATI	108

# Capitolo 1 CARATTERISTICHE DEI TERRENI A GRANA GROSSA

Come qualsiasi materiale utilizzato per scopi ingegneristici, il terreno necessita uno studio approfondito per valutarne le caratteristiche descrittive, meccaniche e deformative, con l'obbiettivo di prevederne il comportamento in campo geotecnico. In questo primo capitolo verranno sinteticamente descritte le basi teoriche della meccanica delle terre, i parametri che permettono di caratterizzare i terreni a grana grossa, come essi si comportano all'applicazione di una perturbazione tensionale (modello costitutivo) e come ricavare queste informazioni dalle prove di situ e di laboratorio.

#### 1.1. Descrizione generale e classificazione

I terreni sono materiali generati da processi di disgregazione e alterazione delle rocce nel tempo, quindi composti da particelle solide a contatto che sono pertanto libere di muoversi relativamente fra di loro. La deformazione del terreno infatti può semplicemente essere vista microscopicamente come uno scorrimento fra le suddette particelle solide, per cui è naturale considerare che le caratteristiche meccaniche e fisiche di un terreno hanno una forte dipendenza dalla natura particellare.

La configurazione con cui le particelle solide sono disposte in un dato volume di terreno descrive una struttura porosa, i cui vuoti possono essere occupati da uno o più fluidi, generalmente aria e/o acqua.

Il suolo è quindi un materiale multifasico, in particolare esso è un sistema tri-fasico costituito da una fase solida (particelle solide), gassosa (aria) e liquida (generalmente acqua). La *FIGURA 1.1* mostra come in un dato volume di terreno V, le tre fasi possono essere rappresentate in frazioni del volume totale (o della massa).



FIGURA 1.1: SISTEMA TRI-FASICO (LANCELLOTTA, CALAVERA 1999)

C'è da aspettarsi che caratteristiche fondamentali come la resistenza, le proprietà meccaniche, la compressibilità e la permeabilità dipendano fortemente dal rapporto fra le diverse fasi all'interno dell'elemento di volume. Seguendo questo principio, è necessario introdurre diverse grandezze che possano descrivere in modo quantitativo il comportamento (Lancellotta 2014).

Una prima grandezza è la **porosità** *n* (di solito espressa in percentuale), che indica la percentuale di vuoti presenti, pari al rapporto fra il volume dei vuoti e il volume totale.

$$n = \frac{V_V}{V} \tag{1-1}$$

Nella meccanica delle terre però non si fa riferimento direttamente alla porosità ma è consuetudine utilizzare l'indice dei vuoti *e*.

$$e = \frac{V_V}{V_S} \tag{1-2}$$

Questo perché nel processo deformativo solo il volume delle particelle solide rimane costante, mentre quello dei vuoti è soggetto a variazione (insieme al volume totale).

Nei terreni incoerenti a grana grossa è possibile individuare, data una tipologia di sabbia o ghiaia, dei valori limite (superiore e inferiore) per l'indice dei vuoti, poiché esso è vincolato da come le particelle si posizionano all'interno di un volume finito. Con riferimento ad un modello semplificato in cui le particelle solide sono costituite da sfere di egual diametro, si possono osservare le seguenti due condizioni limite: in FIGURA 1.2(a) si ha la configurazione di indice dei vuoti massimo ( $e_{max}$ ) in cui si forma un semplice parallelepipedo impilando le sfere simmetricamente; in FIGURA 1.2(b) è presentata la situazione opposta corrispondente all'indice dei vuoti minimo ( $e_{min}$ ), in cui le particelle sono ben impacchettate e raggiungono la densità massima.



FIGURA 1.2: ORGANIZZAZIONE DELLE SFERE UNIFORMI (LAMBE, WITHMAN 1969)

In generale, conoscendo la dimensione media delle particelle si può facilmente valutare l'indice dei vuoti massimo e minimo attraverso considerazioni geometriche e prove di laboratorio (Lambe, Withman 1969).

Definiti i precedenti valori estremi dell'indice dei vuoti per una specifica ghiaia o sabbia, è possibile valutare un importante parametro che definisce lo stato di addensamento corrente del materiale a grana grossa, chiamato **densità relativa** $D_r$ .

$$D_r = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} \tag{1-3}$$

$$D_r = \frac{\gamma_{d \max}(\gamma_d - \gamma_{d \min})}{\gamma_d(\gamma_{d \max} - \gamma_{d \min})}$$
(1-4)

Dove

e = indice dei vuoti corrente

 $\gamma_d$  = peso dell'unità di volume secco corrente

 $\gamma_{d max}$  = peso dell'unità di volume secco nella condizione di  $e_{min}$  (massima densità)  $\gamma_{d min}$  = peso dell'unità di volume secco nella condizione di  $e_{min}$  (minima densità)

Come si evince dall'equazione (1-4) è possibile correlare direttamente l'indice dei vuoti con il peso delle particelle solide e trovare la densità relativa in funzione di esso.

La densità relativa risulta essere un parametro importante poiché influenza diverse caratteristiche del suolo, proprio per questo sono presenti in letteratura numerose correlazioni, per esempio con le prove in situ, che ne consentono la sua valutazione. In funzione del valore raggiunto da  $D_r$  è possibile classificare l'addensamento dei terreni a grana grossa secondo la TABELLA 1-1.

Densità relativa $D_r$ [%]	Descrizione stato di addensamento
0-15	Molto sciolto
15-35	Sciolto
35-65	Mediamente denso
65-85	Denso
85-100	Molto denso

TABELLA 1-1: ADDENSAMENTO IN FUNZIONE DI D<sub>R</sub>.

Come già detto, i parametri prima elencati influenzano il comportamento di un terreno, ma non vanno però a stabilirne la tipologia.

È necessario quindi dare una descrizione oggettiva al terreno, ovvero posizionarlo all'interno di una classe di materiale ben definita, aspettandoci che terreni facenti parte di una stessa classe mostrino caratteristiche e comportamenti simili. Questa divisione viene fatta basandosi sulla grandezza delle particelle solide che compongono il materiale investigato, che viene diviso in due grandi categorie: i **terreni a grana grossa** e quelli **a grana fine**. Una prima definizione qualitativa differisce i terreni a grana grossa in quelli dove è possibile apprezzare i singoli grani ad occhio nudo, mentre è impossibile in quelli a grana fine a causa della loro piccolissima dimensione.

La definizione quantitativa indica invece che questo limite fra le due classi è settato ad un diametro delle particelle pari a 0.064 mm; grani di dimensione superiore definiscono un terreno a grana grossa, viceversa siamo in presenza di grana fine.

Le due categorie di materiale hanno ovviamente comportamenti molto differenti, sia in termini meccanici ma soprattutto in termini idraulici, poiché la dimensione dei grani influenza molto quella dei vuoti (possibilmente contenenti acqua).

All'interno di questi due macro-gruppi è poi possibile fare un'ulteriore separazione più di dettaglio (sempre in funzione del diametro dei grani), definendo quindi **sabbie e ghiaie** (grana grossa) da **limi e argille** (grana fine). La procedura che permette di classificare un terreno secondo questi ultimi aspetti è l'**analisi granulometrica**.

L'analisi granulometrica si avvale di due ben note modalità di prova: la vagliatura meccanica, che consente di determinare la granulometria della frazione di terreno ricadente nella classe di terreni a grana grossa, e l'aerometria o analisi per sedimentazione, per la valutazione della dimensione dei grani dei terreni cosiddetti a grana fine.

Attraverso questa procedura è possibile costruire la **curva granulometrica**, che riesce finalmente a dare una perfetta definizione e descrizione della tipologia di materiale investigato. In FIGURA 1.3 è possibile anche notare i diametri che differenziano le varie classi di materiale secondo diversi sistemi di descrizione.



FIGURA 1.3: CURVA GRANULOMETRICA E DESCRIZIONE DEI SUOLI (BUDHU 2010)

#### 1.2. Principio degli sforzi efficaci

Nella meccanica delle terre, il terreno è rappresentato come un sistema di continui sovrapposti, ovvero da un continuo costituito dallo scheletro solido (particelle solide e vuoti), sovrapposto ad un altro mezzo continuo descritto dalla fase fluida (acqua), considerando il mezzo saturo. Non è quindi banale la valutazione di come questi due continui, all'applicazione di un carico esterno, ripartiscono gli sforzi fra loro.

Il problema potrebbe sembrare complesso, ma venne risolto tramite una soluzione alquanto semplice dal pioniere della meccanica delle terre: Karl von Terzaghi (1883 – 1963) che nel 1936 definì il **principio degli sforzi efficaci**:

"lo stato di tensione in un punto può essere definito tramite la conoscenza delle tre tensioni principali totali  $\sigma_1, \sigma_2 \in \sigma_3$ . Se lo spazio inter-granulare è riempito con acqua avente una pressione pari a u, le tensioni totali possono scomporsi in due parti. Una di esse, chiamata pressione neutra u, agisce sull'acqua e sui grani in ogni direzione con uguale intensità. Le differenze

$$\sigma'_1 = \sigma_1 - u$$
  $\sigma'_2 = \sigma_2 - u$   $\sigma'_3 = \sigma_3 - u$ 

rappresentano le tensioni, in eccesso rispetto alla pressione neutra, che hanno sede nella fase solida. Queste frazioni delle tensioni totali sono definite **tensioni** efficaci.

Tutti gli effetti misurabili prodotti da un cambio dello stato di sforzo, quali una compressione, una distorsione e una variazione della resistenza al taglio, sono dovuti esclusivamente a un cambio delle tensioni efficaci. Di conseguenza, ogni indagine di stabilità di un mezzo saturo richiede la conoscenza sia delle tensioni totali che delle pressioni neutre." (Terzaghi 1936) (Lancellotta 2014).

Con queste considerazioni, Terzaghi riuscì a definire come la fase liquida e lo scheletro solido si trasferiscono gli sforzi.

Il passaggio alle tensioni efficaci è applicato unicamente alle tensioni normali che agiscono sull'elemento, mentre le tensioni tangenziali $\tau$  sono già delle tensioni efficaci (per come esse sono state definite) poiché agiscono solo sulla fase solida, visto che i fluidi non riescono ad assorbire tensioni di taglio.

È quindi evidente come qualsiasi risposta meccanica di un mezzo poroso saturo dipenda dalle sole tensioni efficaci; nel caso invece di mezzo secco, in assenza di acqua, è ovvio che le tensioni efficaci coincidono direttamente con quelle totali, vista l'assenza della pressione idrostatica.

### 1.3. Tensioni geostatiche

Nella trattazione di un problema geotecnico è fondamentale valutare, prima di ogni elaborazione, le condizioni iniziali del problema, cioè conoscere lo stato tensionale del terreno in situ in assenza di azioni esterne. Questo equivale a valutare le cosiddette **tensioni geostatiche**, che rappresentano le tensioni dovute dal peso proprio del terreno.

Supponendo un piano campagna orizzontale adeguatamente esteso rispetto alla profondità d'indagine e caratteristiche e proprietà del terreno invariabili sull'orizzontale, è possibile valutare le tensioni agenti sul piano verticale e orizzontale. Lo stato tensionale agente sui due piani è rappresentato da tensioni principali in cui le tensioni di taglio sono nulle. Allora, considerando un punto ad una specifica profondità z ed una falda coincidente col piano campagna, lo stato tensionale totale ed efficace, verticale ed orizzontale, è definito dalle seguenti espressioni, con riferimento alla figura 1.4.



FIGURA 1.4: CONDIZIONI INIZIALI GEOSTATICHE (SIMONS, MENZIES 2000)

$$\sigma_{v0} = \gamma z \qquad \sigma'_{v0} = \sigma_{v0} - u_0 = \gamma' z - \gamma_w z \sigma'_{h0} = K_0 \sigma'_{v0} \qquad \sigma_{h0} = \sigma'_{h0} + u_0$$

Nelle relazioni è introdotto il **coefficiente di spinta a riposo** che lega la tensione efficace geostatica verticale con quella orizzontale. Questo coefficiente ha una dipendenza dalla storia tensionale del deposito, pertanto il suo valore varia a seconda che si è in presenza di terreni NC (normal-consolidati) o OC (sovraconsolidati).

Nel primo caso esso può essere valutato attraverso la relazione empirica suggerita da Jaky (1944)

$$K_0(NC) = 1 - \operatorname{sen} \varphi' \tag{1-5}$$

Per terreni OC, una valutazione empirica può essere fatta tramite l'espressione suggerita da Schmidt (1966) e Alpan (1967)

$$K_0(OC) = K_0(NC) \ OCR^{\alpha} \tag{1-6}$$

In cui OCR rappresenta il grado di sovraconsolidazione  $\alpha$  è un esponente il cui valore varia in base al tipo di terreno (Lancellotta 2014).

#### 1.4. Condizioni idrauliche drenate e non drenate

Ricordando il principio degli sforzi efficaci, qualsiasi problema geotecnico necessita la conoscenza delle tensioni all'interno della fase fluida (pressioni interstiziali) oltre che alle tensioni totali. In condizioni idrostatiche e geostatiche, la valutazione dello stato tensionale efficace risulta abbastanza semplice, ma se si considera un percorso di sollecitazione, cioè qualsiasi sovraccarico che altera lo stato iniziale, valutare la variazione di stato tensionale non è affatto banale.

Dal punto di vista idraulico, all'applicazione del carico si ha la nascita di un moto di filtrazione dell'acqua poiché, venendo sollecitata ed essendo un elemento incomprimibile, ha la necessita di dissipare le cosiddette **sovrappressioni interstiziali**. Esse nascono quando si ha una variazione dello stato tensionale interno del mezzo saturo, e sempre secondo il principio di Terzaghi, la variazione delle pressioni dell'acqua causa una variazione inevitabile delle tensioni efficaci, da qui dipende il comportamento del terreno.

In funzione della conducibilità idraulica del suolo (che differenzia anche i terreni a grana grossa da quelli a grana fine), si possono definire due condizioni idrauliche limite:

- La condizione drenata è caratteristica per i terreni a grana grossa, in cui la presenza di molti vuoti di grandi dimensioni (elevata conducibilità idraulica) permette, all'applicazione della variazione tensionale, una dissipazione quasi istantanea delle sovrapressioni interstiziali. Ciò indica che la variazione delle tensioni efficaci coincide esattamente con la variazione delle tensioni totali durante il percorso di sollecitazione.
- La condizione non drenata è invece attribuita ai terreni a grana fine, dove la conducibilità idraulica è estremamente bassa e non permette all'acqua di dissipare istantaneamente le sovrappressioni. In questa condizione il mezzo è momentaneamente considerato incomprimibile in quanto l'acqua è intrappolata

nei piccolissimi pori e non è in grado di muoversi. Si parla infatti di assenza di scambio di massa, e quindi nessuna variazione di volume.

Le definizioni precedenti interessano fortemente il processo di deformazione del suolo e quindi la valutazione dei cedimenti.

Nel caso di sabbie o ghiaie, all'applicazione di un sovraccarico, la maggiore entità del cedimento è quello immediato, poiché si ha la compressione dello scheletro solido, la riduzione della grandezza dei pori (indice dei vuoti) e il movimento del fluido verso zone a minor livello tensionale. Il cedimento è quindi connesso temporalmente all'applicazione del carico.

Nel caso invece di limi fini o argille, all'applicazione del carico siamo in condizioni non drenate, quindi suolo incomprimibile e assenza di cedimento nell'immediato. Il cedimento, chiamato cedimento di consolidazione, avviene in maniera progressiva e lenta col passare del tempo, corrispondente alla dissipazione lenta delle sovrappressioni interstiziali e quindi allo scambio di massa liquida. Il cedimento allora è differito nel tempo rispetto all'applicazione del carico (Lancellotta 2014).

Le ultime considerazioni possono essere visionate graficamente nella FIGURA 1.5.



FIGURA 1.5: CEDIMENTI NEL TEMPO, CONDIZIONI DRENATE E NON DRENATE (BERARDI)

#### 1.5. Comportamento meccanico e deformativo

In ogni campo dell'ingegneria in cui le caratteristiche di un materiale sono essenziali per la risoluzione di un problema, la determinazione del comportamento meccanico e deformativo è di assoluta importanza. Si tratta quindi di conoscere il legame costitutivo in termini di sforzo e deformazione, cioè conoscere la resistenza di quel materiale in modo tale da prevederne il comportamento ed evitare che collassi.

Nell'ingegneria geotecnica, il materiale in questione è il terreno naturale, che deve essere adeguatamente studiato attraverso prove di laboratorio per conoscere il suo legame costitutivo. All'interno di questo paragrafo verranno esposti i risultati di prove triassiali e di taglio diretto unicamente su terreni a grana grossa, in particolare sabbie, per conoscere il comportamento meccanico e da cosa esso dipende. Si sottolinea ancora una volta la difficoltà nel prelevare campioni indisturbati di sabbie per le prove di laboratorio, infatti è usuale utilizzare campioni ricostruiti per ottenere le stesse caratteristiche del terreno in situ.

La prova triassiale è una delle prove più comuni nella meccanica delle terre per comprendere il comportamento dei materiali, in particolare essa simula un percorso di compressione e valuta quindi la resistenza a compressione del provino (in termini di modulo di Young E). Si utilizzano campioni cilindrici a cui viene applicato uno sforzo radiale che rimane costante durante la prova ( $\sigma_r$ ), e uno sforzo deviatorico assiale che viene incrementato fino a portare il provino a rottura ( $\sigma_z$ ) (FIGURA 1.6)

Il campione subisce prima una fase di riconsolidazione per portarlo alle condizioni tensionali che aveva in situ (in funzione della profondità di interesse), in seguito si incrementa la tensione assiale fino ad arrivare a rottura. Durante il processo viene misurata la deformazione assiale ( $\varepsilon_z$ ) e la deformazione di volume ( $\varepsilon_v$ ).



FIGURA 1.6: CONFIGURAZIONE DI CARICO TRIASSIALE (LANCELLOTTA 2008)



FIGURA 1.7: PROVA TRIASSIALE: INFLUENZA DELLA TENSIONE DI CONFINAMENTO (LANCELLOTTA 2008)

In FIGURA 1.7 è mostrata una prova triassiale sulla sabbia di Hokksund, facendo riferimento alla dipendenza del comportamento dalla tensione di confinamento. È possibile descrivere degli aspetti peculiari:

- Si nota come il comportamento del terreno è altamente non lineare, infatti la pendenza della curva di carico si riduce all'aumentare del livello deformativo, quindi il modulo di rigidezza dipende dal livello deformativo di riferimento.
- All'aumentare della tensione di confinamento si nota un incremento di rigidezza, ciò è spiegato dal fatto che il provino risulta essere più vincolato e più difficilmente riesce a spanciare, quindi ciò si traduce in una maggiore rigidezza. Pertanto, la rigidezza è anche dipendente dal livello tensionale di riferimento.
- Indipendentemente dal livello tensionale di confinamento, si nota come le curve convergano tutte ad una situazione stazionaria ad elevati livelli deformativi, definita condizione di stato critico da Schoefield e Wroth (1968). Essa

rappresenta la resistenza ultima del materiale, e in questa condizione si definisce l'inviluppo di rottura nel criterio di rottura di Coulomb.



FIGURA 1.8: PROVA TRIASSIALE: INFLUENZA DELL'INDICE DEI VUOTI (LAMBE, WITHMAN 1969)

In FIGURA 1.8 è invece rappresentata l'influenza dell'indice dei vuoti (e quindi della densità relativa) sul comportamento del provino in cella triassiale. All'aumentare della densità relativa del campione (riduzione dell'indice dei vuoti), il campione risulta essere più compatto e mostra un incremento della resistenza. Anche in questo caso le curve convergono verso lo stato critico, che è indipendente anche dalla densità del campione. Al contrario, la rigidezza del materiale dipende, oltre che dalla tensione di confinamento e del livello deformativo di riferimento, anche dalla densità relativa.

Un'altra tipologia di prova tipicamente utilizzata è la prova di **taglio diretto**. In questo caso viene studiata la resistenza al taglio del terreno lungo una superficie di rottura predeterminata. L'apparecchiatura è costituita da due contenitori sovrapposti in grado di traslare reciprocamente lungo l'asse orizzontale di separazione degli stessi. In questo modo la superficie di rottura viene gia definita dal piano orizzontale, differentemente dalla prova triassiale che non la definisce, bensì varia in base al tipo di campione e alla sua rigidezza.

Il campione viene inserito negli alloggiamenti e subisce inizialmente una forza assiale N che rimane costante durante la prova, mentre la forza orizzontale di taglio T (nella stessa direzione del piano di rottura) viene via via incrementata fino alla rottura/scorrimento di una certa entità del campione (FIGURA 1.9). Contemporaneamente viene misurato lo scorrimento relativo lungo il piano di rottura.



FIGURA 1.9: APPARECCHIATURA DI TAGLIO DIRETTO (LANCELLOTTA 2008).

La FIGURA 1.10 mostra i risultati di prove di taglio diretto su diverse tipologie di sabbie. In particolare, in (a) è visibile la dipendenza con lo stato tensionale, questa volta definito dalla forza assiale N, mentre in (b) si nota come varia la curva tensio-deformativa in funzione del grado di compattazione della sabbia.

Anche in questo caso valgono le stesse considerazioni fatte per la prova triassiale sui parametri da cui dipende la rigidezza, ma in questo caso ci si riferisce al modulo di rigidezza al taglio G, anch'esso con comportamento non lineare.



FIGURA 1.10: PROVA DI TAGLIO DIRETTO: (a) DIPENDENZA DA N; (b) DIPENDENZA DALLA DENSITÀ RELATIVA (BUDHU 2010)

È di particolare interesse, con riferimento al metodo non lineare per il calcolo dei cedimenti utilizzato nel presente lavoro (Capitolo 6), effettuare un approfondimento sulla resistenza al taglio e sul relativo modulo di rigidezza G.

Negli ultimi anni, l'avanzamento delle prove geotecniche dinamiche in situ (downhole, cross-hole ecc.) ha portato ad un interesse particolare nei confronti della rigidezza al taglio, poiché è possibile caratterizzare meccanicamente il suolo attraverso il legame che vi è fra la velocità delle onde di taglio e il suddetto modulo G.

$$G_0 = \rho V_s^2 \tag{1-7}$$

Ciò permette di superare in parte le problematiche connesse alle prove di laboratorio sui materiali sabbiosi in quanto è difficoltoso andare a prelevare dei campioni indisturbati.

Come visto nella FIGURA 1.10, il modulo di taglio ha un comportamento lontano dalla linearità. Per vedere in maniera più semplice questo comportamento si possono costruire le **curve di decadimento del modulo G**, andando a legare il valore del modulo secante  $G = \tau/\gamma$  con la deformazione a taglio  $\gamma$ . Queste possono essere costruite in laboratorio attraverso la prova di colonna risonante o di taglio torsionale ciclico.



FIGURA 1.11: CURVA DI DECADIMENTO DEL MODULO G NORMALIZZATA (KACAR 2014)

In FIGURA 1.11 è rappresentata la curva di decadimento del modulo  $G/G_0$ , in cui  $G_0$  è il modulo a piccolissime deformazioni, cioè quello che si ricava dalle prove sismiche in situ. Il comportamento è di tipo lineare fino ad un valore di deformazione  $\gamma_t^e$  intorno allo 0.001%. Superata questa soglia si ha la zona di non linearità in qui il modulo secante si riduce all'aumentare della deformazione, fino ad un valore di soglia di $\gamma_t^c \approx 0.01$ %. Aumentando ancora la deformazione si incrementa sempre di più il comportamento non lineare, fino ad arrivare a valori di  $G \rightarrow min \text{ per } \gamma \rightarrow \infty$ , condizione corrispondente allo stato critico.

La conoscenza della curva di decadimento è fondamentale per prevedere il comportamento del suolo a diversi livelli deformativi, infatti numerose correlazioni empiriche e modelli non lineari sono presenti in letteratura per superare il problema delle analisi di laboratorio (Seed and Idriss 1970, Hardin and Drnevich 1972, Darendeli 2001, Menq 2003).

### 1.6. Le prove in situ

La difficoltà di prelievo dei campioni indisturbati di sabbie e ghiaie ha portato sempre di più all'utilizzo di prove in situ per caratterizzare il terreno (oltre ai vantaggi sia temporali che economici). Ogni prova in situ ha però le sue peculiarità e bisogna, prima di scegliere il tipo di prova, capire quali sono i parametri che si necessitano.

La prova penetrometrica dinamica standard **S.P.T**. è ampliamente utilizzata in tutto il mondo per la sua facilità di attuazione e anche per l'economicità. È una delle prime prove in situ ad essere stata utilizzata, per cui vi sono innumerevoli correlazioni con diversi parametri geotecnici.

L'apparecchiatura è costituita da un maglio di 63.5 kg e una batteria di aste, insieme ad un campionatore standard. La prova viene inizializzata andando a posizionare il campionatore al fondo di un foro precedentemente eseguito. Durante la prova, il maglio viene fatto cadere da un'altezza di 760 mm su una testa di battuta, collegata a sua volta con le aste e con il campionatore che, a causa della battuta, penetra il terreno. La profondità di penetrazione ad ogni colpo varia da terreno a terreno, quindi la prova permette di studiare la resistenza alla penetrazione dinamica che il terreno offre.

Il parametro fondamentale che si determina durante la prova è il numero di colpi del maglio necessari per l'infissione del campionatore per una profondità di 45cm, divisi in 3 fasi da 15 cm ciascuna (FIGURA 1.12):

- Il numero di colpi per l'infissione dei primi 15 cm dal fondo foro viene scartato poiché il terreno in prossimità del foro potrebbe essere disturbato dalle operazioni di realizzazione dello stesso.
- Nella fase 2 e 3, si contano i colpi necessari per un'infissione di 15+15 cm, e si trova il valore di N<sub>SPT</sub>.



FIGURA 1.12: FASE OPERATIVA DELLA PROVA S.P.T (FACCIORUSSO, MADIAI, VANNUCCHI 2011)

Questa operazione può essere ovviamente effettuata a diverse profondità attraverso l'avanzamento del fondo foro, così da valutare come varia N<sub>SPT</sub> con la profondità in funzione della stratigrafia del sottosuolo. Bisogna ricordare che questa prova, essendo una prova dinamica con impatto del maglio, non è adatta per terreni a grana fine saturi poiché la condizione non drenata causa una stima errata della resistenza alla penetrazione.

Numerose correlazioni sono state proposte a partire dal valore di  $N_{SPT}$ , legandolo alla densità relativa, all'angolo di resistenza al taglio e al modulo elastico per la valutazione dei cedimenti su sabbie.

Un'altra tipologia di prova ampiamente utilizzata è la prova penetrometrica statica **C.P.T.** La prova non necessita di fori precedentemente eseguiti e consiste nel perforare il terreno con una punta conica di caratteristiche normalizzate ad una velocità costante

di 20 mm/s. Nel processo, per mantenere la velocità di infissione costante, viene variata la forza applicata alle aste e si misura la resistenza alla punta ( $q_c$ ) e la resistenza laterale per attrito ( $f_s$ ). (Facciorusso, Madiai, Vannucchi 2011).

Questa prova ha avuto nel tempo numerose modifiche vantaggiose, una di queste è l'inserimento di sensori per la misurazione della pressione interstiziale che viene misurata alle varie profondità di indagine. In questo caso si parla di C.P.T.U. definendo il cono come **piezocono**.

In figura FIGURA 1.13 è mostrato un esempio di prova C.P.T.U. nel sito di Ravenna. Si nota come la presenza della pressione interstiziale con la profondità è di particolare interesse poiché si riesce a differenziare i suoli sabbiosi, in cui non si misurano sovrappressioni durante l'infissione, da quelli argillosi/limosi in cui l'infissione genera sovrappressioni.

Oltre alla possibilità di ricostruire la stratigrafia del terreno tramite questa osservazione sulla pressione neutra misurata, oltre ad una opportuna analisi dei risultati della resistenza alla punta e laterale ottenute durante la prova, è possibile valutare i valori di densità relativa, angolo di resistenza al taglio e modulo elastico attraverso i parametri ricavati dalla prova mediante diverse correlazioni di letteratura.



FIGURA 1.13: ESEMPIO DI PROVA C.P.T.U. (LANCELLOTTA 2008)

Il **D.M.T.**, detto anche Flat Dilatometer Test o più semplicemente Dilatometro di Marchetti, è una strumentazione per le prove in situ sviluppata in Italia dal Prof. Silvano Marchetti. La strumentazione è costituita fondamentalmente da una lama di acciaio che viene infissa nel terreno (grazie all'ausilio di un sistema di aste), contenente da un lato una membrana deformabile che viene espansa da un gas attraverso un sistema pneumatico in superfice (FIGURA 1.14).



FIGURA 1.14: STRUMENTAZIONE DEL DMT (AMOROSO 2011)

La prova consiste nelle seguenti fasi. Raggiunta la profondità di prova (generalmente ogni 20 cm) si procede ad applicare una pressione  $p_0$  all'interno della membrana per riportarla ad una posizione indeformata (all'infissione, il terreno preme sulla membrana e la deforma negativamente). Questa pressione è funzione dello stato tensionale geostatico del terreno. Successivamente si incrementa la pressione del gas fino ad indurre un'espansione della membrana di 1.1mm, definendo la  $p_1$ . Tale pressione è in qualche modo proporzionale alla deformabilità del terreno.

Queste due pressioni prima definite sono utilizzate per identificare i parametri di base che vengono forniti alle varie profondità:

• L'indice del materiale  $I_D$  consente di definire il tipo di materiale che si sta investigando. Secondo Marchetti (1980) questi sono i valori caratteristici del parametro per ogni tipo di terreno: argille  $0.1 < I_D < 0.6$ , limo  $0.6 < I_D < 1.8$  e sabbie  $I_D > 1.8$ . In questo modo è possibile avere un'idea del profilo stratigrafico del terreno.

- L'indice di tensione orizzontale  $K_D$  è un indice di base che permette di ricavare la tensione orizzontale e quindi il coefficiente di spinta a riposo  $K_0$  oltre che a dare indicazioni sul possibile sovraconsolidamento del terreno relazionato alla sua storia tensionale.
- Il modulo dilatometrico  $E_D$  da un'idea della deformabilità del terreno ed è connesso con la fase di espansione della membrana di 1.1 mm.

Dal confronto di questi 3 indici (FIGURA 1.15) e mediante altre relazioni empiriche è possibile ottenere altri parametri del terreno come il peso per unità di volume, il grado di sovraconsolidazione, il coefficiente di spinta a riposo, la densità relativa, l'angolo di resistenza al taglio e il modulo dilatometrico  $M_{DMT}$  (Amoroso 2011).



FIGURA 1.15: ESEMPIO DI PROVA DMT (FACCIORUSSO, MADIAI, VANNUCCHI 2011)

Le ultime tipologie di prove in situ che verrannoesposte in questo capitolo sono quelle che rientrano nella categoria dei metodi sismici. Le peculiarità di questi metodi sono molteplici, sicuramente la facilità di applicazione e l'economicità, ma soprattutto riescono a determinare le caratteristiche di deformabilità dei terreni in maniera indiretta senza andare a disturbare il materiale. Per questo motivo le grandezze ricavabili da questi metodi si riferiscono a livelli deformativi bassissimi rientrando sicuramente nel comportamento elastico del materiale. Come spiegato in precedenza, questi metodi si basano sulla velocità delle onde di taglio del terreno per valutare il modula di taglio G attraverso l'equazione (1-7).

Una prima configurazione di prova è quella **cross-hole** che richiede la realizzazione di due fori di sondaggio. Il terreno indagato sarà, pertanto, quello compreso fra i due

fori. Selezionata la profondità di indagine, in uno dei due fori si posiziona la sorgente che, attraverso l'impatto col suolo, genera un'onda meccanica che si propaga nel terreno e viene rilevata da un ricevitore posizionato nell'altro foro, alla stessa profondità (FIGURA 1.16 (a)).

La velocità delle onde di taglio si ricava attraverso la valutazione dello spazio percorso dall'onda (banalmente la distanza fra sorgente e ricevitore) e il tempo che l'onda impiega per arrivare al ricevitore (distanza temporale fra istante di applicazione della sorgente e ricezione dell'onda dal ricevitore)

Un'altra configurazione di prova è quella **down-hole** dove si necessita di un solo foro dove viene posizionato il ricevitore a diverse profondità. La sorgente viene posizionata in superfice e attraverso l'impatto col terreno si genera l'onda che arriva al ricevitore (FIGURA 1.16 (b)).

In questo casol'interpretazione per la valutazione della velocità dell'onda richiede una più attenta analisi in quanto l'onda si propaga in direzione subverticale interessando, di volta in volta in funzione della profondità del ricevitore, strati di terreno differenti.

È importante notare che nelle prove CPT e DMT viste prima si possono integrare le metodologie delle prove sismiche mediante l'inserimento di opportuni ricevitori sismici. In questo caso si parla di SCPT e SDMT.



FIGURA 1.16: (a) CONFIGURAZIONE CROSS-HOLE; (b) CONFIGURAZIONE DOWN-HOLE (LANCELLOTTA 2008)

# Capitolo 2 METODI DI CALCOLO DEI CEDIMENTI DA PROVE IN SITU

In letteratura sono presenti numerosi metodi empirici, semi-empirici basati prevalentemente sulla teoria dell'elasticità per la previsione dei cedimenti su terreni a grana grossa. Il problema già più volte analizzato dell'impossibilità di prelievo di campioni indisturbati da indagare in laboratorio fasì che questi metodi siano costituiti da incertezze insite nella valutazione del modulo elastico operativo da utilizzare nel calcolo. Molti di essi non considerano il comportamento non lineare del suolo e pertanto la valutazione dei cedimenti è limitata solamente alla fase elastica.

In questo capitolo verranno descritti i diversi metodi che utilizzano i risultati delle prove in situ, mentre nel Capitolo 4 verranno praticamente applicati e commentati.

#### 2.1. Metodi basati su prove SPT

Terzaghi e Peck (1976) definirono una relazione per il calcolo dei cedimenti su sabbie rifacendosi ai risultati della prova SPT. La relazione deriva dal confronto fra i cedimenti reali di una fondazione di dimensioni note ottenute mediante una prova di carico su piastra e le prove SPT utilizzate per la caratterizzazione del terreno di fondazione.

$$S_e[mm] = \frac{3q}{N_{60}} \left(\frac{B}{B+0.3}\right)^2$$
(2-1)

In cui:

- q è il carico applicato in fondazione, espresso in kPa;
- *B* è la larghezza della fondazione in metri;
- $N_{60}$  rappresenta il valore di  $N_{SPT}$  normalizzato ad un'efficienza del 60%, calcolabile in funzione dell'efficienza della prova  $(E_r)$

$$N_{60} = \frac{N_{SPT}E_R}{60}$$

Ciò vale nel caso di terreno asciutto, mentre se si è in presenza di terreno saturo e approfondimento della fondazione si inseriscono due coefficienti correttivi nella (2-1) che diventa:

$$S_e[mm] = C_W C_D \frac{3q}{N_{60}} \left(\frac{B}{B+0.3}\right)^2$$
(2-2)

In cui

- $C_W$  tiene conto della presenza della falda e vale 1 nel caso in cui la distanza fra la falda e il piano di posa della fondazione sia  $\geq 2B$ , in caso contrario si setta pari a 2;
- $C_D$  tiene conto dell'approfondimento della fondazione rispetto al piano campagna e il suo valore dipende dalla larghezza della fondazione *B* e dall'approfondimento  $D_f$

$$C_D = 1 - \frac{D_f}{2B} \tag{2-3}$$

Sivak ugan et al. (1998) confrontarono i cedimenti calcolati con il presente metodo con i cedimenti reali di numerosi case histories, notando che i cedimenti stimati con il metodo di Terzaghi e peck (1976) erano sovrastimati con un fattore moltiplicativo medio intorno a 2.18 (Franco 2017).

Schultze and Sherif (1973), basandosi sui cedimenti osservati su 48 siti sabbiosi, svilupparono un metodo empirico per la previsione dei cedimenti di fondazioni superficiali su sabbie servendosi dei risultati di prove SPT attraverso la relazione:

$$s[cm] = \frac{QF_c}{C_D N^{0.87}}$$
(2-4)

Dove:

- Q rappresenta il sovraccarico sulla fondazione, espresso in kg/cm<sup>2</sup>;
- $C_D$  è la correzione in caso di approfondimento della fondazione come da (2-3);
- Nè il numero di colpi  $N_{SPT}$  non corretti;

 $F_c$  è un coefficiente di influenza che dipende essenzialmente dalla larghezza della fondazione *B* e dalla distanza tra il piano di posa e lo strato di terreno supposto incomprimibile (o profondità in cui gli effetti del carico sono supposti trascurabili), ricavabile tramite il grafico mostrato in FIGURA 2.1 in cui *L* è l'altra dimensione della fondazione.

Gli Autori mostrarono anche che i cedimenti calcolati con il presente metodo si discostano da quelli reali di circa il 40% (Lutenegger, DeGroot 995).



FIGURA 2.1: VALUTAZIONE DI FC (LUTENEGGER, DEGROOT 1995)

**Burland e Burbidge (1985)** rifacendosi ad oltre 200 casi studio proposero un metodo basato su un indice di compressibilità  $I_c$  dipendente dal valore di  $N_{spt,med}$  valutato attraverso la media aritmetica dei valori di  $N_{spt}$  per una profondità d'influenza  $z_i$ . Il valore di  $z_i$  è correlato alla larghezza della fondazione *B* come mostrato nella FIGURA 2.2. La relazione è valida solo se  $N_{spt}$  è costante o cresce con la profondità. Se invece  $N_{spt}$  si riduce con la profondità si pone  $z_i = 2B$ .

$$I_C = \frac{1.7}{N^{1.4}} \tag{2-5}$$



FIGURA 2.2: VALUTAZIONE DELLA PROFONDITÀ D'INFLUENZA ZI (LANCELLOTTA, CALAVERA 1999)

Il cedimento dipende dall'indice di compressibilità  $I_c$ , dal carico applicato q'[kPa] e dalla dimensione della fondazione *B*, secondo la seguente relazione:

$$s[mm] = q'B^{0.7}I_c (2-6)$$

Se il piano di fondazione presenta un approfondimento rispetto al piano campagna, l'equazione viene modificata considerando la tensione geostatica alla quota del piano di posa  $\sigma'_{\nu 0}$ 

$$s[mm] = \frac{\sigma_{\nu 0}' B^{0.7} I_c}{3} + (q' - \sigma_{\nu 0}') B^{0.7} I_c$$
(2-7)

Il metodo richiede di alcune correzioni per poter considerare i seguenti aspetti:

Se si è in presenza di falda e nel caso in cui N<sub>spt,med</sub> > 15, si applica la correzione suggerita da Terzaghi e Peck (1984):

$$N_{corretto} = 15 + 0.5(N - 15)$$

• Nel caso in cui la fondazione abbia un rapporto*L/B* > 1 si introduce il seguente fattore correttivo:

$$f_S = \left[\frac{\frac{1.25L}{B}}{\frac{L}{B} + 0.25}\right]^2 > 1$$

• Se invece lo spessore dello strato comprimibile risulta essere  $H < z_i$  si applica il seguente coefficiente moltiplicativo:

$$F_H = \frac{H}{z_i} \left( 2 - \frac{H}{z_i} \right) < 1$$

Gli Autori mostrarono che i cedimenti calcolati si discostavano dai valori medi dei cedimenti reali fino ad una percentuale del 50% (Lancellotta, Calavera 1999).

Meyerhof (1956) ha sviluppato un metodo per la stima del cedimento atteso su sabbie basandosi sul metodo già visto di Terzaghi e Peck, in cui si adottano due equazioni differenti in funzione della dimensione della fondazione:

$$S_{e} = \frac{C_{w}C_{D}1.25q}{N_{60}} \quad per B \le 1.22m$$

$$S_{e} = \frac{C_{w}C_{D}2q}{N_{60}} \left(\frac{B}{B+0.3}\right)^{2} \quad per B > 1.22m$$
(2-9)

L'Autore indica che il suo metodo fornisce risultati molto cautelativi, che possono essere incrementati del 50% (Franco 2017).

Anagnostopoulos et al. (1991) proposero un metodo ricavato da analisi statistiche e di regressione proponendo due gruppi di relazioni differenti. Un primo gruppo di equazioni è differenziato sulla base dei valori delle prove penetrometriche dinamiche SPT, mentre il secondo gruppo differenziato in funzione della larghezza della fondazione. L'Autore consiglia di utilizzare il valore medio di  $N_{SPT}$  lungo una profondità d'influenza pari a D + B

$$s = \frac{(0.57q^{0.94}B^{0.90})}{N^{0.87}} \quad per \ 0 < N \le 10 \tag{2-10}$$

$$s = \frac{(0.35q^{1.01}B^{0.69})}{N^{0.94}} \quad per \ 10 < N \le 30 \tag{2-11}$$

$$s = \frac{(604q^{0.90}B^{0.76})}{N^{2.82}} \quad per N > 30 \tag{2-12}$$

$$s = \frac{(1.9q^{0.77}B^{0.45})}{N^{1.08}} \quad per \ B \le 3m \tag{2-13}$$

$$s = \frac{(1.64q^{1.02}B^{0.59})}{N^{1.37}} \quad per B > 3m \tag{2-14}$$

Il calcolo del cedimento atteso può essere effettuato utilizzando entrambi i gruppi di equazione, andando poi a calcolare la media fra i due risultati (Lutenegger A. J., De-Groot D. J. 1995).

**Berardi e Lancellotta (1991)** proposero un metodo che, pur basandosi sulla teoria dell'elasticità, permette di valutare un modulo elastico che tenga opportunamente in conto l'influenza dello stato del terreno (mediante la densità relativa) dello stato tensionale e del livello deformativo. Il risultato è un metodo non lineare (diversamente da quelli visti in precedenza) il quale riduce il modulo elastico all'aumentare del livello deformativo. La formulazione generale è data dalla seguente espressione:

$$s = \frac{q_N}{E'} B(1 - v^2) I$$
 (2-15)

In cui:

- $q_N$  rappresenta il carico netto applicato in fondazione  $q_N = q \sigma'_{vo}$ , dove la tensione verticale efficace corrisponde alla profondità di approfondimento della fondazione.
- *I* è un coefficiente d'influenza che dipende dalla geometria della fondazione e dalla profondità dello strato comprimibile considerato H = B, ricavabile dalla FIGURA 2.3.

L/B	H/B = 0.5	H/B = 1.0	<i>H/B</i> = 2.0	H/B = 5.0
1	0.39	0.62	0.77	0.87
2	0.43	0.70	0.96	1.16
3	0.44	0.73	1.04	1.31
10	0.46	0.77	1.15	1.62
Fondazione				
circolare	0.38	0.58	0.70	0.78

FIGURA 2.3: COEFFICIENTE D'INFLUENZA (LANCELLOTTA, CALAVERA 1999)

Il valore del modulo E' da utilizzare nella (2-15) influenza fortemente il risultato del metodo proposto. Gli Autori definirono una relazione per il calcolo del modulo E' dipendente dallo stato tensionale, di addensamento e dal livello deformativo:

$$E' = K_E P_a \left(\frac{\sigma_{\nu o}' + 0.5\Delta \sigma_{\nu}'}{Pa}\right)^{0.5}$$
(2-16)

Dove

- $P_a$  rappresenta la pressione atmosferica (1atm = 101kPa)
- $\sigma'_{vo} \in \Delta \sigma'_{v}$  (incremento di carico dovuto al sovraccarico) sono valutati alla mezzeria della profondità dello strato comprimibile.
- $K_E$  è un modulo dipendente dallo stato di addensamento del materiale ed è ricavabile dalla FIGURA 2.4 in funzione della densità relativa. La correlazione è basata sull'analisi dei risultati di Burland e Burbidge (1983). Il valore di  $K_E$  si riferisce ad un cedimento relativo dello 0.1%.



FIGURA 2.4: VALUTAZIONE DEL MODULO KE (LANCELLOTTA, CALAVERA 1999)

Per tenere conto del livello deformativo si fa variare il modulo  $K_E$  in funzione del cedimento relativo, come si nota dalla FIGURA 2.5:



FIGURA 2.5: VARIAZIONE DI KE IN FUNZIONE DEL CEDIMENTO RELATIVO (LANCELLOTTA 2008)

La relazione che lega il modulo con il cedimento relativo in FIGURA 2.5 è data dalla seguente correlazione:

$$\frac{E'}{E'_{01}} = 0.008 \left(\frac{s}{B}\right)^{-0.7} \tag{2-17}$$

e introducendo la (2-17) nella (2-15) si ottiene la relazione definitiva per il calcolo del cedimento:

$$\frac{q_N}{E'_{01}} = \frac{1}{125I(1-\nu^2)} \left(\frac{s}{B}\right)^{0.3}$$
(2-18)

Il metodo consente quindi di aggiornare di volta in volta il valore del modulo  $E'_{01}$  in funzione del carico applicato tramite la (2-16) (Lancellotta, Calavera 1999).

Come si evince dal metodo proposto, esso non è applicabile unicamente ai dati ricavati dalla prova SPT, ma può essere ampliato ad altre prove poiché l'unico parametro che bisogna ricavare è la densità relativa, quindi applicabile anche a CPT o prove con DMT. È inserito in questo capitolo poiché, come si vedrà in seguito, la densità relativa da utilizzare per questo metodo è stata ricavata dalla prova SPT attraverso la correlazione di Skempton (1986).
#### 2.2. Metodi basati su prove CPT

Schmertmann (1978) introdusse un nuovo metodo empirico fondato sulla teoria dell'elasticità per il calcolo dei cedimenti di fondazioni superficiali su sabbie utilizzando i risultati delle prove CPT. L'idea di base fu quella di partire dalla teoria dell'elasticità per la valutazione della deformazione verticale causata da un carico applicato su una certa superfice:

$$\varepsilon_z = \frac{q_N}{E} I_z \tag{2-19}$$

In cui  $I_z$  è un fattore deformativo d'influenza dipendente dalla profondità, dal carico applicato e dalle dimensioni della fondazione, ottenibile come mostrato in FIGURA 2.6.



FIGURA 2.6: FATTORE DEFORMATIVO D'INFLUENZA IZ (FANG 1991)

La natura continua dell'equazione (2-19) non permette un calcolo semplice del cedimento lungo tutta la profondità d'influenza (a meno di non usare una formulazione integrale), per cui si passa ad un approccio discreto in cui lo strato comprimibile viene suddiviso in piccoli strati e tutti i parametri fanno riferimento alla mezzeria del singolo strato. Così, il cedimento totale è la somma di tutti i singoli cedimenti:

$$s = C_1 C_2 q_N \sum_{i=1}^n \left(\frac{I_z}{E}\right)_i \Delta z_i$$
(2-20)

In cui:

- $\Delta z_i$  è lo spessore dell'i-esimo strato
- *C*<sub>1</sub> è un coefficiente correttivo che tiene conto dell'approfondimento della fondazione:

$$C_1 = 1 - 0.5 \left( \frac{\sigma'_{\nu 0}}{q_N} \right) > 0.5$$
 (2-21)

•  $C_2$  tiene conto del cedimento differito nel tempo, che in questo caso non verrà valutato quindi  $C_2 = 1$ .

Per quanto riguarda il modulo deformativo, esso viene posto pari a  $2.5q_c$  per condizioni assialsimmetriche e pari a  $3.5q_c$  per condizioni di deformazione piana (Fang 1991).

Mayne and Poulos (1999) suggerirono un metodo per valutare i cedimenti di fondazioni superficiali su sabbie basandosi su un fattore d'influenza derivato dalla teoria dell'elasticità. La forma generale per il calcolo dei cedimenti è stata valutata per fondazioni circolari di diametro d su un suolo elastico con modulo costante con la profondità, caricate con un sovraccarico uniforme q:

$$s = \frac{qdI(1-v^2)}{E_0}$$
(2-22)

Nel caso in cui si è in presenza di fondazioni non circolari, si utilizza un diametro equivalente dato da

$$d_e = \sqrt{\frac{4BL}{\pi}} \tag{2-23}$$

Il valore del modulo elastico  $E_0$  può essere valutato tramite la resistenza alla punta della prova CPT, come valore medio nello strato comprimibile considerato pari a 2*B*. Per esempio, si può utilizzare la correlazione di Schmertmann (1970) in cui  $E_0 = 2q_c$ .

Per quanto riguarda il fattore d'influenza *I*, gli Autori decisero di scomporlo in tre diversi fattori tale per cui  $I = I_G I_F I_E$ . Essi dipendono rispettivamente dalla variazione del modulo deformativo con la profondità, dalla rigidezza o flessibilità della fondazione e dall'approfondimento.

 $I_G$  viene trovato rifacendosi prima di tutto ad un suolo alla Gibson, in cui il modulo aumenta con la profondità, secondo la FIGURA 2.7:



FIGURA 2.7: VALUTAZIONE DEL FATTORE IG (MAYNE, POULOS 1999)

Nel caso in cui il modulo deformativo del terreno venga supposto costante lungo lo strato, il valore di  $K_E$  risulta essere nullo e il modulo di Gibson normalizzato  $\beta \rightarrow \infty$ , quindi si utilizza  $I_G = 1$  per fondazioni flessibili, e  $I_G = \pi/4$  nel caso di fondazioni rigide. Le stesse considerazioni valgono per il fattore  $I_F$ .

Il fattore $I_E$  dipende invece dalla profondità di approfondimento della fondazione e dal coefficiente di Poisson secondo la FIGURA 2.8.



FIGURA 2.8: VALUTAZIONE DEL FATTORE IE (MAYNE, POULOS 1999)

In definitiva, la relazione per il calcolo del cedimento si compone di tutti i fattori d'influenza visti precedentemente (Mayne, Poulos 1999).

$$s = \frac{qd_e I_G I_F I_E (1 - v^2)}{E_0}$$
(2-24)

Il Canadian Foundation Manual (1975, 1985, 1992) suggerisce un metodo per la valutazione dei cedimenti utilizzando un approccio basato sulla teoria dell'elasticità, andando a suddividere il terreno in strati. Attraverso l'incremento tensionale causato dal sovraccarico nel punto medio di ogni strato è possibile valutare il cedimento i-esimo. Il cedimento totale sarà somma dei cedimenti di ogni strato:

$$s = \sum \frac{q_z}{E_s} h_z \tag{2-25}$$

$$q_z = \frac{q_0 BL}{(B+z)(L+z)}$$
(2-26)

In cui  $q_z$  è l'incremento tensionale alla profondità z generato dal carico applicato in fondazione  $q_o$ ,  $h_z$  è lo spessore dello strato i-esimo, B ed L le dimensioni della fondazione.

Il modulo di rigidezza  $E_s$  può essere valutato tramite le correlazioni basate sui risultati di diverse prove in situ, in questo caso si è utilizzata la correlazione di Schmertmann (1970)  $E_0 = 2q_c$  che lega il modulo alla resistenza alla punta (Lutenegger, DeGroot 1995).

#### 2.3. Metodo basato sul DMT

Il dilatometro di Marchetti permette di valutare il modulo dilatometrico  $M_{DMT}$ , paragonabile con il modulo edometrico (di difficile valutazione su sabbie), che può essere direttamente utilizzato per il calcolo dei cedimenti mediante la formula monodimensionale della teoria dell'elasticità:

$$S = \sum \frac{\Delta \sigma_{\nu}}{M_{DMT}} \Delta H \tag{2-27}$$

Per l'applicazione della relazione, si divide lo strato comprimibile in strati di terreno di spessore  $\Delta H$  e, alla mezzeria di ogni strato, si valuta l'incremento tensionale attraverso, per esempio, la formulazione di Boussinesq, insieme al modulo  $M_{DMT}$ . Il cedimento to-tale sarà la somma dei cedimenti i-esimi.

Poiché la relazione si basa sulla teoria dell'elasticità, il metodo non è attendibile nella stima dei cedimenti quando si supera la soglia deformativa oltre la quale il comportamento non lineare del terreno è preponderante (Marchetti 1997).

# Capitolo 3 SAND SITE TEST ALL'UNIVERSITÀ DEL TEXAS N.G.E.S.

Tra il 1992 e il 1993, nel sand site della Texas A&M University National Geotechnical Experimentation Site (NGES), è stata tenuta una campagna di innumerevoli prove, in situ e in laboratorio, per indagare con esattezza le caratteristiche del terreno in sito.

La campagna ebbe come obiettivo principale quello di costruire un database di innumerevoli prove di carico su larga scala per valutare l'accuratezza con cui vengono previsti i cedimenti attraverso i metodi fino ad allora conosciuti.

Dopo aver effettuato le prove sul sand site, numerosi autori sono stati invitati a calcolare i cedimenti attesi, andando poi a confrontarli con le prove di carico effettuate in situ con l'obiettivo di valutare il metodo più adeguato e accurato (Briaud, Gibbens 1997).

Questo sito è stato scelto per la numerosità delle prove che mette a disposizione, utili per un confronto con i metodi usuali di calcolo dei cedimenti e soprattutto per la taratura del metodo non lineare descritto nel Capitolo 6.

## 3.1. Descrizione generale del sito

Nel sito sono state costruite cinque fondazioni superficiali con dimensioni e approfondimenti differenti (FIGURA 3.1) e disposte secondo la FIGURA 3.2.

Nelle vicinanze sono stati creati dei pali trivellati utilizzati come contrasto per le prove di carico.

Footing No.	Length by Width	Thickness	Embedment Depth	In Text, Referred to as
1	3.004 by 3.004	1.219	0.762	3-m North footing
2	1.505 by 1.492	1.219	0.762	1.5-m footing
3	3.023 by 3.016	1.346	0.889	3-m South footing
4	2.489 by 2.496	1.219	0.762	2.5-m footing
5	0.991 by 0.991	1.168	0.711	1.0-m footing

FIGURA 3.1: DIMENSIONI DELLE FONDAZIONI (BRIAUD, GIBBENS 1997)



FIGURA 3.2: DISPOSIZIONE DELLE FONDAZIONI (BRIAUD, GIBBENS 1997)

Durante la fase di carico, il cedimento delle fondazioni è stato accuratamente misurato con un sistema di acquisizione elettronica (*Linear Variable Differential Transformers LVDT's*) fornito dalla *Federal Highway Administration*, con una precisione di 0.002mm.

Il carico è stato applicato attraverso un martinetto idraulico con un capacità massima di 12 MN. Tra il martinetto e la fondazione è stata inoltre posta una cella di carico per avere delle misurazioni più accurate.

La descrizione della stratigrafia del suolo e della quota della falda è mostrata in FIGURA 3.3, con riferimento agli ALLEGATI 1 - 6, che mostrano i risultati delle prove SPT e dei campioni prelevati. Per quanto riguarda le indagini, verranno qui di seguito elencate e interpretate le prove in laboratorio effettuate, insieme a quelle in situ. La localizzazione di quest'ultime rispetto le fondazioni è mostrata in FIGURA 3.4 (Briaud, Gibbens 1997).



FIGURA 3.3: STRATIGRAFIA DEL SITO (BRIAUD, GIBBENS 1997)



FIGURA 3.4: LOCALIZZAZIONE DELLE PROVE IN SITU (BRIAUD, GIBBENS 1997)

## 3.2. Prove SPT

Sono state eseguite sei prove penetrometriche dinamiche, tutte con un'efficienza media intorno al 53% (ALLEGATI 1 - 6). L'andamento delle prove è presentato in FIGURA 3.5, insieme al profilo dei valori N<sub>SPT</sub> scelto come rappresentativo del terreno in funzione della stratigrafia del sito (FIGURA 3.3). I valori di N<sub>SPT</sub> scelti per ogni strato di terreno omogeneo sono più facilmente visionabili in TABELLA 3-1.



FIGURA 3.5: INTERPRETAZIONE DELLE PROVE SPT

Profondità strato [m]	Nspt
0 - 3.5	18
3.5 - 7	22
7 - 10	16

TABELLA 3-1: PROFILO DEI VALORE N<sub>SPT</sub>

## 3.3. Prove CPTU

Sono state eseguite cinque prove penetrometriche statiche con l'utilizzo del piezocono per la valutazione della pressione interstiziale (l'andamento della pressione idrostatiche con la profondità non è stata presentata dagli Autori).

L'andamento delle prove è presentato in FIGURA 3.6, insieme al profilo CPT scelto come rappresentativo di tutte le prove.



FIGURA 3.6: INTERPRETAZIONE DELLE PROVE CPT

### 3.4. Prove DMT

Sono state effettuate 3 prove utilizzando il dilatometro di Marchetti, i cui risultati interpretati, insieme ai profili scelti come rappresentativi dell'insieme delle prove con riferimento alla stratigrafia del sito (FIGURA 3.3) sono rappresentati in FIGURA 3.7.



FIGURA 3.7: INTERPRETAZIONE DELLE PROVE DMT

Dai parametri precedenti è stato anche valutato il modulo dilatometrico  $M_{DMT}$  attraverso l'equazione (3-1) (Marchetti et al. 2001).

$$M_{DMT} = R_M E_d \tag{3-1}$$

$$R_M = 0.5 + 2\log K_d \quad per \ I_d \ge 3 \tag{3-2}$$

$$R_M = R_{M0} + (2.5 - R_{M0}) \log K_d \quad per \ 0.6 < I_D < 3 \tag{3-3}$$

$$R_{M0} = 0.14 + 0.15(I_d - 0.6) \quad per I_d \ge 3 \tag{3-4}$$

I parametri rappresentativi di ogni strato di terreno omogeneo sono più facilmente visionabili in TABELLA 3-2.

Profondità strato [m]	K <sub>d</sub> [-]	Ed[MPA]	Ia[-]	M <sub>DMT</sub> [Mpa]
0 - 3.5	9.6	28.827	3.7	71.045
3.5 - 7	7.75	44.002	2.7	100.044
7 - 10	7.1	55.825	3.3	122.933

TABELLA 3-2: MODELLO DMT

### 3.5. Prove Cross-hole

Due prove Cross-hole sono state effettuate nel sito, ricavando i valori di velocità delle onde di taglio a diverse profondità come mostrato in FIGURA 3.8.



FIGURA 3.8: RISULTATI PROVE CROSS-HOLE

## 3.6. Prove di laboratorio

Oltre alle prove in situ già viste, sono state effettuate diverse prove di laboratorio sui campioni ricavati dalle prove SPT (analisi granulometrica, densità relativa, indice dei vuoti, peso proprio) e su campioni ricostituiti in laboratorio per le prove triassiali e di colonna risonante.

Riferendoci alle indagini fatte sui campioni prelevati in situ, la FIGURA 3.9 mostra le caratteristiche principali che caratterizzano il terreno, ad una profondità di 0.6m e di 3m.

Property	Sand	Sand	
	0.6 m	3.0 m	
Specific Gravity	2.64	2.66	
Minimum Void Ratio	0.65	0.62	
Maximum Void Ratio	0.94	0.91	
Maximum Dry Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	15.70	16.10	
Minimum Dry Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	13.35	13.66	
Liquid Limit	N/P	N/P	
Plastic Limit	-	-	
USCS Classification	SP	SP-SM	
Natural Void Ratio	0.78	0.75	
Dry Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	14.55	14.91	
Natural Moisture Content (%)	5.0	5.0	
Natural Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	15.28	15.65	

FIGURA 3.9: PROPRIETÀ DELLA SABBIA (BRIAUD, GIBBENS 1997)

Considerando invece i campioni ricostituiti in laboratorio, essi sono stati sottoposti a prove triassiali per la valutazione dell'angolo di resistenza al taglio e a prove di colonna risonante per la valutazione della curva di decadimento del modulo di deformazione a taglio.

Le prove triassiali (FIGURA 3.10) sono state effettuate su 2 campioni ricostituiti, corrispondenti alla profondità di 0.6m e 3m a cui sono state applicate tre diverse tensioni di confinamento, pari a 34 kPa, 138 kPa e 345 kPa. Da queste prove è stato possibile valutare l'angolo di resistenza al taglio:

$$\varphi = 34.2^{\circ} \quad per \ z = 0.6m$$
 (3-5)

$$\varphi = 36.4^{\circ} \quad per \, z = 3m \tag{3-6}$$



FIGURA 3.10: PROVE TRIASSIALI

Le prove di colonna risonante sono state effettuate su campioni ricostituiti, con riferimento alla profondità di 0m (corrispondente al piano di posa della fondazione) e di 6m. Ognuno dei campioni è stato sottoposto a tensioni di confinamento di 20kPa, 50kPa, 100kPa, 150 kPa, 200kPa e 300kPa.



FIGURA 3.11: PROVE DI COLONNA RISONANTE

## 3.7. Curve carico-cedimenti

Attraverso le prove di carico sulle fondazioni e la valutazione del cedimento misurato sul piano di posa è stato possibile ricostruire le curve carico — cedimenti, necessarie per effettuare dei confronti oggettivi con i risultati dei metodi di calcolo visti in precedenza.

Per semplicità, vengono mostrate le curve riferite alla fondazione più piccola (1x1m)e più grande (3x3m), poiché esse sono state quelle utilizzate per i confronti operati nel seguente lavoro.

Il carico indicato in FIGURA 3.12 è riferito alla forza misurata dalla cella di carico, quindi applicata dal martinetto idraulico alla fondazione.



FIGURA 3.12: CURVE DI CARICO - CEDIMENTI

# Capitolo 4 CALCOLO E CONFRONTO DEI CEDIMENTI DEL SAND SITE

In questo capitolo verranno applicati al Sand Site tutti i metodi empirici visti nel Capitolo 2 per prevedere i cedimenti, così da confrontarne i risultati con la curva di carico — cedimenti ottenuta attraverso la prova di carico. A tal fine sarà quindi necessario considerare tutte le interpretazioni delle prove in situ viste nel Capitolo 3.

In conclusione, i risultati saranno messi a confronto per valutare limiti e/o le peculiarità di ogni metodo utilizzato.

L'analisi è stata condotta sia sulla fondazione più piccola di 1x1m che in quella di 3x3m.

### 4.1. Calcolo cedimenti da prove SPT

Per il calcolo dei cedimenti attraverso il metodo di **Terzaghi e peck** (1976) è stato utilizzato il valore di  $N_{SPT} = 18$  per la fondazione lx1, mentre $N_{SPT} = 20$  per la fondazione di 3x3m, per considerare l'apporto di resistenza dello strato più profondo, come mostrato in FIGURA 3.5.

Maggiori dettagli sul calcolo sono riportati nell'ALLEGATO 7.



FIGURA 4.1: CEDIMENTI A CONFRONTO (1x1m): TERZAGHI E PECK (1976)



FIGURA 4.2: CEDIMENTI A CONFRONTO (3x3m): TERZAGHI E PECK (1976)

Nel calcolo dei cedimenti attraverso il metodo di **Schultze and Sherif (1973)** è stato considerato un valore di  $N_{SPT} = 18$  come mostrato in FIGURA 3.5 e un coefficiente d'influenza  $F_c = 3.8$  come da FIGURA 2.1 per la fondazione di lx lm, mentre per quella di 3x 3m si è assunto  $N_{SPT} = 20 \text{ e} F_c = 6$ .

Per un approfondimento sui calcoli si veda l'ALLEGATO 8.



FIGURA 4.3: CEDIMENTI A CONFRONTO (1x1m): SCHULTZE AND SHERIF (1973)



FIGURA 4.4: CEDIMENTI A CONFRONTO (3x3m): SCHULTZE AND SHERIF (1973)

Per il calcolo dei cedimenti attraverso il metodo di **Burland e Burbidge (1985)** è stato utilizzato il valore corretto  $N_{corr} = 16.5$  per la fondazione di 1x1m mentre per la fondazione di 3x3m $N_{corr} = 17.5$ . È stata utilizzata l'equazione generale (2-7) per considerare l'approfondimento della fondazione.

Maggiori dettagli sul calcolo sono riportati nell'ALLEGATO 9.



FIGURA 4.5: CEDIMENTI A CONFRONTO (1x1m): BURLAND E BURBIDGE (1985)



FIGURA 4.6: CEDIMENTI A CONFRONTO (3x3m): BURLAND E BURBIDGE (1985)

Per il calcolo dei cedimenti attraverso il metodo di **Meyerhof (1956)** è stato utilizzato il valore di  $N_{SPT} = 18$  per la fondazione  $1 \times 1 \text{ e } N_{SPT} = 20$  per la fondazione di  $3 \times 3 \text{m}$ , per considerare l'apporto di resistenza dello strato più profondo, come mostrato in FIGURA 3.5. Maggiori dettagli sul calcolo sono riportati nell'Allegato 10.



FIGURA 4.7: CEDIMENTI A CONFRONTO (1x1m): MEYERHOF (1956)



FIGURA 4.8: CEDIMENTI A CONFRONTO (3x3m): MEYERHOF (1956)

Per il calcolo dei cedimenti attraverso il metodo di **Anagnostopoulos et al. (1991)** è stato considerato un valore di  $N_{SPT} = 18$  per la fondazione di  $1 \times 1 \text{ m}$ , mentre per quella di  $3 \times 3 \text{ m} N_{SPT} = 20$ , come mostrato in FIGURA 3.5. Per il calcolo si è utilizzato solo l'approccio in funzione del valore di  $N_{SPT}$  attraverso l'equazione (2-11). Maggiori dettagli sul calcolo sono riportati nell'ALLEGATO 11.



FIGURA 4.9: CEDIMENTI A CONFRONTO (1x1m): ANAGNOSTOPOULOS ET AL. (1991)



FIGURA 4.10: CEDIMENTI A CONFRONTO (3x3m): ANAGNOSTOPOULOS ET AL. (1991)

Per il calcolo dei cedimenti attraverso il metodo di **Berardi e Lancellotta (1991)**si è valutata inizialmente la densità relativa del materiale e l'incremento tensionale alla profondità B/2, cioè alla mezzeria dello strato considerato comprimibile.

La densità relativa è stata valutata mediante i risultati della prova SPT, utilizzando la correlazione di Skempton (1986):

$$D_r^2 = \frac{N_1}{60}$$
(4-1)

$$N_1 = C_N \sigma_{\nu 0}' \tag{4-2}$$

$$C_N = \frac{2}{\left(1 + \frac{\sigma'_{v0}}{100}\right)} \quad per \ sabbie \ fini \tag{4-3}$$

L'incremento tensionale è stato valutato attraverso l'approccio elastico di Holl (1940): considerando una superfice rettangolare di lati **b**ed **L**, caricata uniformemente con un carico distribuito verticale **q**, è possibile valutare la tensione indotta nel terreno in un punto a profondità **z** lungo uno spigolo dell'area rettangolare, come mostrato in FIGURA 4.11, attraverso le equazioni:

$$\Delta \sigma_Z = \frac{q}{2\pi} \left[ \tan^{-1} \frac{Lb}{zR_3} + \frac{Lbz}{R_3} \left( \frac{1}{R_1^2} + \frac{1}{R_2^2} \right) \right]$$
(4-4)

$$\Delta \sigma_x = \frac{q}{2\pi} \left[ \tan^{-1} \frac{Lb}{zR_3} - \frac{Lbz}{R_1^2 R_3} \right]$$
(4-5)

In cui  $R_1$ ,  $R_2$  ed  $R_3$  dipendono dalle dimensioni dell'area rettangolare e alla profondità z:

• 
$$R_1 = (L^2 + z^2)^{\frac{1}{2}}$$

• 
$$R_2 = (b^2 + z^2)^{\frac{1}{2}}$$

• 
$$R_3 = (L^2 + b^2 + z^2)^{\frac{1}{2}}$$



FIGURA 4.11: APPROCCIO ELASTICO DI HOLL (1940) (POULOS, DAVIS 1991)

Volendo conoscere l'incremento tensionale lungo l'asse verticale passante per il centro della fondazione, si può applicare la sovrapposizione degli effetti all'approccio elastico visto prima, quindi considerare una un'area rettangolare con dimensioni dimezzate rispetto a quelle della fondazione applicando poi un coefficiente moltiplicativo pari a 4 alla tensione calcolata (Poulos, Davis 1991). Il modulo di Poisson è stato assunto pari a v = 0.2.

Maggiori dettagli sul calcolo sono riportati nell'ALLEGATO 12.



FIGURA 4.12: CEDIMENTI A CONFRONTO (1x1m): BERARDI E LANCELLOTTA (1991)



FIGURA 4.13: CEDIMENTI A CONFRONTO (3x3m): BERARDI E LANCELLOTTA (1991)

### 4.2. Calcolo cedimenti da prove CPT

Nell'applicare il metodo di **Schmertmann (1979),** lo strato di terreno comprimibile (considerato pari a circa 2B) è stato suddiviso in 7 strati, ognuno con uno spessore di  $\Delta H = 0.3m$  nel caso di fondazione di 1x1m e di $\Delta H = 0.86m$  per la fondazione di 3x3m. Si è utilizzato un valore del modulo deformativo pari a  $E_S = 2q_C$ , in cui i valori di  $q_C$  in mezzeria di ogni strato i-esimo sono stati valutati considerando l'andamento della resistenza alla punta mostrato in figura 3.6. Vedere l'Allegato 13 per un approfondimento sui calcoli.



FIGURA 4.14: CEDIMENTI A CONFRONTO (1x1m): SCHMERTMANN (1978)



FIGURA 4.15: CEDIMENTI A CONFRONTO (3x3m): SCHMERTMANN (1978)

Per quanto riguarda il metodo di **Mayne and Poulos (1999)** si è considerato un suolo con modulo deformativo costante con la profondità e si è scelta una resistenza alla punta media per una profondità di 2B pari a  $q_{c,med} = 6 MPa$  per la fondazione di 1x1m, mentre per quella di 3x3m si è utilizzato  $q_{c,med} = 7 MPa$ . Considerando inoltre una fondazione rigida è stato possibile valutare i fattori d'influenza. Il modulo di Poisson è stato assunto pari a v = 0.2, come in tutte le relazioni in cui è necessario considerare questo parametro.

Per un approfondimento sui calcoli effettuati si veda l'ALLEGATO 14.



FIGURA 4.16: METODI A CONFRONTO (1x1m): MAYNE AND POULOS (1999)



FIGURA 4.17: METODI A CONFRONTO (3x3m): MAYNE AND POULOS (1999)

Anche per il metodo suggerito dal **Canadian Foundation Manual** (1975, 1985, 1992), lo strato comprimibile è stato suddiviso in 7 strati, ognuno con uno spessore di  $\Delta H =$ 0.3*m* nel caso di fondazione di 1x1m e di  $\Delta H =$  0.86*m* per la fondazione di 3x3m. Si è utilizzato un valore del modulo deformativo pari a  $E_S = 2q_C$ , in cui i valori di  $q_C$  in mezzeria di ogni strato i-esimo sono stati valutati considerando l'andamento della resistenza alla punta mostrato in figura 3.6. Si veda l'ALLEGATO 15 per un approfondimento sui calcoli.



FIGURA 4.18: CEDIMENTI A CONFRONTO (1x1m): CANADIAN FOUNDATION MANUAL (1975, 1985, 1992)



FIGURA 4.19: CEDIMENTI A CONFRONTO (3X3M): CANADIAN FOUNDATION MANUAL (1975, 1985, 1992)

### 4.3. Calcolo cedimenti da prove DMT

Per il calcolo del cedimento attraverso le prove col Dilatometro di Marchetti si è considerato un modulo dilatometrico costante  $M_{DMT} = 71.045 MPa$  per il primo strato e  $M_{DMT} = 100 MPa$  per il secondo (TABELLA 3-2). Lo strato comprimibile è stato suddiviso in 7 strati di spessore  $\Delta H = 0.3m$  nel caso di fondazione di 1x1m e di  $\Delta H = 0.86m$  per la fondazione di 3x3m. Per valutare l'incremento tensionale alla mezzeria di ogni strato i-esimo si è utilizzato l'approccio di Holl (1940). Per ulteriori dettagli sui calcoli si veda l'ALLEGATO 16.



FIGURA 4.20: CEDIMENTI A CONFRONTO (1x1m): METODO DMT



FIGURA 4.21: CEDIMENTI A CONFRONTO (3x3M): METODO DMT

## 4.4. Confronto tra i metodi, fondazione 1x1m

Dopo aver visto i risultati ottenuti dai vari metodi empirici di letteratura confrontati con la curva carico-cedimenti ottenuta dalla prova di carico della fondazione 1x1m, è adesso interessante confrontare questi metodi fra loro in modo da coglierne l'accura-tezza.

Per avere un confronto di tipo oggettivo, si è deciso di valutare l'accuratezza dei metodi nell'ambito del carico di progetto valutato a partire dalla capacità portante della fondazione sulla base della attuale normativa sulle costruzioni (NTC18).

Con riferimento alla fondazione 1x1m, si è utilizzata la formula trinomia di Brinch-Hansen (1970) per il calcolo della capacità portante, utilizzando i coefficienti di capacità portante, funzione di  $\varphi'$ , c',  $\gamma'$ , forniti da Vesic (1975) (Lancellotta, Calavera 1999).

$$q_{lim} = \frac{1}{2}\gamma' B N_{\gamma} s_{\gamma} + c' N_c s_c + q' N_q s_q d_q$$
(4-6)

φ'(°)	0	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42
Nc	5.14	16.88	19.32	22.25	25.80	30.14	35.49	42.16	50.59	61.35	75.31	93.71
Na	1.00	7.82	9.60	11.85	14.72	18.40	23.18	29.44	37.75	48.93	64.20	85.38
Ny	0.00	7.13	9.44	12.54	16.72	22.40	30.22	41.06	56.31	78.03	109.4	155.6

FIGURA 4.22: COEFFICIENTI DI CAPACITÀ PORTANTE (LANCELLOTTA, CALAVERA 1999).

Nel caso del *Sand Site* il contributo della coesione non viene considerato, per qui si considerano solo i contributi della resistenza al taglio e del sovraccarico, dato dall'approfondimento della fondazione.

I coefficienti correttivi considerati nel calcolo sono quelli riferiti alla fondazione non nastriforme  $(s_{\gamma} \in s_q)$  e all'approfondimento  $(d_q)$ :

$$s_{\gamma} = s_q = 1 + 0.1 \left( \frac{1 + \sin\varphi'}{1 - \sin\varphi'} \right) \left( \frac{B}{L} \right)$$
(4-7)

$$d_q = 1 + 2tan\varphi'(1 - sin\varphi')^2\left(\frac{D}{B}\right)$$
(4-8)

Al carico limite così trovato è stato quindi applicato l'approccio 2(Al-Ml-R3) definito da normativa NTC 2018, che impone l'applicazione di un coefficiente parziale di sicurezza pari a $\gamma_R = 2.3$ .

Per la fondazione di 1x lm il risultato del carico limite di progetto entro cui confrontare i risultati dei cedimenti risulta  $Q_{lim,d} = 0.4 MN$ .

Per un approfondimento sui calcoli si veda l'ALLEGATO 18.



FIGURA 4.23: CEDIMENTI A CONFRONTO, FONDAZIONE 1X1M

Con riferimento alla fondazione di 1x1m, il confronto fra le relazioni empiriche e le misure ottenute dalla prova di carico (FIGURA 4.23) mostra come tutti i metodi considerati stimano dei cedimenti uguali o superiori rispetto a quelli misurati per carichi inferiori al carico limite di progetto. Si può quindi affermare che tutte le relazioni in tale range di carico risultano essere a favore di sicurezza. Alcuni metodi forniscono un'eccessiva sovrastima dei cedimenti, come quelli di Terzaghi e Peck (1976), Meyerof (1956), C.F.M

(1975, 1985, 1992) e Mayne and Poulos. I restanti metodi danno una previsione accettabile, a favore di sicurezza. Il metodo che utilizza i risultati del Dilatometro di Marchetti, consente di prevedere efficacemente il cedimento seguendo perfettamente la curva del *load test* in un range che va anche oltre il carico limite di progetto.

## 4.5. Confronto tra i metodi, fondazione 3x3m

È stato condotto il medesimo confronto per la fondazione più grande di 3x3m. Anche in questo caso si è calcolata la capacità portante attraverso la relazione (4-7) e il carico limite di progetto da normativa.

Per la fondazione di 3x3m il risultato del carico limite di progetto risulta  $Q_{lim,d} = 6.5 MN.$ 

Per un approfondimento sui calcoli si veda l'ALLEGATO 19.



FIGURA 4.24: CEDIMENTI A CONFRONTO, FONDAZIONE 3x3M.

In tal caso, come visibile in FIGURA 4.24, alcuni metodi sottostimano il cedimento rispetto a quello ottenuto dalle prove di carico e sono quindi a sfavore di sicurezza. Tali metodi sono quelli di Meyerof (1956), DMT, Anagnostopoulos et al. (1991). I metodi più accurati nel range di carico delimitato dal valore della capacità portante di progetto sono quelli di Terzaghi e Peck (1976) e di Burland e Burbidge (1985). Gli altri metodi forniscono una stima troppo cautelativa che porterebbe ad un eccessivo sovradimensionamento della fondazione in fase progettuale.

È interessante notare come, per la fondazione di lxlm, il terreno mostra un comportamento lineare all'interno del range delimitato dal valore della capacità portante di progetto, mentre per la fondazione 3x3m il range è tale da raggiungere livelli in cui il comportamento del terreno è certamente non lineare.

# Capitolo 5 SIMULAZIONE CURVA DI CARICO CON MODELLO F.E.M.

Un ulteriore confronto con la curva di carico-cedimenti valutata attraverso le prove di carico al Sand Site è stato condotto con i risultati di una simulazione numerica agli elementi finiti tramite il Software PLAXIS 2D. Il Software permette l'utilizzo di un modello costitutivo HSsmall (Hardening Soil Model with Small Strain Stiffness) che utilizza la curva di decadimento del modulo di taglio per considerare le caratteristiche non lineari del suolo. Il modello agli elementi finiti verrà applicato sia alla fondazione di 1x1m che a quella di 3x3m.

Di seguito verranno descritti in dettaglio i modelli geometrici creati, un'introduzione al modello costitutivo, i parametri utilizzati per ogni strato di suolo e i risultati ottenuti.

## 5.1. Descrizione generale del modello

Con riferimento al Sito oggetto di studio è stato costruito un modello geometrico di tipo *axysimmetic* di dimensioni 5x10m per la fondazione da 1x1m, mentre per la fondazione da 3x3m le dimensioni del modello sono state aumentate a 10x10m. Le dimensioni sono state scelte in modo da avere valori nulli del sovraccarico alle estremità del modello.

È stata ricostruita fedelmente la stratigrafia del sito rappresentata in FIGURA 3.3 andando a creare un *borehole* con le profondità degli strati e la falda (FIGURA 5.1).

Al fine di simulare la reale condizione di carico che prevede l'asportazione di uno strato di terreno e un approfondimento della quota di fondazione, è stato applicato un carico pari a 26.4 kPa, corrispondente ad uno strato di terreno asportato di 1.76 m.

Il carico uniforme è stato posto alla quota y = 0 e per un'estensione 0 < x < 0.5 in caso di fondazione 1x lm e 0 < x < 1.5 nel caso di fondazione 3x3m. Sotto il carico è stato posto un elemento "plate" per simulare la presenza di una fondazione rigida con i parametri mostrati in FIGURA 5.3.

In FIGURA 5.2 sono mostrai i modelli geometrici costruiti.



FIGURA 5.1: STRATIGRAFIA MODELLO FEM



FIGURA 5.2: MODELLO GEOMETRICO FEM (SX 1X1, DX 3X3)

Material set			
Identification		foundation	
Comments			
Colour		RGB 0, 0, 255	
Material type		Elastic	
Properties			
Isotropic		<b>~</b>	
EA <sub>1</sub>	kN/m	5.000E	6
EA <sub>2</sub>	kN/m	5.000E	6
EI	kN m²/m	850	00
d	m	0.142	28
w	kN/m/m	0.00	00
v (nu)		0.00	00
Rayleigh a		0.00	00
Rayleigh β		0.00	00
Prevent punching			

FIGURA 5.3: PARAMETRI DEL "PLATE"

# 5.2. Modello costitutivo HSsmall

Il modello costitutivo utilizzato per le simulazioni è l'HSsmall (Hardening Soil Model with Small-Strain Stiffness). Esso utilizza le basi del modello incrudente implementando anche il decadimento non lineare della rigidezza del suolo con l'incremento del livello deformativo, come visto nel paragrafo 1.5.

Ai parametri di input da inserire nel modello incrudente vengono aggiunti quelli che permettono la definizione della curva di decadimento del modulo attraverso il modello di Hardin-Drnevich. Di seguito verranno elencati e descritti i parametri necessari per definire il modello.

I primi tre parametri che il modello richiede sono tre moduli elastici:

- $E_{50}^{ref}$ : modulo di rigidezza secante ottenibile da prove triassiali drenate;
- $E_{oed}^{ref}$ : modulo edometrico tangente nella prima fase di carico;
- $E_{ur}^{ref}$ : rigidezza del tratto di scarico e ricarico ottenibile da prove triassiali drenate;
- v : modulo di Poisson.

Il significato dei predetti moduli è visibile graficamente in figura 5.4.



FIGURA 5.4: MODULI ELASTICI HSSMALL (PLAXIS 2019)

Il manuale del software Plaxis (2019) consiglia di utilizzare  $E_{oed}^{ref} = E_{50}^{ref}$  in assenza di prove edometriche, e di valutare  $E_{ur}^{ref} = 3E_{50}^{ref}$  in assenza di tratti di scarico e ricarico nelle prove triassiali drenate. In questo modo l'unico parametro da valutare è $E_{50}^{ref}$ , che rappresenta il modulo secante in corrispondenza del 50% della tensione deviatorica massima.

È importante notare la presenza dell'apice "*ref*", che indica la pressione di confinamento di riferimento rispetto cui è valutato il parametro di deformazione. Essa è generalmente posta pari a 100 kPa come valore di defeault, ma deve essere modificata nel caso in cui ci si riferisce a valori dei moduli valutati a tensioni di confinamento differenti.

I parametri precedenti sono necessari per la definizione del modello incrudente. Altri due parametri sono necessari per definire la curva di decadimento del modulo:

- $G_0^{ref}$ : modulo di taglio a piccolissime deformazioni;
- $\gamma_{0.7}$ : deformazione di taglio corrispondente a  $G_s = 0.722G_0$

Il modulo di taglio a piccolissime deformazioni, oltre che essere valutato attraverso le prove di colonna risonante, può essere calcolato dalle prove sismiche in situ. La deformazione di taglio  $\gamma_{0.7}$  deve essere in qualche modo valutata da una curva di decadimento del modulo, sperimentale o di letteratura, del terreno. Nel caso studio in esame è stata valutata direttamente dalle prove di colonna risonante.

Questi due ultimi parametri sono utilizzati per la costruzione della curva di decadimento attraverso la relazione di Hardin-Drnevich:

$$G_{t} = \frac{G_{0}}{\left(1 + 0.385 \frac{\gamma}{\gamma_{r}}\right)^{2}}$$
(5-1)

### 5.3. Parametri utilizzati

I valori dei parametri di input inseriti nel modello Plaxis sono riportati in dettaglio nell'ALLEGATO 17. Di seguito verrà descritta la modalità e le relazioni utilizzate per la stima dei già menzionati parametri.

Per i valori del peso per unità di volumesaturo e secco ( $\gamma_{unsat}$ ,  $\gamma_{sat}$ ) si è fatto riferimento alle misure condotte sui campioni esaminati in laboratorio (FIGURA 3.9).

Il modulo di rigidezza  $E_{50}^{ref}$  è stato valutato direttamente dalle prove triassiali dei campioni ricostituiti in laboratorio (FIGURA 3.10). Gli altri moduli  $E_{oed}^{ref}$  e  $E_{ur}^{ref}$  sono stati calcolati sulla base delle considerazioni descritte nel paragrafo 5.2.

Per la valutazione dell'angolo di resistenza al taglio  $\varphi$  si è utilizzato il valore valutato sulla base delle prove triassiali fatte sul provino più in superfice (0.6m) per il primo strato fino alla profondità di 3.5m. Per gli altri due strati si è deciso di utilizzare la correlazione di Koppejan poiché fornisce un angolo  $\varphi$  uguale a quello valutato dalla prova triassiale per il primo strato. La correlazione è funzione della resistenza alla punta (CPT) e della tensione verticale efficace espresse in kg/m<sup>2</sup>:

$$\varphi = 5.8 + 5.21 \ln \left(\frac{q_c}{\sigma'_v}\right) \tag{5-2}$$

L'Autore suggerisce, nel caso di sabbie sovraconsolidate, di aumentare il valore ottenuto di 1 - 2 gradi.

Per quanto riguarda i parametri necessari per costruire la curva di decadimento del modulo di taglio si è scelto di valutare  $G_0^{ref}$  dalle prove cross-hole tramite l'equazione (1-7), mentre la deformazione a taglio di riferimento  $\gamma_{0.7}$  è stata valutata direttamente dalle prove di colonna risonante di laboratorio normalizzare rispetto al modulo  $G_0$ .

Un parametro importante che ha permesso di ottenere risultati compatibili con le misure in sito è il grado di sovraconsolidazione *OCR* e il coefficiente di spinta orizzontale  $K_0(OC)$ . Per valutare il grado di sovraconsolidazione è stata utilizzata la correlazione di Monaco et al. (2014) che combina i risultati del DMT e della CPT valutati alla stessa profondità tra i 2m e i 35m, su materiali aventi  $I_d > 1.8$  (sabbie e/o ghiaie) (Monaco, Marchetti 2017).

$$OCR = 0.0344 \left(\frac{M_{DMT}}{q_c}\right)^2 - 0.4174 \left(\frac{M_{DMT}}{q_c}\right) + 2.2914$$
(5-3)

Come visibile dai risultati in TABELLA 5-1, il sito sabbioso oggetto di studio risulta essere sovraconsolidato, aspetto fondamentale poiché la sovraconsolidazione influisce in maniera significativa sulla compressibilità di un terreno, quindi sui cedimenti.

Per la valutazione del coefficiente di spinta orizzontale  $K_0(OC)$  è stata utilizzata la correlazione di Mayne (2001), dipendente dalla resistenza alla punta, dalla tensione geostatica alla profondità di riferimento e dal grado di consolidazione, quindi è una relazione valida per materiali sovraconsolidati (Sung-Kun, Moon-Joo, Young-Min & Woojin 2011).

$$K_0(OC) = 0.62(q_c)^{0.09} (\sigma'_{\nu 0})^{-0.12} OCR^{0.48}$$
(5-4)

I risultati di  $K_0$  e di OCR sono riportato in TABELLA 5-1.

Profondità strato [m]	K <sub>0(oc)</sub> [-]	OCR
0 - 3.5	1.7	3.64
3.5 - 7	1.2	2.18
7 - 10	1.35	3.10

TABELLA 5-1: GRADO DI SOVRACONSOLIDAZIONE (OCR) E COEFFICIENTE DI SPINTA ORIZZONTALE KOOCR
## 5.4. Risultato Simulazione per la fondazione di 1x1m

Al fine di simulare le prove di carico del *sand site* per la fondazione di 1x1m, è stato applicato un carico massimo di 1800 kN pari a quello del martinello che corrisponde ad un carico uniformemente distribuito massimo di 1800kPa. La simulazione in questione è risultata stabile fino ad un carico applicato di circa 1600kPa.

Per la validazione del modello si fa riferimento all'andamento della tensione verticale  $\sigma_{yy}$  e del cedimento assoluto |u|, visibili rispettivamente in figura 5.5 e in figura 5.6.



FIGURA 5.5: ANDAMENTO DELLE TENSIONI NEL MODELLO , FONDAZIONE1x1

L'incremento tensionale dovuto al sovraccarico, nella fase di massima applicazione del carico, risulta importante entro una profondità di 2*B* dal piano di posa della fondazione mentre è trascurabile per z > 2B. Il modello risulta quindi validato da questo punto di vista.



FIGURA 5.6: ANDAMENTO DEI CEDIMENTO NEL MODELLO, FONDAZIONE 1x1

Nel caso dei cedimenti, la zona di suolo comprimibile si estende entro z = B ed il modello risulta valido anche sotto questo aspetto.

Si è così costruita la curva di carico-cedimenti ottenuta dalla simulazione, e confrontata con quella del load test (FIGURA 5.7).



FIGURA 5.7: CEDIMENTI A CONFRONTO: SIMULAZIONE 1x1M

## 5.5. Risultato Simulazione per la fondazione di 3x3m

Nella prova di carico sulla fondazione di 3x3m è stato applicato un carico massimo di circa 10 MN, corrispondenti ad un carico uniformemente distribuito massimo di 1111 kPa. La simulazione in questione è risultata stabile fino ad un carico applicato di circa 1060 kPa, corrispondenti ad un carico applicato dal martinetto di circa 9.5 MN.

Per la validazione del modello si fa riferimento all'andamento della tensione verticale  $\sigma_{yy}$  e del cedimento assoluto |u|, visibili rispettivamente in FIGURA 5.8 e in FIGURA 5.9.



FIGURA 5.8: ANDAMENTO DELLE TENSIONI NEL MODELLO, FONDAZIONE 3X3M

Anche in questo caso l'incremento tensionale dovuto al sovraccarico, nella fase di massima applicazione del carico, risulta importante entro una profondità di 2*B* dal piano di posa della fondazione mentre è trascurabile per z > 2B. Il modello risulta quindi validato da questo punto di vista.



FIGURA 5.9: ANDAMENTO DEI CEDIMENTI NEL MODELLO, FONDAZIONE 3x3M

Nel caso dei cedimenti, la zona di suolo comprimibile si estende entro z = B ed il modello risulta valido anche sotto questo aspetto.

Si è così costruita la curva di carico-cedimenti dalla simulazione, e confrontata con quella del load test (FIGURA 5.10).



FIGURA 5.10: CEDIMENTI A CONFRONTO: SIMULAZIONE 3x3M

# Capitolo 6 METODO NON LINEARE DI STIMA DEI CEDIMENTI

Le relazioni empiriche ed elastiche viste nel Capitolo 2sono tutte basate, tranne quella proposta da Berardi e Lancellotta (1991), su modelli elastici - lineari, che non considerano pertanto il comportamento non lineare del suolo e il decadimento della rigidezza all'aumentare del livello deformativo. Ciò è infatti visibile dalle curve carico-cedimenti che si ottengono dalla loro applicazione (andamenti perfettamente lineari con il livellodi carico).

In questo capitolo verrà esposto un metodo accurato, elastico non-lineare ed iterativo, per la valutazione dei cedimenti di fondazioni superficiali su sabbie. Questo metodo richiede, per la sua applicazione, la disponibilità di prove di colonna risonante, quindi di prove di laboratorio. Al fine di valutare l'applicabilità del metodo in condizioni in cui le già menzionate prove non siano disponibili, un tentativo di calcolo è stato eseguito mediante l'utilizzo di solo prove in situ. I risultati ottenuti evidenziano che il caso esaminato (la sabbia del Sand Site) rappresenta una condizione particolare che non rientra nell'ambito di applicabilità del metodo. Ciò è stato messo in evidenza sottolineando che il comportamento del terreno del sito in esame risulta di-scostarsi dal tipico comportamento delle curve di decadimento di sabbie presenti in letteratura.

#### 6.1. Definizione del metodo

Il metodo si basa sul lavoro di Kacar (2014) che ha condotto uno studio accurato sull'influenza delle curve di decadimento del modulo G sul modello costitutivo. Il modello proposto dall'Autore è stato in seguito utilizzato all'interno del software agli elementi finiti "Plaxis" per la previsione delle curve di carico – cedimenti.

In questo lavoro si è cercato di implementare il metodo svincolandosi da software F.E.M., rendendo l'applicazione più *"user friendly"* attraverso l'utilizzo di un foglio di calcolo

Geometricamente, si considera una profondità di influenza pari a 2B. Questo strato comprimibile viene quindi suddiviso in piccoli strati i-esimi di terreno di spessore  $\Delta h$ , ognuno supposto uniforme e con le stesse caratteristiche meccaniche. Tutte le quantità richieste per l'applicazione del metodo sono quindi valutate con riferimento alla mezzeria di ogni strato i-esimo. Come detto prima, il metodo è basato soprattutto sulla valutazione del modulo di taglio *G* e su come esso decade all'aumentare del livello deformativo. Come visto nel paragrafo 1.5, la rigidezza del terreno dipende anche dalla tensione di confinamento a cui esso è sottoposto, per questo motivo è necessario valutare lo stato di confinamento corrente per costruire le curve di decadimento. Sia  $G_0$  che *G* sono valutati in relazione alla tensione di confinamento. Quest'ultima corrisponde al valore di pressione con cui sono state condotte le prove di laboratorio (tensione di cella), mentre in situ può essere valutata secondo l'equazione (6-1), in cui l'incremento di tensione generato dal sovraccarico può essere valutato attraverso l'approccio elastico già visto di Holl(1940).

$$\sigma_c' = \sigma_{0,c}' + \Delta \sigma_c' = \left(\frac{\sigma_{\nu 0}' + 2K_0 \sigma_{\nu 0}'}{3}\right) + \left(\frac{\Delta \sigma_\nu' + 2\Delta \sigma_h'}{3}\right)$$
(6-1)

Per valutare il modulo di taglio  $G_0$  a piccolissime deformazioni in funzione della tensione di confinamento corrente si utilizzano le prove sismiche in situ, valutando come varia la velocità delle onde di taglio con la profondità. Si ricerca pertanto una regressione lineare tra le misure di  $V_s$  e i valori della tensione di confinamento adimensionalizzati rispetto alla pressione di riferimento di 1 atm ( $\sigma'_c/Pa$ ) mediante un'interpolazione di potenza dei punti sperimentali in un grafico bi-logaritmico (FIGURA 6.1)



FIGURA 6.1: ESEMPIO: DIPENDENZA DI VS DALLA TENSIONE DI CONFINAMENTO

L'equazione della retta interpolata è del tipo:

$$V_{s} = V_{s,1atm} \left(\frac{\sigma_{c}'}{P_{a}}\right)^{n_{s}}$$
(6-2)

In cui  $V_{s,1atm}$  rappresenta la velocità delle onde di taglio corrispondente ad una tensione di confinamento di l atmosfera. Da questa relazione è possibile ricavare l'andamento del modulo  $G_0 = f\left(\frac{\sigma'_c}{P_a}\right)$  applicando la relazione (1-7):

$$G_0 = \rho \left( V_{s,1atm} \left( \frac{\sigma_c'}{P_a} \right)^{n_s} \right)^2 = G_{0,1atm} \left( \frac{\sigma_c'}{P_a} \right)^{2n_s}$$
(6-3)

Il modulo  $G_0$  dovrà essere valutato alla mezzeria di ogni strato i-esimo e varierà in funzione della profondità e del carico applicato.

Valutato  $G_0$ , lo step sucessivo è quello di costruire la curva di decadimento del modulo, che varierà anch'essa in funzione della profondità e del carico applicato, quindi in base alla tensione di confinamento prima definita. Il modello di riferimento utilizzato è quello di Darendeli (2001), successivamente modificato da Menq (2003):

$$\frac{G}{G_0} = \frac{1}{1 + \left(\frac{\gamma}{\gamma_r}\right)^{\alpha}} \tag{6-4}$$

La modifica introdotta da Menq (2003) riguarda i parametri da cui dipende il modello, cioè  $\gamma_r$  ed  $\alpha$ . Secondo l'Autore questi parametri dovrebbero tener conto dell'effetto della tensione di confinamento, dell'indice dei vuoti e delle caratteristiche granulometriche del materiale. Sempre secondo l'Autore, Considerare  $\gamma_r$  come il livello deformativo corrispondente a  $G/G_0 = 0.5$  non fornisce informazioni fisiche del terreno quindi deve essere modificato (Kacar 2014).

Menq (2003) ha condotto uno studio per analizzare come i parametri del modello variavano in funzione dell'indice di uniformità  $C_u$ ,  $D_{50}$ , l'indice dei vuoti e e la tensione di confinamento  $\sigma'_c$ .



FIGURA 6.2: PARAMETRI DI DIPENDENZA SU γr (MENQ 2003)

Come è evidente dalla FIGURA 6.2, l'indice dei vuoti e il parametro  $D_{50}$  non hanno alcuna influenza su  $\gamma_r$ , mentre una correlazione ben definita è visibile nei confronti del coefficiente di uniformità  $C_u$ .

Analoghi studi sono stati condotti con riferimento al coefficiente di curvatura a:



FIGURA 6.3: PARAMETRI DI DIPENDENZA SU  $\alpha$  (MENQ 2003)

Come visibile nella FIGURA 6.3, il parametro  $\alpha$  non risulta avere nessuna dipendenza dai parametri visti in precedenza.

Considerando invece la dipendenza dallo stato tensionale di confinamento, la FIGURA 6.4 mostra come questo parametro influisce fortemente su entrambi i parametri ( $\alpha \in \gamma_r$ ).



FIGURA 6.4: EFFETTO DELLA TENSIONE DI CONFINAMENTO SU  $\gamma$ r eD  $\alpha$  (Menq 2003)

Alla luce di queste osservazioni, Menq (2003) propose le relazioni empiriche che permettono di valutare i parametri del modello in funzione della tensione di confinamento e del coefficiente di uniformità.

$$\gamma_r[\%] = 0.12 C_u^{-0.6} \left(\frac{\sigma_c'}{P_a}\right)^{0.5 C_u^{-0.15}}$$
(6-5)

$$\alpha = 0.86 + 0.1 \log \left(\frac{\sigma_c'}{P_a}\right) \tag{6-6}$$

Come si vedrà in seguito nel paragrafo 6.2, l'utilizzo della relazione (6-5) per valutare  $\gamma_r$  porta ad una stima troppo eccessiva dei cedimenti nel caso del *Sand Site*, e ciò sarà anche visibile dal confronto fra le curve di decadimenti ottenute dalle prove di colonna risonante e quelle ricostruite sulla base dei valori ottenuti dalla (6-5). Lo stesso Kacar (2014) indica che una taratura in laboratorio del parametro  $\gamma_r$  porta a risultati più accurati e precisi di quello specifico materiale.

Anche con riferimento al parametro  $\alpha$ , Kacar (2014) suggerisce di utilizzare la relazione (6-6) solamente entro valori di  $G/G_0 > 0.4$ , mentre per livelli deformativi più elevati, dove  $G/G_0 < 0.4$  bisognerebbe correggere l'equazione in quanto essa comporta un decadimento del modulo troppo eccessivo in funzione della tensione di confinamento. In questo lavoro si è posta la condizione in cui

$$\alpha = 0.86 + 0.1 \log\left(\frac{\sigma_c'}{P_a}\right) \qquad per\frac{G}{G_0} \ge 0.4 \tag{6-7}$$

$$\alpha = 0.86 \quad per \frac{G}{G_0} < 0.4$$
 (6-8)

In FIGURA 6.5 si può notare l'effetto della relazione (6-8).



FIGURA 6.5: EFFETTO DELLA MODIFICA DI  $\alpha$  SULLA CURVA DI DECADIMENTO

Per una descrizione più semplice e intuitiva su come avviene la taratura di  $\gamma_r$  dalle prove di laboratorio si può far riferimento al paragrafo 6.2, dove si mostra l'iter utilizzato per la taratura del parametro sulla base delle prove di colonna risonante del *Sand Site*.

Una volta costruita la curva di decadimento del modulo attraverso la valutazione di  $\gamma_r$ ,  $\alpha \in G_0$  (tutti funzione della tensione di confinamento ) alla mezzeria di ogni strato iesimo, è possibile applicare il metodo iterativo non lineare. Esso si basa fondamentalmente sulla teoria dell'elasticità. Si valuta il modulo elastico E a partire dal modulo di taglio *G* assumendo un valore per il coefficiente di Poisson.

$$E = 2G(1+\nu) \tag{6-9}$$

Sulla base del legame costitutivo elastico, che nel caso monodimensionale assume la forma:

$$\sigma_{v} = E\varepsilon_{v} \tag{6-10}$$

è possibile valutare la deformazione  $\varepsilon$  sostituendo la (6-9) nella (6-10), e considerando che  $\sigma_v = \Delta \sigma'_v$  nel caso di applicazione di un carico su una fondazione superficiale.

$$\varepsilon_v = \frac{\Delta \sigma'_v}{2G(1+v)} \tag{6-11}$$

Il modulo *G* presente nella (6-11) dipende, sulla base della curva di decadimento, dal livello di deformazione che è però quanto si vuole ottenere nella (6-11). Ciò evidenzia che il metodo di calcolo deve basarsi su un approccio iterativo. Poiché le curve di decadimento del modulo G sono generalmente definite con riferimento alle deformazioni a taglio $\gamma$ , è necessario correlarle con la deformazione assiale  $\varepsilon_{\nu}$ .

Si è utilizzata pertanto la relazione proposta da Kokusho (1980):

$$\gamma = (1+\nu)\varepsilon_{\nu} \tag{6-12}$$

Sostituendo la (6-12) nella relazione (6-4) del modello di Menq (2003), e inserendo quest'ultima nella (6-11) si trova l'equazione iterativa che permette di trovare la deformazione a cui è soggetto lo strato i-esimo:

$$\varepsilon_{\nu,i+1} = \left[\frac{1 + \left(\frac{(1+\nu)\varepsilon_{\nu,i}}{\gamma_r}\right)^{\mu}}{2G_0(1+\nu)}\right] \Delta \sigma'_{\nu} \tag{6-13}$$

Quando  $\varepsilon_{v,i+1} \cong \varepsilon_{v,i}$  si è arrivati a convergenza e  $\varepsilon_{v,i+1} = \varepsilon_v$ .

Come valore iniziale per il calcolo, si può utilizzare la deformazione corrispondente all'utilizzo di  $G_0$ , cioè

$$\varepsilon_{v,i} = \frac{\Delta \sigma'_v}{2G_0(1+v)} \tag{6-14}$$

A questo punto, prima di calcolare il cedimento corrispondente, bisogna effettuare il controllo sul valore di  $G/G_0$  in merito alla modifica del valore di  $\alpha$  (equazione (6-10)). Ciò è possibile utilizzando la (6-12) e calcolando *G* attraverso il modello di Menq.

- Se  $G/G_0 > 0.4$  allora la deformazione trovata precedentemente può essere utilizzata per il calcolo del cedimento.
- se  $G/G_0 < 0.4$  si modifica  $\alpha$  ponendola pari a 0.86 e si effettua nuovamente il calcolo iterativo.

Il valore di deformazione alla fine del processo sarà quella da utilizzare per il calcolo del cedimento dello strato i-esimo, secondo la relazione:

$$S_i = \Delta h \varepsilon_{\nu,i} \tag{6-15}$$

dove  $\Delta h$  è lo spessore dello strato i-esimo.

Il cedimento totale dello strato comprimibile è somma dei cedimenti degli strati iesimi:

$$S = \sum S_i \tag{6-16}$$

## 6.2. Applicazione del metodo al Sand Site

Prima di applicare direttamente il metodo, per una più chiara e sintetica spiegazione, si riassumono gli step necessari per applicare il metodo esposto:

- Si considera una profondità di influenza pari a 2B;
- Si divide lo strato comprimibile in strati i-esimi, ognuno di spessore  $\Delta h$ ;

- Nella mezzeria di ogni strato i-esimo si calcola la tensione di confinamento σ<sup>'</sup><sub>c</sub> secondo la (6-1);
- Si utilizzano le prove sismiche per valutare  $G_0 = f\left(\frac{\sigma'_c}{P_a}\right)$  tramite la (6-3);
- Si calcola  $G_0$  alla mezzeria di ogni strato i-esimo;
- Si tara  $\gamma_r$  dalle prove di laboratorio trovando  $\gamma_r = f\left(\frac{\sigma'_c}{P_a}\right)$
- Si calcola  $\gamma_r$  e  $\alpha$  tramite la (6-7) alla mezzeria di ogni strato i-esimo.
- Si applica la relazione iterativa (6-13) e si trova la  $\varepsilon_v$  alla mezzeria di ogni strato i-esimo.
- Per ogni strato i-esimo si calcola il modulo *G* corrispondente alla  $\varepsilon_v$  trovata precedentemente, utilizzando la (6-12) nella (6-4). Se *G*/*G*<sub>0</sub> < 0.4 si applica la correzione ad  $\alpha$  (6-8) e si effettua nuovamente il calcolo iterativo;
- Si trova il cedimento i-esimo tramite la (6-15) e si sommano tutti i cedimenti iesimi per trovare il cedimento finale dato dalla (6-16).

Il metodo è stato applicato al *Sand Site*, sia per la fondazione di 1x1m che per quella di 3x3m. Nel primo caso si è utilizzato uno spessore comprimibile di 2.1m e un $\Delta h = 0.3m$  per ogni strato i-esimo, mentre per la fondazione 3x3m lo strato comprimibile è di 6m con  $\Delta h = 0.86m$ .

Per il calcolo della tensione di confinamento si è utilizzato  $\gamma' = 15 \ kN/m^3$  e un coefficiente di spinta a riposo pari a  $K_0 = 1.7$  per i primi 3.5m. Un valore di  $K_0 = 1.2$  oltre 3.5m di profondità è stato assunto per la fondazione di 3x3m. Per la fondazione di 1x1m si è applicato un carico massimo di 1800 kN con incrementi di carico di 100 kN, per la fondazione 3x3m gli incrementi di carico sono di 500 kN fino ad un carico massimo di 10000 kN.

Per la valutazione del modulo a piccolissime deformazioni in funzione della tensione di confinamento si sono utilizzate le prove cross-hole disponibili. Per il primo strato omogeneo (da 0 a 3.5m) si sono utilizzate le uniche due misurazioni fatte dalle prove cross-hole,

<i>z</i> [ <i>m</i> ]	$V_{s}\left[m/s\right]$	K <sub>0</sub>	$\sigma_{c}^{\prime} [kPa]$	$\sigma_c'/P_a$
2	202	1.7	44	0.44
4	211	1.2	68	0.68

TABELLA 6-1: APPLICAZIONE DEL METODO: VS – CONFINAMENTO, 1° STRATO



FIGURA 6.6: APPLICAZIONE DEL METODO: VS – CONFINAMENTO, 1° STRATO.

I due parametri necessari per trovare  $G_{0,1atm}$  e scrivere l'andamento di  $G_0$  in funzione della tensione di confinamento (6-3) sono:

- $V_{1atm} = 219.3 m/s;$
- $n_s = 0.1;$
- $G_{0,1atm} = 72 MPa$ .

Per il secondo strato omogeneo (da 3.5 a 7m) si sono utilizzate 3 misurazioni fatte dalle prove cross-hole:

<i>z</i> [ <i>m</i> ]	$V_{s}\left[m/s\right]$	K <sub>0</sub>	$\sigma_{c}^{\prime}\left[kPa ight]$	$\sigma_c'/P_a$
4	211	1.2	95.2	0.952
6	210	1.2	142.8	1.428
8	220	1.35	207.2	2.072

TABELLA 6-2: APPLICAZIONE DEL METODO: VS – CONFINAMENTO, 2° STRATO



FIGURA 6.7: APPLICAZIONE DEL METODO: VS – CONFINAMENTO, 1° STRATO.

Si sono cosi trovati i due parametri necessari per trovare  $G_{0,1atm}$  e scrivere l'andamento di  $G_0$  in funzione della tensione di confinamento (6-3):

- $V_{1atm} = 209.8 \, m/s;$
- $n_s = 0.053;$
- $G_{0,1atm} = 66 MPa$ .

Per il parametro  $\gamma_r$  sono state utilizzate le prove di colonne risonante. La taratura consiste nell'applicare il modello già visto di Menq (2013) considerando il valore di  $\alpha =$ 1 in modo da eliminare in questa fase la dipendenza dal suddetto parametro. Si vanno a trovare i valori di  $\gamma_r$  che, inseriti nel modello di Menq (2013), forniscono una curva di decadimento del modulo il più possibile vicina alle curve di decadimento da laboratorio. Ciò viene fatto per ogni curva a diverse tensioni di confinamento di cui si dispone. Le prove di colonna risonante sono state già rappresentate in FIGURA 3.11 e sono qui sovrapposte alle curve valutate attraverso il modello di Menq (2003) con i valori di  $\gamma_r$  che meglio le rappresentano, ad ogni tensione di confinamento e per entrambe le fondazioni (FIGURA 6.8 e FIGURA 6.9)

	TABELLA 6-3: TARATURA DI Vr	IN LABORATORIO,	FONDAZIONE 1x1M
--	-----------------------------	-----------------	-----------------

$\sigma_c [kPa]$	20	$\sigma_{c}^{\prime} [kP]$	<b>a</b> ] 50		$\sigma_{c}^{\prime} [kPa]$	100
G <sub>0</sub> [MPa]	79000	<b>G</b> <sub>0</sub> [ <b>MP</b>	<b>a</b> ] 102000		G <sub>0</sub> [MPa]	126000
γ <sub>r</sub>	0.0019	$\gamma_r$	0.0018		$\gamma_r$	0.002
α	1	α	1		α	1
$\sigma_{c}^{\prime}\left[kPa ight]$	150	$\sigma_c' [kP]$	<b>a</b> ] 200		$\sigma_{c}^{\prime}\left[kPa ight]$	300
$G_0[MPa]$	138000	<b>G</b> <sub>0</sub> [ <b>MP</b>	<b>a</b> ] 154000		$G_0[MPa]$	173000
γ <sub>r</sub>	0.0024	$\gamma_r$	0.0025		$\gamma_r$	0.0028
α	1	α	1		α	1
2 1 1 1 1 1 2 1 1 9 1	<ul> <li>20 kPa</li> <li>200 kPa</li> <li>fit 100 kPa</li> </ul>	<ul> <li>50 kPa</li> <li>300 kPa</li> <li>fit 150 kPa</li> </ul>	• 100 kf — fit 20 — fit 200	Pa kPa ) kPa	• 150 kPa fit 50 kPa fit 300 kP	a
	0.001	0.01	0.1 γ [%]	1		10

FIGURA 6.8: TARATURA DI  $\gamma_r$  IN LABORATORIO, FONDAZIONE 1x1M

I valori di $\gamma_r$  che consentono una perfetta sovrapposizione delle curve sperimentali con la relazione di Menq (2003) sono messe in relazione con la tensione di confinamento adimensionalizzata rispetto ad una pressione di riferimento di 1 atm ( $\sigma'_c/P_a$ ) al fine di valutare una relazione tra $\gamma_r$  e  $\sigma'_c/P_a$ . I dati sperimentali sono quindi riportati in un grafico semi logaritmico ed interpolati, come mostrato in FIGURA 6.9.



FIGURA 6.9: ANDAMENTO DI  $\gamma_r$  CON LA TENSIONE DI CONFINAMENTO, FONDAZIONE 1x1m

La relazione tra  $\gamma_r$  e la tensione di confinamento consente di costruire nella mezzeria di ogni i-esimo strato una adeguata curva di decadimento del modulo.

Lo stesso procedimento è stato effettuato per la fondazione di 3x3m.

$\sigma_c' [kPa]$	20
$G_0[MPa]$	33
γ <sub>r</sub>	0.0025
α	1

$\sigma_c' [kPa]$	150
$G_0[MPa]$	73
$\gamma_r$	0.0035
α	1

$\sigma_{c}^{\prime} \left[ kPa  ight]$	50
<b>G</b> <sub>0</sub> [ <b>MPa</b> ]	43
$\gamma_r$	0.0031
α	1

$\sigma_{c}^{\prime} \left[ kPa  ight]$	200
<b>G</b> <sub>0</sub> [ <b>MPa</b> ]	98
$\gamma_r$	0.003
α	1

$\sigma_{c}^{\prime}[kPa]$	100
$G_0[MPa]$	64
γ <sub>r</sub>	0.0033
α	1

$\sigma_{c}^{\prime} [kPa]$	300
$G_0[MPa]$	115
γ <sub>r</sub>	0.0035
α	1



FIGURA 6.10: TARATURA DI  $\gamma_r$  IN LABORATORIO, FONDAZIONE 3x3M



FIGURA 6.11: ANDAMENTO DI  $\gamma_r$  CON LA TENSIONE DI CONFINAMENTO, FONDAZIONE 3X3M

Solo dopo questa fase preliminare di taratura dei parametri fondamentali è possibile applicare il metodo iterativo per il calcolo dei cedimenti.

## 6.3. Risultato del metodo iterativo applicato al Sand Site

Nell' ALLEGATO 20 SONO disponibili i fogli di calcolo utilizzati per l'applicazione del metodo alla fondazione di lx1m.



FIGURA 6.12: RISULTATO METODO ITERATIVO, FONDAZIONE 1X1M

Nella FIGURA 6.12 si nota come la curva in blu (rappresentante i cedimenti previsti con il metodo iterativo) segue abbastanza fedelmente i cedimenti reali della fondazione 1x1m anche nel campo non lineare; è quindi evidente la caratteristica non lineare di questo metodo e di come i cedimenti aumentino nettamente all'aumentare del carico e del livello deformativo.

Anche per la fondazione più grande di 3x3m si è ottenuto un ottimo risultato, anzi migliore del precedente.

Nell' ALLEGATO 21 SONO disponibili i fogli di calcolo utilizzati per l'applicazione del metodo alla fondazione di 3x3m.



FIGURA 6.13: RISULTATO METODO ITERATIVO, FONDAZIONE 1x1M

La previsione dei cedimenti per la fondazione 3x3m fornisce un ottimo risultato, in quanto la curva del *load test* viene seguita per l'intero intervallo di carico applicato, differentemente da quanto osservato per la fondazione 1x1m, in cui i cedimenti sono sovrastimati per elevati livelli di carico. Ciò può essere spiegato se si prende in considerazione il valore differente della capacità portante delle due fondazioni. Per il caso della fondazione di 1x1m il calcolo è stato condotto fino a livelli di carico molto maggiori rispetto al valore della capacità portante, mentre per la fondazione 3x3m i valori di calcolo sono condotti per livelli di carico molto vicini al carico limite.

#### 6.4. Prova di calcolo senza taratura in laboratorio

Sulla base del modello modificato di Menq (2003) per la costruzione delle curve di decadimento del modulo a taglio, è possibile correlare il parametro  $\gamma_r$  alla tensione di confinamento e alla granulometria del materiale  $C_u$  secondo la relazione (6-5).

L'idea di svincolare il calcolo dei cedimenti dai risultati di prove di laboratorio ed evitare quindi la taratura di $\gamma_r$  con le prove di colonna risonante è un concetto interessante soprattutto per i terreni a grana grossa, in cui il prelievo di campioni indisturbati è difficile e oneroso, tale per cui si ricorre spesso a campioni ricostituiti in laboratorio. L'utilizzo della relazione (6-5) richiederebbe di effettuare solamente una prova granulometrica per la valutazione del coefficiente di uniformità  $C_u$ , sicuramente più semplice e immediata rispetto ad una prova di colonna risonante su campioni ricostituiti in laboratorio.

Seguendo questo approccio, è stato applicato il metodo iterativo precedentemente descritto senza l'utilizzo delle prove di colonna risonante, applicando pertanto la relazione (6-5). Il parametro  $C_u$  del materiale del *Sand Site* è stato calcolato per ciascuna curva granulometrica disponibile del Sito (Briaud & Gibbens 1997).



FIGURA 6.14: CURVE GRANULOMETRICHE DEL SAND SITE (BRIAUD, GIBBENS 1997)

Il coefficiente di uniformità è definito come il rapporto fra il diametro corrispondente ad una percentuale di passate del 60% e il diametro corrispondente alla percentuale di passante al 10%. Il valore per il caso in esame è risultato pari a:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = 2.4 \tag{6-17}$$

A questo punto è possibile applicare il metodo attraverso quanto descritto nel paragrafo 6.2 modificando il parametro  $\gamma_r$ , calcolato direttamente con la (6-5).



FIGURA 6.15: RISULTATO METODO ITERATIVO SENZA TARATURA IN LABORATORIO, FONDAZIONE 1x1M

Dalla FIGURA 6.15 si evince come la previsione dei cedimenti risulta molto cautelativa e la curva calcolata non segue in nessun punto il valore reale dei cedimenti. Il motivo di questo andamento errato è insito proprio all'interno della scelta del parametro  $\gamma_r$ . Per spiegare meglio il fenomeno, si può effettuare una comparazione fra l'andamento di  $\gamma_r$  tarato in laboratorio e quello valutato con la (6-5) in funzione della tensione di confinamento.



FIGURA 6.16: CONFRONTO FRA TARATURA IN LABORATORIO E RELAZIONE DI MENQ

L'andamento di  $\gamma_r$  secondo la relazione (6-5) porta ad una sottostima del parametro di circa il 50%. Ciò influisce molto sulla curva di decadimento del modulo. Come mostrato in FIGURA 6.17, a parità del parametro  $\alpha$  e di tensione di confinamento, si ottiene un valore di  $\gamma_{r1} = 50\%\gamma_{r2}$  che comporta l'ottenimento di una curva in cui il campo delle grandi deformazioni si raggiunge per livelli deformativi inferiori, quindi rappresentativa di un materiale più comprimibile e meno rigido.



FIGURA 6.17: INCIDENZA DI SULLA CURVA DI DECADIMENTO DEL MODULO G

Ciò consente pertanto di giustificare il motivo per cui i cedimenti calcolati attraverso la relazione empirica di Menq (2003) siano maggiori rispetto alla taratura in laboratorio, che sicuramente descrive meglio le caratteristiche meccaniche del *Sand Site*.

Questo non spiega però il motivo per cui una relazione tarata su uno studio condotto su diverse tipologie di sabbia non fornisce valori attendibili per il caso in esame. Col fine di risolvere questa considerazione, è interessante valutare dove si colloca la curva di decadimento valutata tramite il modello di Menq (2003) e quella di colonna risonante del *Sand Site* rispetto le curve di decadimento di letteratura condotte su sabbie.

Per far ciò sono state raccolte le seguenti prove di colonna risonante effettuate su diverse sabbie:

- Sabbia di Perth, prove del Politecnico di Torino;
- Sabbia di Toyoura, studio di Kokusho (1980);
- Sabbia di Ottawa, studio di Patiño, Martínez, Gonzalez, Soriano (2017).

Sono state anche rappresentare le curve di letteratura per le sabbie di Seed & Idriss (1970). Per una corretta comparazione, tutte le curve si riferiscono a tensioni di confinamento di 100 kPa.



FIGURA 6.18: CONFRONTO CON CURVE DI SABBIE NOTE

Dalla FIGURA 6.18 si nota come la curve di decadimento del *Sand site* valutata dalla prova di colonna risonante si colloca verso alti livelli deformativi rispetto tutte le altre. Ciò indica che la sabbia del *Sand site* ha un comportamento anomalo rispetto ai tipici comportamenti delle sabbie in quanto risulta avere un campo di linearità maggiore che si traduce in una minore compressibilità e minori cedimenti.

È interessante anche notare come la curva valutata con Menq (2003) rientra nella zona tipica delle curve per le sabbie e si discosta pertanto dalla curva del *Sand site*. Ciò è un ulteriore spiegazione del motivo per cui la sua applicazione comporta valutazioni dei cedimenti elevati rispetto quelli delle prove di carico.

La relazione di Menq può comunque essere utilizzata e darà dei risultati presumibilmente corretti nel caso si applicasse a sabbie "non anomale", ma in questo specifico caso non è adatta per descrivere il comportamento del materiale del *Sand site*.

Un'ulteriore considerazione può essere fatta sull'uso delle curve di decadimento presenti in letteratura. Questo è un tipico esempio in cui il materiale non rientra nel comportamento descritto dalle curve di decadimento di letteratura, per cui bisogna utilizzare quest'ultime con criterio e moderazione, poiché si può rientrare nei casi in cui il comportamento sia molto differente rispetto agli "standard" per le sabbie e si rischia di incorrere in errori difficilmente prevedibili.

## Capitolo 7 MODULO OPERATIVO PER IL CALCOLO DEI CEDIMENTI

Nel Capitolo 2 sono state presentate diverse relazioni di letteratura per la previsione dei cedimenti di fondazioni superficiali su sabbie. Esse sono basate sulla teoria dell'elasticità in cui il modulo deformativo è valutato sulla base dei risultati di prove in situ. In questo capitolo si propone un approccio ingegneristico per il calcolo dei cedimenti utilizzando direttamente la teoria dell'elasticità e considerando come modulo elastico operativo una frazione del modulo di taglio G a piccolissime deformazioni. Il confronto dei risultati ottenuti con riferimento a diversi valori operativi del modulo consente di valutare quali di essi risulta maggiormente rappresentativo per il caso studio. A tal fine si è utilizzato sia il metodo analitico elastico che una simulazione puramente elastica su Plaxis (FEM).

#### 7.1. Metodo analitico elastico

La teoria dell'elasticità permette di valutare il cedimento elastico causato da un carico distribuito uniformemente su di una fondazione rigida di dimensioni note poggiante su di uno strato di terreno di spessore finito *h* attraverso l'approccio di Sovinc (1969) (Poulos, Davis 1991).

$$s = \frac{\beta qL}{E} \tag{7-1}$$

In cui $\beta$  è un coefficiente d'influenza dipendente dallo spessore dello strato comprimibile e dalla dimensione della fondazione.



FIGURA 7.1: VALUTAZIONE DEL COEFFICIENTE  $\beta$  (POULOS, DAVIS 1991).

Lo strato comprimibile in questione è stato posto pari ad h = 2B.

Per correlare il modulo operativo  $G_0$  con il modulo elastico E è stata utilizzata la relazione (6-9), valida per un materiale isotropo.

Per quanto riguarda il valore del modulo operativo *G*, sono state considerate le seguenti percentuali del modulo di taglio a piccolissime deformazioni: 25%, 50%, 75% e 100%. Gli intervalli di carico applicati sono uguali a quelli utilizzati per il calcolo dei cedimenti con i vari metodi empirici visti nel Capitolo 4, sia per la fondazione di 1x1m che per quella di 3x3m.

Si ricorda che il modulo di rigidezza al taglio per il *Sand Site*, valutato direttamente dalle prove sismiche cross-hole, risulta pari a 79 MPa.



Per un approfondimento sui calcoli si veda l'ALLEGATO 22.

FIGURA 7.2: CEDIMENTI ELASTICI CON MODULO OPERATIVO, FONDAZIONE 1x1m.

La FIGURA 7.2 mostra il risultato del calcolo della curva di carico-cedimenti per la fondazione di 1x1m attraverso l'approccio elastico e l'uso di diversi valori del modulo operativo. Il risultato può essere confrontato unicamente all'interno del comportamento elastico del suolo, poiché per elevati livelli deformativi il comportamento reale si allontana dalla condizione elastica. Per meglio osservare e commentare il confronto si è deciso di ingrandire il grafico precedente entro il livello di carico corrispondente con la capacità portante di progetto.



FIGURA 7.3: CONFRONTO CEDIMENTI ELASTICI CON MODULO OPERATIVO, FONDAZIONE 1x1m.

Come è logico aspettarsi, l'utilizzo di un modulo operativo maggiore porta a cedimenti inferiori per uno stesso livello di carico. In particolare, con riferimento al carico limite di progetto, l'utilizzo di un modulo operativo maggiore di  $0.25G_0$  porta ad una sottostima del cedimento, quindi a sfavore di sicurezza. Si consiglia quindi di utilizzare un modulo operativo pari a  $0.25G_0$  per il calcolo elastico del cedimento all'interno del carico limite di progetto, che segue abbastanza fedelmente la curva di carico del load-test.



FIGURA 7.4: CEDIMENTI ELASTICI CON MODULO OPERATIVO, FONDAZIONE 3X3M.

La FIGURA 7.4 mostra il risultato del calcolo della curva di carico-cedimenti per la fondazione di 3x3m. In questo caso la capacità portante di progetto è tale per cui il range di carico considerato comprende il campo di comportamento non lineare del materiale. Per questo motivo, l'approccio elastico per il calcolo del cedimento non risulta essere particolarmente adatto per una corretta previsione. In ogni caso, per livelli di carico inferiori del carico limite di progetto, la migliore soluzione è ancora una volta quella ottenuta assumendo un modulo operativo pari al 25% di  $G_0$ , che risulta dare una previsione prudenziale all'interno del comportamento elastico del terreno.

#### 7.2. Simulazione FEM elastica

Come ulteriore verifica e confronto sull'utilizzo di un modulo operativo all'interno del calcolo elastico dei cedimenti, è stata effettuata una simulazione puramente elastica agli elementi finiti attraverso il software Plaxis. Il modello geometrico utilizzato è uguale a quello usato nel Capitolo 5; l'unica differenza sta nel modello costitutivo adottato per caratterizzare il comportamento del materiale. È stato scelto il modello elastico in cui l'unico parametro necessario è il modulo elastico di Young *E* o in alternativa il valore del modulo di taglio  $G_0$  insieme al coefficiente di Poisson *v*.

Sono state effettuate otto simulazioni, quattro per ogni fondazione, in cui è stata variata di volta in volta la frazione del modulo operativo pari al 25%, 50%, 75% e 100% di  $G_0$ .



FIGURA 7.5: SIMULAZIONE ELASTICA CON MODULO OPERATIVO, FONDAZIONE 1x1m.



FIGURA 7.6: CONFRONTO SIMULAZIONE ELASTICA CON MODULO OPERATIVO, FONDAZIONE 1x1m.

Anche in questo caso, come nel calcolo elastico analitico, l'utilizzo di frazioni del modulo maggiori di  $0.25G_0$  porta ad una sottostima del cedimento, quindi a sfavore di sicurezza. Si consiglia di utilizzare un modulo operativo pari a  $0.25G_0$  per il calcolo elastico del cedimento all'interno del carico limite di progetto, che segue abbastanza fedelmente la curva di carico del load-test. Il risultato della simulazione è molto simile a quello analitico visto nel paragrafo precedente, per cui il metodo risulta essere ulteriormente validato.



FIGURA 7.7: SIMULAZIONE ELASTICA CON MODULO OPERATIVO, FONDAZIONE 3x3M.

La FIGURA 7.7 mostra il risultato della simulazione elastica per la fondazione di 3x3m. La capacità portante di progetto è tale per cui il range di carico considerato comprende il campo del comportamento non lineare del materiale per cui l'approccio elastico per il calcolo del cedimento non risulta essere particolarmente adatto per una corretta previsione. In ogni caso, per livelli di carico inferiori del carico limite di progetto la migliore soluzione è quella di utilizzare un modulo operativo pari al 25% di  $G_0$ , che risulta dare una previsione di poco prudenziale all'interno del comportamento elastico del terreno. Anche qui il risultato è simile a quello analitico elastico per cui si ha una validazione del modello.

## **CONCLUSIONI**

La previsione dei cedimenti di fondazioni superficiali su terreni sabbiosi, come si è visto in questo lavoro, risulta essere stata condotta mediante diverse relazioni empiriche elastiche lineari e non-lineari, che necessitano la valutazione di moduli deformativi ottenibili mediante l'interpretazione di differenti prove in situ. I diversi approcci sono stati confrontati nel Capitolo 4 e le principali conclusioni sono qui in sintesi discusse.

Con riferimento alla FIGURA 4.23 che mostra il confronto fra i risultati dei vari metodi presenti in letteratura e le prove di carico eseguite per la fondazione di 1x1m, è possibile concludere che:

- Tutti i metodi utilizzati risultano essere prudenziali e a favore di sicurezza all'interno del carico limite di progetto che ricade all'interno di un comportamento elastico del terreno. Si può quindi considerare che tutti i metodi elastici esposti nel Capitolo 4 (ad eccezione del metodo di Berardi e Lancellotta 1991) devono essere applicati entro il limite del comportamento elastico del materiale, in quanto per elevati livelli deformativi, forniscono una sottostima pericolosa del cedimento.
- Il metodo non lineare di Berardi e Lancellotta (1991), che tiene in conto della non-linearità di comportamento del terreno mediante un'opportuna valutazione della dipendenza del modulo di deformazione dal livello di sforzo, dallo stato iniziale del terreno e dal livello deformativo, fornisce risultati prudenziali che possono essere estesi anche nella zona di non linearità per elevati livelli di carico.
- Il calcolo dei cedimenti attraverso la teoria dell'elasticità mediante l'uso del modulo dilatometrico  $M_{DMT}$  fornisce una curva di carico-cedimenti che segue perfettamente la curva del load-test entro il carico limite di progetto della fondazione 1x 1 m. L'utilizzo del DMT per il calcolo dei cedimenti all'interno della soglia elastica è interessante e fornisce quindi risultati ottimali.

Con riferimento alla FIGURA 4.24 che mostra il confronto fra i risultati dei vari metodi presenti in letteratura e le prove di carico eseguite per la fondazione 3x3m, è possibile concludere che:

- Tutti i metodi utilizzati risultano essere prudenziali sempre all'interno della soglia di linearità. In questo caso il carico limite di progetto ricade all'esterno del comportamento elastico del terreno per cui non tutti i metodi forniscono risultati prudenziali all'interno del suddetto carico. La previsione ottimale dei cedimenti è fornita dai metodi di Burland & Burbidge (1985) e Terzaghi e Peck (1976). Non è però possibile considerare questi metodi come ottimali per fondazioni rettangolari con dimensioni maggiori di 3 m poiché il carico limite di progetto può avere una variazione non indifferente fra diverse tipologie di terreno, in cui i precedenti metodi potrebbero non essere prudenziali.
- In definitiva è consigliabile utilizzare i metodi empirici solo se ci si pone all'interno di un comportamento elastico del materiale (o quando il carico limite di progetto ricade all'interno della soglia di linearità), ad esclusione del metodo di Berardi e Lancellotta (1991) che risulta essere prudenziale in ogni caso anche per alti livelli deformativi.

Per quanto riguarda i metodi numerici e le simulazioni agli elementi finiti effettuate in questo lavoro, è possibile concludere che:

• La previsione ottimale si ottiene andando ad utilizzare modelli costitutivi complessi che considerano il comportamento non lineare, come il modello HSsmall descritto nel Capitolo 5. Questo procedimento richiede però una caratterizzazione di elevata qualità del terreno, con prove triassiali e di colonna risonante, oltre che la necessità di un software agli elementi finiti, per cui il risultato non è di immediata e facile valutazione come l'applicazione di un metodo empirico.

Se non si dispone di un software agli elementi finiti si può invece utilizzare il metodo iterativo non-lineare descritto nel dettaglio nel Capitolo 6. Il risultato fornito da questo metodo è simile alle simulazioni FEM effettuate poiché considera il comportamento

non lineare del materiale e fornisce previsioni ottimali anche per elevati livelli deformativi e tensionali. Per la sua applicazione si richiede una caratterizzazione del terreno in laboratorio tramite prove di colonna risonante e prove sismiche in situ per la valutazione del profilo della velocità delle onde di taglio.

Un tentativo di analisi basato sull'applicazione del metodo non lineare descritto nel Capitolo 6 supponendo l'indisponibilità di prove di laboratorio è stato condotto per il caso in esame. Il motivo per cui quanto ottenuto è risultato non soddisfacente è stato ricercato nel comportamento della sabbia del *Sand Site*. Si è infatti osservato che le curve di decadimento ottenute per il caso in esame sono differenti rispetto quelle di letteratura per alcune sabbie.

Ciò significa che bisogna essere prudenti nell'utilizzo delle curve di letteratura poiché ci possono essere casi il cui comportamento esula da quello predetto in altri studi.

Infine, è stato proposto un calcolo dei cedimenti basato su una relazione elastica con una opportuna scelta di un modulo operativo definito come una quota percentuale del modulo di taglio a piccolissime deformazioni. I risultati, ottenuti nel Capitolo 7, mostrano come l'utilizzo di un modulo operativo pari al 25% di  $G_0$  consenta di ottenere risultati ottimali nella previsione dei cedimenti che, come per i metodi empirici prima visti, devono comunque essere limitati sempre all'interno della sogli di linearità del materiale. In questo caso la previsione risulta essere immediata e necessita solamente di prove sismiche in situ, quindi di particolare interesse ingegneristico.

#### **BIBLIOGRAFIA**

- AMOROSO S. (2011) *G*-*<sub>Y</sub> Decay Curves by Seismic Dilatometer* (*SDMT*), Tesi di dottorato, Dipartimento di Ingegneria delle Strutture, delle Acque e del Territotio, Università degli Studi dell'Aquila.
- AMOROSO S., MONACO P., LEHANE B.M., MARCHETTI D. (2014) Examination of the Potential of the Seismic Dilatometer (SDMT) to Estimate In Situ Stiffness Decay Curves in Various Soil Types, Soils and Rocks, Sao Paulo, 37(3), September-December, 177.194.
- BERARDI R. DISPENSE -Aspetti Connessi al Modello Elastico per il Calcolo dei Cedimenti, dipartimento di Ingegneria delle Costruzioni, dell'Ambiente e del Territorio, Università di Genova.
- BRIAUD J. L., GIBBENS R. (1997) -Large-Scale Load Tests and Data Base of Spread Footings on Sand, Keynote lecture, Texas, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration.
- BUDHU M. (2010) -Soil Mechanics and Foundation, USA, John Wiley & Sons, 3, 780 pp.
- FACCIORUSSOJ., MADIAIC., VANNUCCHIG. (2011)-*Dispense di Geotecnica*, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Università degli Studi di Firenze.
- FANG H.Y.(1991)-Foundation Engineering Handbook, New York, Chapman & Hall, 2,923pp.
- FRANCO F. (2017) Cedimenti di Fondazioni Superficiali su Sabbie: Confronto tra Metodi di Previsione, Tesi di laurea, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica, Politecnico di Torino.
- KACAR O. (2014) -Building a Framework for Predicting the Settlements of Shallow Foundations on Granular Soils using Dynamically Measured Soil Properties, Dissertation, The University of Texas at Austin.
- KOKUSHOT. (1980) Cyclic Triaxial Test of Dynamic Soil Properties for Wide Strain Range, Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol 20, No. 2, June, 45-60.
- KOKUSHO T. (2017) *Innovative Earthquake Soil Dynamics*, London, UK, Taylor & Francis, 478pp.
- LAMBET. W., WHITMAN R. V.(1969)-Soil Mechanics, New York, John Wiley & Sons, 553 pp.
- LANCELLOTTA R. (2008)-Geotechnical Engineering, UK, Taylor & Francis, 2, 520 pp.

LANCELLOTTA R. (2014)-Geotecnica, Milano, Zanichelli, 4, 530 pp.

- LANCELLOTTA R., CALAVERA J. (1999)-Fondazioni, Milano, McGraw-Hill, 1, 611 pp.
- LUTENEGGER A. J., DEGROOT D. J. (1995) Settlement of Shallow Foundations on Granural Soil, Final Report, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Massachusetts.
- MADIAIC.-Dinamica dei Terreni: Comportamento Dei Terreni a Bassi e Medi Livelli Deformativi, Dispense, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Università degli Studi di Firenze.
- MARCHETTI ET AL. (2001)-*The Flat Dilatometer Test (DMT) in Soil Investigations*, A report by the ISSMGE Committee TC16, 41pp, Washington D.C.
- MARCHETTIS.(1997)-*The Flat Dilatometer; Designt Applications*, Keynote lecture, Third Geotechnical Engineering Conference, Cairo University, 26pp.

MAYNE P.W., POULOS H.G. (1999)-*Approximate Displacement Influence Factors for Elastic Shallow Foundations*, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, June, Volume 125, Issue 6, 453-460.

- MENQ F. Y., B. S., M. S. (2003) -Dynamic Properties of Sandy and Gravelly Soils, Dissertation, The University of Texas at Austin.
- MONACO P., MARCHETTI D. (2017)-Evaluation of OCR in sand from DMT & CPT, 6th International Workshop in Poznan.

- MONACO P., TOTANI G., CALABRESE M. (2007)-DMT Predicted Vs Observed Settlements: A Review of the Available Experience, University of l'Aquila, Studia Geotechnica et Mechanica, vol XXIX, No. 1-2, 103-120.
- PALLARA O. (1995)-Comportamento Sforzi -Deformazioni di due Sabbie Soggette a Sollecitazioni Monotone e Cicliche, Tesi di Dottorato, Ingegneria Geotecnica VII Ciclo, Politecnico di Torino.
- PATIÑO H., MARTÍNEZ E., GONZALEZ J., SORIANO A. (2017) Shear Modulus of a Saturated Granular Soil from Resonant Column Tests, Acta Geotechnica Slovenica, February 2017, 33-45.
- PLAXIS(2019)-PLAXIS Material Models Manual.
- POULOS H.G., DAVIS E. H.(1991)-Elastic Solution for Soil and Rock Mechanics, Jhon Wiley & Sons, Centre for Geotechnical Research, University of Sydney, 412 pp.
- RICCERIG., SIMONINI P., COLAS. (2002)-Applicability of Piezocone and Dilatometer to Characterize the Soil of the Venice Lagoon, Netherlands, Geotechnical and Geological Engineering, 20, 89-121.
- SELIG E., LADD R., EDS. (1973) -Evaluation of Relative Density and its Role in Geotechnical Projects Involving Cohesionless Soil, West Conshohocken, ASTM International.
- SIMON N., MENZIES B. (2000) A Short Course in Foundation Engineering, London, Thomas Telford, 2, 244pp.
- SIMONINI G. (2010)-*Dinamica dei terreni*, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Università degli Studi di Firenze.
- SUNG-KUN CHOI, MOON-JOO LEE, YOUNG-MIN CHOI & WOOJIN LEE(2011)-Evaluation of K<sub>0</sub> of Granural Soil using DMT indices, Marine Georesources & Geotechnology, 29:2, 117-130.
- TANAKA H., TANAKA M.(1998)-Characterization of Sandy Soil Using CPT and DMT, Japanese Geotechnical Society, Soils And Foundations, vol. 38, No. 3, September, 55-6

# **INDICE DELLE FIGURE**

FIGURA 1.1: SISTEMA TRI-FASICO (LANCELLOTTA, CALAVERA 1999)	1
FIGURA 1.2: ORGANIZZAZIONE DELLE SFERE UNIFORMI (LAMBE, WITHMAN 1969)	2
FIGURA 1.3: CURVA GRANULOMETRICA E DESCRIZIONE DEI SUOLI (BUDHU 2010)	5
FIGURA 1.4: CONDIZIONI INIZIALI GEOSTATICHE (SIMONS, MENZIES 2000)	7
FIGURA 1.5: CEDIMENTI NEL TEMPO, CONDIZIONI DRENATE E NON DRENATE (BERARDI)	9
FIGURA 1.6: CONFIGURAZIONE DI CARICO TRIASSIALE (LANCELLOTTA 2008)	10
FIGURA 1.7: PROVA TRIASSIALE: INFLUENZA DELLA TENSIONE DI CONFINAMENTO (LANCELLOTTA 2008)	11
FIGURA 1.8: PROVA TRIASSIALE: INFLUENZA DELL'INDICE DEI VUOTI (LAMBE, WITHMAN 1969)	12
FIGURA 1.9: APPARECCHIATURA DI TAGLIO DIRETTO (LANCELLOTTA 2008).	13
FIGURA 1.10: PROVA DI TAGLIO DIRETTO: (A) DIPENDENZA DA N; (B) DIPENDENZA DALLA DENSITÀ RELATIVA (BUDH	iu <b>2010)</b>
	13
FIGURA 1.11: CURVA DI DECADIMENTO DEL MODULO G NORMALIZZATA (KACAR 2014)	14
FIGURA 1.12: FASE OPERATIVA DELLA PROVA S.P.T (FACCIORUSSO, MADIAI, VANNUCCHI 2011)	16
FIGURA 1.13: ESEMPIO DI PROVA C.P.T.U. (LANCELLOTTA 2008)	17
FIGURA 1.14: STRUMENTAZIONE DEL DMT (AMOROSO 2011)	18
FIGURA 1.15: ESEMPIO DI PROVA DMT (FACCIORUSSO, MADIAI, VANNUCCHI 2011)	19
FIGURA 1.16: (A) CONFIGURAZIONE CROSS-HOLE; (B) CONFIGURAZIONE DOWN-HOLE (LANCELLOTTA 2008)	20
FIGURA 2.1: VALUTAZIONE DI FC (LUTENEGGER, DEGROOT 1995)	23
FIGURA 2.2: VALUTAZIONE DELLA PROFONDITÀ D'INFLUENZA ZI (LANCELLOTTA, CALAVERA 1999)	24
FIGURA 2.3: COEFFICIENTE D'INFLUENZA (LANCELLOTTA, CALAVERA 1999)	27
FIGURA 2.4: VALUTAZIONE DEL MODULO KE (LANCELLOTTA, CALAVERA 1999)	27
FIGURA 2.5: VARIAZIONE DI K <sub>E</sub> IN FUNZIONE DEL CEDIMENTO RELATIVO (LANCELLOTTA 2008)	28
FIGURA 2.6: FATTORE DEFORMATIVO D'INFLUENZA IZ (FANG 1991)	29
FIGURA 2.7: VALUTAZIONE DEL FATTORE IG (MAYNE, POULOS 1999)	31
FIGURA 2.8: VALUTAZIONE DEL FATTORE I <sub>E</sub> (MAYNE, POULOS 1999)	31
FIGURA 3.1: DIMENSIONI DELLE FONDAZIONI (BRIAUD, GIBBENS 1997)	34
FIGURA 3.2: DISPOSIZIONE DELLE FONDAZIONI (BRIAUD, GIBBENS 1997)	35
FIGURA 3.3: STRATIGRAFIA DEL SITO (BRIAUD, GIBBENS 1997)	36
FIGURA 3.4: LOCALIZZAZIONE DELLE PROVE IN SITU (BRIAUD, GIBBENS 1997)	36
FIGURA 3.5: INTERPRETAZIONE DELLE PROVE SPT	37
FIGURA 3.6: INTERPRETAZIONE DELLE PROVE CPT	38
FIGURA 3.7: INTERPRETAZIONE DELLE PROVE DMT	38
FIGURA 3.8: RISULTATI PROVE CROSS-HOLE	39
FIGURA 3.9: PROPRIETÀ DELLA SABBIA (BRIAUD, GIBBENS 1997)	40

FIGURA 3.10: PROVE TRIASSIALI	41
FIGURA 3.11: PROVE DI COLONNA RISONANTE	41
FIGURA 3.12: CURVE DI CARICO - CEDIMENTI	42
FIGURA 4.1: CEDIMENTI A CONFRONTO (1x1m): TERZAGHI E PECK (1976)	43
FIGURA 4.2: CEDIMENTI A CONFRONTO (3x3m): TERZAGHI E PECK (1976)	44
FIGURA 4.3: CEDIMENTI A CONFRONTO (1x1m): SCHULTZE AND SHERIF (1973)	44
FIGURA 4.4: CEDIMENTI A CONFRONTO (3x3m): SCHULTZE AND SHERIF (1973)	45
FIGURA 4.5: CEDIMENTI A CONFRONTO (1x1m): BURLAND E BURBIDGE (1985)	45
FIGURA 4.6: CEDIMENTI A CONFRONTO (3x3m): BURLAND E BURBIDGE (1985)	46
FIGURA 4.7: CEDIMENTI A CONFRONTO (1x1m): MEYERHOF (1956)	46
FIGURA 4.8: CEDIMENTI A CONFRONTO (3x3m): MEYERHOF (1956)	47
FIGURA 4.9: CEDIMENTI A CONFRONTO (1x1m): ANAGNOSTOPOULOS ET AL. (1991)	47
FIGURA 4.10: CEDIMENTI A CONFRONTO (3x3m): ANAGNOSTOPOULOS ET AL. (1991)	48
FIGURA 4.11: APPROCCIO ELASTICO DI HOLL (1940) (POULOS, DAVIS 1991)	49
FIGURA 4.12: CEDIMENTI A CONFRONTO (1x1m): BERARDI E LANCELLOTTA (1991)	50
FIGURA 4.13: CEDIMENTI A CONFRONTO (3x3m): BERARDI E LANCELLOTTA (1991)	50
FIGURA 4.14: CEDIMENTI A CONFRONTO (1x1m): SCHMERTMANN (1978)	51
FIGURA 4.15: CEDIMENTI A CONFRONTO (3x3m): SCHMERTMANN (1978)	51
FIGURA 4.16: METODI A CONFRONTO (1x1m): MAYNE AND POULOS (1999)	52
FIGURA 4.17: METODI A CONFRONTO (3x3m): MAYNE AND POULOS (1999)	52
FIGURA 4.18: CEDIMENTI A CONFRONTO (1x1M): CANADIAN FOUNDATION MANUAL (1975, 1985, 1992)	53
FIGURA 4.19: CEDIMENTI A CONFRONTO (3x3m): CANADIAN FOUNDATION MANUAL (1975, 1985, 1992)	53
FIGURA 4.20: CEDIMENTI A CONFRONTO (1x1m): METODO DMT	54
FIGURA 4.21: CEDIMENTI A CONFRONTO (3x3M): METODO DMT	54
FIGURA 4.22: COEFFICIENTI DI CAPACITÀ PORTANTE (LANCELLOTTA, CALAVERA 1999).	55
FIGURA 4.23: CEDIMENTI A CONFRONTO, FONDAZIONE 1x1M	56
FIGURA 4.24: CEDIMENTI A CONFRONTO, FONDAZIONE 3x3M.	57
FIGURA 5.1: STRATIGRAFIA MODELLO FEM	60
FIGURA 5.2: MODELLO GEOMETRICO FEM (SX 1x1, DX 3x3)	60
FIGURA 5.3: PARAMETRI DEL "PLATE"	61
FIGURA 5.4: MODULI ELASTICI HSSMALL (PLAXIS 2019)	62
FIGURA 5.5: ANDAMENTO DELLE TENSIONI NEL MODELLO , FONDAZIONE1X1	65
FIGURA 5.6: ANDAMENTO DEI CEDIMENTO NEL MODELLO, FONDAZIONE 1X1	66
FIGURA 5.7: CEDIMENTI A CONFRONTO: SIMULAZIONE 1x1m	66
FIGURA 5.8: ANDAMENTO DELLE TENSIONI NEL MODELLO, FONDAZIONE 3X3M	67
FIGURA 5.9: ANDAMENTO DEI CEDIMENTI NEL MODELLO, FONDAZIONE 3X3M	68
FIGURA 5.10: CEDIMENTI A CONFRONTO: SIMULAZIONE 3x3M	68

FIGURA 6.1: ESEMPIO: DIPENDENZA DI VS DALLA TENSIONE DI CONFINAMENTO	70
FIGURA 6.2: PARAMETRI DI DIPENDENZA SU FR (MENQ 2003)	72
FIGURA 6.3: PARAMETRI DI DIPENDENZA SU A (MENQ 2003)	72
FIGURA 6.4: EFFETTO DELLA TENSIONE DI CONFINAMENTO SU IR ED A (MENQ 2003)	73
FIGURA 6.5: EFFETTO DELLA MODIFICA DI $lpha$ SULLA CURVA DI DECADIMENTO	74
FIGURA 6.6: APPLICAZIONE DEL METODO: VS – CONFINAMENTO, 1° STRATO.	78
FIGURA 6.7: APPLICAZIONE DEL METODO: VS – CONFINAMENTO, 1° STRATO.	79
FIGURA 6.8: TARATURA DI Γ <sub>R</sub> IN LABORATORIO, FONDAZIONE 1x1m	80
FIGURA 6.9: ANDAMENTO DI FR CON LA TENSIONE DI CONFINAMENTO, FONDAZIONE $1x1m$	81
FIGURA 6.10: TARATURA DI $\Gamma_R$ in Laboratorio, fondazione $3x3m$	82
FIGURA 6.11: ANDAMENTO DI LE CON LA TENSIONE DI CONFINAMENTO, FONDAZIONE $3x3m$	82
FIGURA 6.12: RISULTATO METODO ITERATIVO, FONDAZIONE 1x1M	83
FIGURA 6.13: RISULTATO METODO ITERATIVO, FONDAZIONE 1x1M	84
FIGURA 6.14: CURVE GRANULOMETRICHE DEL SAND SITE (BRIAUD, GIBBENS 1997)	85
FIGURA 6.15: RISULTATO METODO ITERATIVO SENZA TARATURA IN LABORATORIO, FONDAZIONE 1x1M	86
FIGURA 6.16: CONFRONTO FRA TARATURA IN LABORATORIO E RELAZIONE DI MENQ	87
FIGURA 6.17: INCIDENZA DI SULLA CURVA DI DECADIMENTO DEL MODULO G	87
FIGURA 6.18: CONFRONTO CON CURVE DI SABBIE NOTE	88
FIGURA 7.1: VALUTAZIONE DEL COEFFICIENTE B (POULOS, DAVIS 1991).	90
FIGURA 7.2: CEDIMENTI ELASTICI CON MODULO OPERATIVO, FONDAZIONE 1x1M	91
FIGURA 7.3: CONFRONTO CEDIMENTI ELASTICI CON MODULO OPERATIVO, FONDAZIONE 1x1M	92
FIGURA 7.4: CEDIMENTI ELASTICI CON MODULO OPERATIVO, FONDAZIONE 3x3M	93
FIGURA 7.5: SIMULAZIONE ELASTICA CON MODULO OPERATIVO, FONDAZIONE 1x1m.	94
FIGURA 7.6: CONFRONTO SIMULAZIONE ELASTICA CON MODULO OPERATIVO, FONDAZIONE 1x1m.	95
FIGURA 7.7: SIMULAZIONE ELASTICA CON MODULO OPERATIVO, FONDAZIONE 3x3m.	96

# **INDICE DELLE TABELLE**

TABELLA 1-1: ADDENSAMENTO IN FUNZIONE DI DR.	3
TABELLA 3-1: PROFILO DEI VALORE N <sub>SPT</sub>	37
TABELLA 3-2: MODELLO DMT	39
TABELLA 5-1: GRADO DI SOVRACONSOLIDAZIONE (OCR) E COEFFICIENTE DI SPINTA ORIZZONTALE KOOCR	64
TABELLA 6-1: APPLICAZIONE DEL METODO: VS – CONFINAMENTO, 1° STRATO	78
TABELLA 6-2: APPLICAZIONE DEL METODO: VS – CONFINAMENTO, 2° STRATO	78
Tabella 6-3: Taratura di $\Gamma_{R}$ in laboratorio, fondazione 1x1m	80
Tabella 6-4: Taratura di 🖪 in laboratorio, fondazione 1x1m	81

# **INDICE DEGLI ALLEGATI**

ALLEGATO 1: SPT-1 (BRIAUD, GIBBENS 1997)	108
ALLEGATO 2: SPT-2 (BRIAUD, GIBBENS 1997)	109
ALLEGATO 3: SPT-3 (BRIAUD, GIBBENS 1997)	110
ALLEGATO 4: SPT-4 (BRIAUD, GIBBENS 1997)	111
ALLEGATO 5: SPT-5 (BRIAUD, GIBBENS 1997)	112
ALLEGATO 6: SPT-6 (BRIAUD, GIBBENS 1997)	113
ALLEGATO 7: METODO DI TERZAGHI E PECK (1976)	114
ALLEGATO 8: METODO DI SCHULTZE AND SHERIF (1973)	115
ALLEGATO 9: METODO DI BURLAND E BURBIDGE (1985)	116
ALLEGATO 10: METODO DI MEYERHOF (1956)	117
ALLEGATO 11: METODO DI ANAGNOSTOPOULOS ET AL. (1991)	118
ALLEGATO 12: METODO DI BERARDI E LANCELLOTTA (1991)	119
ALLEGATO 13: METODO DI SCHMERTMANN (1978)	128
ALLEGATO 14: METODO DI MAYNE AND POULOS (1999)	129
ALLEGATO 15: METODO CANADIAN FOUNDATION MANUAL (1975, 1985, 1992)	137
ALLEGATO 16: METODO DMT	146
ALLEGATO 17: PARAMETRI DEI MATERIALI NEL MODELLO FEM	147
ALLEGATO 18: CAPACITÀ PORTANTE FONDAZIONE 1x1M	147
ALLEGATO 19: CAPACITÀ PORTANTE FONDAZIONE 3X3M	148
ALLEGATO 20: METODO ITERATIVO, FONDAZIONE 1x1M	153
ALLEGATO 21: METODO ITERATIVO, FONDAZIONE 3x3M	158
ALLEGATO 22: CEDIMENTI ELASTICI CON MODULO OPERATIVO	162

# <u>ALLEGATI</u>

			BORING LOG				
PROJEC	PROJECT: PERFORMANCE OF FOOTINGS ON SAND BORING NO: SPT-1 LOCATION: SAND SITE						
DATE: 4 DRILLE	: FEDERAL XIGHNAY A 6/5/93 R: Gustavus	DHINISTRATION	PROJECT NO: 146604 Soil Technician: Gibbens	BORING TYPE: 121 NM SIT GROUND ELEV:			
Depth in Meters	BLows Per 150mm/150mm/150mm	Sheiby Tube Sa \-Disturbed same v-Open-hole wate Pan_(tsf)-Field	<pre>mmple X-Penetration Sampl ble from cuttings V-Mater en er level B/F-Blows per foot, estimate of compressive stren</pre>	e J-Jar /-No Recovery countered while drilling ASTM D 1586 Penetration Test gth			
			DESCRIPTION OF STRATUN				
	4/5/6	NO SAMPLING					
	7/9/14	NO SAMPLING					
- 1.5 -	13/18/12	NO SAMPLING					
	6/10/11	NO SAMPLING					
3.0 -	8/10/13	NO SAMPLING					
	11/14/14	NO SAMPLING					
- 4.5 -							
- 6.0 -	9/15/19	NO SAMPLING					
75	8/8/9	NO SAMPLING					
	4/5/R	NO SANDI ING					
- 9.0 -	4,5,6	NO SAVELING					
- 10.5-	10/20/34	NO SAMPLING					
	19/29/47	NO SAMPLING					
12.0							
- 13.5-	14/19/21	NO SAMPLING					
15 0	15/22/31	NO SAMPLING					
			Bottom @ 15.2	m			

ALLEGATO 1: SPT-1 (BRIAUD, GIBBENS 1997)

BORING LOG					
PROJECT: PERFORMANCE OF FOOTINGS ON SAND BORING NO: SPT-2 LOCATION: SAND SITE					
DATE: DRILLE	1: FEDERAL HI <b>ghnay a</b> 4/6/93 Er: Gustavus	DMINISTRATION PROJECT NO: 146604 BORING TYPE: 121 mm B SOIL TECHNICIAN: GIBBENS GROUND ELEV:	it		
Depth in Neters	Blows Per 150mm/150mm/150mm	Shelby Tube Sample X-Penetration Sample J-Jar /-No Reco y-Disturbed sample from cuttings V-Water encountered while drilling y-Open-hole water level B/F-Blows per foot, ASTM D 1586 Penetration Pen.(tsf)-Field estimate of compressive strength	Test		
		DESCRIPTION OF STRATUM			
	4/5/7	Tan Silty Fine Sand			
	7/10/13	Tan Silty Fine Sand			
- 1.5 -	8/8/10	Tan Silty Fine Sand			
	6/9/9	Tan Silty Fine Sand			
- 3.0	4/8/8	Tan Silty Fine Sand			
	10/10/9	Ten Send			
- 4.5	7/9/8	Tan Sand w/Gravel			
- 6.0 -	7/10/11	Tan Sandy Clay			
- 7.5 -	5/6/8	Tan Sandy Clay			
9.0 -	6/8/13	Tan Silty Fine Sand			
- 10.5-	11/24/39	Dark Gray Clay			
- 12.0-	11/16/24	Dark Gray Clay			
- 13.5-	14/17/22	Dark Gray Clay			
- 15.0-	18/25/32	Dark Gray Clay Bottom 9 15.2 m			

ALLEGATO 2: SPT-2 (BRIAUD, GIBBENS 1997)

		BORING LOG				
PROJEC	PROJECT: PERFORMANCE OF FOOTINGS ON SAND BORING NO: SPT-3 LOCATION: SAND SITE					
CLIENT DATE: DRILLE	f: FEDERAL HIGHNAY A 4/21/93 Er: Gustavus	MINISTRATION PROJECT NO: 1466 SOLL TECHNICIAN:	D4 BORING TYPE: 121 mm BIT GIBBENS GNOLMD ELEV:			
Depth in Meters	Blows Per 150mm/150mm/150mm	Shelby Tube Sample X-Penetri -Disturbed sample from cuttings v-Open-hole water level B/F-Blow Pen.(tsf)-field estimate of compro	ration Sample J-Jar /-No Recovery V-Water encountered while drilling a per foot, ASTM D 1586 Penetration Test essive strength			
		DESCRIPTION	DF STRATUM			
	5/5/8	Tan Silty Fine Sand				
	4/8/10	Tan Silty Fine Sand				
- 1.5 -	6/11/14	Ten Silty Fine Send				
	6/9/8	Tan Silty Fine Sand				
- 3.0 -	6/8/10	Tan Silty Fine Sand				
	4/9/10	Ten Send				
- 4.5 -	6/12/14	Tan Sand w/Gravel				
- 6.0 -	7/11/11	Тап Sandy Clay ж/Gravel				
- 7.5	6/9/10	Ten Sandy Clay w/Gravel				
9.0 -	3/5/5	102 mm of Tan Silty Fine Sand bec	omes Tan Clay w/Gravel			
- 10.5-	11/20/24	26 mm of Clayey Gravel becomes Da	rk Gray Clay			
- 12.0-	43/48/51	Dark Gray Clay				
- 13.5-	14/18/28	Dark Gray Clay				
- 15.0-	13/15/21	Dark Gray Clay	Attas 8 15 2 a			
		Be	STEAD # 13.2 #			

ALLEGATO 3: SPT-3 (BRIAUD, GIBBENS 1997)

			BORING LOG			
PROJEC	PROJECT: PERFORMANCE OF FOOTINGS ON SAND BORING NO: SPT-4 LOCATION: SAND SITE					
DATE: DRILLE	f: FEDERAL HIGHNAY A 4/16/93 Er: Gustavus	DMINISTRATION	PROJECT NO: 146604 BOIL TECHNICIAN: GIBBENS	BORING TYPE: 121 mm BIT GROUND ELEV:		
Depth in Neters	Blows Per 150mm/150mm/150mm	Sheiby Tube Sa \-Disturbed samp -Open-hole wate Pen.(tsf)-Field	<pre>mple X-Penetration Samp ble from cuttings V-Vater e r level E/F-Blows per foot, estimate of compressive stre</pre>	nle J-Jar /-No Recovery ncountered while drilling ASTM D 1586 Penetration Test ngth		
			DESCRIPTION OF STRATUM			
	3/4/7	Tan Silty Fine S	and			
	5/8/7	Tan Silty Fine S	iand			
- 1.5 -	5/8/10	Tan Silty Fine S	land			
	5/8/9	Tan Silty Fine S	and			
- 3.0 -	5/8/8	Tan Silty Fine S	iand			
	6/8/7	Tan Sand				
- 4.5 -	8/7/7	Tan Silty Fine S	land			
- 6.0 -	6/8/9	Tan Silty Fine S	iandi			
- 7.5 -	8/8/8	Gravel				
- 9.0 -	5/9/11	Tan Sandy Clay				
- 10.5-	11/23/27	76 mm of Tan Sar	ndy Clay becomes Dark Gray Cl	ay		
- 12.0-	21/31/39	Dark Gray Clay	m/Gravel			
- 13.5-	14/21/32	Dark Gray Clay				
- 15.0-	17/23/37	Dark Gray Clay				
	11		Bottom 2 15.	2 m		

ALLEGATO 4: SPT-4 (BRIAUD, GIBBENS 1997)

	BORING LOG					
PROJE	PROJECT: PERFORMANCE OF FOOTINGS ON SAND BORING NO: SPT-5 LOCATION: SAND SITE					
CLIEN DATE: DRILLI	ľ: FEDERAL HIGHNAY A 4/13/93 ER: GUSTAVUS	DMINISTRATION P S	ROJECT NO: 14G604 Dil Tecnnician: Gibbens	BORING TYPE: 121 nm BIT GROUND ELEV:		
Depth in Meters	Blows Per 150mm/150mm/150mm	Shelby Tube Samp \-Disturbed sample -Open-hole water Pen.(taf)-Field es	le X-Penetration Sampl from cuttings V-Mater er level B/F-Blows per foot, timate of compressive strem	e J-Jar /-No Recovery countered while drilling ASTM D 1586 Penetration Test gth		
		DESCRIPTION OF STRATUM				
	4/5/6	Tan Silty Fine San	d			
	5/7/8	Tan Silty Fine San	d			
- 1.5 -	6/10/10	Tan Silty fine San	d			
	4/8/11	Tan Silty Fine San	d			
- 3.0 -	4/7/9	Tan Silty Fine Sand	d			
	4/7/9	Tan Silty Fine San	d			
- 4.5 -	8/12/15	Tan Silty Sand w/G	ravel Pockets			
- 6.0 -	6/7/11	Tan Sandy Clay w/G	ravel			
- 7.5 -	4/9/7	Ten Sand				
- 9.0 -	4/12/13	102 mm of Tan Sandy	y Clay w/Gravel becomes Gra	y Clayey Sand		
- 10.5-	12/33/31	51 mm of Fine Sand	w/Gravel becomes Dark Gray	Clay		
- 12.0-	11/17/21	Dark Gray Clay				
- 13.5-	10/14/22	Dark Gray Clay				
- 15.0	11/12/27	Dark Gray Clay	Entra 2 15 3			
1			50CC08 8 13.2			

ALLEGATO 5: SPT-5 (BRIAUD, GIBBENS 1997)

BORING LOG						
PROJE	PROJECT: PERFORMANCE OF FOOTINGS ON SAND BORING NO: SPT-6 LOCATION: SAND SITE					
DATE: DRILLI	(: FEDERAL HIGHNAY A 4/21/93 Er: Gustavus	DHINISTRATION PROJECT NO: 14G604 BORING TYPE: 121 mm BIT SOIL TECHNICIAN: GIBBENS GROUND ELEV:				
Depth in Meters	Blows Per 150mm/150mm	Shelby Tube Sample X-Penetration Sample J-Jar /-No Recovery \-Disturbed sample from cuttings V-Water encountered while drilling v-Open-hole water level B/F-Blows per foot, ASTM D 1586 Penetration Test Pen.(tsf)-Field estimate of compressive strength				
		DESCRIPTION OF STRATUN				
	6/6/7	Tan Silty Fine Send				
	6/8/11	Tan Silty Fine Sand				
- 1.5	5/9/9	Tan Silty Fine Sand				
	4/7/6	Tan Silty Fine Sand				
- 3.0 -	4/7/7	Tan Sand				
	11/11/15	Ten Sand				
- 4.5 -	5/9/14	Tan Sand w/Gravel				
- 6.0 -	5/9/11	Gravel w/Sand				
. 7.5 -	7/13/15	Tan Sand w/Traces of Gravel				
- 9.0 -	3/4/4	No Recovery				
- 10.5-	9/20/29	76 mm of Clayey Gravel becomes Dark Gray Clay				
- 12.0-	12/20/31	Derk Grey Clay				
- 13.5-	16/18/35	Dark Gray Clay				
- 15.0-	17/21/33	Dark Gray Clay Bottom & 15.2 m				

ALLEGATO 6: SPT-6 (BRIAUD, GIBBENS 1997)

NSPT	<b>E</b> <sub>r</sub> [%]	N <sub>60</sub>	<b>B</b> [m]	$D_f[m]$	Cd	Cw	q[kPa]	s[mm]
18	53	15.9	1	0.76	0.81	1	100	9.04
							200	18.09
							300	27.13
							400	36.17
							500	45.22
							600	54.26
							700	63.30
							800	72.35
							900	81.39
							1000	90.43
							1100	99.48
							1200	108.52
							1300	117.56
							1400	126.60
							1500	135.65
							1600	144.69
							1700	153.73
							1800	162.78

NSPT	<b>E</b> <sub>r</sub> [%]	N <sub>60</sub>	<b>B</b> [m]	$D_f[m]$	Cd	Cw	q[kPa]	s[mm]
20	53	17.67	3	0.76	0.43	1	55.56	3.35
							111.11	6.71
							166.67	10.06
							222.22	13.41
							277.78	16.76
							333.33	20.12
							388.89	23.47
							444.44	26.82
							500.00	30.17
							555.56	33.53
							611.11	36.88
							666.67	40.23
							722.22	43.58
							777.78	46.94
							833.33	50.29
							888.89	53.64
							944.44	56.99
							1000.00	60.35
							1055.56	63.70
							1111.11	67.05

ALLEGATO 7: METODO DI TERZAGHI E PECK (1976)

N <sub>SPT</sub>	$D_{f}[m]$	Cd	Fc	<b>B</b> [m]	L[m]	$q[kg/cm^2]$	s[mm]
18	0.76	0.81	3.8	1	1	1	3.79
						2	7.59
						3	11.38
						4	15.18
						5	18.97
						6	22.77
						7	26.56
						8	30.36
						9	34.15
						10	37.95
						11	41.74
						12	45.54
						13	49.33
						14	53.13
						15	56.92
						16	60.72
						17	64.51
						18	68.31

N <sub>SPT</sub>	$D_f[m]$	Cd	Fc	<b>B</b> [m]	L[m]	$q[kg/cm^2]$	s[mm]
20	0.76	0.43	6	3	3	0.56	5.72
						1.11	11.44
						1.67	17.16
						2.22	22.89
						2.78	28.61
						3.33	34.33
						3.89	40.05
						4.44	45.77
						5.00	51.49
						5.56	57.22
						6.11	62.94
						6.67	68.66
						7.22	74.38
						7.78	80.10
						8.33	85.82
						8.89	91.54
						9.44	97.27
						10.00	102.99
						10.56	108.71
						11.11	114.43

ALLEGATO 8: METODO DI SCHULTZE AND SHERIF (1973)

<b>B</b> [m]	N <sub>SPT</sub>	N <sub>corr</sub>	Ic	$D_{f}[m]$	$\gamma [kN/m^3]$	σ' <sub>v0</sub> [kPa]	<b>q</b> [kPa]	s[mm]
1	18	16.5	0.0336	0.76	15	11.4	100	3.10
							200	6.46
							300	9.82
							400	13.17
							500	16.53
							600	19.89
							700	23.24
							800	26.60
							900	29.96
							1000	33.32
							1100	36.67
							1200	40.03
							1300	43.39
							1400	46.75
							1500	50.10
							1600	53.46
							1700	56.82
							1800	60.17

<b>B</b> [m]	N <sub>SPT</sub>	N <sub>corr</sub>	Ic	$D_{f}[m]$	$\gamma [kN/m^3]$	σ' <sub>v0</sub> [kPa]	q[kPa]	s[mm]
3	20	17.5	0.031	0.76	15	11.4	55.56	3.20
							111.11	6.91
							166.67	10.61
							222.22	14.32
							277.78	18.02
							333.33	21.73
							388.89	25.44
							444.44	29.14
							500.00	32.85
							555.56	36.55
							611.11	40.26
							666.67	43.97
							722.22	47.67
							777.78	51.38
							833.33	55.08
							888.89	58.79
							944.44	62.50
							1000.00	66.20
							1055.56	69.91
							1111.11	73.61

ALLEGATO 9: METODO DI BURLAND E BURBIDGE (1985)

N <sub>SPT</sub>	<b>E</b> <sub>r</sub> [%]	N <sub>60</sub>	<b>B</b> [m]	$D_f[m]$	Cd	q[Kpa]	s[mm]
20	53	15.9	1	0.76	0.81	100	6.37
						200	12.74
						300	19.10
						400	25.47
						500	31.84
						600	38.21
						700	44.58
						800	50.94
						900	57.31
						1000	63.68
						1100	70.05
						1200	76.42
						1300	82.78
						1400	89.15
						1500	95.52
						1600	101.89
						1700	108.25
						1800	114.62

NSPT	<b>E</b> <sub>r</sub> [%]	N60	<b>B</b> [m]	$D_f[m]$	Cd	<b>q</b> [Kpa]	s[mm]
20	53	17.67	3	0.76	0.43	55.56	1.69
						111.11	3.38
						166.67	5.07
						222.22	6.76
						277.78	8.45
						333.33	10.14
						388.89	11.83
						444.44	13.52
						500.00	15.21
						555.56	16.90
						611.11	18.59
						666.67	20.28
						722.22	21.97
						777.78	23.66
						833.33	25.35
						888.89	27.04
						944.44	28.73
						1000.00	30.42
						1055.56	32.11
						1111.11	33.81

ALLEGATO 10: METODO DI MEYERHOF (1956)

<b>B</b> [m]	<b>y</b> [kN/m3]	<b>D</b> [m]	N <sub>SPT</sub>	q[kPa]	s[mm]
1	15	0.76	18	100	2.42
				200	4.88
				300	7.35
				400	9.82
				500	12.30
				600	14.79
				700	17.28
				800	19.78
				900	22.28
				1000	24.78
				1100	27.28
				1200	29.79
				1300	32.30
				1400	34.81
				1500	37.32
				1600	39.84
				1700	42.35
				1800	44.87

<b>B</b> [m]	<b>y</b> [kN/m3]	<b>D</b> [m]	N <sub>SPT</sub>	q[kPa]	s[mm]
3	15	0.76	20	55.56	2.59
				111.11	5.21
				166.67	7.84
				222.22	10.49
				277.78	13.14
				333.33	15.79
				388.89	18.45
				444.44	21.12
				500.00	23.78
				555.56	26.45
				611.11	29.13
				666.67	31.80
				722.22	34.48
				777.78	37.16
				833.33	39.84
				888.89	42.53
				944.44	45.21
				1000.00	47.90
				1055.56	50.59

ALLEGATO 11: METODO DI ANAGNOSTOPOULOS ET AL. (1991)

1111.11

53.28

v	q[Kpa]	Δσ′ <sub>v</sub> [kPa]	E'[MPa]	s[mm]
0.2	100	70.09	55.09	0.84
	200	140.18	70.75	4.55
	300	210.27	83.53	10.80
	400	280.35	94.59	19.23
	500	350.44	104.50	29.61
	600	420.53	113.54	41.77
	700	490.62	121.91	55.59
	800	560.71	129.74	70.98
	900	630.80	137.13	87.87
	1000	700.89	144.14	106.18
	1100	770.97	150.82	125.87
	1200	841.06	157.22	146.89
	1300	911.15	163.37	169.20
	1400	981.24	169.29	192.76
	1500	1051.33	175.02	217.55
	1600	1121.42	180.56	243.52
	1700	1191.51	185.94	270.65
	1800	1261.59	191.17	298.93

<b>B</b> [m]	$\gamma[kN/m3]$	<b>D</b> [m]	<b>H</b> /2[m]	<b>K</b> <sub>0.1</sub>	I
1	15	0.76	1.26	750	0.62
<b>L/2</b> [m]	<b>B/2</b> [m]	Z[m]	<b>R</b> <sub>1</sub>	<b>R</b> <sub>2</sub>	<b>R</b> <sub>3</sub>
0.5	0.5	0.5	0.71	0.71	0.87

Cn	Nspt	Nı	$D_r[m]$
1.68	18	30.28	71.04

<b>B</b> [m]	γ[kN/m3]	D[m]	<b>H/2</b> [m]	K <sub>0.1</sub>	Ι	v	q[Kpa]	Δσ′ <sub>▼</sub> [kPa]	E'[MPa]	s[mm]
3	15	0.76	2.26	730	0.62	0.2	55.56	38.94	53.33	0.28
						_	111.11	77.88	62.30	2.49
<b>L/2</b> [m]	<b>B/2</b> [m]	<b>Z</b> [m]	R <sub>1</sub>	<b>R</b> <sub>2</sub>	<b>R</b> <sub>3</sub>		166.67	116.81	70.14	7.35
1.5	1.5	1.5	2.12	2.12	2.60		222.22	155.75	77.18	14.81
						_	277.78	194.69	83.63	24.71
		Cn	N <sub>SPT</sub>	$N_1$	D <sub>r</sub> [m]		333.33	233.63	89.62	36.89
		1.49	20	29.87	70.56		388.89	272.57	95.23	51.22
							444.44	311.50	100.53	67.58
							500.00	350.44	105.57	85.86
							555.56	389.38	110.37	105.99
							611.11	428.32	114.97	127.89
							666.67	467.26	119.40	151.49
							722.22	506.20	123.67	176.75
							777.78	545.13	127.80	203.61
							833.33	584.07	131.79	232.02
							888.89	623.01	135.67	261.95
							944.44	661.95	139.44	293.35
							1000.00	700.89	143.11	326.21
							1055.56	739.82	146.69	360.47
							1111.11	778.76	150.19	396.13

Allegato 12: metodo di Berardi e Lancellotta (1991)

q[kPa]	<b>z</b> [m]	$\mathbf{z}(\mathbf{I}_{z})[\mathbf{m}]$	<b>z</b> (q <sub>c</sub> ) [m]	q <sub>c</sub> [MPa]	Izp	$I_z(x)$ 1	<b>z</b> (y)1	Iz	E [Mpa]	Ci	i [m/MPa]	S <sub>tot</sub> [mm]
100	0.3	0.15	0.91	4.93	0.72	0.10	0.00	0.28	12.32	0.94	6.94	
100	0.6	0.45	1.21	6.55	0.72	0.72	0.50	0.65	16.38	0.94	11.99	
100	0.9	0.75	1.51	8.11	0.72	Iz(x)2	z (y)2	0.60	20.27	0.94	8.84	
100	1.2	1.05	1.81	7.56	0.72	0.72	0.50	0.45	18.91	0.94	7.20	3.64
100	1.5	1.35	2.11	7.02	0.72	0.00	2.00	0.31	17.55	0.94	5.31	
100	1.8	1.65	2.41	6.48	0.72	-0.08	0.81	0.17	16.19	0.94	3.10	
100	2.1	1.95	2.71	5.93	0.72	2.00	-2.09	0.02	14.84	0.94	0.48	
q[kPa]	<b>z</b> [m]	$\mathbf{z}(\mathbf{I}_{z})[\mathbf{m}]$	<b>z</b> (q <sub>c</sub> ) [m]	q₀ [MPa]	Izp	$\mathbf{I}_{\mathbf{z}}(\mathbf{x})$	<b>z</b> (y)1	Iz	E [Mpa]	Ci	i [m/MPa]	s <sub>tot</sub> [mm]
200	0.3	0.15	0.91	4.93	0.82	0.10	0.00	0.31	12.32	0.97	7.66	
200	0.6	0.45	1.21	6.55	0.82	0.82	0.50	0.74	16.38	0.97	13.63	
200	0.9	0.75	1.51	8.11	0.82	Iz(x)2	z (y)2	0.68	20.27	0.97	10.06	
200	1.2	1.05	1.81	7.56	0.82	0.82	0.50	0.52	18.91	0.97	8.20	9.09
200	1.5	1.35	2.11	7.02	0.82	0.00	2.00	0.35	17.55	0.97	6.04	
200	1.8	1.65	2.41	6.48	0.82	-0.07	0.70	0.19	16.19	0.97	3.53	
200	2.1	1.95	2.71	5.93	0.82	2.00	-1.84	0.03	14.84	0.97	0.55	
q[kPa]	<b>z</b> [m]	$\mathbf{z}(\mathbf{I}_{z})[\mathbf{m}]$	<b>z</b> (q <sub>c</sub> ) [m]	q₀ [MPa]	Izp	$\mathbf{I_z}(\mathbf{x})$ 1	<b>z</b> (y)1	Iz	E [Mpa]	Ci	i [m/MPa]	s <sub>tot</sub> [mm]
300	0.3	0.15	0.91	4.93	0.89	0.10	0.00	0.34	12.32	0.98	8.21	
300	0.6	0.45	1.21	6.55	0.89	0.89	0.50	0.81	16.38	0.98	14.86	
300	0.9	0.75	1.51	8.11	0.89	$I_Z(x)_2$	z (y)2	0.74	20.27	0.98	10.99	
300	1.2	1.05	1.81	7.56	0.89	0.89	0.50	0.56	18.91	0.98	8.95	15.29
300	1.5	1.35	2.11	7.02	0.89	0.00	2.00	0.39	17.55	0.98	6.60	
300	1.8	1.65	2.41	6.48	0.89	-0.06	0.63	0.21	16.19	0.98	3.85	
300	2.1	1.95	2.71	5.93	0.89	2.00	-1.68	0.03	14.84	0.98	0.60	
q[kPa]	<b>z</b> [m]	$\mathbf{z}(\mathbf{I}_{z})[\mathbf{m}]$	<b>z</b> (q <sub>c</sub> ) [m]	<b>q</b> ₅ [MPa]	Izp	$I_z(x)$ 1	<b>z</b> ( <b>y</b> )1	Iz	E [Mpa]	Ci	i [m/MPa]	s <sub>tot</sub> [mm]
400	0.3	0.15	0.91	4.93	0.95	0.10	0.00	0.36	12.32	0.99	8.67	
400	0.6	0.45	1.21	6.55	0.95	0.95	0.50	0.87	16.38	0.99	15.90	
400	0.9	0.75	1.51	8.11	0.95	Iz(x)2	z (y)2	0.79	20.27	0.99	11.76	
400	1.2	1.05	1.81	7.56	0.95	0.95	0.50	0.60	18.91	0.99	9.58	22.11
400	1.5	1.35	2.11	7.02	0.95	0.00	2.00	0.41	17.55	0.99	7.06	
400	1.8	1.65	2.41	6.48	0.95	-0.06	0.59	0.22	16.19	0.99	4.12	
400	2.1	1.95	2.71	5.93	0.95	2.00	-1.57	0.03	14.84	0.99	0.64	
q[kPa]	<b>z</b> [m]	$\mathbf{z}(\mathbf{I}_{z})[\mathbf{m}]$	<b>z</b> (q <sub>c</sub> ) [m]	q <sub>c</sub> [MPa]	Izp	$\mathbf{I}_{\mathbf{z}}(\mathbf{x})$ 1	<b>z</b> (y)1	Iz	E [Mpa]	Ci	i [m/MPa]	s <sub>tot</sub> [mm]
500	0.3	0.15	0.91	4.93	1.01	0.10	0.00	0.37	12.32	0.99	9.07	
500	0.6	0.45	1.21	6.55	1.01	1.01	0.50	0.92	16.38	0.99	16.80	
500	0.9	0.75	1.51	8.11	1.01	Iz(x)2	z (y)2	0.84	20.27	0.99	12.44	
500	1.2	1.05	1.81	7.56	1.01	1.01	0.50	0.64	18.91	0.99	10.13	29.43
500	1.5	1.35	2.11	7.02	1.01	0.00	2.00	0.44	17.55	0.99	7.47	
500	1.8	1.65	2.41	6.48	1.01	-0.06	0.55	0.24	16.19	0.99	4.36	
500	2.1	1.95	2.71	5.93	1.01	2.00	-1.49	0.03	14.84	0.99	0.68	

<b>q</b> [kPa]	<b>z</b> [m]	$\mathbf{z}(\mathbf{I}_{z})[\mathbf{m}]$	<b>z</b> (q <sub>c</sub> ) [m]	<b>q</b> c [MPa]	Izp	$\mathbf{I}_{\mathbf{z}}(\mathbf{x})$	<b>z</b> (y)1	Iz	E [Mpa]	Ci	i [m/MPa]	s <sub>tot</sub> [mm]
600	0.3	0.15	0.91	4.93	1.06	0.10	0.00	0.39	12.32	0.99	9.43	
600	0.6	0.45	1.21	6.55	1.06	1.06	0.50	0.96	16.38	0.99	17.62	
600	0.9	0.75	1.51	8.11	1.06	$I_Z(x)_2$	z (y)2	0.88	20.27	0.99	13.05	
600	1.2	1.05	1.81	7.56	1.06	1.06	0.50	0.67	18.91	0.99	10.63	37.22
600	1.5	1.35	2.11	7.02	1.06	0.00	2.00	0.46	17.55	0.99	7.84	
600	1.8	1.65	2.41	6.48	1.06	-0.05	0.52	0.25	16.19	0.99	4.57	
600	2.1	1.95	2.71	5.93	1.06	2.00	-1.42	0.04	14.84	0.99	0.71	
<b>q</b> [kPa]	<b>z</b> [m]	$\mathbf{z}(\mathbf{I}_{z})[\mathbf{m}]$	<b>z</b> (q <sub>c</sub> ) [m]	<b>q</b> ₅ [MPa]	Izp	$\mathbf{I}_{\mathbf{z}}(\mathbf{x})$	<b>z</b> (y)1	Iz	E [Mpa]	Ci	i [m/MPa]	S <sub>tot</sub> [mm]
700	0.3	0.15	0.91	4.93	1.10	0.10	0.00	0.40	12.32	0.99	9.76	
700	0.6	0.45	1.21	6.55	1.10	1.10	0.50	1.00	16.38	0.99	18.37	
700	0.9	0.75	1.51	8.11	1.10	Iz(x)2	z (y)2	0.92	20.27	0.99	13.61	
700	1.2	1.05	1.81	7.56	1.10	1.10	0.50	0.70	18.91	0.99	11.09	45.43
700	1.5	1.35	2.11	7.02	1.10	0.00	2.00	0.48	17.55	0.99	8.17	
700	1.8	1.65	2.41	6.48	1.10	-0.05	0.50	0.26	16.19	0.99	4.77	
700	2.1	1.95	2.71	5.93	1.10	2.00	-1.36	0.04	14.84	0.99	0.74	
<b>q</b> [kPa]	<b>z</b> [m]	$\mathbf{z}(\mathbf{I}_{z})[\mathbf{m}]$	<b>z</b> (q <sub>c</sub> ) [m]	<b>q</b> ₅ [MPa]	Izp	$\mathbf{I}_{\mathbf{z}}(\mathbf{x})$	<b>z</b> (y)1	Iz	E [Mpa]	Ci	i [m/MPa]	S <sub>tot</sub> [mm]
800	0.3	0.15	0.91	4.93	1.15	0.10	0.00	0.41	12.32	0.99	10.07	
800	0.6	0.45	1.21	6.55	1.15	1.15	0.50	1.04	16.38	0.99	19.07	
800	0.9	0.75	1.51	8.11	1.15	Iz(x)2	z (y)2	0.95	20.27	0.99	14.14	
800	1.2	1.05	1.81	7.56	1.15	1.15	0.50	0.73	18.91	0.99	11.51	54.03
800	1.5	1.35	2.11	7.02	1.15	0.00	2.00	0.50	17.55	0.99	8.49	
800	1.8	1.65	2.41	6.48	1.15	-0.05	0.48	0.27	16.19	0.99	4.95	
800	2.1	1.95	2.71	5.93	1.15	2.00	-1.31	0.04	14.84	0.99	0.77	
<b>q</b> [kPa]	<b>z</b> [m]	$\mathbf{z}(\mathbf{I}_{\mathbf{z}})[\mathbf{m}]$	<b>z</b> (q <sub>c</sub> ) [m]	q₀ [MPa]	Izp	$\mathbf{I}_{\mathbf{z}}(\mathbf{x})$	<b>z</b> (y)1	Iz	E [Mpa]	Ci	i [m/MPa]	S <sub>tot</sub> [mm]
900	0.3	0.15	0.91	4.93	1.19	0.10	0.00	0.43	12.32	0.99	10.36	
900	0.6	0.45	1.21	6.55	1.19	1.19	0.50	1.08	16.38	0.99	19.72	
900	0.9	0.75	1.51	8.11	1.19	Iz(x)2	z (y)2	0.99	20.27	0.99	14.63	
900	1.2	1.05	1.81	7.56	1.19	1.19	0.50	0.75	18.91	0.99	11.91	62.98
900	1.5	1.35	2.11	7.02	1.19	0.00	2.00	0.51	17.55	0.99	8.78	
900	1.8	1.65	2.41	6.48	1.19	-0.05	0.46	0.28	16.19	0.99	5.13	
900	2.1	1.95	2.71	5.93	1.19	2.00	-1.27	0.04	14.84	0.99	0.80	
<b>q</b> [kPa]	<b>z</b> [m]	$\mathbf{z}(\mathbf{I}_{z})[\mathbf{m}]$	<b>z</b> (q <sub>c</sub> ) [m]	q₀ [MPa]	Izp	$\mathbf{I}_{\mathbf{z}}(\mathbf{x})$	<b>z</b> ( <b>y</b> )1	Iz	E [Mpa]	Ci	i [m/MPa]	S <sub>tot</sub> [mm]
1000	0.3	0.15	0.91	4.93	1.22	0.10	0.00	0.44	12.32	0.99	10.64	
1000	0.6	0.45	1.21	6.55	1.22	1.22	0.50	1.11	16.38	0.99	20.34	
1000	0.9	0.75	1.51	8.11	1.22	Iz(x)2	z (y)2	1.02	20.27	0.99	15.09	
1000	1.2	1.05	1.81	7.56	1.22	1.22	0.50	0.77	18.91	0.99	12.29	72.28
1000	1.5	1.35	2.11	7.02	1.22	0.00	2.00	0.53	17.55	0.99	9.06	
1000	1.8	1.65	2.41	6.48	1.22	-0.04	0.45	0.29	16.19	0.99	5.29	
1000	2.1	1.95	2.71	5.93	1.22	2.00	-1.23	0.04	14.84	0.99	0.82	

q[kPa]	<b>z</b> [m]	$\mathbf{z}(\mathbf{I}_{z})[\mathbf{m}]$	<b>z</b> (q <sub>c</sub> ) [m]	q <sub>c</sub> [MPa]	Izp	$\mathbf{I}_{\mathbf{z}}(\mathbf{x})$ 1	<b>z</b> (y)1	Iz	E [Mpa]	Ci	i [m/MPa]	s <sub>tot</sub> [mm]
1100	0.3	0.15	0.91	4.93	1.26	0.10	0.00	0.45	12.32	0.99	10.90	
1100	0.6	0.45	1.21	6.55	1.26	1.26	0.50	1.14	16.38	0.99	20.93	
1100	0.9	0.75	1.51	8.11	1.26	Iz(x)2	z(y)2	1.05	20.27	0.99	15.53	
1100	1.2	1.05	1.81	7.56	1.26	1.26	0.50	0.80	18.91	0.99	12.65	81.89
1100	1.5	1.35	2.11	7.02	1.26	0.00	2.00	0.55	17.55	0.99	9.32	
1100	1.8	1.65	2.41	6.48	1.26	-0.04	0.43	0.29	16.19	0.99	5.44	
1100	2.1	1.95	2.71	5.93	1.26	2.00	-1.19	0.04	14.84	0.99	0.85	
q[kPa]	<b>z</b> [m]	$\mathbf{z}(\mathbf{I}_{z})[\mathbf{m}]$	<b>z</b> (q <sub>c</sub> ) [m]	<b>q</b> c [MPa]	Izp	$\mathbf{I}_{\mathbf{z}}(\mathbf{x})$ 1	<b>z</b> (y)1	Iz	E [Mpa]	Ci	i [m/MPa]	s <sub>tot</sub> [mm]
1200	0.3	0.15	0.91	4.93	1.29	0.10	0.00	0.46	12.32	1.00	11.15	
1200	0.6	0.45	1.21	6.55	1.29	1.29	0.50	1.17	16.38	1.00	21.49	
1200	0.9	0.75	1.51	8.11	1.29	Iz(x)2	z (y)2	1.08	20.27	1.00	15.95	
1200	1.2	1.05	1.81	7.56	1.29	1.29	0.50	0.82	18.91	1.00	12.99	91.82
1200	1.5	1.35	2.11	7.02	1.29	0.00	2.00	0.56	17.55	1.00	9.58	
1200	1.8	1.65	2.41	6.48	1.29	-0.04	0.42	0.30	16.19	1.00	5.59	
1200	2.1	1.95	2.71	5.93	1.29	2.00	-1.16	0.04	14.84	1.00	0.87	
q[kPa]	<b>z</b> [m]	$\mathbf{z}(\mathbf{I}_{z})[\mathbf{m}]$	<b>z</b> (q <sub>c</sub> ) [m]	q <sub>c</sub> [MPa]	Izp	$\mathbf{I}_{\mathbf{z}}(\mathbf{x})$	<b>z</b> (y)1	Iz	E [Mpa]	C <sub>i</sub>	i [m/MPa]	S <sub>tot</sub> [mm]
1300	0.3	0.15	0.91	4.93	1.33	0.10	0.00	0.47	12.32	1.00	11.39	
1300	0.6	0.45	1.21	6.55	1.33	1.33	0.50	1.20	16.38	1.00	22.03	
1300	0.9	0.75	1.51	8.11	1.33	Iz(x)2	z (y)2	1.10	20.27	1.00	16.35	
1300	1.2	1.05	1.81	7.56	1.33	1.33	0.50	0.84	18.91	1.00	13.32	102.04
1300	1.5	1.35	2.11	7.02	1.33	0.00	2.00	0.57	17.55	1.00	9.82	
1300	1.8	1.65	2.41	6.48	1.33	-0.04	0.41	0.31	16.19	1.00	5.73	
1300	2.1	1.95	2.71	5.93	1.33	2.00	-1.13	0.04	14.84	1.00	0.89	
q[kPa]	<b>z</b> [m]	$\mathbf{z}(\mathbf{I}_{z})[\mathbf{m}]$	<b>z</b> (q <sub>c</sub> ) [m]	q₀ [MPa]	Izp	$\mathbf{I}_{\mathbf{z}}(\mathbf{x})$	<b>z</b> (y)1	Iz	E [Mpa]	Ci	i [m/MPa]	S <sub>tot</sub> [mm]
1400	0.3	0.15	0.91	4.93	1.36	0.10	0.00	0.48	12.32	1.00	11.62	
1400	0.6	0.45	1.21	6.55	1.36	1.36	0.50	1.23	16.38	1.00	22.55	
1400	0.9	0.75	1.51	8.11	1.36	Iz(x)2	z (y)2	1.13	20.27	1.00	16.74	
1400	1.2	1.05	1.81	7.56	1.36	1.36	0.50	0.86	18.91	1.00	13.64	112.54
1400	1.5	1.35	2.11	7.02	1.36	0.00	2.00	0.59	17.55	1.00	10.05	
1400	1.8	1.65	2.41	6.48	1.36	-0.04	0.40	0.32	16.19	1.00	5.87	
1400	2.1	1.95	2.71	5.93	1.36	2.00	-1.11	0.05	14.84	1.00	0.91	
q[kPa]	<b>z</b> [m]	$\mathbf{z}(\mathbf{I}_{z})[\mathbf{m}]$	<b>z</b> (q <sub>c</sub> ) [m]	q₀ [MPa]	Izp	$\mathbf{I}_{\mathbf{z}}(\mathbf{x})$ 1	<b>z</b> (y)1	Iz	E [Mpa]	Ci	i [m/MPa]	s <sub>tot</sub> [mm]
1500	0.3	0.15	0.91	4.93	1.39	0.10	0.00	0.49	12.32	1.00	11.84	
1500	0.6	0.45	1.21	6.55	1.39	1.39	0.50	1.26	16.38	1.00	23.05	
1500	0.9	0.75	1.51	8.11	1.39	Iz(x)2	z (y)2	1.16	20.27	1.00	17.12	
1500	1.2	1.05	1.81	7.56	1.39	1.39	0.50	0.88	18.91	1.00	13.94	123.31
1500	1.5	1.35	2.11	7.02	1.39	0.00	2.00	0.60	17.55	1.00	10.28	
1500	1.8	1.65	2.41	6.48	1.39	-0.04	0.39	0.32	16.19	1.00	6.00	
1500	2.1	1.95	2.71	5.93	1.39	2.00	-1.08	0.05	14.84	1.00	0.94	

<b>q</b> [kPa]	<b>z</b> [m]	$\mathbf{z}(\mathbf{I}_{z})[\mathbf{m}]$	<b>z</b> (q <sub>c</sub> ) [m]	<b>q</b> c [MPa]	Izp	$\mathbf{I}_{\mathbf{z}}(\mathbf{x})$ 1	<b>z</b> ( <b>y</b> )1	Iz	E [Mpa]	Ci	i [m/MPa]	s <sub>tot</sub> [mm]
1600	0.3	0.15	0.91	4.93	1.42	0.10	0.00	0.50	12.32	1.00	12.05	
1600	0.6	0.45	1.21	6.55	1.42	1.42	0.50	1.29	16.38	1.00	23.53	
1600	0.9	0.75	1.51	8.11	1.42	$I_Z(x)_2$	z (y)2	1.18	20.27	1.00	17.48	
1600	1.2	1.05	1.81	7.56	1.42	1.42	0.50	0.90	18.91	1.00	14.24	134.34
1600	1.5	1.35	2.11	7.02	1.42	0.00	2.00	0.61	17.55	1.00	10.49	
1600	1.8	1.65	2.41	6.48	1.42	-0.04	0.38	0.33	16.19	1.00	6.12	
1600	2.1	1.95	2.71	5.93	1.42	2.00	-1.06	0.05	14.84	1.00	0.95	
<b>q</b> [kPa]	<b>z</b> [m]	$\mathbf{z}(\mathbf{I}_{z})[\mathbf{m}]$	<b>z</b> (q <sub>c</sub> ) [m]	q <sub>c</sub> [MPa]	Izp	$\mathbf{I}_{\mathbf{z}}(\mathbf{x})$ 1	<b>z</b> ( <b>y</b> )1	Iz	E [Mpa]	Ci	i [m/MPa]	s <sub>tot</sub> [mm]
1700	0.3	0.15	0.91	4.93	1.45	0.10	0.00	0.50	12.32	1.00	12.26	
1700	0.6	0.45	1.21	6.55	1.45	1.45	0.50	1.31	16.38	1.00	24.00	
1700	0.9	0.75	1.51	8.11	1.45	$I_Z(x)_2$	z (y)2	1.20	20.27	1.00	17.83	
1700	1.2	1.05	1.81	7.56	1.45	1.45	0.50	0.92	18.91	1.00	14.52	145.63
1700	1.5	1.35	2.11	7.02	1.45	0.00	2.00	0.63	17.55	1.00	10.70	
1700	1.8	1.65	2.41	6.48	1.45	-0.04	0.37	0.34	16.19	1.00	6.25	
1700	2.1	1.95	2.71	5.93	1.45	2.00	-1.04	0.05	14.84	1.00	0.97	
<b>q</b> [kPa]	<b>z</b> [m]	$\mathbf{z}(\mathbf{I}_{z})[\mathbf{m}]$	<b>z</b> (q <sub>c</sub> ) [m]	q <sub>c</sub> [MPa]	Izp	$\mathbf{I}_{\mathbf{z}}(\mathbf{x})$ 1	<b>z</b> (y)1	Iz	E [Mpa]	Ci	i [m/MPa]	S <sub>tot</sub> [mm]
1800	0.3	0.15	0.91	4.93	1.47	0.10	0.00	0.51	12.32	1.00	12.46	
1800	0.6	0.45	1.21	6.55	1.47	1.47	0.50	1.34	16.38	1.00	24.45	
1800	0.9	0.75	1.51	8.11	1.47	$I_Z(x)_2$	z (y)2	1.23	20.27	1.00	18.17	
1800	1.2	1.05	1.81	7.56	1.47	1.47	0.50	0.93	18.91	1.00	14.80	157.17
1800	1.5	1.35	2.11	7.02	1.47	0.00	2.00	0.64	17.55	1.00	10.91	
1800	1.8	1.65	2.41	6.48	1.47	-0.04	0.36	0.34	16.19	1.00	6.37	
1800	2.1	1.95	2.71	5.93	1.47	2.00	-1.02	0.05	14.84	1.00	0.99	

<b>B</b> [m]	L[m]	<b>∆h</b> [m]
1	1	0.30

q[kPa]	s <sub>tot</sub> [mm]
100	3.64
200	9.09
300	15.29
400	22.11
500	29.43
600	37.22

q[kPa]	s <sub>tot</sub> [mm]
700	45.43125
800	54.02561
900	62.98102
1000	72.27641
1100	81.89399
1200	91.81852

q[kPa]	s <sub>tot</sub> [mm]
1300	102.0367
1400	112.537
1500	123.3088
1600	134.343
1700	145.631
1800	157.1653

q[kPa]	<b>z</b> [m]	$\mathbf{z}(\mathbf{I}_{z})[\mathbf{m}]$	<b>z</b> (q <sub>c</sub> ) [m]	<b>q</b> c [MPa]	Izp	$\mathbf{I_z}(\mathbf{x})$	<b>z</b> (y)1	Iz	E [Mpa]	Ci	i [m/MPa]	s <sub>tot</sub> [mm]
55.556	0.86	0.445	1.205	6.53	0.61	0.10	0.00	0.25	16.32	0.87	12.85	
55.556	1.72	1.305	2.065	7.10	0.61	0.61	1.50	0.55	17.75	0.87	25.58	
55.556	2.58	2.165	2.925	5.55	0.61	Iz(x)2	z (y)2	0.52	13.86	0.87	31.33	
55.556	3.44	3.025	3.785	7.64	0.61	0.61	1.50	0.41	19.09	0.87	17.65	4.02
55.556	4.3	3.885	4.645	10.08	0.61	0.00	6.00	0.29	25.19	0.87	9.51	
55.556	5.16	4.745	5.505	10.24	0.61	-0.29	2.92	0.17	25.60	0.87	5.55	
55.556	6.02	5.605	6.365	8.81	0.61	6.00	-7.33	0.05	22.02	0.87	2.03	
q[kPa]	<b>z</b> [m]	$\mathbf{z}(\mathbf{I}_{z})[\mathbf{m}]$	<b>z</b> (q <sub>c</sub> ) [m]	q <sub>c</sub> [MPa]	Izp	$\mathbf{I}_{\mathbf{z}}(\mathbf{x})$ 1	<b>z</b> (y)1	Iz	E [Mpa]	Ci	i [m/MPa]	s <sub>tot</sub> [mm]
111.11	0.86	0.445	1.205	6.53	0.67	0.10	0.00	0.27	16.32	0.94	13.71	
111.11	1.72	1.305	2.065	7.10	0.67	0.67	1.50	0.60	17.75	0.94	27.92	
111.11	2.58	2.165	2.925	5.55	0.67	Iz(x)2	z (y)2	0.57	13.86	0.94	34.26	
111.11	3.44	3.025	3.785	7.64	0.67	0.67	1.50	0.44	19.09	0.94	19.30	10.71
111.11	4.3	3.885	4.645	10.08	0.67	0.00	6.00	0.32	25.19	0.94	10.40	
111.11	5.16	4.745	5.505	10.24	0.67	-0.26	2.62	0.19	25.60	0.94	6.07	
111.11	6.02	5.605	6.365	8.81	0.67	6.00	-6.70	0.06	22.02	0.94	2.22	
q[kPa]	<b>z</b> [m]	$\mathbf{z}(\mathbf{I}_{\mathbf{z}})[\mathbf{m}]$	<b>z</b> (q <sub>c</sub> ) [m]	<b>q</b> c [MPa]	Izp	$\mathbf{I}_{\mathbf{z}}(\mathbf{x})$	<b>z</b> (y)1	Iz	E [Mpa]	Ci	i [m/MPa]	s <sub>tot</sub> [mm]
166.67	0.86	0.445	1.205	6.53	0.71	0.10	0.00	0.28	16.32	0.96	14.35	
166.67	1.72	1.305	2.065	7.10	0.71	0.71	1.50	0.63	17.75	0.96	29.65	
166.67	2.58	2.165	2.925	5.55	0.71	Iz(x)2	z (y)2	0.61	13.86	0.96	36.43	
166.67	3.44	3.025	3.785	7.64	0.71	0.71	1.50	0.47	19.09	0.96	20.52	18.07
166.67	4.3	3.885	4.645	10.08	0.71	0.00	6.00	0.34	25.19	0.96	11.06	
166.67	5.16	4.745	5.505	10.24	0.71	-0.24	2.44	0.20	25.60	0.96	6.45	
166.67	6.02	5.605	6.365	8.81	0.71	6.00	-6.30	0.06	22.02	0.96	2.36	
<b>q</b> [kPa]	<b>z</b> [m]	$\mathbf{z}(\mathbf{I}_z)[\mathbf{m}]$	<b>z</b> (q <sub>c</sub> ) [m]	<b>q</b> ₀ [MPa]	Izp	$\mathbf{I}_{\mathbf{z}}(\mathbf{x})$ 1	<b>z</b> (y)1	Iz	E [Mpa]	Ci	i [m/MPa]	s <sub>tot</sub> [mm]
222.22	0.86	0.445	1.205	6.53	0.75	0.10	0.00	0.29	16.32	0.97	14.89	
222.22	1.72	1.305	2.065	7.10	0.75	0.75	1.50	0.66	17.75	0.97	31.09	
222.22	2.58	2.165	2.925	5.55	0.75	Iz(x)2	z (y)2	0.64	13.86	0.97	38.23	
222.22	3.44	3.025	3.785	7.64	0.75	0.75	1.50	0.50	19.09	0.97	21.54	25.97
222.22	4.3	3.885	4.645	10.08	0.75	0.00	6.00	0.35	25.19	0.97	11.60	
222.22	5.16	4.745	5.505	10.24	0.75	-0.23	2.31	0.21	25.60	0.97	6.77	
222.22	6.02	5.605	6.365	8.81	0.75	6.00	-6.00	0.07	22.02	0.97	2.48	
<b>q</b> [kPa]	<b>z</b> [m]	$\mathbf{z}(\mathbf{I}_{\mathbf{z}})[\mathbf{m}]$	<b>z</b> (q <sub>c</sub> ) [m]	q <sub>c</sub> [MPa]	Izp	$\mathbf{I}_{\mathbf{z}}(\mathbf{x})$	<b>z</b> (y)1	Iz	E [Mpa]	C <sub>i</sub>	i [m/MPa]	s <sub>tot</sub> [mm]
277.78	0.86	0.445	1.205	6.53	0.78	0.10	0.00	0.30	16.32	0.98	15.35	
277.78	1.72	1.305	2.065	7.10	0.78	0.78	1.50	0.69	17.75	0.98	32.34	
277.78	2.58	2.165	2.925	5.55	0.78	Iz(x)2	z (y)2	0.67	13.86	0.98	39.81	
277.78	3.44	3.025	3.785	7.64	0.78	0.78	1.50	0.52	19.09	0.98	22.43	34.32
277.78	4.3	3.885	4.645	10.08	0.78	0.00	6.00	0.37	25.19	0.98	12.08	
277.78	5.16	4.745	5.505	10.24	0.78	-0.22	2.20	0.22	25.60	0.98	7.05	
277.78	6.02	5.605	6.365	8.81	0.78	6.00	-5.77	0.07	22.02	0.98	2.58	

q[kPa]	<b>z</b> [m]	$\mathbf{z}(\mathbf{I}_{z})[m]$	<b>z</b> (q <sub>c</sub> ) [m]	<b>q</b> c [MPa]	$I_{zp}$	$\mathbf{I}_{\mathbf{z}}(\mathbf{x})$ 1	<b>z</b> (y)1	Iz	E [Mpa]	Ci	i [m/MPa]	s <sub>tot</sub> [mm]
333.33	0.86	0.445	1.205	6.53	0.81	0.10	0.00	0.31	16.32	0.98	15.77	
333.33	1.72	1.305	2.065	7.10	0.81	0.81	1.50	0.72	17.75	0.98	33.48	
333.33	2.58	2.165	2.925	5.55	0.81	Iz(x)2	z (y)2	0.69	13.86	0.98	41.23	
333.33	3.44	3.025	3.785	7.64	0.81	0.81	1.50	0.53	19.09	0.98	23.23	43.07
333.33	4.3	3.885	4.645	10.08	0.81	0.00	6.00	0.38	25.19	0.98	12.51	
333.33	5.16	4.745	5.505	10.24	0.81	-0.21	2.12	0.23	25.60	0.98	7.31	
333.33	6.02	5.605	6.365	8.81	0.81	6.00	-5.57	0.07	22.02	0.98	2.67	
q[kPa]	<b>z</b> [m]	$\mathbf{z}(\mathbf{I}_{\mathbf{z}})[\mathbf{m}]$	<b>z</b> (q <sub>c</sub> ) [m]	<b>q</b> c [MPa]	Izp	$I_z(x)$ 1	<b>z</b> (y)1	Iz	E [Mpa]	Ci	i [m/MPa]	s <sub>tot</sub> [mm]
388.89	0.86	0.445	1.205	6.53	0.83	0.10	0.00	0.32	16.32	0.98	16.16	
388.89	1.72	1.305	2.065	7.10	0.83	0.83	1.50	0.74	17.75	0.98	34.51	
388.89	2.58	2.165	2.925	5.55	0.83	Iz(x)2	z (y)2	0.71	13.86	0.98	42.54	
388.89	3.44	3.025	3.785	7.64	0.83	0.83	1.50	0.55	19.09	0.98	23.96	52.19
388.89	4.3	3.885	4.645	10.08	0.83	0.00	6.00	0.39	25.19	0.98	12.91	
388.89	5.16	4.745	5.505	10.24	0.83	-0.20	2.04	0.23	25.60	0.98	7.54	
388.89	6.02	5.605	6.365	8.81	0.83	6.00	-5.40	0.07	22.02	0.98	2.76	
q[kPa]	<b>z</b> [m]	$\mathbf{z}(\mathbf{I}_{\mathbf{z}})[\mathbf{m}]$	<b>z</b> (q <sub>c</sub> ) [m]	<b>q</b> c [MPa]	Izp	$\mathbf{I}_{\mathbf{z}}(\mathbf{x})$ 1	<b>z</b> (y)1	Iz	E [Mpa]	C <sub>i</sub>	i [m/MPa]	s <sub>tot</sub> [mm]
444.44	0.86	0.445	1.205	6.53	0.86	0.10	0.00	0.32	16.32	0.99	16.52	
444.44	1.72	1.305	2.065	7.10	0.86	0.86	1.50	0.76	17.75	0.99	35.48	
444.44	2.58	2.165	2.925	5.55	0.86	Iz(x)2	z (y)2	0.73	13.86	0.99	43.75	
444.44	3.44	3.025	3.785	7.64	0.86	0.86	1.50	0.57	19.09	0.99	24.64	61.64
444.44	4.3	3.885	4.645	10.08	0.86	0.00	6.00	0.40	25.19	0.99	13.28	
444.44	5.16	4.745	5.505	10.24	0.86	-0.20	1.98	0.24	25.60	0.99	7.75	
444.44	6.02	5.605	6.365	8.81	0.86	6.00	-5.25	0.08	22.02	0.99	2.84	
q[kPa]	<b>z</b> [m]	$\mathbf{z}(\mathbf{I}_{z})[\mathbf{m}]$	<b>z</b> (q <sub>c</sub> ) [m]	<b>q</b> c [MPa]	Izp	$I_z(x)$ 1	<b>z</b> (y)1	Iz	E [Mpa]	Ci	i [m/MPa]	s <sub>tot</sub> [mm]
500	0.86	0.445	1.205	6.53	0.88	0.10	0.00	0.33	16.32	0.99	16.85	
500	1.72	1.305	2.065	7.10	0.88	0.88	1.50	0.78	17.75	0.99	36.38	
500	2.58	2.165	2.925	5.55	0.88	Iz(x)2	z (y)2	0.75	13.86	0.99	44.88	
500	3.44	3.025	3.785	7.64	0.88	0.88	1.50	0.58	19.09	0.99	25.28	71.41
500	4.3	3.885	4.645	10.08	0.88	0.00	6.00	0.41	25.19	0.99	13.62	
500	5.16	4.745	5.505	10.24	0.88	-0.19	1.92	0.25	25.60	0.99	7.95	
500	6.02	5.605	6.365	8.81	0.88	6.00	-5.12	0.08	22.02	0.99	2.91	
q[kPa]	<b>z</b> [m]	$\mathbf{z}(\mathbf{I}_{z})[\mathbf{m}]$	<b>z</b> (q <sub>c</sub> ) [m]	<b>q</b> c [MPa]	Izp	$I_z(x)$ 1	<b>z</b> (y)1	Iz	E [Mpa]	Ci	i [m/MPa]	s <sub>tot</sub> [mm]
555.56	0.86	0.445	1.205	6.53	0.90	0.10	0.00	0.34	16.32	0.99	17.17	
555.56	1.72	1.305	2.065	7.10	0.90	0.90	1.50	0.80	17.75	0.99	37.24	
555.56	2.58	2.165	2.925	5.55	0.90	Iz(x)2	z (y)2	0.77	13.86	0.99	45.95	
555.56	3.44	3.025	3.785	7.64	0.90	0.90	1.50	0.60	19.09	0.99	25.88	81.48
555.56	4.3	3.885	4.645	10.08	0.90	0.00	6.00	0.42	25.19	0.99	13.95	
555.56	5.16	4.745	5.505	10.24	0.90	-0.19	1.87	0.25	25.60	0.99	8.14	
555.56	6.02	5.605	6.365	8.81	0.90	6.00	-5.00	0.08	22.02	0.99	2.98	

q[kPa]	<b>z</b> [m]	$\mathbf{z}(\mathbf{I}_{z})[\mathbf{m}]$	<b>z</b> (q <sub>c</sub> ) [m]	<b>q</b> c [MPa]	Izp	$\mathbf{I}_{\mathbf{z}}(\mathbf{x})$ 1	<b>z</b> (y)1	Iz	E [Mpa]	Ci	i [m/MPa]	s <sub>tot</sub> [mm]
611.11	0.86	0.445	1.205	6.53	0.92	0.10	0.00	0.34	16.32	0.99	17.47	
611.11	1.72	1.305	2.065	7.10	0.92	0.92	1.50	0.81	17.75	0.99	38.05	
611.11	2.58	2.165	2.925	5.55	0.92	Iz(x)2	z (y)2	0.78	13.86	0.99	46.97	
611.11	3.44	3.025	3.785	7.64	0.92	0.92	1.50	0.61	19.09	0.99	26.46	91.82
611.11	4.3	3.885	4.645	10.08	0.92	0.00	6.00	0.43	25.19	0.99	14.26	
611.11	5.16	4.745	5.505	10.24	0.92	-0.18	1.83	0.26	25.60	0.99	8.32	
611.11	6.02	5.605	6.365	8.81	0.92	6.00	-4.89	0.08	22.02	0.99	3.05	
q[kPa]	<b>z</b> [m]	$\mathbf{z}(\mathbf{I}_{\mathbf{z}})[\mathbf{m}]$	<b>z</b> (q <sub>c</sub> ) [m]	<b>q</b> c [MPa]	Izp	$\mathbf{I}_{\mathbf{z}}(\mathbf{x})$ 1	<b>z</b> (y)1	Iz	E [Mpa]	Ci	i [m/MPa]	s <sub>tot</sub> [mm]
666.67	0.86	0.445	1.205	6.53	0.94	0.10	0.00	0.35	16.32	0.99	17.76	
666.67	1.72	1.305	2.065	7.10	0.94	0.94	1.50	0.83	17.75	0.99	38.82	
666.67	2.58	2.165	2.925	5.55	0.94	Iz(x)2	z (y)2	0.80	13.86	0.99	47.94	
666.67	3.44	3.025	3.785	7.64	0.94	0.94	1.50	0.62	19.09	0.99	27.01	102.43
666.67	4.3	3.885	4.645	10.08	0.94	0.00	6.00	0.44	25.19	0.99	14.55	
666.67	5.16	4.745	5.505	10.24	0.94	-0.18	1.79	0.26	25.60	0.99	8.49	
666.67	6.02	5.605	6.365	8.81	0.94	6.00	-4.79	0.08	22.02	0.99	3.11	
q[kPa]	<b>z</b> [m]	$\mathbf{z}(\mathbf{I}_{\mathbf{z}})[\mathbf{m}]$	<b>z</b> (q <sub>c</sub> ) [m]	<b>q</b> c [MPa]	I <sub>zp</sub>	$\mathbf{I_z}(\mathbf{x})$ 1	<b>z</b> (y)1	Iz	E [Mpa]	Ci	i [m/MPa]	s <sub>tot</sub> [mm]
722.22	0.86	0.445	1.205	6.53	0.96	0.10	0.00	0.35	16.32	0.99	18.03	
722.22	1.72	1.305	2.065	7.10	0.96	0.96	1.50	0.85	17.75	0.99	39.57	
722.22	2.58	2.165	2.925	5.55	0.96	Iz(x)2	z (y)2	0.82	13.86	0.99	48.87	
722.22	3.44	3.025	3.785	7.64	0.96	0.96	1.50	0.63	19.09	0.99	27.53	113.29
722.22	4.3	3.885	4.645	10.08	0.96	0.00	6.00	0.45	25.19	0.99	14.83	
722.22	5.16	4.745	5.505	10.24	0.96	-0.17	1.75	0.27	25.60	0.99	8.66	
722.22	6.02	5.605	6.365	8.81	0.96	6.00	-4.70	0.08	22.02	0.99	3.17	
q[kPa]	<b>z</b> [m]	$\mathbf{z}(\mathbf{I}_{z})[\mathbf{m}]$	<b>z</b> (q <sub>c</sub> ) [m]	q <sub>c</sub> [MPa]	Izp	$\mathbf{I}_{\mathbf{z}}(\mathbf{x})$ 1	<b>z</b> (y)1	Iz	E [Mpa]	Ci	i [m/MPa]	s <sub>tot</sub> [mm]
777.78	0.86	0.445	1.205	6.53	0.98	0.10	0.00	0.36	16.32	0.99	18.30	
777.78	1.72	1.305	2.065	7.10	0.98	0.98	1.50	0.86	17.75	0.99	40.28	
777.78	2.58	2.165	2.925	5.55	0.98	Iz(x)2	z (y)2	0.83	13.86	0.99	49.77	
777.78	3.44	3.025	3.785	7.64	0.98	0.98	1.50	0.64	19.09	0.99	28.04	124.40
777.78	4.3	3.885	4.645	10.08	0.98	0.00	6.00	0.46	25.19	0.99	15.10	
777.78	5.16	4.745	5.505	10.24	0.98	-0.17	1.71	0.27	25.60	0.99	8.82	
777.78	6.02	5.605	6.365	8.81	0.98	6.00	-4.61	0.09	22.02	0.99	3.23	
q[kPa]	<b>z</b> [m]	$\mathbf{z}(\mathbf{I}_{z})[\mathbf{m}]$	<b>z</b> (q <sub>c</sub> ) [m]	<b>q</b> c [MPa]	Izp	$\mathbf{I}_{\mathbf{z}}(\mathbf{x})$ 1	<b>z</b> (y)1	Iz	E [Mpa]	Ci	i [m/MPa]	s <sub>tot</sub> [mm]
833.33	0.86	0.445	1.205	6.53	0.99	0.10	0.00	0.36	16.32	0.99	18.55	
833.33	1.72	1.305	2.065	7.10	0.99	0.99	1.50	0.88	17.75	0.99	40.97	
833.33	2.58	2.165	2.925	5.55	0.99	Iz(x)2	z (y)2	0.85	13.86	0.99	50.63	
833.33	3.44	3.025	3.785	7.64	0.99	0.99	1.50	0.66	19.09	0.99	28.52	135.74
833.33	4.3	3.885	4.645	10.08	0.99	0.00	6.00	0.47	25.19	0.99	15.37	
833.33	5.16	4.745	5.505	10.24	0.99	-0.17	1.68	0.28	25.60	0.99	8.97	
833.33	6.02	5.605	6.365	8.81	0.99	6.00	-4.53	0.09	22.02	0.99	3.28	

q[kPa]	<b>z</b> [m]	$\mathbf{z}(\mathbf{I}_{z})[\mathbf{m}]$	<b>z</b> (q <sub>c</sub> ) [m]	<b>q</b> c [MPa]	Izp	$\mathbf{I}_{\mathbf{z}}(\mathbf{x})$ 1	<b>z</b> (y)1	Iz	E [Mpa]	Ci	i [m/MPa]	s <sub>tot</sub> [mm]
888.89	0.86	0.445	1.205	6.53	1.01	0.10	0.00	0.37	16.32	0.99	18.80	
888.89	1.72	1.305	2.065	7.10	1.01	1.01	1.50	0.89	17.75	0.99	41.64	
888.89	2.58	2.165	2.925	5.55	1.01	Iz(x)2	z (y)2	0.86	13.86	0.99	51.47	
888.89	3.44	3.025	3.785	7.64	1.01	1.01	1.50	0.67	19.09	0.99	28.99	147.31
888.89	4.3	3.885	4.645	10.08	1.01	0.00	6.00	0.47	25.19	0.99	15.62	
888.89	5.16	4.745	5.505	10.24	1.01	-0.17	1.65	0.28	25.60	0.99	9.12	
888.89	6.02	5.605	6.365	8.81	1.01	6.00	-4.46	0.09	22.02	0.99	3.34	
q[kPa]	z[m]	$\mathbf{z}(\mathbf{I}_{\mathbf{z}})[\mathbf{m}]$	<b>z</b> (q <sub>c</sub> ) [m]	<b>q</b> c [MPa]	Izp	$\mathbf{I_z}(\mathbf{x})$ 1	<b>z</b> (y)1	Iz	E [Mpa]	Ci	i [m/MPa]	s <sub>tot</sub> [mm]
944.44	0.86	0.445	1.205	6.53	1.02	0.10	0.00	0.37	16.32	0.99	19.04	
944.44	1.72	1.305	2.065	7.10	1.02	1.02	1.50	0.90	17.75	0.99	42.28	
944.44	2.58	2.165	2.925	5.55	1.02	Iz(x)2	z (y)2	0.87	13.86	0.99	52.28	
944.44	3.44	3.025	3.785	7.64	1.02	1.02	1.50	0.68	19.09	0.99	29.45	159.10
944.44	4.3	3.885	4.645	10.08	1.02	0.00	6.00	0.48	25.19	0.99	15.87	
944.44	5.16	4.745	5.505	10.24	1.02	-0.16	1.62	0.29	25.60	0.99	9.26	
944.44	6.02	5.605	6.365	8.81	1.02	6.00	-4.39	0.09	22.02	0.99	3.39	
q[kPa]	<b>z</b> [m]	$\mathbf{z}(\mathbf{I}_{z})[\mathbf{m}]$	<b>z</b> (q <sub>c</sub> ) [m]	<b>q</b> c [MPa]	Izp	$\mathbf{I}_{\mathbf{z}}(\mathbf{x})$ 1	<b>z</b> (y)1	Iz	E [Mpa]	Ci	i [m/MPa]	s <sub>tot</sub> [mm]
1000	0.86	0.445	1.205	6.53	1.04	0.10	0.00	0.38	16.32	0.99	19.27	
1000	1.72	1.305	2.065	7.10	1.04	1.04	1.50	0.92	17.75	0.99	42.91	
1000	2.58	2.165	2.925	5.55	1.04	Iz(x)2	z (y)2	0.89	13.86	0.99	53.06	
1000	3.44	3.025	3.785	7.64	1.04	1.04	1.50	0.69	19.09	0.99	29.89	171.10
1000	4.3	3.885	4.645	10.08	1.04	0.00	6.00	0.49	25.19	0.99	16.10	
1000	5.16	4.745	5.505	10.24	1.04	-0.16	1.60	0.29	25.60	0.99	9.40	
1000	6.02	5.605	6.365	8.81	1.04	6.00	-4.33	0.09	22.02	0.99	3.44	
q[kPa]	<b>z</b> [m]	$\mathbf{z}(\mathbf{I}_{z})[\mathbf{m}]$	<b>z</b> (q <sub>c</sub> ) [m]	<b>q</b> c [MPa]	Izp	$I_z(x)$ 1	<b>z</b> (y)1	Iz	E [Mpa]	Ci	i [m/MPa]	s <sub>tot</sub> [mm]
1055.6	0.86	0.445	1.205	6.53	1.05	0.10	0.00	0.38	16.32	0.99	19.27	
1055.6	1.72	1.305	2.065	7.10	1.05	1.05	1.50	0.92	17.75	0.99	42.91	
1055.6	2.58	2.165	2.925	5.55	1.05	Iz(x)2	z (y)2	0.89	13.86	0.99	53.06	
1055.6	3.44	3.025	3.785	7.64	1.05	1.05	1.50	0.69	19.09	0.99	29.89	180.77
1055.6	4.3	3.885	4.645	10.08	1.05	0.00	6.00	0.49	25.19	0.99	16.10	
1055.6	5.16	4.745	5.505	10.24	1.05	-0.16	1.57	0.29	25.60	0.99	9.40	
1055.6	6.02	5.605	6.365	8.81	1.05	6.00	-4.27	0.09	22.02	0.99	3.44	
q[kPa]	z[m]	$\mathbf{z}(\mathbf{I}_{z})[\mathbf{m}]$	<b>z</b> (q <sub>c</sub> ) [m]	<b>q</b> ₀ [MPa]	Izp	$\mathbf{I}_{\mathbf{z}}(\mathbf{x})$ 1	<b>z</b> (y)1	Iz	E [Mpa]	Ci	i [m/MPa]	s <sub>tot</sub> [mm]
1111.1	0.86	0.445	1.205	6.53	1.07	0.10	0.00	0.38	16.32	0.99	19.27	
1111.1	1.72	1.305	2.065	7.10	1.07	1.07	1.50	0.92	17.75	0.99	42.91	
1111.1	2.58	2.165	2.925	5.55	1.07	Iz(x)2	z (y)2	0.89	13.86	0.99	53.06	
1111.1	3.44	3.025	3.785	7.64	1.07	1.07	1.50	0.69	19.09	0.99	29.89	190.45
1111.1	4.3	3.885	4.645	10.08	1.07	0.00	6.00	0.49	25.19	0.99	16.10	
1111.1	5.16	4.745	5.505	10.24	1.07	-0.15	1.55	0.29	25.60	0.99	9.40	
1111.1	6.02	5.605	6.365	8.81	1.07	6.00	-4.21	0.09	22.02	0.99	3.44	

<b>B</b> [m]	L[m]	<b>∆h</b> [m]
3	3	0.86

q[kPa]	s <sub>tot</sub> [mm]
55.56	4.02
111.11	10.71
166.67	18.07
222.22	25.97
277.78	34.32
333.33	43.07
388.89	52.19

q[kPa]	s <sub>tot</sub> [mm]
444.44	61.64422
500	71.41206
555.55	81.4751
611.11	91.81771
666.66	102.4265
722.22	113.2899
777.77	124.3976

q[kPa]	s <sub>tot</sub> [mm]
833.33	135.7406
888.88	147.3107
944.44	159.1006
1000	171.1035
1055.5	180.7747
1111.1	190.4458

ALLEGATO 13: METODO DI SCHMERTMANN (1978)

<b>B</b> [m]	L[m]	<b>B</b> <sub>e</sub> [m]	I <sub>F</sub>	I <sub>G</sub>	$\mathbf{z}_{\mathbf{e}}[\mathbf{m}]$	v	IE	<b>q</b> <sub>c,med</sub> [MPa]	q[kPa]	S <sub>tot</sub> [mm]
1	1	1.128	0.785	0.785	0.76	0.2	0.88	6	100	4.90
									200	9.80
									300	14.70
									400	19.60
									500	24.50
									600	29.40
									700	34.30
									800	39.20
									900	44.10
									1000	49.00
									1100	53.90
									1200	58.80
									1300	63.70
									1400	68.60
									1500	73.50
									1600	78.40
									1700	83.30
									1800	88.20

<b>B</b> [m]	L[m]	$\mathbf{B}_{e}[m]$	I <sub>F</sub>	I <sub>G</sub>	$\mathbf{z}_{\mathbf{e}}[\mathbf{m}]$	v	IE	q <sub>c,med</sub> [MPa]	q[kPa]	S <sub>tot</sub> [mm]
3	3	3.38	0.78	0.78	0.76	0.2	0.88	7	55.56	7.00
									111.11	14.00
									166.67	21.00
									222.22	28.00
									277.78	35.00
									333.33	42.00
									388.89	49.00
									444.44	56.00
									500.00	63.00
									555.56	70.00
									611.11	77.00
									666.67	84.00
									722.22	91.00
									777.78	98.00
									833.33	105.00
									888.89	112.00
									944.44	119.00
									1000.00	126.00
									1055.56	133.00

### ALLEGATO 14: METODO DI MAYNE AND POULOS (1999)

q[kPa]	<b>z</b> [m]	<b>z (q</b> z)[m]	<b>z(q</b> c)[m]	q <sub>c</sub> [MPa]	E <sub>s</sub> [MPa]	q <sub>z</sub> [Mpa]	Ez	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
100	0.3	0.15	0.91	4.93	9.86	0.0756	0.0077	2.30	
100	0.6	0.45	1.21	6.55	13.11	0.0476	0.0036	1.09	
100	0.9	0.75	1.51	8.11	16.21	0.0327	0.0020	0.60	
100	1.2	1.05	1.81	7.56	15.13	0.0238	0.0016	0.47	5.47
100	1.5	1.35	2.11	7.02	14.04	0.0181	0.0013	0.39	
100	1.8	1.65	2.41	6.48	12.96	0.0142	0.0011	0.33	
100	2.1	1.95	2.71	5.93	11.87	0.0115	0.0010	0.29	
<b>q</b> [kPa]	<b>z</b> [m]	$z(q_z)[m]$	<b>z(q</b> c)[m]	q <sub>c</sub> [MPa]	E <sub>s</sub> [MPa]	q <sub>z</sub> [Mpa]	Ez	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
200	0.3	0.15	0.91	4.93	9.86	0.1512	0.0153	4.60	
200	0.6	0.45	1.21	6.55	13.11	0.0951	0.0073	2.18	
200	0.9	0.75	1.51	8.11	16.21	0.0653	0.0040	1.21	
200	1.2	1.05	1.81	7.56	15.13	0.0476	0.0031	0.94	10.95
200	1.5	1.35	2.11	7.02	14.04	0.0362	0.0026	0.77	
200	1.8	1.65	2.41	6.48	12.96	0.0285	0.0022	0.66	
200	2.1	1.95	2.71	5.93	11.87	0.0230	0.0019	0.58	

1111.11

140.00

q[kPa]	<b>z</b> [m]	$z(q_z)[m]$	<b>z(q</b> c)[m]	q <sub>c</sub> [MPa]	E <sub>s</sub> [MPa]	q <sub>z</sub> [Mpa]	Ez	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
300	0.3	0.15	0.91	4.93	9.86	0.2268	0.0230	6.90	
300	0.6	0.45	1.21	6.55	13.11	0.1427	0.0109	3.27	
300	0.9	0.75	1.51	8.11	16.21	0.0980	0.0060	1.81	
300	1.2	1.05	1.81	7.56	15.13	0.0714	0.0047	1.42	16.42
300	1.5	1.35	2.11	7.02	14.04	0.0543	0.0039	1.16	
300	1.8	1.65	2.41	6.48	12.96	0.0427	0.0033	0.99	
300	2.1	1.95	2.71	5.93	11.87	0.0345	0.0029	0.87	
q[kPa]	<b>z</b> [m]	<b>z(q</b> z)[m]	<b>z(q</b> c)[m]	q <sub>c</sub> [MPa]	E <sub>s</sub> [MPa]	q <sub>z</sub> [Mpa]	Ez	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
400	0.3	0.15	0.91	4.93	9.86	0.3025	0.0307	9.20	
400	0.6	0.45	1.21	6.55	13.11	0.1902	0.0145	4.35	
400	0.9	0.75	1.51	8.11	16.21	0.1306	0.0081	2.42	
400	1.2	1.05	1.81	7.56	15.13	0.0952	0.0063	1.89	21.89
400	1.5	1.35	2.11	7.02	14.04	0.0724	0.0052	1.55	
400	1.8	1.65	2.41	6.48	12.96	0.0570	0.0044	1.32	
400	2.1	1.95	2.71	5.93	11.87	0.0460	0.0039	1.16	
q[kPa]	<b>z</b> [m]	<b>z (q</b> z)[m]	<b>z(q</b> c)[m]	q <sub>c</sub> [MPa]	E <sub>s</sub> [MPa]	<b>q</b> <sub>z</sub> [Mpa]	Ez	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
500	0.3	0.15	0.91	4.93	9.86	0.3781	0.0384	11.51	
500	0.6	0.45	1.21	6.55	13.11	0.2378	0.0181	5.44	
500	0.9	0.75	1.51	8.11	16.21	0.1633	0.0101	3.02	
500	1.2	1.05	1.81	7.56	15.13	0.1190	0.0079	2.36	27.37
500	1.5	1.35	2.11	7.02	14.04	0.0905	0.0064	1.93	
500	1.8	1.65	2.41	6.48	12.96	0.0712	0.0055	1.65	
500	2.1	1.95	2.71	5.93	11.87	0.0575	0.0048	1.45	
q[kPa]	<b>z</b> [m]	<b>z (q</b> z)[m]	<b>z(q_c)</b> [m]	q <sub>c</sub> [MPa]	E <sub>s</sub> [MPa]	<b>q</b> <sub>z</sub> [Mpa]	Ez	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
600	0.3	0.15	0.91	4.93	9.86	0.4537	0.0460	13.81	
600	0.6	0.45	1.21	6.55	13.11	0.2854	0.0218	6.53	
600	0.9	0.75	1.51	8.11	16.21	0.1959	0.0121	3.63	
600	1.2	1.05	1.81	7.56	15.13	0.1428	0.0094	2.83	32.84
600	1.5	1.35	2.11	7.02	14.04	0.1086	0.0077	2.32	
600	1.8	1.65	2.41	6.48	12.96	0.0854	0.0066	1.98	
600	2.1	1.95	2.71	5.93	11.87	0.0689	0.0058	1.74	
q[kPa]	<b>z</b> [m]	<b>z (q</b> z)[m]	<b>z(q_c)</b> [m]	q <sub>c</sub> [MPa]	E <sub>s</sub> [MPa]	q <sub>z</sub> [Mpa]	Ez	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
700	0.3	0.15	0.91	4.93	9.86	0.5293	0.0537	16.11	
700	0.6	0.45	1.21	6.55	13.11	0.3329	0.0254	7.62	
700	0.9	0.75	1.51	8.11	16.21	0.2286	0.0141	4.23	
700	1.2	1.05	1.81	7.56	15.13	0.1666	0.0110	3.30	38.31
700	1.5	1.35	2.11	7.02	14.04	0.1268	0.0090	2.71	
700	1.8	1.65	2.41	6.48	12.96	0.0997	0.0077	2.31	
700	2.1	1.95	2.71	5.93	11.87	0.0804	0.0068	2.03	

q[kPa]	<b>z</b> [m]	$z(q_z)[m]$	<b>z(q</b> _)[m]	q <sub>c</sub> [MPa]	E <sub>s</sub> [MPa]	q <sub>z</sub> [Mpa]	Ez	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
800	0.3	0.15	0.91	4.93	9.86	0.6049	0.0614	18.41	
800	0.6	0.45	1.21	6.55	13.11	0.3805	0.0290	8.71	
800	0.9	0.75	1.51	8.11	16.21	0.2612	0.0161	4.83	
800	1.2	1.05	1.81	7.56	15.13	0.1904	0.0126	3.78	43.78
800	1.5	1.35	2.11	7.02	14.04	0.1449	0.0103	3.10	
800	1.8	1.65	2.41	6.48	12.96	0.1139	0.0088	2.64	
800	2.1	1.95	2.71	5.93	11.87	0.0919	0.0077	2.32	
q[kPa]	<b>z</b> [m]	<b>z (q</b> z)[m]	<b>z(q</b> c)[m]	qc[MPa]	E <sub>s</sub> [MPa]	q <sub>z</sub> [Mpa]	Ez	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
900	0.3	0.15	0.91	4.93	9.86	0.6805	0.0690	20.71	
900	0.6	0.45	1.21	6.55	13.11	0.4281	0.0327	9.80	
900	0.9	0.75	1.51	8.11	16.21	0.2939	0.0181	5.44	
900	1.2	1.05	1.81	7.56	15.13	0.2142	0.0142	4.25	49.26
900	1.5	1.35	2.11	7.02	14.04	0.1630	0.0116	3.48	
900	1.8	1.65	2.41	6.48	12.96	0.1282	0.0099	2.97	
900	2.1	1.95	2.71	5.93	11.87	0.1034	0.0087	2.61	
q[kPa]	<b>z</b> [m]	<b>z(q</b> z)[m]	<b>z(q</b> _)[m]	q <sub>c</sub> [MPa]	E <sub>s</sub> [MPa]	q <sub>z</sub> [Mpa]	Ez	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
1000	0.3	0.15	0.91	4.93	9.86	0.7561	0.0767	23.01	
1000	0.6	0.45	1.21	6.55	13.11	0.4756	0.0363	10.89	
1000	0.9	0.75	1.51	8.11	16.21	0.3265	0.0201	6.04	
1000	1.2	1.05	1.81	7.56	15.13	0.2380	0.0157	4.72	54.73
1000	1.5	1.35	2.11	7.02	14.04	0.1811	0.0129	3.87	
1000	1.8	1.65	2.41	6.48	12.96	0.1424	0.0110	3.30	
1000	2.1	1.95	2.71	5.93	11.87	0.1149	0.0097	2.90	
<b>q</b> [kPa]	<b>z</b> [m]	$z(q_z)[m]$	<b>z(q</b> _)[m]	qc[MPa]	E <sub>s</sub> [MPa]	q <sub>z</sub> [Mpa]	Ez	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
1100	0.3	0.15	0.91	4.93	9.86	0.8318	0.0844	25.31	
1100	0.6	0.45	1.21	6.55	13.11	0.5232	0.0399	11.97	
1100	0.9	0.75	1.51	8.11	16.21	0.3592	0.0222	6.65	
1100	1.2	1.05	1.81	7.56	15.13	0.2617	0.0173	5.19	60.20
1100	1.5	1.35	2.11	7.02	14.04	0.1992	0.0142	4.26	
1100	1.8	1.65	2.41	6.48	12.96	0.1566	0.0121	3.63	
1100	2.1	1.95	2.71	5.93	11.87	0.1264	0.0106	3.19	
<b>q</b> [kPa]	<b>z</b> [m]	<b>z(q</b> z)[m]	<b>z(q</b> c)[m]	qc[MPa]	E <sub>s</sub> [MPa]	q <sub>z</sub> [Mpa]	Ez	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
1200	0.3	0.15	0.91	4.93	9.86	0.9074	0.0920	27.61	
1200	0.6	0.45	1.21	6.55	13.11	0.5707	0.0435	13.06	
1200	0.9	0.75	1.51	8.11	16.21	0.3918	0.0242	7.25	
1200	1.2	1.05	1.81	7.56	15.13	0.2855	0.0189	5.66	65.68
1200	1.5	1.35	2.11	7.02	14.04	0.2173	0.0155	4.64	
1200	1.8	1.65	2.41	6.48	12.96	0.1709	0.0132	3.96	
1200	2.1	1.95	2.71	5.93	11.87	0.1379	0.0116	3.49	

q[kPa]	<b>z</b> [m]	<b>z(q</b> z)[m]	<b>z(q_c)</b> [m]	q <sub>c</sub> [MPa]	E <sub>s</sub> [MPa]	q <sub>z</sub> [Mpa]	Ez	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
1300	0.3	0.15	0.91	4.93	9.86	0.9830	0.0997	29.92	
1300	0.6	0.45	1.21	6.55	13.11	0.6183	0.0472	14.15	
1300	0.9	0.75	1.51	8.11	16.21	0.4245	0.0262	7.85	
1300	1.2	1.05	1.81	7.56	15.13	0.3093	0.0204	6.13	71.15
1300	1.5	1.35	2.11	7.02	14.04	0.2354	0.0168	5.03	
1300	1.8	1.65	2.41	6.48	12.96	0.1851	0.0143	4.29	
1300	2.1	1.95	2.71	5.93	11.87	0.1494	0.0126	3.78	
q[kPa]	<b>z</b> [m]	<b>z (q</b> z)[m]	<b>z(q</b> c)[m]	q <sub>c</sub> [MPa]	E <sub>s</sub> [MPa]	q <sub>z</sub> [Mpa]	Ez	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
1400	0.3	0.15	0.91	4.93	9.86	1.0586	0.1074	32.22	
1400	0.6	0.45	1.21	6.55	13.11	0.6659	0.0508	15.24	
1400	0.9	0.75	1.51	8.11	16.21	0.4571	0.0282	8.46	
1400	1.2	1.05	1.81	7.56	15.13	0.3331	0.0220	6.61	76.62
1400	1.5	1.35	2.11	7.02	14.04	0.2535	0.0181	5.42	
1400	1.8	1.65	2.41	6.48	12.96	0.1994	0.0154	4.62	
1400	2.1	1.95	2.71	5.93	11.87	0.1609	0.0136	4.07	
q[kPa]	<b>z</b> [m]	<b>z(q</b> z)[m]	<b>z(q</b> c)[m]	q <sub>c</sub> [MPa]	E <sub>s</sub> [MPa]	q <sub>z</sub> [Mpa]	Ez	s <sub>i</sub> [mm]	stot[mm]
1500	0.3	0.15	0.91	4.93	9.86	1.1342	0.1151	34.52	
1500	0.6	0.45	1.21	6.55	13.11	0.7134	0.0544	16.33	
1500	0.9	0.75	1.51	8.11	16.21	0.4898	0.0302	9.06	
1500	1.2	1.05	1.81	7.56	15.13	0.3569	0.0236	7.08	82.10
1500	1.5	1.35	2.11	7.02	14.04	0.2716	0.0193	5.80	
1500	1.8	1.65	2.41	6.48	12.96	0.2136	0.0165	4.95	
1500	2.1	1.95	2.71	5.93	11.87	0.1724	0.0145	4.36	
q[kPa]	<b>z</b> [m]	$z(q_z)[m]$	<b>z(q</b> c)[m]	q <sub>c</sub> [MPa]	E <sub>s</sub> [MPa]	q <sub>z</sub> [Mpa]	Ez	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
1600	0.3	0.15	0.91	4.93	9.86	1.2098	0.1227	36.82	
1600	0.6	0.45	1.21	6.55	13.11	0.7610	0.0581	17.42	
1600	0.9	0.75	1.51	8.11	16.21	0.5224	0.0322	9.67	
1600	1.2	1.05	1.81	7.56	15.13	0.3807	0.0252	7.55	87.57
1600	1.5	1.35	2.11	7.02	14.04	0.2897	0.0206	6.19	
1600	1.8	1.65	2.41	6.48	12.96	0.2278	0.0176	5.28	
1600	2.1	1.95	2.71	5.93	11.87	0.1839	0.0155	4.65	
q[kPa]	<b>z</b> [m]	<b>z(q</b> z)[m]	<b>z(q_c)</b> [m]	q <sub>c</sub> [MPa]	E <sub>s</sub> [MPa]	q <sub>z</sub> [Mpa]	Ez	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
1700	0.3	0.15	0.91	4.93	9.86	1.2854	0.1304	39.12	
1700	0.6	0.45	1.21	6.55	13.11	0.8086	0.0617	18.51	
1700	0.9	0.75	1.51	8.11	16.21	0.5551	0.0342	10.27	
1700	1.2	1.05	1.81	7.56	15.13	0.4045	0.0267	8.02	93.04
1700	1.5	1.35	2.11	7.02	14.04	0.3078	0.0219	6.58	
1700	1.8	1.65	2.41	6.48	12.96	0.2421	0.0187	5.61	
1700	2.1	1.95	2.71	5.93	11.87	0.1953	0.0165	4.94	

q[kPa]	<b>z</b> [m]	$z(q_z)[m]$	<b>z(q_)</b> [m]	q <sub>c</sub> [MPa]	E <sub>s</sub> [MPa]	q <sub>z</sub> [Mpa]	Ez	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
1800	0.3	0.15	0.91	4.93	9.86	1.3611	0.1381	41.42	
1800	0.6	0.45	1.21	6.55	13.11	0.8561	0.0653	19.59	
1800	0.9	0.75	1.51	8.11	16.21	0.5878	0.0363	10.88	
1800	1.2	1.05	1.81	7.56	15.13	0.4283	0.0283	8.49	98.51
1800	1.5	1.35	2.11	7.02	14.04	0.3259	0.0232	6.96	
1800	1.8	1.65	2.41	6.48	12.96	0.2563	0.0198	5.94	
1800	2.1	1.95	2.71	5.93	11.87	0.2068	0.0174	5.23	

<b>B</b> [m]	L[m]	<b>∆h</b> [m]
1	1	0.30

<b>q</b> [kPa]	S <sub>tot</sub> [mm]
100	5.47
200	10.95
300	16.42
400	21.89
500	27.37
600	32.84

S <sub>tot</sub> [mm]
38.31
43.78
49.26
54.73
60.20
65.68

q[kPa]	S <sub>tot</sub> [mm]
1300	71.15
1400	76.62
1500	82.10
1600	87.57
1700	93.04
1800	98.51

q[kPa]	<b>z</b> [m]	$z(q_z)[m]$	<b>z(q</b> c)[m]	q <sub>c</sub> [MPa]	E <sub>s</sub> [MPa]	q <sub>z</sub> [Mpa]	Ez	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
55.55	0.86	0.86	1.62	8.77	17.55	0.0336	0.0019	1.64	
55.55	1.72	1.72	2.48	6.35	12.70	0.0224	0.0018	1.52	
55.55	2.58	2.58	3.34	4.79	9.59	0.0161	0.0017	1.44	
55.55	3.44	3.44	4.2	8.81	17.63	0.0121	0.0007	0.59	6.21
55.55	4.3	4.3	5.06	11.25	22.51	0.0094	0.0004	0.36	
55.55	5.16	5.16	5.92	9.55	19.10	0.0075	0.0004	0.34	
55.55	6.02	6.02	6.78	8.11	16.23	0.0061	0.0004	0.33	
q[kPa]	<b>z</b> [m]	$z(q_z)[m]$	<b>z(q</b> c)[m]	q <sub>c</sub> [MPa]	E <sub>s</sub> [MPa]	q <sub>z</sub> [Mpa]	Ez	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
111.1	0.86	0.86	1.62	8.77	17.55	0.0671	0.0038	3.29	
111.1	1.72	1.72	2.48	6.35	12.70	0.0449	0.0035	3.04	
111.1	2.58	2.58	3.34	4.79	9.59	0.0321	0.0033	2.88	
111.1	3.44	3.44	4.2	8.81	17.63	0.0241	0.0014	1.18	12.43
111.1	4.3	4.3	5.06	11.25	22.51	0.0188	0.0008	0.72	
111.1	5.16	5.16	5.92	9.55	19.10	0.0150	0.0008	0.68	
111.1	6.02	6.02	6.78	8.11	16.23	0.0123	0.0008	0.65	

q[kPa]	<b>z</b> [m]	$z(q_z)[m]$	<b>z(q</b> c)[m]	q <sub>c</sub> [MPa]	E <sub>s</sub> [MPa]	q <sub>z</sub> [Mpa]	Ez	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
166.66	0.86	0.86	1.62	8.77	17.55	0.1007	0.0057	4.93	
166.66	1.72	1.72	2.48	6.35	12.70	0.0673	0.0053	4.56	
166.66	2.58	2.58	3.34	4.79	9.59	0.0482	0.0050	4.32	18.64
166.66	3.44	3.44	4.2	8.81	17.63	0.0362	0.0021	1.76	
166.66	4.3	4.3	5.06	11.25	22.51	0.0281	0.0013	1.08	
166.66	5.16	5.16	5.92	9.55	19.10	0.0225	0.0012	1.01	
166.66	6.02	6.02	6.78	8.11	16.23	0.0184	0.0011	0.98	
q[kPa]	<b>z</b> [m]	$z(q_z)[m]$	<b>z(q</b> c)[m]	q <sub>c</sub> [MPa]	E <sub>s</sub> [MPa]	q <sub>z</sub> [Mpa]	Ez	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
222.22	0.86	0.86	1.62	8.77	17.55	0.1342	0.0076	6.58	
222.22	1.72	1.72	2.48	6.35	12.70	0.0898	0.0071	6.08	
222.22	2.58	2.58	3.34	4.79	9.59	0.0642	0.0067	5.76	
222.22	3.44	3.44	4.2	8.81	17.63	0.0482	0.0027	2.35	24.86
222.22	4.3	4.3	5.06	11.25	22.51	0.0375	0.0017	1.43	
222.22	5.16	5.16	5.92	9.55	19.10	0.0300	0.0016	1.35	
222.22	6.02	6.02	6.78	8.11	16.23	0.0246	0.0015	1.30	
q[kPa]	<b>z</b> [m]	$z(q_z)[m]$	<b>z(q</b> c)[m]	q <sub>c</sub> [MPa]	E <sub>s</sub> [MPa]	q <sub>z</sub> [Mpa]	Ez	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
277.77	0.86	0.86	1.62	8.77	17.55	0.1678	0.0096	8.22	
277.77	1.72	1.72	2.48	6.35	12.70	0.1122	0.0088	7.60	
277.77	2.58	2.58	3.34	4.79	9.59	0.0803	0.0084	7.20	
277.77	3.44	3.44	4.2	8.81	17.63	0.0603	0.0034	2.94	31.07
277.77	4.3	4.3	5.06	11.25	22.51	0.0469	0.0021	1.79	
277.77	5.16	5.16	5.92	9.55	19.10	0.0375	0.0020	1.69	
277.77	6.02	6.02	6.78	8.11	16.23	0.0307	0.0019	1.63	
q[kPa]	<b>z</b> [m]	$z(q_z)[m]$	<b>z(q</b> c)[m]	q <sub>c</sub> [MPa]	E <sub>s</sub> [MPa]	q <sub>z</sub> [Mpa]	Ez	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
333.33	0.86	0.86	1.62	8.77	17.55	0.2013	0.0115	9.87	
333.33	1.72	1.72	2.48	6.35	12.70	0.1347	0.0106	9.12	
333.33	2.58	2.58	3.34	4.79	9.59	0.0964	0.0100	8.64	
333.33	3.44	3.44	4.2	8.81	17.63	0.0723	0.0041	3.53	37.29
333.33	4.3	4.3	5.06	11.25	22.51	0.0563	0.0025	2.15	
333.33	5.16	5.16	5.92	9.55	19.10	0.0451	0.0024	2.03	
333.33	6.02	6.02	6.78	8.11	16.23	0.0369	0.0023	1.95	
q[kPa]	<b>z</b> [m]	$z(q_z)[m]$	<b>z(q</b> c)[m]	qc[MPa]	E <sub>s</sub> [MPa]	q <sub>z</sub> [Mpa]	Ez	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
388.88	0.86	0.86	1.62	8.77	17.55	0.2349	0.0134	11.51	
388.88	1.72	1.72	2.48	6.35	12.70	0.1571	0.0124	10.64	
388.88	2.58	2.58	3.34	4.79	9.59	0.1124	0.0117	10.08	
388.88	3.44	3.44	4.2	8.81	17.63	0.0844	0.0048	4.12	43.50
388.88	4.3	4.3	5.06	11.25	22.51	0.0657	0.0029	2.51	
388.88	5.16	5.16	5.92	9.55	19.10	0.0526	0.0028	2.37	1
388.88	6.02	6.02	6.78	8.11	16.23	0.0430	0.0027	2.28	

q[kPa]	<b>z</b> [m]	$z(q_z)[m]$	<b>z(q</b> c)[m]	q <sub>c</sub> [MPa]	E <sub>s</sub> [MPa]	q <sub>z</sub> [Mpa]	Ez	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
444.44	0.86	0.86	1.62	8.77	17.55	0.2685	0.0153	13.16	
444.44	1.72	1.72	2.48	6.35	12.70	0.1795	0.0141	12.16	
444.44	2.58	2.58	3.34	4.79	9.59	0.1285	0.0134	11.52	
444.44	3.44	3.44	4.2	8.81	17.63	0.0964	0.0055	4.70	49.72
444.44	4.3	4.3	5.06	11.25	22.51	0.0751	0.0033	2.87	
444.44	5.16	5.16	5.92	9.55	19.10	0.0601	0.0031	2.70	
444.44	6.02	6.02	6.78	8.11	16.23	0.0492	0.0030	2.61	
q[kPa]	<b>z</b> [m]	$z(q_z)[m]$	<b>z(q</b> c)[m]	qc[MPa]	E <sub>s</sub> [MPa]	q <sub>z</sub> [Mpa]	Ez	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
500	0.86	0.86	1.62	8.77	17.55	0.3020	0.0172	14.80	
500	1.72	1.72	2.48	6.35	12.70	0.2020	0.0159	13.68	
500	2.58	2.58	3.34	4.79	9.59	0.1445	0.0151	12.96	
500	3.44	3.44	4.2	8.81	17.63	0.1085	0.0062	5.29	55.93
500	4.3	4.3	5.06	11.25	22.51	0.0844	0.0038	3.23	
500	5.16	5.16	5.92	9.55	19.10	0.0676	0.0035	3.04	
500	6.02	6.02	6.78	8.11	16.23	0.0553	0.0034	2.93	
q[kPa]	<b>z</b> [m]	$z(q_z)[m]$	<b>z(q</b> c)[m]	qc[MPa]	E <sub>s</sub> [MPa]	q <sub>z</sub> [Mpa]	Ez	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
555.55	0.86	0.86	1.62	8.77	17.55	0.3356	0.0191	16.45	
555.55	1.72	1.72	2.48	6.35	12.70	0.2244	0.0177	15.20	
555.55	2.58	2.58	3.34	4.79	9.59	0.1606	0.0167	14.40	
555.55	3.44	3.44	4.2	8.81	17.63	0.1206	0.0068	5.88	62.15
555.55	4.3	4.3	5.06	11.25	22.51	0.0938	0.0042	3.58	
555.55	5.16	5.16	5.92	9.55	19.10	0.0751	0.0039	3.38	
555.55	6.02	6.02	6.78	8.11	16.23	0.0615	0.0038	3.26	
q[kPa]	<b>z</b> [m]	$z(q_z)[m]$	<b>z(q</b> c)[m]	qc[MPa]	E <sub>s</sub> [MPa]	q <sub>z</sub> [Mpa]	Ez	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
611.11	0.86	0.86	1.62	8.77	17.55	0.3691	0.0210	18.09	
611.11	1.72	1.72	2.48	6.35	12.70	0.2469	0.0194	16.72	
611.11	2.58	2.58	3.34	4.79	9.59	0.1766	0.0184	15.84	
611.11	3.44	3.44	4.2	8.81	17.63	0.1326	0.0075	6.47	68.36
611.11	4.3	4.3	5.06	11.25	22.51	0.1032	0.0046	3.94	
611.11	5.16	5.16	5.92	9.55	19.10	0.0826	0.0043	3.72	
611.11	6.02	6.02	6.78	8.11	16.23	0.0676	0.0042	3.58	
q[kPa]	<b>z</b> [m]	$z(q_z)[m]$	<b>z(q</b> c)[m]	qc[MPa]	E <sub>s</sub> [MPa]	q <sub>z</sub> [Mpa]	Ez	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
666.66	0.86	0.86	1.62	8.77	17.55	0.4027	0.0229	19.73	
666.66	1.72	1.72	2.48	6.35	12.70	0.2693	0.0212	18.23	
666.66	2.58	2.58	3.34	4.79	9.59	0.1927	0.0201	17.28	
666.66	3.44	3.44	4.2	8.81	17.63	0.1447	0.0082	7.06	74.58
666.66	4.3	4.3	5.06	11.25	22.51	0.1126	0.0050	4.30	
666.66	5.16	5.16	5.92	9.55	19.10	0.0901	0.0047	4.06	
666.66	6.02	6.02	6.78	8.11	16.23	0.0737	0.0045	3.91	

q[kPa]	<b>z</b> [m]	$z(q_z)[m]$	<b>z(q</b> c)[m]	q <sub>c</sub> [MPa]	E <sub>s</sub> [MPa]	q <sub>z</sub> [Mpa]	Ez	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
722.22	0.86	0.86	1.62	8.77	17.55	0.4363	0.0249	21.38	
722.22	1.72	1.72	2.48	6.35	12.70	0.2918	0.0230	19.75	
722.22	2.58	2.58	3.34	4.79	9.59	0.2088	0.0218	18.72	
722.22	3.44	3.44	4.2	8.81	17.63	0.1567	0.0089	7.65	80.79
722.22	4.3	4.3	5.06	11.25	22.51	0.1220	0.0054	4.66	
722.22	5.16	5.16	5.92	9.55	19.10	0.0976	0.0051	4.40	
722.22	6.02	6.02	6.78	8.11	16.23	0.0799	0.0049	4.23	
q[kPa]	<b>z</b> [m]	$z(q_z)[m]$	<b>z(q</b> c)[m]	q <sub>c</sub> [MPa]	E <sub>s</sub> [MPa]	q <sub>z</sub> [Mpa]	Ez	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
777.77	0.86	0.86	1.62	8.77	17.55	0.4698	0.0268	23.02	
777.77	1.72	1.72	2.48	6.35	12.70	0.3142	0.0247	21.27	
777.77	2.58	2.58	3.34	4.79	9.59	0.2248	0.0234	20.16	
777.77	3.44	3.44	4.2	8.81	17.63	0.1688	0.0096	8.23	87.01
777.77	4.3	4.3	5.06	11.25	22.51	0.1314	0.0058	5.02	
777.77	5.16	5.16	5.92	9.55	19.10	0.1051	0.0055	4.73	
777.77	6.02	6.02	6.78	8.11	16.23	0.0860	0.0053	4.56	
q[kPa]	<b>z</b> [m]	$z(q_z)[m]$	<b>z(q</b> c)[m]	q <sub>c</sub> [MPa]	E <sub>s</sub> [MPa]	q <sub>z</sub> [Mpa]	Ez	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
833.33	0.86	0.86	1.62	8.77	17.55	0.5034	0.0287	24.67	
833.33	1.72	1.72	2.48	6.35	12.70	0.3366	0.0265	22.79	
833.33	2.58	2.58	3.34	4.79	9.59	0.2409	0.0251	21.60	
833.33	3.44	3.44	4.2	8.81	17.63	0.1808	0.0103	8.82	93.22
833.33	4.3	4.3	5.06	11.25	22.51	0.1407	0.0063	5.38	
833.33	5.16	5.16	5.92	9.55	19.10	0.1126	0.0059	5.07	
833.33	6.02	6.02	6.78	8.11	16.23	0.0922	0.0057	4.88	
q[kPa]	<b>z</b> [m]	$z(q_z)[m]$	<b>z(q</b> c)[m]	q <sub>c</sub> [MPa]	E <sub>s</sub> [MPa]	q <sub>z</sub> [Mpa]	Ez	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
888.88	0.86	0.86	1.62	8.77	17.55	0.5369	0.0306	26.31	
888.88	1.72	1.72	2.48	6.35	12.70	0.3591	0.0283	24.31	
888.88	2.58	2.58	3.34	4.79	9.59	0.2569	0.0268	23.04	
888.88	3.44	3.44	4.2	8.81	17.63	0.1929	0.0109	9.41	99.44
888.88	4.3	4.3	5.06	11.25	22.51	0.1501	0.0067	5.74	
888.88	5.16	5.16	5.92	9.55	19.10	0.1201	0.0063	5.41	
888.88	6.02	6.02	6.78	8.11	16.23	0.0983	0.0061	5.21	
q[kPa]	<b>z</b> [m]	$z(q_z)[m]$	<b>z(q</b> c)[m]	q <sub>c</sub> [MPa]	E <sub>s</sub> [MPa]	q <sub>z</sub> [Mpa]	Ez	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
944.44	0.86	0.86	1.62	8.77	17.55	0.5705	0.0325	27.96	
944.44	1.72	1.72	2.48	6.35	12.70	0.3815	0.0300	25.83	
944.44	2.58	2.58	3.34	4.79	9.59	0.2730	0.0285	24.48	
944.44	3.44	3.44	4.2	8.81	17.63	0.2049	0.0116	10.00	105.65
944.44	4.3	4.3	5.06	11.25	22.51	0.1595	0.0071	6.09	
944.44	5.16	5.16	5.92	9.55	19.10	0.1277	0.0067	5.75	1
944.44	6.02	6.02	6.78	8.11	16.23	0.1045	0.0064	5.54	
q[kPa]	<b>z</b> [m]	$z(q_z)[m]$	<b>z(q</b> c)[m]	q <sub>c</sub> [MPa]	E <sub>s</sub> [MPa]	q <sub>z</sub> [Mpa]	Ez	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
---------	--------------	-------------	------------------	----------------------	----------------------	----------------------	--------	---------------------	-----------------------
1000	0.86	0.86	1.62	8.77	17.55	0.6040	0.0344	29.60	
1000	1.72	1.72	2.48	6.35	12.70	0.4040	0.0318	27.35	
1000	2.58	2.58	3.34	4.79	9.59	0.2891	0.0301	25.92	
1000	3.44	3.44	4.2	8.81	17.63	0.2170	0.0123	10.59	111.87
1000	4.3	4.3	5.06	11.25	22.51	0.1689	0.0075	6.45	
1000	5.16	5.16	5.92	9.55	19.10	0.1352	0.0071	6.09	
1000	6.02	6.02	6.78	8.11	16.23	0.1106	0.0068	5.86	
q[kPa]	<b>z</b> [m]	$z(q_z)[m]$	<b>z(q</b> c)[m]	qc[MPa]	E <sub>s</sub> [MPa]	q <sub>z</sub> [Mpa]	Ez	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
1055.5	0.86	0.86	1.62	8.77	17.55	0.6376	0.0363	31.25	
1055.5	1.72	1.72	2.48	6.35	12.70	0.4264	0.0336	28.87	
1055.5	2.58	2.58	3.34	4.79	9.59	0.3051	0.0318	27.36	
1055.5	3.44	3.44	4.2	8.81	17.63	0.2291	0.0130	11.17	118.08
1055.5	4.3	4.3	5.06	11.25	22.51	0.1783	0.0079	6.81	
1055.5	5.16	5.16	5.92	9.55	19.10	0.1427	0.0075	6.42	
1055.5	6.02	6.02	6.78	8.11	16.23	0.1168	0.0072	6.19	
q[kPa]	<b>z</b> [m]	$z(q_z)[m]$	<b>z(q</b> c)[m]	qc[MPa]	E <sub>s</sub> [MPa]	q <sub>z</sub> [Mpa]	Ez	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
1111.11	0.86	0.86	1.62	8.77	17.55	0.6712	0.0382	32.89	
1111.11	1.72	1.72	2.48	6.35	12.70	0.4489	0.0353	30.39	
1111.11	2.58	2.58	3.34	4.79	9.59	0.3212	0.0335	28.80	
1111.11	3.44	3.44	4.2	8.81	17.63	0.2411	0.0137	11.76	124.29
1111.11	4.3	4.3	5.06	11.25	22.51	0.1877	0.0083	7.17	
1111.11	5.16	5.16	5.92	9.55	19.10	0.1502	0.0079	6.76	
1111.11	6.02	6.02	6.78	8.11	16.23	0.1229	0.0076	6.51	

<b>B</b> [m]	L[m]	<b>∆h</b> [m]
3	3	0.86

q[kPa]	S <sub>tot</sub> [mm]
55.56	6.21
111.11	12.43
166.67	18.64
222.22	24.86
277.78	31.07
333.33	37.29
388.89	43.50

q[kPa]	Stot[mm]
444.44	49.72
500.00	55.93
555.56	62.15
611.11	68.36
666.67	74.58
722.22	80.79
777.78	87.01

q[kPa]	Stot[mm]
833.33	93.22
888.89	99.44
944.44	105.65
1000.00	111.87
1055.56	118.08
1111.11	124.29

ALLEGATO 15: METODO CANADIAN FOUNDATION MANUAL (1975, 1985, 1992)

<b>g</b> [kPa]	$\mathbf{z}[\mathbf{m}]$	<b>z (∆σ</b> )[m]	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	<b>∆</b> σ[kPa]	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
100	0.3	0.15	0.522	0.522	0.723	98.188	0.415	
100	0.6	0.45	0.673	0.673	0.838	75.032	0.317	
100	0.9	0.75	0.901	0.901	1.031	48.417	0.204	
100	1.2	1.05	1.163	1.163	1.266	31.357	0.132	1.270
100	1.5	1.35	1.440	1.440	1.524	21.304	0.090	
100	1.8	1.65	1.724	1.724	1.795	15.203	0.064	
100	2.1	1.95	2.013	2.013	2.074	11.314	0.048	
<b>q</b> [kPa]	<b>z</b> [m]	<b>z (∆σ)</b> [m]	<b>R</b> 1	<b>R</b> <sub>2</sub>	<b>R</b> <sub>3</sub>	∆σ[kPa]	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
200	0.3	0.15	0.522	0.522	0.723	196.376	0.829	
200	0.6	0.45	0.673	0.673	0.838	150.064	0.634	
200	0.9	0.75	0.901	0.901	1.031	96.833	0.409	
200	1.2	1.05	1.163	1.163	1.266	62.713	0.265	2.540
200	1.5	1.35	1.440	1.440	1.524	42.607	0.180	
200	1.8	1.65	1.724	1.724	1.795	30.407	0.128	
200	2.1	1.95	2.013	2.013	2.074	22.628	0.096	
q[kPa]	<b>z</b> [m]	<b>z (Δσ</b> )[m]	<b>R</b> 1	<b>R</b> <sub>2</sub>	<b>R</b> <sub>3</sub>	∆σ[kPa]	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
300	0.3	0.15	0.522	0.522	0.723	294.564	1.244	
300	0.6	0.45	0.673	0.673	0.838	225.096	0.951	
300	0.9	0.75	0.901	0.901	1.031	145.250	0.613	
300	1.2	1.05	1.163	1.163	1.266	94.070	0.397	3.811
300	1.5	1.35	1.440	1.440	1.524	63.911	0.270	
300	1.8	1.65	1.724	1.724	1.795	45.610	0.193	
300	2.1	1.95	2.013	2.013	2.074	33.942	0.143	
<b>q</b> [kPa]	<b>z</b> [m]	<b>z (Δσ</b> )[m]	<b>R</b> <sub>1</sub>	<b>R</b> <sub>2</sub>	<b>R</b> <sub>3</sub>	<b>∆</b> σ[kPa]	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
400	0.3	0.15	0.522	0.522	0.723	392.753	1.658	
400	0.6	0.45	0.673	0.673	0.838	300.128	1.267	
400	0.9	0.75	0.901	0.901	1.031	193.666	0.818	
400	1.2	1.05	1.163	1.163	1.266	125.426	0.530	5.081
400	1.5	1.35	1.440	1.440	1.524	85.214	0.360	
400	1.8	1.65	1.724	1.724	1.795	60.813	0.257	
400	2.1	1.95	2.013	2.013	2.074	45.256	0.191	
<b>q</b> [kPa]	<b>z</b> [m]	<b>z (Δσ</b> )[m]	<b>R</b> <sub>1</sub>	<b>R</b> <sub>2</sub>	<b>R</b> <sub>3</sub>	∆σ[kPa]	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
500	0.3	0.15	0.522	0.522	0.723	490.941	2.073	
500	0.6	0.45	0.673	0.673	0.838	375.159	1.584	
500	0.9	0.75	0.901	0.901	1.031	242.083	1.022	
500	1.2	1.05	1.163	1.163	1.266	156.783	0.662	6.351
500	1.5	1.35	1.440	1.440	1.524	106.518	0.450	
500	1.8	1.65	1.724	1.724	1.795	76.017	0.321	
500	2.1	1.95	2.013	2.013	2.074	56.570	0.239	

q[kPa]	<b>z</b> [m]	<b>z (Δσ</b> )[m]	R <sub>1</sub>	<b>R</b> <sub>2</sub>	<b>R</b> <sub>3</sub>	<b>∆σ</b> [kPa]	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
600	0.3	0.15	0.522	0.522	0.723	589.129	2.488	
600	0.6	0.45	0.673	0.673	0.838	450.191	1.901	
600	0.9	0.75	0.901	0.901	1.031	290.499	1.227	
600	1.2	1.05	1.163	1.163	1.266	188.139	0.794	7.621
600	1.5	1.35	1.440	1.440	1.524	127.821	0.540	
600	1.8	1.65	1.724	1.724	1.795	91.220	0.385	
600	2.1	1.95	2.013	2.013	2.074	67.884	0.287	
q[kPa]	z[m]	<b>z (Δσ</b> )[m]	R <sub>1</sub>	<b>R</b> <sub>2</sub>	<b>R</b> <sub>3</sub>	<b>∆</b> σ[kPa]	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
700	0.3	0.15	0.522	0.522	0.723	687.317	2.902	
700	0.6	0.45	0.673	0.673	0.838	525.223	2.218	
700	0.9	0.75	0.901	0.901	1.031	338.916	1.431	
700	1.2	1.05	1.163	1.163	1.266	219.496	0.927	8.892
700	1.5	1.35	1.440	1.440	1.524	149.125	0.630	
700	1.8	1.65	1.724	1.724	1.795	106.423	0.449	
700	2.1	1.95	2.013	2.013	2.074	79.198	0.334	
q[kPa]	<b>z</b> [m]	<b>z (Δσ</b> )[m]	R <sub>1</sub>	<b>R</b> <sub>2</sub>	<b>R</b> <sub>3</sub>	<b>∆</b> σ[kPa]	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
800	0.3	0.15	0.522	0.522	0.723	785.505	3.317	
800	0.6	0.45	0.673	0.673	0.838	600.255	2.535	
800	0.9	0.75	0.901	0.901	1.031	387.332	1.636	
800	1.2	1.05	1.163	1.163	1.266	250.853	1.059	10.162
800	1.5	1.35	1.440	1.440	1.524	170.428	0.720	
800	1.8	1.65	1.724	1.724	1.795	121.626	0.514	
800	2.1	1.95	2.013	2.013	2.074	90.512	0.382	
<b>q</b> [kPa]	<b>z</b> [m]	<b>z (∆σ)</b> [m]	R <sub>1</sub>	<b>R</b> <sub>2</sub>	<b>R</b> <sub>3</sub>	<b>∆</b> σ[kPa]	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
900	0.3	0.15	0.522	0.522	0.723	883.693	3.732	
900	0.6	0.45	0.673	0.673	0.838	675.287	2.852	
900	0.9	0.75	0.901	0.901	1.031	435.749	1.840	
900	1.2	1.05	1.163	1.163	1.266	282.209	1.192	11.432
900	1.5	1.35	1.440	1.440	1.524	191.732	0.810	
900	1.8	1.65	1.724	1.724	1.795	136.830	0.578	
900	2.1	1.95	2.013	2.013	2.074	101.826	0.430	
q[kPa]	<b>z</b> [m]	<b>z (Δσ</b> )[m]	R <sub>1</sub>	<b>R</b> <sub>2</sub>	<b>R</b> <sub>3</sub>	<b>∆</b> σ[kPa]	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
1000	0.3	0.15	0.522	0.522	0.723	981.882	4.146	
1000	0.6	0.45	0.673	0.673	0.838	750.319	3.168	
1000	0.9	0.75	0.901	0.901	1.031	484.165	2.044	
1000	1.2	1.05	1.163	1.163	1.266	313.566	1.324	12.702
1000	1.5	1.35	1.440	1.440	1.524	213.035	0.900	
1000	1.8	1.65	1.724	1.724	1.795	152.033	0.642	
1000	2.1	1.95	2.013	2.013	2.074	113.140	0.478	

<b>q</b> [kPa]	<b>z</b> [m]	<b>z (∆σ)</b> [m]	<b>R</b> <sub>1</sub>	<b>R</b> <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	<b>∆</b> σ[kPa]	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
1100	0.3	0.15	0.522	0.522	0.723	1080.070	4.561	
1100	0.6	0.45	0.673	0.673	0.838	825.351	3.485	
1100	0.9	0.75	0.901	0.901	1.031	532.582	2.249	
1100	1.2	1.05	1.163	1.163	1.266	344.922	1.456	13.973
1100	1.5	1.35	1.440	1.440	1.524	234.339	0.990	
1100	1.8	1.65	1.724	1.724	1.795	167.236	0.706	
1100	2.1	1.95	2.013	2.013	2.074	124.454	0.526	
<b>q</b> [kPa]	<b>z</b> [m]	<b>z (Δσ</b> )[m]	<b>R</b> 1	<b>R</b> <sub>2</sub>	<b>R</b> <sub>3</sub>	<b>∆</b> σ[kPa]	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
1200	0.3	0.15	0.522	0.522	0.723	1178.258	4.975	
1200	0.6	0.45	0.673	0.673	0.838	900.383	3.802	
1200	0.9	0.75	0.901	0.901	1.031	580.998	2.453	
1200	1.2	1.05	1.163	1.163	1.266	376.279	1.589	15.243
1200	1.5	1.35	1.440	1.440	1.524	255.642	1.079	
1200	1.8	1.65	1.724	1.724	1.795	182.440	0.770	
1200	2.1	1.95	2.013	2.013	2.074	135.768	0.573	
<b>q</b> [kPa]	<b>z</b> [m]	<b>z (Δσ</b> )[m]	<b>R</b> <sub>1</sub>	<b>R</b> <sub>2</sub>	<b>R</b> <sub>3</sub>	<b>∆</b> σ[kPa]	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
1300	0.3	0.15	0.522	0.522	0.723	1276.446	5.390	
1300	0.6	0.45	0.673	0.673	0.838	975.415	4.119	
1300	0.9	0.75	0.901	0.901	1.031	629.415	2.658	
1300	1.2	1.05	1.163	1.163	1.266	407.635	1.721	16.513
1300	1.5	1.35	1.440	1.440	1.524	276.946	1.169	
1300	1.8	1.65	1.724	1.724	1.795	197.643	0.835	
1300	2.1	1.95	2.013	2.013	2.074	147.082	0.621	
<b>q</b> [kPa]	<b>z</b> [m]	<b>z (Δσ</b> )[m]	<b>R</b> <sub>1</sub>	<b>R</b> <sub>2</sub>	<b>R</b> <sub>3</sub>	∆σ[kPa]	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
1400	0.3	0.15	0.522	0.522	0.723	1374.634	5.805	
1400	0.6	0.45	0.673	0.673	0.838	1050.446	4.436	
1400	0.9	0.75	0.901	0.901	1.031	677.831	2.862	
1400	1.2	1.05	1.163	1.163	1.266	438.992	1.854	17.783
1400	1.5	1.35	1.440	1.440	1.524	298.249	1.259	
1400	1.8	1.65	1.724	1.724	1.795	212.846	0.899	
1400	2.1	1.95	2.013	2.013	2.074	158.396	0.669	
<b>q</b> [kPa]	<b>z</b> [m]	<b>z (∆</b> σ)[m]	$\mathbf{R}_1$	$\mathbf{R}_2$	<b>R</b> <sub>3</sub>	<b>∆</b> σ[kPa]	s <sub>i</sub> [mm]	stot [mm]
1500								
1500	0.3	0.15	0.522	0.522	0.723	1472.822	6.219	
1500	0.3	0.15 0.45	0.522 0.673	0.522 0.673	0.723 0.838	1472.822 1125.478	6.219 4.753	
1500 1500	0.3 0.6 0.9	0.15 0.45 0.75	0.522 0.673 0.901	0.522 0.673 0.901	0.723 0.838 1.031	1472.822 1125.478 726.248	6.219 4.753 3.067	
1500 1500 1500	0.3 0.6 0.9 1.2	0.15 0.45 0.75 1.05	0.522 0.673 0.901 1.163	0.522 0.673 0.901 1.163	0.723 0.838 1.031 1.266	1472.822 1125.478 726.248 470.349	6.219 4.753 3.067 1.986	19.053
1500 1500 1500 1500	0.3 0.6 0.9 1.2 1.5	0.15 0.45 0.75 1.05 1.35	0.522 0.673 0.901 1.163 1.440	0.522 0.673 0.901 1.163 1.440	0.723 0.838 1.031 1.266 1.524	1472.822 1125.478 726.248 470.349 319.553	6.219 4.753 3.067 1.986 1.349	19.053
1500 1500 1500 1500 1500	0.3 0.6 0.9 1.2 1.5 1.8	0.15 0.45 0.75 1.05 1.35 1.65	0.522 0.673 0.901 1.163 1.440 1.724	0.522 0.673 0.901 1.163 1.440 1.724	0.723 0.838 1.031 1.266 1.524 1.795	1472.822           1125.478           726.248           470.349           319.553           228.050	6.219           4.753           3.067           1.986           1.349           0.963	19.053
1500           1500           1500           1500           1500           1500           1500           1500	0.3 0.6 0.9 1.2 1.5 1.8 2.1	0.15 0.45 0.75 1.05 1.35 1.65 1.95	0.522 0.673 0.901 1.163 1.440 1.724 2.013	0.522 0.673 0.901 1.163 1.440 1.724 2.013	0.723 0.838 1.031 1.266 1.524 1.795 2.074	1472.822 1125.478 726.248 470.349 319.553 228.050 169.710	6.219           4.753           3.067           1.986           1.349           0.963           0.717	19.053
1500 1500 1500 1500 1500	0.3 0.6 0.9 1.2 1.5 1.8 2.1	0.15 0.45 0.75 1.05 1.35 1.65 1.95	0.522 0.673 0.901 1.163 1.440 1.724 2.013	0.522 0.673 0.901 1.163 1.440 1.724 2.013	0.723 0.838 1.031 1.266 1.524 1.795 2.074	1472.822 1125.478 726.248 470.349 319.553 228.050 169.710	6.219         4.753         3.067         1.986         1.349         0.963         0.717	19.053

<b>q</b> [kPa]	<b>z</b> [m]	<b>z (∆σ)</b> [m]	<b>R</b> <sub>1</sub>	<b>R</b> <sub>2</sub>	<b>R</b> <sub>3</sub>	<b>∆</b> σ[kPa]	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
1600	0.3	0.15	0.522	0.522	0.723	1571.010	6.634	
1600	0.6	0.45	0.673	0.673	0.838	1200.510	5.069	
1600	0.9	0.75	0.901	0.901	1.031	774.664	3.271	
1600	1.2	1.05	1.163	1.163	1.266	501.705	2.119	20.324
1600	1.5	1.35	1.440	1.440	1.524	340.856	1.439	
1600	1.8	1.65	1.724	1.724	1.795	243.253	1.027	
1600	2.1	1.95	2.013	2.013	2.074	181.024	0.764	
<b>q</b> [kPa]	<b>z</b> [m]	<b>z (∆σ</b> )[m]	<b>R</b> <sub>1</sub>	<b>R</b> <sub>2</sub>	<b>R</b> <sub>3</sub>	<b>∆</b> σ[kPa]	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
1700	0.3	0.15	0.522	0.522	0.723	1669.199	7.048	
1700	0.6	0.45	0.673	0.673	0.838	1275.542	5.386	
1700	0.9	0.75	0.901	0.901	1.031	823.081	3.476	
1700	1.2	1.05	1.163	1.163	1.266	533.062	2.251	21.594
1700	1.5	1.35	1.440	1.440	1.524	362.160	1.529	
1700	1.8	1.65	1.724	1.724	1.795	258.456	1.091	
1700	2.1	1.95	2.013	2.013	2.074	192.338	0.812	
<b>q</b> [kPa]	<b>z</b> [m]	<b>z (∆σ</b> )[m]	<b>R</b> <sub>1</sub>	<b>R</b> <sub>2</sub>	<b>R</b> <sub>3</sub>	<b>∆</b> σ[kPa]	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
1800	0.3	0.15	0.522	0.522	0.723	1767.387	7.463	
1800	0.6	0.45	0.673	0.673	0.838	1350.574	5.703	
1800	0.9	0.75	0.901	0.901	1.031	871.497	3.680	
1800	1.2	1.05	1.163	1.163	1.266	564.418	2.383	22.864
1800	1.5	1.35	1.440	1.440	1.524	383.463	1.619	
1800	1.8	1.65	1.724	1.724	1.795	273.660	1.156	
1800	2.1	1.95	2.013	2.013	2.074	203.652	0.860	

<b>L/2</b> [m]	<b>B/2</b> [m]	<b>∆h</b> [m]	M <sub>DMT</sub> [MPa]
0.5	0.5	0.3	71.045

q[kPa]	Stot
100	1.27
200	2.54
300	3.81
400	5.08
500	6.35
600	7.62

		_	
<b>q</b> [kPa]	Stot		<b>q</b> [kPa
700	8.89		1300
800	10.16		1400
900	11.43		1500
1000	12.70		1600
1100	13.97		1700
1200	15.24		1800

<b>q</b> [kPa]	Stot
1300	16.51
1400	17.78
1500	19.05
1600	20.32
1700	21.59
1800	22.86

<b>q</b> [kPa]	$\mathbf{z}[\mathbf{m}]$	z (Δσ)[m]	$\mathbf{R}_1$	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	<b>∆</b> σ[kPa]	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
55.56	0.86	0.43	1.56	1.56	2.16	54.67	0.662	
55.56	1.72	1.29	1.98	1.98	2.48	42.79	0.518	
55.56	2.58	2.15	2.62	2.62	3.02	28.28	0.342	
55.56	3.44	3.01	3.36	3.36	3.68	18.59	0.225	1.99
55.56	4.3	3.87	4.15	4.15	4.41	12.73	0.110	
55.56	5.16	4.73	4.96	4.96	5.18	9.13	0.079	
55.56	6.02	5.59	5.79	5.79	5.98	6.82	0.059	
<b>q</b> [kPa]	$\mathbf{z}[\mathbf{m}]$	<b>z</b> (Δσ)[m]	<b>R</b> <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	<b>∆</b> σ[kPa]	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
111.11	0.86	0.43	1.56	1.56	2.16	109.34	1.324	
111.11	1.72	1.29	1.98	1.98	2.48	85.57	1.036	
111.11	2.58	2.15	2.62	2.62	3.02	56.56	0.685	
111.11	3.44	3.01	3.36	3.36	3.68	37.17	0.450	3.99
111.11	4.3	3.87	4.15	4.15	4.41	25.47	0.219	
111.11	5.16	4.73	4.96	4.96	5.18	18.27	0.157	
111.11	6.02	5.59	5.79	5.79	5.98	13.64	0.117	
q[kPa]	<b>z</b> [m]	z (Δσ)[m]	<b>R</b> 1	<b>R</b> <sub>2</sub>	<b>R</b> <sub>3</sub>	<b>∆</b> σ[kPa]	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
166.67	0.86	0.43	1.56	1.56	2.16	164.01	1.985	
166.67	1.72	1.29	1.98	1.98	2.48	128.36	1.554	
166.67	2.58	2.15	2.62	2.62	3.02	84.84	1.027	
166.67	3.44	3.01	3.36	3.36	3.68	55.76	0.675	5.98
166.67	4.3	3.87	4.15	4.15	4.41	38.20	0.329	
166.67	5.16	4.73	4.96	4.96	5.18	27.40	0.236	
166.67	6.02	5.59	5.79	5.79	5.98	20.46	0.176	
q[kPa]	<b>z</b> [m]	<b>z (Δσ)</b> [m]	<b>R</b> <sub>1</sub>	<b>R</b> <sub>2</sub>	<b>R</b> <sub>3</sub>	<b>∆</b> σ[kPa]	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
222.22	0.86	0.43	1.56	1.56	2.16	218.68	2.647	
222.22	1.72	1.29	1.98	1.98	2.48	171.15	2.072	
222.22	2.58	2.15	2.62	2.62	3.02	113.13	1.369	
222.22	3.44	3.01	3.36	3.36	3.68	74.34	0.900	7.97
222.22	4.3	3.87	4.15	4.15	4.41	50.94	0.438	
222.22	5.16	4.73	4.96	4.96	5.18	36.54	0.314	
222.22	6.02	5.59	5.79	5.79	5.98	27.28	0.235	
q[kPa]	<b>z</b> [m]	<b>z (Δσ)</b> [m]	<b>R</b> <sub>1</sub>	<b>R</b> <sub>2</sub>	<b>R</b> <sub>3</sub>	<b>Δσ</b> [kPa]	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
277.78	0.86	0.43	1.56	1.56	2.16	273.35	3.309	
277.78	1.72	1.29	1.98	1.98	2.48	213.93	2.590	
277.78	2.58	2.15	2.62	2.62	3.02	141.41	1.712	
277.78	3.44	3.01	3.36	3.36	3.68	92.93	1.125	9.97
277.78	4.3	3.87	4.15	4.15	4.41	63.67	0.548	
277.78	5.16	4.73	4.96	4.96	5.18	45.67	0.393	
277.78	6.02	5.59	5.79	5.79	5.98	34.10	0.293	

q[kPa]	<b>z</b> [m]	<b>z (Δσ)</b> [m]	<b>R</b> <sub>1</sub>	<b>R</b> <sub>2</sub>	<b>R</b> <sub>3</sub>	<b>∆</b> σ[kPa]	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
333.33	0.86	0.43	1.56	1.56	2.16	328.01	3.971	
333.33	1.72	1.29	1.98	1.98	2.48	256.72	3.108	
333.33	2.58	2.15	2.62	2.62	3.02	169.69	2.054	
333.33	3.44	3.01	3.36	3.36	3.68	111.51	1.350	11.96
333.33	4.3	3.87	4.15	4.15	4.41	76.40	0.657	
333.33	5.16	4.73	4.96	4.96	5.18	54.80	0.471	
333.33	6.02	5.59	5.79	5.79	5.98	40.92	0.352	
q[kPa]	<b>z</b> [m]	<b>z (Δσ</b> )[m]	R <sub>1</sub>	<b>R</b> <sub>2</sub>	<b>R</b> <sub>3</sub>	<b>∆</b> σ[kPa]	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
388.89	0.86	0.43	1.56	1.56	2.16	382.68	4.632	
388.89	1.72	1.29	1.98	1.98	2.48	299.51	3.626	
388.89	2.58	2.15	2.62	2.62	3.02	197.97	2.396	
388.89	3.44	3.01	3.36	3.36	3.68	130.10	1.575	13.96
388.89	4.3	3.87	4.15	4.15	4.41	89.14	0.767	
388.89	5.16	4.73	4.96	4.96	5.18	63.94	0.550	
388.89	6.02	5.59	5.79	5.79	5.98	47.74	0.411	
q[kPa]	<b>z</b> [m]	<b>z (Δσ)</b> [m]	R <sub>1</sub>	<b>R</b> <sub>2</sub>	<b>R</b> <sub>3</sub>	<b>∆</b> σ[kPa]	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
444.44	0.86	0.43	1.56	1.56	2.16	437.35	5.294	
444.44	1.72	1.29	1.98	1.98	2.48	342.30	4.143	
444.44	2.58	2.15	2.62	2.62	3.02	226.25	2.739	
444.44	3.44	3.01	3.36	3.36	3.68	148.69	1.800	15.95
444.44	4.3	3.87	4.15	4.15	4.41	101.87	0.876	
444.44	5.16	4.73	4.96	4.96	5.18	73.07	0.628	
444.44	6.02	5.59	5.79	5.79	5.98	54.56	0.469	
q[kPa]	<b>z</b> [m]	<b>z (∆σ</b> )[m]	R <sub>1</sub>	<b>R</b> <sub>2</sub>	<b>R</b> <sub>3</sub>	<b>∆</b> σ[kPa]	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
500.00	0.86	0.43	1.56	1.56	2.16	492.02	5.956	
500.00	1.72	1.29	1.98	1.98	2.48	385.08	4.661	
500.00	2.58	2.15	2.62	2.62	3.02	254.53	3.081	
500.00	3.44	3.01	3.36	3.36	3.68	167.27	2.025	17.94
500.00	4.3	3.87	4.15	4.15	4.41	114.61	0.986	
500.00	5.16	4.73	4.96	4.96	5.18	82.21	0.707	
500.00	6.02	5.59	5.79	5.79	5.98	61.37	0.528	
q[kPa]	<b>z</b> [m]	<b>z (∆σ</b> )[m]	R <sub>1</sub>	<b>R</b> <sub>2</sub>	<b>R</b> <sub>3</sub>	<b>∆</b> σ[kPa]	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
555.56	0.86	0.43	1.56	1.56	2.16	546.69	6.618	
555.56	1.72	1.29	1.98	1.98	2.48	427.87	5.179	
555.56	2.58	2.15	2.62	2.62	3.02	282.82	3.423	
555.56	3.44	3.01	3.36	3.36	3.68	185.86	2.250	19.94
555.56	4.3	3.87	4.15	4.15	4.41	127.34	1.095	
555.56	5.16	4.73	4.96	4.96	5.18	91.34	0.786	
555.56	6.02	5.59	5.79	5.79	5.98	68.19	0.586	

q[kPa]	<b>z</b> [m]	<b>z (Δσ)</b> [m]	<b>R</b> <sub>1</sub>	<b>R</b> <sub>2</sub>	<b>R</b> <sub>3</sub>	<b>∆σ</b> [kPa]	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
611.11	0.86	0.43	1.56	1.56	2.16	601.36	7.279	
611.11	1.72	1.29	1.98	1.98	2.48	470.66	5.697	
611.11	2.58	2.15	2.62	2.62	3.02	311.10	3.766	
611.11	3.44	3.01	3.36	3.36	3.68	204.44	2.475	21.93
611.11	4.3	3.87	4.15	4.15	4.41	140.07	1.205	
611.11	5.16	4.73	4.96	4.96	5.18	100.48	0.864	
611.11	6.02	5.59	5.79	5.79	5.98	75.01	0.645	
q[kPa]	<b>z</b> [m]	<b>z (∆σ)</b> [m]	<b>R</b> 1	<b>R</b> <sub>2</sub>	<b>R</b> <sub>3</sub>	<b>Δσ</b> [kPa]	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
666.67	0.86	0.43	1.56	1.56	2.16	656.03	7.941	
666.67	1.72	1.29	1.98	1.98	2.48	513.44	6.215	
666.67	2.58	2.15	2.62	2.62	3.02	339.38	4.108	
666.67	3.44	3.01	3.36	3.36	3.68	223.03	2.700	23.92
666.67	4.3	3.87	4.15	4.15	4.41	152.81	1.314	
666.67	5.16	4.73	4.96	4.96	5.18	109.61	0.943	
666.67	6.02	5.59	5.79	5.79	5.98	81.83	0.704	
q[kPa]	<b>z</b> [m]	<b>z (Δσ)</b> [m]	R <sub>1</sub>	<b>R</b> <sub>2</sub>	<b>R</b> <sub>3</sub>	<b>Δσ</b> [kPa]	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
722.22	0.86	0.43	1.56	1.56	2.16	710.70	8.603	
722.22	1.72	1.29	1.98	1.98	2.48	556.23	6.733	
722.22	2.58	2.15	2.62	2.62	3.02	367.66	4.451	
722.22	3.44	3.01	3.36	3.36	3.68	241.61	2.925	25.92
722.22	4.3	3.87	4.15	4.15	4.41	165.54	1.424	
722.22	5.16	4.73	4.96	4.96	5.18	118.74	1.021	
722.22	6.02	5.59	5.79	5.79	5.98	88.65	0.762	
q[kPa]	<b>z</b> [m]	<b>z (Δσ)</b> [m]	<b>R</b> <sub>1</sub>	<b>R</b> <sub>2</sub>	<b>R</b> <sub>3</sub>	<b>∆</b> σ[kPa]	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
777.78	0.86	0.43	1.56	1.56	2.16	765.37	9.265	
777.78	1.72	1.29	1.98	1.98	2.48	599.02	7.251	
777.78	2.58	2.15	2.62	2.62	3.02	395.94	4.793	
777.78	3.44	3.01	3.36	3.36	3.68	260.20	3.150	27.91
777.78	4.3	3.87	4.15	4.15	4.41	178.28	1.533	
777.78	5.16	4.73	4.96	4.96	5.18	127.88	1.100	
777.78	6.02	5.59	5.79	5.79	5.98	95.47	0.821	
q[kPa]	<b>z</b> [m]	<b>z (Δσ</b> )[m]	<b>R</b> <sub>1</sub>	<b>R</b> <sub>2</sub>	<b>R</b> <sub>3</sub>	<b>∆</b> σ[kPa]	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
833.33	0.86	0.43	1.56	1.56	2.16	820.04	9.926	
833.33	1.72	1.29	1.98	1.98	2.48	641.80	7.769	
833.33	2.58	2.15	2.62	2.62	3.02	424.22	5.135	
833.33	3.44	3.01	3.36	3.36	3.68	278.78	3.375	29.91
833.33	4.3	3.87	4.15	4.15	4.41	191.01	1.643	
833.33	5.16	4.73	4.96	4.96	5.18	137.01	1.178	
833.33	6.02	5.59	5.79	5.79	5.98	102.29	0.880	

q[kPa]	<b>z</b> [m]	<b>z (Δσ</b> )[m]	R <sub>1</sub>	<b>R</b> <sub>2</sub>	<b>R</b> <sub>3</sub>	∆σ[kPa]	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
888.89	0.86	0.43	1.56	1.56	2.16	874.70	10.588	
888.89	1.72	1.29	1.98	1.98	2.48	684.59	8.287	
888.89	2.58	2.15	2.62	2.62	3.02	452.50	5.478	
888.89	3.44	3.01	3.36	3.36	3.68	297.37	3.600	31.90
888.89	4.3	3.87	4.15	4.15	4.41	203.75	1.752	
888.89	5.16	4.73	4.96	4.96	5.18	146.15	1.257	
888.89	6.02	5.59	5.79	5.79	5.98	109.11	0.938	
q[kPa]	<b>z</b> [m]	<b>z (∆σ</b> )[m]	<b>R</b> <sub>1</sub>	<b>R</b> <sub>2</sub>	<b>R</b> <sub>3</sub>	<b>∆</b> σ[kPa]	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
944.44	0.86	0.43	1.56	1.56	2.16	929.37	11.250	
944.44	1.72	1.29	1.98	1.98	2.48	727.38	8.805	
944.44	2.58	2.15	2.62	2.62	3.02	480.79	5.820	
944.44	3.44	3.01	3.36	3.36	3.68	315.96	3.825	33.89
944.44	4.3	3.87	4.15	4.15	4.41	216.48	1.862	
944.44	5.16	4.73	4.96	4.96	5.18	155.28	1.335	
944.44	6.02	5.59	5.79	5.79	5.98	115.93	0.997	
q[kPa]	<b>z</b> [m]	<b>z (∆σ</b> )[m]	R <sub>1</sub>	<b>R</b> <sub>2</sub>	<b>R</b> <sub>3</sub>	<b>∆</b> σ[kPa]	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
1000.00	0.86	0.43	1.56	1.56	2.16	984.04	11.912	
1000.00	1.72	1.29	1.98	1.98	2.48	770.17	9.323	
1000.00	2.58	2.15	2.62	2.62	3.02	509.07	6.162	
1000.00	3.44	3.01	3.36	3.36	3.68	334.54	4.050	35.89
1000.00	4.3	3.87	4.15	4.15	4.41	229.21	1.971	
1000.00	5.16	4.73	4.96	4.96	5.18	164.41	1.414	
1000.00	6.02	5.59	5.79	5.79	5.98	122.75	1.056	
q[kPa]	<b>z</b> [m]	<b>z (Δσ</b> )[m]	R <sub>1</sub>	<b>R</b> <sub>2</sub>	<b>R</b> <sub>3</sub>	<b>Δσ</b> [kPa]	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
1055.56	0.86	0.43	1.56	1.56	2.16	1038.71	12.574	
1055.56	1.72	1.29	1.98	1.98	2.48	812.95	9.841	
1055.56	2.58	2.15	2.62	2.62	3.02	537.35	6.505	
1055.56	3.44	3.01	3.36	3.36	3.68	353.13	4.275	37.88
1055.56	4.3	3.87	4.15	4.15	4.41	241.95	2.081	
1055.56	5.16	4.73	4.96	4.96	5.18	173.55	1.493	
1055.56	6.02	5.59	5.79	5.79	5.98	129.57	1.114	
q[kPa]	<b>z</b> [m]	<b>z (Δσ</b> )[m]	<b>R</b> <sub>1</sub>	<b>R</b> <sub>2</sub>	<b>R</b> <sub>3</sub>	<b>∆</b> σ[kPa]	s <sub>i</sub> [mm]	s <sub>tot</sub> [mm]
1111.11	0.86	0.43	1.56	1.56	2.16	1093.38	13.235	
1111.11	1.72	1.29	1.98	1.98	2.48	855.74	10.359	
1111.11	2.58	2.15	2.62	2.62	3.02	565.63	6.847	
1111.11	3.44	3.01	3.36	3.36	3.68	371.71	4.500	39.87
1111.11	4.3	3.87	4.15	4.15	4.41	254.68	2.190	
1111.11	5.16	4.73	4.96	4.96	5.18	182.68	1.571	
1111.11	6.02	5.59	5.79	5.79	5.98	136.39	1.173	

<b>L/2</b> [m]	<b>B/2</b> [m]	<b>∆h</b> [m]	M <sub>DMT</sub> [MPa]
1.5	1.5	0.86	100

<b>q</b> [kPa]	Stot	<b>q</b> [kPa]	Stot	q[kPa]	Stot
55.56	1.99	444.44	15.95	833.33	29.91
111.11	3.99	500.00	17.94	888.89	31.90
166.67	5.98	555.56	19.94	944.44	33.89
222.22	7.97	611.11	21.93	1000.00	35.89
277.78	9.97	666.67	23.92	1055.56	37.88
333.33	11.96	722.22	25.92	1111.11	39.87
388.89	13.96	777.78	27.91		

ALLEGATO 16: METODO DMT

axisimmetrich 1m new

## 1.1.2.1.1 Materials - Soil and interfaces - HS small

Identification		strato 1	strato 2	strato 3
Identification number		1	2	3
Drainage type		Drained	Drained	Drained
Colour				
Comments				
Y unsat	kN/m³	14,90	14,80	14,80
$\gamma_{sat}$	kN/m³	20,00	20,00	20,00
Dilatancy cut-off		No	No	No
e <sub>init</sub>		0,5000	0,5000	0,5000
e <sub>min</sub>		0,000	0,000	0,000
e <sub>max</sub>		999,0	999,0	999,0
Rayleigh a		0,000	0,000	0,000
Rayleigh β		0,000	0,000	0,000
E so ref	kN/m²	10,14E3	4591	15,93E3
Identification		strato 1	strato 2	strato 3
E oed <sup>ref</sup>	kN/m²	10,14E3	4591	15,93E3
E ur ref	kN/m²	30,42E3	13,77E3	47,78E3
power (m)		0,5000	0,5000	0,5000
Use alternatives		No	No	No
С ,		0,01157	0,02555	0,02989
C .		3,471E-3	7,665E-3	8,968E-3
e <sub>init</sub>		0,5000	0,5000	0,5000
C ref	kN/m²	0,000	0,000	0,000
φ (phi)	0	34,60	30,00	30,00
ψ (psi)	•	0,000	0,000	0,000
Υ 0.7		0,8000E-3	0,3000E-3	0,3000E-3
G 0 ref	kN/m²	79,00E3	100,0E3	69,00E3
Set to default values		No	No	No
V ur		0,2000	0,2000	0,2000
p <sub>ref</sub>	kN/m²	34,00	34,00	138,0
K 0 <sup>nc</sup>		0,4322	0,5000	0,5000
C inc	kN/m²/m	0,000	0,000	0,000

Identification		strato 1	strato 2	strato 3
y ref	m	0,000	0,000	0,000
R <sub>f</sub>		0,9000	0,9000	0,9000
Tension cut-off		Yes	Yes	Yes
Tensile strength	kN/m²	0,000	0,000	0,000
Undrained behaviour		Standard	Standard	Standard
Skempton-B		0,9866	0,9866	0,9866
V u		0,4950	0,4950	0,4950
K <sub>w,ref</sub> / n	kN/m²	1,246E6	564,3E3	1,958E6
Failure criterion		Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Strength		Rigid	Rigid	Rigid
R <sub>inter</sub>		1,000	1,000	1,000
Consider gap closure		Yes	Yes	Yes
$\delta_{inter}$		0,000	0,000	0,000
Cross permeability		Impermeable	Impermeable	Impermeable
Drainage conductivity, dk	m³/day/m	0,000	0,000	0,000
R	m² K/kW	0,000	0,000	0,000
K <sub>0</sub> determination		Manual	Manual	Manual

Identification		strato 1	strato 2	strato 3
K <sub>0,x</sub> = K <sub>0,z</sub>		Yes	Yes	Yes
К <sub>о,х</sub>		1,700	1,200	1,350
K <sub>0,z</sub>		1,700	1,200	1,350
OCR		3,640	2,180	3,100
POP	kN/m²	0,000	0,000	0,000
Data set		Standard	Standard	Standard
Туре		Coarse	Coarse	Coarse
< 2 µm	%	10,00	10,00	10,00
2 µm - 50 µm	%	13,00	13,00	13,00
50 µm - 2 mm	%	77,00	77,00	77,00
Use defaults		None	None	None
k "	m/day	0,000	0,000	0,000
k ,	m/day	0,000	0,000	0,000
-Ψ <sub>unsat</sub>	m	10,00E3	10,00E3	10,00E3
e <sub>init</sub>		0,5000	0,5000	0,5000
S <sub>s</sub>	1/m	0,000	0,000	0,000
C k		1000E12	1000E12	1000E12

ALLEGATO 17: PARAMETRI DEI MATERIALI NEL MODELLO FEM

γ'[kPa]	<b>B</b> [m]	L[m]	φ <b>'</b> [°]	<b>D</b> [m]	q'[kPa]	Ny	Nq
15	1	1	34.6	0.76	11.4	42.16	29.44

Sγ	1.362796	<b>q</b> <sub>lim</sub>	910.85
dq	1.195831	q <sub>lim,d</sub>	396.02

ALLEGATO 18: CAPACITÀ PORTANTE FONDAZIONE 1x1m

γ'[kPa]	<b>B</b> [m]	L[m]	φ <b>'</b> [°]	<b>D</b> [m]	q'[kPa]	NY	Nq
15	3	3	34.6	0.76	11.4	42.16	29.44
	Sy	1.362796			<b>q</b> <sub>lim</sub>	1673.6	
	dq	1.065277			<b>q</b> lim,d	727.65	

ALLEGATO 19: CAPACITÀ PORTANTE FONDAZIONE 3X3M

<b>B</b> [m]	$\gamma [kN/m^3]$	D[m]	<b>∆h</b> [m]	<b>k</b> <sub>0</sub>	v	<b>L/2</b> [m]	<b>B/2</b> [m]
1	15	0.76	0.3	1.7	0.20	0.5	0.5

<b>z</b> [m]	<b>z (Δσ)</b> [m]	σ' <sub>v0</sub> [kPa]	R <sub>1</sub>	<b>R</b> <sub>2</sub>	<b>R</b> <sub>3</sub>
0.3	0.15	13.65	0.52	0.52	0.72
0.6	0.45	18.15	0.67	0.67	0.84
0.9	0.75	22.65	0.90	0.90	1.03
1.2	1.05	27.15	1.16	1.16	1.27
1.5	1.35	31.65	1.44	1.44	1.52
1.8	1.65	36.15	1.72	1.72	1.80
2.1	1.95	40.65	2.01	2.01	2.07

q [kPa]	z [m]	z (Δσ) [m]	Δσ <sub>v</sub> [kPa]	∆σ <sub>H</sub> [kPa]	σ'c [kPa]	G <sub>0</sub> [MPa]	γ <sub>r</sub> [%]	α	ε <sub>v</sub> [%]	Y[%]	G [MPa]	G/G <sub>0</sub> <0.4	si [mm]
100	0.3	0.15	98.2	71.9	100.7	72.0	0.230	0.860	0.085	0.102	48.1	NO	0.26
100	0.6	0.45	75.0	22.3	66.5	66.3	0.213	0.842	0.068	0.082	45.8	NO	0.20
100	0.9	0.75	48.4	6.3	53.6	63.5	0.205	0.833	0.042	0.050	48.5	NO	0.12
100	1.2	1.05	31.4	2.2	51.7	63.0	0.203	0.831	0.025	0.030	52.4	NO	0.07
100	1.5	1.35	21.3	0.9	54.1	63.6	0.205	0.833	0.016	0.019	55.9	NO	0.05
100	1.8	1.65	15.2	0.5	58.4	64.6	0.208	0.837	0.011	0.013	58.8	NO	0.03
100	2.1	1.95	11.3	0.2	63.6	65.7	0.211	0.840	0.008	0.009	61.3	NO	0.02
q [kPa]	z [m]	z (Δσ) [m]	∆σ <sub>v</sub> [kPa]	∆σ <sub>H</sub> [kPa]	σ'c [kPa]	G <sub>0</sub> [MPa]	γ <b>r [%]</b>	α	ε <sub>v</sub> [%]	Y[%]	G [MPa]	G/G <sub>0</sub> <0.4	si [mm]
200	0.3	0.15	196.4	143.8	181.3	81.0	0.253	0.886	0.195	0.234	41.9	NO	0.59
200	0.6	0.45	150.1	44.7	106.4	72.8	0.232	0.863	0.158	0.190	39.6	NO	0.47
200	0.9	0.75	96.8	12.6	73.9	67.7	0.218	0.847	0.094	0.112	43.1	NO	0.28
200	1.2	1.05	62.7	4.4	63.7	65.7	0.212	0.840	0.055	0.066	47.8	NO	0.16
200	1.5	1.35	42.6	1.9	61.9	65.3	0.210	0.839	0.034	0.041	52.1	NO	0.10
200	1.8	1.65	30.4	0.9	63.8	65.7	0.212	0.840	0.023	0.027	55.8	NO	0.07
200	2.1	1.95	22.6	0.5	67.5	66.5	0.214	0.843	0.016	0.019	58.8	NO	0.05

q [kPa]	z [m]	$\begin{array}{c} z \\ (\Delta\sigma) \\ [m] \end{array}$	∆σ <sub>v</sub> [kPa]	∆σ <sub>H</sub> [kPa]	σ'c [kPa]	G <sub>0</sub> [MPa]	γ <sub>r</sub> [%]	α	εv[%]	¥[%]	G [MPa]	G/G <sub>0</sub> <0.4	si[mm]
300	0.3	0.15	294.6	215.7	262.0	87.2	0.268	0.860	0.346	0.415	35.5	NO	1.04
300	0.6	0.45	225.1	67.0	146.3	77.6	0.245	0.877	0.281	0.337	33.4	NO	0.84
300	0.9	0.75	145.2	18.9	94.3	71.1	0.227	0.857	0.158	0.190	38.3	NO	0.47
300	1.2	1.05	94.1	6.6	75.6	68.0	0.218	0.848	0.089	0.107	44.0	NO	0.27
300	1.5	1.35	63.9	2.8	69.6	66.9	0.215	0.844	0.054	0.065	49.0	NO	0.16
300	1.8	1.65	45.6	1.4	69.1	66.8	0.215	0.844	0.036	0.043	53.1	NO	0.11
300	2.1	1.95	33.9	0.7	71.4	67.2	0.216	0.845	0.025	0.030	56.6	NO	0.07
q [kPa]	z [m]	z (Δσ) [m]	∆σ <sub>v</sub> [kPa]	∆σ <sub>H</sub> [kPa]	σ'c [kPa]	G <sub>0</sub> [MPa]	γr [%]	α	εv[%]	<b>v[%]</b>	G [MPa]	G/G <sub>0</sub> <0.4	si[mm]
400	0.3	0.15	392.8	287.5	342.6	92.0	0.279	0.860	0.552	0.663	29.6	SI	1.66
400	0.6	0.45	300.1	89.4	186.3	81.4	0.254	0.860	0.443	0.531	28.2	SI	1.33
400	0.9	0.75	193.7	25.3	114.6	73.9	0.235	0.866	0.239	0.287	33.8	NO	0.72
400	1.2	1.05	125.4	8.8	87.5	70.0	0.224	0.854	0.129	0.155	40.5	NO	0.39
400	1.5	1.35	85.2	3.7	77.3	68.3	0.219	0.849	0.077	0.092	46.2	NO	0.23
400	1.8	1.65	60.8	1.8	74.5	67.8	0.218	0.847	0.050	0.060	50.8	NO	0.15
400	2.1	1.95	45.3	1.0	75.4	68.0	0.218	0.848	0.035	0.041	54.6	NO	0.10
q [kPa]	z [m]	$\begin{array}{c} z \\ (\Delta\sigma) \\ [m] \end{array}$	∆ov [kPa]	∆σ <sub>H</sub> [kPa]	σ'c [kPa]	G <sub>0</sub> [MPa]	γr [%]	α	εv[%]	<b>\[%]</b>	G [MPa]	G/G <sub>0</sub> <0.4	si[mm]
500	0.3	0.15	490.9	359.4	423.3	96.0	0.287	0.860	0.841	1.009	24.3	SI	2.52
500	0.6	0.45	375.2	111.7	226.2	84.7	0.262	0.860	0.666	0.799	23.5	SI	2.00
500	0.9	0.75	242.1	31.6	135.0	76.4	0.242	0.860	0.339	0.406	29.8	SI	1.02
500	1.2	1.05	156.8	11.1	99.5	71.8	0.229	0.860	0.175	0.210	37.2	NO	0.53
500	1.5	1.35	106.5	4.7	85.0	69.6	0.223	0.853	0.102	0.122	43.5	NO	0.31
500	1.8	1.65	76.0	2.3	79.9	68.8	0.221	0.850	0.065	0.078	48.6	NO	0.20
500	2.1	1.95	56.6	1.2	79.3	68.7	0.220	0.850	0.045	0.054	52.8	NO	0.13
q [kPa]	z [m]	z (Δσ) [m]	∆σ <sub>v</sub> [kPa]	∆σ <sub>Н</sub> [kPa]	σ'c [kPa]	G <sub>0</sub> [MPa]	γr [%]	α	εv[%]	<b>y[%]</b>	G [MPa]	G/G <sub>0</sub> <0.4	si[mm]
600	0.3	0.15	589.1	431.3	483.9	98.6	0.293	0.860	1.297	1.556	18.9	SI	3.89
600	0.6	0.45	450.2	134.1	266.1	87.5	0.269	0.860	0.973	1.168	19.3	SI	2.92
600	0.9	0.75	290.5	37.9	155.3	78.5	0.247	0.860	0.464	0.557	26.1	SI	1.39
600	1.2	1.05	188.1	13.3	111.4	73.5	0.234	0.865	0.230	0.275	34.1	NO	0.69
600	1.5	1.35	127.8	5.6	92.8	70.8	0.227	0.857	0.130	0.156	41.1	NO	0.39
600	1.8	1.65	91.2	2.7	85.2	69.7	0.223	0.853	0.082	0.098	46.6	NO	0.24
600	2.1	1.95	67.9	1.5	83.2	69.3	0.222	0.852	0.055	0.066	51.1	NO	0.17

q [kPa]	z [m]	z (Δσ) [m]	∆σ <sub>v</sub> [kPa]	∆σ <sub>H</sub> [kPa]	σ'c [kPa]	G <sub>0</sub> [MPa]	γr [%]	α	εv[%]	Y[%]	G [MPa]	G/G <sub>0</sub> <0.4	si[mm]
700	0.3	0.15	687.3	503.2	584.6	102.4	0.300	0.860	1.824	2.189	15.7	SI	5.47
700	0.6	0.45	525.2	156.4	306.0	89.9	0.274	0.860	1.398	1.678	15.7	SI	4.19
700	0.9	0.75	338.9	44.2	175.7	80.5	0.252	0.860	0.621	0.745	22.7	SI	1.86
700	1.2	1.05	219.5	15.5	123.3	75.0	0.238	0.869	0.293	0.352	31.2	NO	0.88
700	1.5	1.35	149.1	6.5	100.5	72.0	0.230	0.860	0.160	0.193	38.7	NO	0.48
700	1.8	1.65	106.4	3.2	90.6	70.5	0.226	0.856	0.099	0.119	44.7	NO	0.30
700	2.1	1.95	79.2	1.7	87.2	70.0	0.224	0.854	0.067	0.080	49.4	NO	0.20
q [kPa]	z [m]	z (Δσ) [m]	∆σ <sub>v</sub> [kPa]	∆σ <sub>H</sub> [kPa]	σ'c [kPa]	G <sub>0</sub> [MPa]	γr [%]	α	εv[%]	<b>\[%]</b>	G [MPa]	G/G <sub>0</sub> <0.4	si[mm]
800	0.3	0.15	785.5	575.1	665.3	105.1	0.305	0.860	2.643	3.172	12.4	SI	7.93
800	0.6	0.45	600.3	178.8	345.9	92.2	0.279	0.860	1.988	2.386	12.6	SI	5.97
800	0.9	0.75	387.3	50.5	196.0	82.3	0.257	0.860	0.819	0.982	19.7	SI	2.46
800	1.2	1.05	250.9	17.7	135.2	76.4	0.242	0.860	0.365	0.438	28.6	SI	1.09
800	1.5	1.35	170.4	7.5	108.2	73.1	0.233	0.863	0.195	0.234	36.5	NO	0.58
800	1.8	1.65	121.6	3.6	96.0	71.3	0.228	0.858	0.118	0.142	42.8	NO	0.36
800	2.1	1.95	90.5	1.9	91.1	70.6	0.226	0.856	0.079	0.095	47.9	NO	0.24
q [kPa]	z [m]	z (Δσ) [m]	∆σ <sub>v</sub> [kPa]	∆σ <sub>H</sub> [kPa]	σ'c [kPa]	G <sub>0</sub> [MPa]	γr [%]	α	εv[%]	Y[%]	G [MPa]	G/G <sub>0</sub> <0.4	si[mm]
900	0.3	0.15	883.7	647.0	745.9	107.5	0.310	0.860	3.805	4.566	9.7	SI	11.42
900	0.6	0.45	675.3	201.1	385.8	94.2	0.284	0.860	2.808	3.370	10.0	SI	8.42
900	0.9	0.75	435.7	56.8	216.4	83.9	0.260	0.860	1.068	1.282	17.0	SI	3.20
900	1.2	1.05	282.2	19.9	147.2	77.7	0.245	0.860	0.450	0.540	26.1	SI	1.35
900	1.5	1.35	191.7	8.4	115.9	74.1	0.236	0.866	0.233	0.280	34.3	NO	0.70
900	1.8	1.65	136.8	4.1	101.3	72.1	0.230	0.861	0.139	0.167	41.0	NO	0.42
900	2.1	1.95	101.8	2.2	95.0	71.2	0.228	0.858	0.092	0.110	46.4	NO	0.27
q [kPa]	z [m]	z (Δσ) [m]	∆σ <sub>v</sub> [kPa]	∆σ <sub>H</sub> [kPa]	σ'c [kPa]	G <sub>0</sub> [MPa]	Υr [%]	α	εv[%]	<b>\[</b> %]	G [MPa]	G/G <sub>0</sub> <0.4	si [mm]
1000	0.3	0.15	981.9	718.9	826.6	109.7	0.314	0.860	5.444	6.532	7.5	SI	16.33
1000	0.6	0.45	750.3	223.5	425.7	96.1	0.288	0.860	3.943	4.731	7.9	SI	11.83
1000	0.9	0.75	484.2	63.1	236.7	85.4	0.264	0.860	1.384	1.661	14.6	SI	4.15
1000	1.2	1.05	313.6	22.1	159.1	78.9	0.248	0.860	0.549	0.659	23.8	SI	1.65
1000	1.5	1.35	213.0	9.3	123.7	75.0	0.238	0.869	0.276	0.331	32.2	NO	0.83
1000	1.8	1.65	152.0	4.5	106.7	72.9	0.232	0.863	0.161	0.193	39.3	NO	0.48
1000	2.1	1.95	113.1	2.4	99.0	71.8	0.229	0.860	0.105	0.126	44.9	NO	0.31

q [kPa]	z [m]	z (Δσ) [m]	∆σ <sub>v</sub> [kPa]	∆σ <sub>H</sub> [kPa]	σ'c [kPa]	G <sub>0</sub> [MPa]	γr [%]	α	εv[%]	Y[%]	G [MPa]	G/G <sub>0</sub> <0.4	si[mm]
1100	0.3	0.15	1080.1	790.8	907.2	111.8	0.318	0.860	7.730	9.276	5.8	SI	23.19
1100	0.6	0.45	825.4	245.8	465.6	97.8	0.291	0.860	5.501	6.601	6.3	SI	16.50
1100	0.9	0.75	532.6	69.5	257.0	86.9	0.267	0.860	1.785	2.142	12.4	SI	5.35
1100	1.2	1.05	344.9	24.3	171.0	80.1	0.251	0.860	0.664	0.797	21.6	SI	1.99
1100	1.5	1.35	234.3	10.3	131.4	75.9	0.241	0.860	0.322	0.386	30.4	SI	0.96
1100	1.8	1.65	167.2	5.0	112.1	73.6	0.234	0.865	0.185	0.222	37.6	NO	0.56
1100	2.1	1.95	124.5	2.7	102.9	72.3	0.231	0.861	0.119	0.143	43.5	NO	0.36
q [kPa]	z [m]	z (Δσ) [m]	∆σ <sub>v</sub> [kPa]	∆σ <sub>H</sub> [kPa]	σ'c [kPa]	G <sub>0</sub> [MPa]	γ <sub>r</sub> [%]	α	εv[%]	<b>4[%]</b>	G [MPa]	G/G <sub>0</sub> <0.4	si[mm]
1200	0.3	0.15	1178.3	862.6	987.9	113.7	0.321	0.860	10.877	13.052	4.5	SI	32.63
1200	0.6	0.45	900.4	268.2	505.5	99.4	0.294	0.860	7.621	9.145	4.9	SI	22.86
1200	0.9	0.75	581.0	75.8	277.4	88.2	0.270	0.860	2.293	2.751	10.6	SI	6.88
1200	1.2	1.05	376.3	26.5	182.9	81.1	0.254	0.860	0.800	0.960	19.6	SI	2.40
1200	1.5	1.35	255.6	11.2	139.1	76.8	0.243	0.860	0.374	0.448	28.5	SI	1.12
1200	1.8	1.65	182.4	5.4	117.4	74.3	0.236	0.867	0.211	0.253	36.0	NO	0.63
1200	2.1	1.95	135.8	2.9	106.8	72.9	0.232	0.863	0.134	0.161	42.1	NO	0.40
q [kPa]	z [m]	z (Δσ) [m]	∆σ <sub>v</sub> [kPa]	∆σ <sub>H</sub> [kPa]	σ'c [kPa]	G <sub>0</sub> [MPa]	γr [%]	α	εv[%]	<b>\[%]</b>	G [MPa]	G/G <sub>0</sub> <0.4	si [mm]
1300	0.3	0.15	1276.4	934.5	1068.5	115.5	0.324	0.860	15.146	18.175	3.5	SI	45.44
1300	0.6	0.45	975.4	290.5	545.4	101.0	0.297	0.860	10.469	12.563	3.9	SI	31.41
1300	0.9	0.75	629.4	82.1	297.7	89.5	0.273	0.860	2.936	3.523	8.9	SI	8.81
1300	1.2	1.05	407.6	28.8	194.9	82.2	0.256	0.860	0.958	1.150	17.7	SI	2.87
1300	1.5	1.35	276.9	12.1	146.8	77.7	0.245	0.860	0.431	0.518	26.8	SI	1.29
1300	1.8	1.65	197.6	5.9	122.8	74.9	0.238	0.869	0.239	0.287	34.4	NO	0.72
1300	2.1	1.95	147.1	3.2	110.8	73.4	0.234	0.864	0.150	0.180	40.8	NO	0.45
q [kPa]	z [m]	z (Δσ) [m]	∆σ <sub>v</sub> [kPa]	∆o <sub>H</sub> [kPa]	σ'c [kPa]	G <sub>0</sub> [MPa]	γr [%]	α	εv[%]	<b>v[%]</b>	G [MPa]	G/G <sub>0</sub> <0.4	si [mm]
1400	0.3	0.15	1374.6	1006.4	1149.2	117.2	0.327	0.860	20.846	25.015	2.7	SI	62.54
1400	0.6	0.45	1050.4	312.9	585.3	102.4	0.300	0.860	14.244	17.093	3.1	SI	42.73
1400	0.9	0.75	677.8	88.4	318.1	90.6	0.276	0.860	3.748	4.498	7.5	SI	11.24
1400	1.2	1.05	439.0	31.0	206.8	83.2	0.259	0.860	1.144	1.373	16.0	SI	3.43
1400	1.5	1.35	298.2	13.1	154.5	78.5	0.247	0.879	0.510	0.612	24.4	SI	1.53
1400	1.8	1.65	212.8	6.3	128.2	75.6	0.240	0.871	0.270	0.324	32.8	NO	0.81
1400	2.1	1.95	158.4	3.4	114.7	73.9	0.235	0.866	0.167	0.201	39.5	NO	0.50

q [kPa]	z [m]	z (Δσ) [m]	Δσ <sub>v</sub> [kPa]	∆σ <sub>H</sub> [kPa]	σ'c [kPa]	G <sub>0</sub> [MPa]	γ <b>r</b> [%]	α	ε <sub>v</sub> [%]	Y[%]	G [MPa]	G/G <sub>0</sub> <0.4	si [mm]
1500	0.3	0.15	1472.8	1078.3	1229.8	118.8	0.330	0.860	28.340	34.008	2.2	SI	85.02
1500	0.6	0.45	1125.5	335.2	625.3	103.8	0.303	0.860	19.181	23.017	2.4	SI	57.54
1500	0.9	0.75	726.2	94.7	338.4	91.8	0.278	0.860	4.770	5.724	6.3	SI	14.31
1500	1.2	1.05	470.3	33.2	218.7	84.1	0.261	0.860	1.362	1.635	14.4	SI	4.09
1500	1.5	1.35	319.6	14.0	162.3	79.2	0.249	0.860	0.567	0.681	23.5	SI	1.70
1500	1.8	1.65	228.0	6.8	133.6	76.2	0.241	0.873	0.303	0.364	31.3	NO	0.91
1500	2.1	1.95	169.7	3.6	118.6	74.4	0.236	0.867	0.185	0.222	38.2	NO	0.56
q [kPa]	z [m]	z (Δσ) [m]	∆σ <sub>v</sub> [kPa]	∆σ <sub>H</sub> [kPa]	σ'c [kPa]	G <sub>0</sub> [MPa]	γ <b>r [%]</b>	α	ε <sub>v</sub> [%]	<b>\[%]</b>	G [MPa]	G/G <sub>0</sub> <0.4	si [mm]
1600	0.3	0.15	1571.0	1150.2	1310.5	120.3	0.333	0.860	38.049	45.659	1.7	SI	114.15
1600	0.6	0.45	1200.5	357.6	665.2	105.1	0.305	0.860	25.549	30.659	2.0	SI	76.65
1600	0.9	0.75	774.7	101.0	358.8	92.9	0.281	0.860	6.048	7.258	5.3	SI	18.14
1600	1.2	1.05	501.7	35.4	230.7	85.0	0.263	0.860	1.619	1.942	12.9	SI	4.86
1600	1.5	1.35	340.9	14.9	170.0	80.0	0.251	0.860	0.647	0.776	22.0	SI	1.94
1600	1.8	1.65	243.3	7.2	138.9	76.8	0.243	0.860	0.336	0.404	30.1	SI	1.01
1600	2.1	1.95	181.0	3.9	122.6	74.9	0.238	0.869	0.204	0.245	37.0	NO	0.61
q [kPa]	z [m]	z (Δσ) [m]	Δσ <sub>v</sub> [kPa]	∆σ <sub>H</sub> [kPa]	σ'c [kPa]	G <sub>0</sub> [MPa]	γr [%]	α	εv[%]	<b>v[%]</b>	G [MPa]	G/G <sub>0</sub> <0.4	si[mm]
q [kPa] 1700	z [m] 0.3	z (Δσ) [m] 0.15	Δσ <sub>v</sub> [kPa] 1669.2	Δσ <sub>H</sub> [kPa] 1222.1	σ'c [kPa] 1391.1	G <sub>0</sub> [MPa] 121.8	√r [%] 0.335	α 0.860	ε <sub>v</sub> [%] 50.454	√[%] 60.545	G [MPa] 1.4	G/G <sub>0</sub> <0.4 SI	si [mm] 151.36
q [kPa] 1700 1700	z [m] 0.3 0.6	z (Δσ) [m] 0.15 0.45	Δσ <sub>v</sub> [kPa] 1669.2 1275.5	Δσ <sub>H</sub> [kPa] 1222.1 379.9	σ'c [kPa] 1391.1 705.1	G <sub>0</sub> [MPa] 121.8 106.3	<ul><li>√r [%]</li><li>0.335</li><li>0.308</li></ul>	α 0.860 0.860	ε <sub>ν</sub> [%] 50.454 33.657	√[%] 60.545 40.389	G [MPa] 1.4 1.6	G/G <sub>0</sub> <0.4 SI SI	si[mm] 151.36 100.97
q [kPa] 1700 1700 1700	z [m] 0.3 0.6 0.9	z (∆σ) [m] 0.15 0.45 0.75	Δσ <sub>v</sub> [kPa] 1669.2 1275.5 823.1	Δσ <sub>H</sub> [kPa] 1222.1 379.9 107.3	σ'c [kPa] 1391.1 705.1 379.1	G <sub>0</sub> [MPa] 121.8 106.3 93.9	<pre>yr [%] 0.335 0.308 0.283</pre>	∝ 0.860 0.860 0.860	ε <sub>ν</sub> [%] 50.454 33.657 7.638	√[%] 60.545 40.389 9.165	G [MPa] 1.4 1.6 4.5	G/G <sub>0</sub> <0.4 SI SI SI	si [mm] 151.36 100.97 22.91
q [kPa] 1700 1700 1700 1700	z [m] 0.3 0.6 0.9 1.2	z (△♂) [m] 0.15 0.45 0.75 1.05	$\begin{array}{c} \Delta \sigma_{v} \\ [kPa] \\ \hline 1669.2 \\ 1275.5 \\ \hline 823.1 \\ \hline 533.1 \end{array}$	Дотн [kPa] 1222.1 379.9 107.3 37.6	σ'c [kPa] 1391.1 705.1 379.1 242.6	G <sub>0</sub> [MPa] 121.8 106.3 93.9 85.9	<ul> <li>yr [%]</li> <li>0.335</li> <li>0.308</li> <li>0.283</li> <li>0.265</li> </ul>	α 0.860 0.860 0.860 0.860	ε <sub>ν</sub> [%] 50.454 33.657 7.638 1.920	√[%] 60.545 40.389 9.165 2.304	G [MPa] 1.4 1.6 4.5 11.6	G/G0 <0.4 SI SI SI SI	si [mm] 151.36 100.97 22.91 5.76
q [kPa] 1700 1700 1700 1700 1700	z [m] 0.3 0.6 0.9 1.2 1.5	z (△♂) [m] 0.15 0.45 0.75 1.05 1.35	Δσ <sub>v</sub> [kPa] 1669.2 1275.5 823.1 533.1 362.2	До <sub>н</sub> [kPa] 1222.1 379.9 107.3 37.6 15.9	o'c           [kPa]           1391.1           705.1           379.1           242.6           177.7	G <sub>0</sub> [MPa] 121.8 106.3 93.9 85.9 80.7	<ul> <li>yr [%]</li> <li>0.335</li> <li>0.308</li> <li>0.283</li> <li>0.265</li> <li>0.253</li> </ul>	α 0.860 0.860 0.860 0.860 0.860	ε <sub>v</sub> [%] 50.454 33.657 7.638 1.920 0.736	√[%] 60.545 40.389 9.165 2.304 0.883	G [MPa] 1.4 1.6 4.5 11.6 20.5	G/G <sub>0</sub> <0.4 SI SI SI SI SI	si [mm] 151.36 100.97 22.91 5.76 2.21
q [kPa] 1700 1700 1700 1700 1700 1700	z [m] 0.3 0.6 0.9 1.2 1.5 1.8	z (△♂) [m] 0.15 0.45 0.75 1.05 1.35 1.65	Δσ <sub>v</sub> [kPa] 1669.2 1275.5 823.1 533.1 362.2 258.5	Δσ <sub>H</sub> [kPa] 1222.1 379.9 107.3 37.6 15.9 7.7	σ <sup>°</sup> c [kPa] 1391.1 705.1 379.1 242.6 177.7 144.3	G <sub>0</sub> [MPa] 121.8 106.3 93.9 85.9 80.7 77.4	<pre>yr [%] 0.335 0.308 0.283 0.265 0.253 0.244</pre>	<ul> <li>∝</li> <li>0.860</li> <li>0.860</li> <li>0.860</li> <li>0.860</li> <li>0.860</li> <li>0.876</li> </ul>	ε <sub>v</sub> [%] 50.454 33.657 7.638 1.920 0.736 0.379	√[%] 60.545 40.389 9.165 2.304 0.883 0.455	G [MPa] 1.4 1.6 4.5 11.6 20.5 28.4	G/G0 <0.4 SI SI SI SI SI SI SI	si [mm] 151.36 100.97 22.91 5.76 2.21 1.14
q [kPa] 1700 1700 1700 1700 1700 1700	z [m] 0.3 0.6 0.9 1.2 1.5 1.8 2.1	z ( $\Delta \sigma$ ) [m] 0.15 0.45 0.75 1.05 1.35 1.65 1.95	Δσ <sub>v</sub> [kPa] 1669.2 1275.5 823.1 533.1 362.2 258.5 192.3	Дотн [kPa] 1222.1 379.9 107.3 37.6 15.9 7.7 4.1	o'c         [kPa]         1391.1         705.1         379.1         242.6         177.7         144.3         126.5	G <sub>0</sub> [MPa] 121.8 106.3 93.9 85.9 80.7 77.4 75.4	\vr [%]         0.335         0.308         0.283         0.265         0.253         0.244         0.239	α 0.860 0.860 0.860 0.860 0.860 0.876 0.870	$\varepsilon_v[\%]$ 50.454 33.657 7.638 1.920 0.736 0.379 0.224	√[%] 60.545 40.389 9.165 2.304 0.883 0.455 0.269	G [MPa] 1.4 1.6 4.5 11.6 20.5 28.4 35.7	G/G0 <0.4 SI SI SI SI SI SI SI NO	si [mm] 151.36 100.97 22.91 5.76 2.21 1.14 0.67
q [kPa] 1700 1700 1700 1700 1700 1700 1700 q [kPa]	z [m] 0.3 0.6 0.9 1.2 1.5 1.8 2.1 z [m]	z ( $\Delta \sigma$ ) [m] 0.15 0.45 0.75 1.05 1.05 1.65 1.95 z ( $\Delta \sigma$ ) [m]	$ \begin{array}{c} \Delta \sigma_{v} \\ [kPa] \\ 1669.2 \\ 1275.5 \\ 823.1 \\ 533.1 \\ 362.2 \\ 258.5 \\ 192.3 \\ \Delta \sigma_{v} \\ [kPa] \\ \end{array} $	Δσ <sub>H</sub> [kPa] 1222.1 379.9 107.3 37.6 15.9 7.7 4.1 Δσ <sub>H</sub> [kPa]	σ'c         [kPa]         1391.1         705.1         379.1         242.6         177.7         144.3         126.5         σ'c         [kPa]	G <sub>0</sub> [MPa] 121.8 106.3 93.9 85.9 80.7 77.4 75.4 G <sub>0</sub> [MPa]	yr [%]         0.335         0.308         0.283         0.265         0.253         0.244         0.239         yr [%]	α 0.860 0.860 0.860 0.860 0.860 0.870 0.870 α	$\epsilon_v [\%]$ 50.454 33.657 7.638 1.920 0.736 0.379 0.224 $\epsilon_v [\%]$	√[%] 60.545 40.389 9.165 2.304 0.883 0.455 0.269 √[%]	G [MPa] 1.4 1.6 4.5 11.6 20.5 28.4 35.7 G [MPa]	G/G0 <0.4 SI SI SI SI SI SI SI NO CG/G0 <0.4	si [mm] 151.36 100.97 22.91 5.76 2.21 1.14 0.67 si [mm]
q [kPa] 1700 1700 1700 1700 1700 1700 q [kPa] 1800	z [m] 0.3 0.6 0.9 1.2 1.5 1.8 2.1 z [m] 0.3	$\begin{array}{c} z \\ (\Delta\sigma) \\ [m] \\ 0.15 \\ 0.45 \\ 0.75 \\ 1.05 \\ 1.35 \\ 1.65 \\ 1.95 \\ z \\ (\Delta\sigma) \\ [m] \\ 0.15 \end{array}$	$ \begin{array}{c} \Delta \sigma_{v} \\ [kPa] \\ 1669.2 \\ 1275.5 \\ 823.1 \\ 533.1 \\ 362.2 \\ 258.5 \\ 192.3 \\ \Delta \sigma_{v} \\ [kPa] \\ 1767.4 \end{array} $	Δσ <sub>H</sub> [kPa] 1222.1 379.9 107.3 37.6 15.9 7.7 4.1 Δσ <sub>H</sub> [kPa] 1294.0	σ'c         [kPa]         1391.1         705.1         379.1         242.6         177.7         144.3         126.5         σ'c         [kPa]         1471.8	G <sub>0</sub> [MPa] 121.8 106.3 93.9 85.9 80.7 77.4 75.4 G <sub>0</sub> [MPa] 123.1	\vr [%]         0.335         0.308         0.283         0.265         0.253         0.244         0.239         \vr [%]         0.337	α 0.860 0.860 0.860 0.860 0.876 0.870 α 0.860	$\varepsilon_v[\%]$ 50.454 33.657 7.638 1.920 0.736 0.379 0.224 $\varepsilon_v[\%]$ 666.103	√[%] 60.545 40.389 9.165 2.304 0.883 0.455 0.269 √[%] 79.323	G [MPa] 1.4 1.6 4.5 20.5 28.4 35.7 G [MPa] 1.1	G/G0 <0.4 SI SI SI SI SI SI NO G/G0 <0.4	si [mm] 151.36 100.97 22.91 5.76 2.21 1.14 0.67 si [mm] 198.31
q [kPa] 1700 1700 1700 1700 1700 1700 1700 170	z [m] 0.3 0.6 0.9 1.2 1.5 1.8 2.1 z [m] 0.3 0.6	z ( $\Delta \sigma$ ) [m] 0.15 0.45 1.05 1.05 1.65 1.95 z ( $\Delta \sigma$ ) [m] 0.15 0.45	$ \begin{array}{c} \Delta \sigma_{v} \\ [kPa] \\ \hline 1669.2 \\ 1275.5 \\ 823.1 \\ \hline 533.1 \\ \hline 362.2 \\ 258.5 \\ \hline 192.3 \\ \hline \Delta \sigma_{v} \\ [kPa] \\ \hline 1767.4 \\ \hline 1350.6 \\ \end{array} $	Δσ <sub>H</sub> [kPa] 1222.1 379.9 107.3 37.6 15.9 7.7 4.1 Δσ <sub>H</sub> [kPa] 1294.0 402.3	σ'c         [kPa]         1391.1         705.1         379.1         242.6         177.7         144.3         126.5         σ'c         [kPa]         1471.8         745.0	G <sub>0</sub> [MPa] 121.8 106.3 93.9 85.9 80.7 77.4 75.4 G <sub>0</sub> [MPa] 123.1 107.5	yr [%]         0.335         0.308         0.283         0.265         0.253         0.244         0.239         yr [%]         0.337         0.310	α           0.860           0.860           0.860           0.860           0.870           0.870           α           0.860           0.860	εv[%]         50.454         33.657         7.638         1.920         0.736         0.379         0.224         εv[%]         66.103         43.856	<ul> <li>√[%]</li> <li>60.545</li> <li>40.389</li> <li>9.165</li> <li>2.304</li> <li>0.883</li> <li>0.455</li> <li>0.269</li> <li>√[%]</li> <li>79.323</li> <li>52.628</li> </ul>	G [MPa] 1.4 1.6 4.5 11.6 20.5 28.4 35.7 G [MPa] 1.1 1.3	G/G0 <0.4 SI SI SI SI SI SI SI O(C0 (0.4 SI SI	si [mm] 151.36 100.97 22.91 5.76 2.21 1.14 0.67 si [mm] 198.31 131.57
q [kPa] 1700 1700 1700 1700 1700 1700 1700 q [kPa] 1800 1800	z [m] 0.3 0.6 0.9 1.2 1.5 1.8 2.1 z [m] 0.3 0.6 0.9	z ( $\Delta\sigma$ ) [m] 0.15 0.45 0.75 1.05 1.35 1.65 1.95 z ( $\Delta\sigma$ ) [m] 0.15 0.45 0.45	$\begin{array}{c} & \Delta \sigma_{v} \\ [kPa] \\ \hline 1669.2 \\ 1275.5 \\ \hline 823.1 \\ \hline 533.1 \\ \hline 362.2 \\ \hline 258.5 \\ \hline 192.3 \\ \hline \Delta \sigma_{v} \\ [kPa] \\ \hline 1767.4 \\ \hline 1350.6 \\ \hline 871.5 \end{array}$	Δσ <sub>H</sub> [kPa] 1222.1 379.9 107.3 37.6 15.9 7.7 4.1 Δσ <sub>H</sub> [kPa] 1294.0 402.3 113.6	σ'c         [kPa]         1391.1         705.1         379.1         242.6         177.7         144.3         126.5         σ'c         [kPa]         1471.8         745.0         399.5	G <sub>0</sub> [MPa] 121.8 106.3 93.9 85.9 80.7 77.4 75.4 G <sub>0</sub> [MPa] 123.1 107.5 94.9	<pre>\r [%] 0.335 0.308 0.283 0.265 0.253 0.244 0.239 \r [%] 0.337 0.310 0.285</pre>	∝ 0.860 0.860 0.860 0.860 0.876 0.870 ∝ 0.860 0.860 0.860 0.860	$\varepsilon_v[\%]$ 50.454 33.657 7.638 1.920 0.736 0.379 0.224 $\varepsilon_v[\%]$ 66.103 43.856 9.602	<ul> <li>√[%]</li> <li>60.545</li> <li>40.389</li> <li>9.165</li> <li>2.304</li> <li>0.883</li> <li>0.455</li> <li>0.269</li> <li>√[%]</li> <li>79.323</li> <li>52.628</li> <li>11.522</li> </ul>	G [MPa] 1.4 1.6 4.5 20.5 28.4 35.7 G [MPa] 1.1 1.3 3.8	G/G0 <0.4 SI SI SI SI SI SI SI SI SI SI SI SI	si [mm] 151.36 100.97 22.91 5.76 2.21 1.14 0.67 si [mm] 198.31 131.57 28.81
q [kPa] 1700 1700 1700 1700 1700 1700 1700 170	z [m] 0.3 0.6 0.9 1.2 1.5 1.8 2.1 z [m] 0.3 0.6 0.9 1.2	z ( $\Delta \sigma$ ) [m] 0.15 0.45 1.05 1.05 1.65 1.95 z ( $\Delta \sigma$ ) [m] 0.15 0.45 0.75 1.05	$\begin{array}{c} \Delta \sigma_{v} \\ [kPa] \\ 1669.2 \\ 1275.5 \\ 823.1 \\ 533.1 \\ 362.2 \\ 258.5 \\ 192.3 \\ \Delta \sigma_{v} \\ [kPa] \\ 1767.4 \\ 1350.6 \\ 871.5 \\ 564.4 \\ \end{array}$	Δσн           [kPa]           1222.1           379.9           107.3           37.6           15.9           7.7           4.1           Δση           [kPa]           1294.0           402.3           113.6           39.8	σ'c         [kPa]         1391.1         705.1         379.1         242.6         177.7         144.3         126.5         σ'c         [kPa]         1471.8         745.0         399.5         254.5	G <sub>0</sub> [MPa] 121.8 106.3 93.9 85.9 80.7 77.4 75.4 G <sub>0</sub> [MPa] 123.1 107.5 94.9 86.7	yr [%]         0.335         0.308         0.283         0.265         0.253         0.244         0.239         yr [%]         0.337         0.310         0.285         0.265	α           0.860           0.860           0.860           0.860           0.870           0.870           α           0.860           0.860           0.860           0.860           0.860           0.860           0.860           0.860	εν[%]           50.454           33.657           7.638           1.920           0.736           0.379           0.224           εν[%]           66.103           43.856           9.602           2.274	<ul> <li>√[%]</li> <li>60.545</li> <li>40.389</li> <li>9.165</li> <li>2.304</li> <li>0.883</li> <li>0.455</li> <li>0.269</li> <li>√[%]</li> <li>79.323</li> <li>52.628</li> <li>11.522</li> <li>2.729</li> </ul>	G [MPa] 1.4 1.6 4.5 20.5 28.4 35.7 G [MPa] 1.1 1.3 3.8 10.3	G/G0           SI	si [mm] 151.36 100.97 22.91 5.76 2.21 1.14 0.67 si [mm] 198.31 131.57 28.81 6.82
q [kPa] 1700 1700 1700 1700 1700 1700 1700 4 [kPa] 1800 1800 1800 1800	z [m] 0.3 0.6 0.9 1.2 1.5 1.8 2.1 z [m] 0.3 0.6 0.9 1.2 1.5	z ( $\Delta\sigma$ ) [m] 0.15 0.45 0.75 1.05 1.35 1.65 1.95 z ( $\Delta\sigma$ ) [m] 0.15 0.45 0.75 1.05 1.35	$\begin{array}{c} & \Delta \sigma_{v} \\ [kPa] \\ \hline 1669.2 \\ 1275.5 \\ \hline 823.1 \\ \hline 533.1 \\ \hline 362.2 \\ \hline 258.5 \\ \hline 192.3 \\ \hline \Delta \sigma_{v} \\ [kPa] \\ \hline 1767.4 \\ \hline 1350.6 \\ \hline 871.5 \\ \hline 564.4 \\ \hline 383.5 \\ \hline \end{array}$	Δσ <sub>H</sub> [kPa] 1222.1 379.9 107.3 37.6 15.9 7.7 4.1 Δσ <sub>H</sub> [kPa] 1294.0 402.3 113.6 39.8 16.8	σ'c         [kPa]         1391.1         705.1         379.1         242.6         177.7         144.3         126.5         σ'c         [kPa]         1471.8         745.0         399.5         254.5         185.4	G <sub>0</sub> [MPa] 121.8 106.3 93.9 85.9 80.7 77.4 75.4 G <sub>0</sub> [MPa] 123.1 107.5 94.9 86.7 81.4	\vr [%]         0.335         0.308         0.283         0.265         0.253         0.244         0.239         \vr [%]         0.337         0.310         0.285         0.267         0.254	<ul> <li>α</li> <li>0.860</li> <li>0.860</li> <li>0.860</li> <li>0.860</li> <li>0.876</li> <li>0.876</li> <li>0.870</li> <li>0.860</li> <li>0.860</li> <li>0.860</li> <li>0.860</li> <li>0.860</li> <li>0.860</li> </ul>	$\varepsilon_v[\%]$ 50.454 33.657 7.638 1.920 0.736 0.379 0.224 $\varepsilon_v[\%]$ 66.103 43.856 9.602 2.274 0.835	<ul> <li>√[%]</li> <li>60.545</li> <li>40.389</li> <li>9.165</li> <li>2.304</li> <li>0.883</li> <li>0.455</li> <li>0.269</li> <li>√[%]</li> <li>79.323</li> <li>52.628</li> <li>11.522</li> <li>2.729</li> <li>1.002</li> </ul>	G [MPa] 1.4 1.6 4.5 20.5 28.4 35.7 G [MPa] 1.1 1.3 3.8 10.3 19.1	G/G0 <0.4 SI SI SI SI SI SI SI SI SI SI SI SI SI	si [mm] 151.36 100.97 22.91 5.76 2.21 1.14 0.67 si [mm] 198.31 131.57 28.81 6.82 2.50
q [kPa] 1700 1700 1700 1700 1700 1700 1700 170	z [m] 0.3 0.6 0.9 1.2 1.5 1.8 2.1 z [m] 0.3 0.6 0.9 1.2 1.5 1.8	z ( $\Delta \sigma$ ) [m] 0.15 0.45 1.05 1.05 1.65 1.65 2 ( $\Delta \sigma$ ) [m] 0.15 0.45 0.45 0.75 1.05 1.35 1.65	Δσ <sub>v</sub> [kPa] 1669.2 1275.5 823.1 533.1 362.2 258.5 192.3 Δσ <sub>v</sub> [kPa] 1767.4 1350.6 871.5 564.4 383.5 273.7	ΔσH           [kPa]           1222.1           379.9           107.3           37.6           15.9           7.7           4.1           ΔσH           [kPa]           1294.0           402.3           113.6           39.8           16.8           8.1	σ'c         [kPa]         1391.1         705.1         379.1         242.6         177.7         144.3         126.5         σ'c         [kPa]         1471.8         745.0         399.5         254.5         185.4         149.7	G <sub>0</sub> [MPa] 121.8 106.3 93.9 85.9 80.7 77.4 75.4 G <sub>0</sub> [MPa] 123.1 107.5 94.9 86.7 81.4 78.0	\vr [%]         0.335         0.308         0.283         0.265         0.253         0.244         0.239         \vr [%]         0.337         0.310         0.285         0.267         0.254	α           0.860           0.860           0.860           0.860           0.860           0.870           0.870           0.860           0.860           0.870           0.860           0.860           0.860           0.860           0.860           0.860           0.860           0.860	εv[%]         50.454         33.657         7.638         1.920         0.736         0.224         εv[%]         66.103         43.856         9.602         2.274         0.835         0.415	<ul> <li>√[%]</li> <li>60.545</li> <li>40.389</li> <li>9.165</li> <li>2.304</li> <li>0.883</li> <li>0.455</li> <li>0.269</li> <li>√[%]</li> <li>79.323</li> <li>52.628</li> <li>11.522</li> <li>2.729</li> <li>1.002</li> <li>0.497</li> </ul>	G [MPa] 1.4 1.6 4.5 11.6 20.5 28.4 35.7 G [MPa] 1.1 1.3 3.8 10.3 19.1 27.5	G/G0           SI           SI	si [mm] 151.36 100.97 22.91 5.76 2.21 1.14 0.67 si [mm] 131.57 28.81 131.57 28.81 6.82 2.50 1.24

<b>q</b> [kPa]	Stot	q[kPa]	Stot	q[kPa]	Stot
100	0.76	700	13.39	1300	90.99
200	1.72	800	18.62	1400	122.79
300	2.97	900	25.78	1500	164.13
400	4.57	1000	35.58	1600	217.36
500	6.70	1100	48.92	1700	285.02
600	9.69	1200	66.93	1800	369.99

## ALLEGATO 20: METODO ITERATIVO, FONDAZIONE 1x1M

D[m]	El-NI/ma
Strato 1	

<b>B</b> [m]	$\gamma [kN/m^3]$	D[m]	<b>∆h</b> [m]	k <sub>0</sub>	v	<b>L/2</b> [m]	<b>B/2</b> [m]
3	15	0.76	0.86	1.7	0.2	1.5	1.5

Strato 2							
<b>B</b> [m]	$\gamma [kN/m^3]$	D[m]	<b>∆h</b> [m]	k <sub>0</sub>	v	<b>L/2</b> [m]	<b>B/2</b> [m]
3	15	0.76	0.86	1.2	0.2	1.5	1.5

<b>z</b> [m]	<b>z (∆σ)</b> [m]	σ'v0[kPa]	<b>R</b> <sub>1</sub>	<b>R</b> <sub>2</sub>	<b>R</b> <sub>3</sub>
0.86	0.43	17.85	1.56	1.56	2.16
1.72	1.29	30.75	1.98	1.98	2.48
2.58	2.15	43.65	2.62	2.62	3.02
3.44	3.01	56.55	3.36	3.36	3.68
4.3	3.87	69.45	4.15	4.15	4.41
5.16	4.73	82.35	4.96	4.96	5.18
6.02	5.59	95.25	5.79	5.79	5.98

q [kPa]	z [m]	z (Δσ) [m]	∆σ <sub>v</sub> [kPa]	∆σ <sub>H</sub> [kPa]	σ'c [kPa]	G <sub>0</sub> [MPa]	γ <sub>r</sub> [%]	α	εv[%]	¥[%]	G [MPa]	G/G <sub>0</sub> <0.4	si [mm]
55.6	0.86	0.43	54.7	40.7	71.5	67.3	0.216	0.845	0.044	0.053	51.5	NO	0.38
55.6	1.72	1.29	42.8	13.6	68.4	66.7	0.214	0.844	0.033	0.040	53.7	NO	0.29
55.6	2.58	2.15	28.3	4.0	76.1	68.1	0.219	0.848	0.020	0.024	59.0	NO	0.17
55.6	3.44	3.01	18.6	1.4	90.1	70.4	0.225	0.855	0.012	0.014	64.3	NO	0.10
55.6	4.3	3.87	12.7	0.6	114.8	669.1	0.359	0.866	0.001	0.001	665.2	NO	0.01
55.6	5.16	4.73	9.1	0.3	133.9	679.5	0.405	0.873	0.001	0.001	676.9	NO	0.00
55.6	6.02	5.59	6.8	0.2	153.5	688.8	0.446	0.879	0.000	0.000	687.1	NO	0.00

q [kPa]	z [m]	z (Δσ) [m]	∆σ <sub>v</sub> [kPa]	∆σ <sub>H</sub> [kPa]	σ'c [kPa]	G <sub>0</sub> [MPa]	Υr [%]	α	εv[%]	Y[%]	G [MPa]	G/G <sub>0</sub> <0.4	si[mm]
111.1	0.86	0.43	109.3	81.3	116.9	74.2	0.236	0.867	0.094	0.112	48.6	NO	0.81
111.1	1.72	1.29	85.6	27.1	91.7	70.7	0.226	0.856	0.073	0.087	49.0	NO	0.63
111.1	2.58	2.15	56.6	8.0	88.2	70.1	0.225	0.855	0.043	0.052	54.5	NO	0.37
111.1	3.44	3.01	37.2	2.9	97.2	71.5	0.228	0.859	0.026	0.031	60.7	NO	0.22
111.1	4.3	3.87	25.5	1.2	119.5	671.8	0.370	0.868	0.002	0.002	664.9	NO	0.01
111.1	5.16	4.73	18.3	0.6	137.1	681.1	0.412	0.874	0.001	0.001	676.5	NO	0.01
111.1	6.02	5.59	13.6	0.3	155.9	689.9	0.450	0.879	0.001	0.001	686.7	NO	0.01
q [kPa]	z [m]	z (Δσ) [m]	∆σ <sub>v</sub> [kPa]	∆σ <sub>H</sub> [kPa]	σ'c [kPa]	G <sub>0</sub> [MPa]	γ <sub>Γ</sub> [%]	α	εv[%]	y[%]	G [MPa]	G/G <sub>0</sub> <0.4	si[mm]
166.7	0.86	0.43	164.0	122.0	162.2	79.2	0.249	0.881	0.152	0.182	45.0	NO	1.31
166.7	1.72	1.29	128.4	40.7	115.0	74.0	0.235	0.866	0.119	0.143	44.8	NO	1.03
166.7	2.58	2.15	84.8	12.0	100.3	72.0	0.230	0.860	0.070	0.084	50.7	NO	0.60
166.7	3.44	3.01	55.8	4.3	104.4	72.5	0.231	0.862	0.040	0.048	57.6	NO	0.35
166.7	4.3	3.87	38.2	1.8	124.1	674.4	0.382	0.869	0.002	0.003	664.9	NO	0.02
166.7	5.16	4.73	27.4	0.9	140.4	682.7	0.419	0.875	0.002	0.002	676.3	NO	0.01
166.7	6.02	5.59	20.5	0.5	158.3	690.9	0.455	0.880	0.001	0.001	686.5	NO	0.01
q [kPa]	z [m]	z (Δσ) [m]	∆σ <sub>v</sub> [kPa]	∆σ <sub>H</sub> [kPa]	σ'c [kPa]	G <sub>0</sub> [MPa]	γ <b>r</b> [%]	α	εv[%]	<b>\[%]</b>	G [MPa]	G/G <sub>0</sub> <0.4	si [mm]
222.2	0.86	0.43	218.7	162.7	207.5	83.2	0.259	0.892	0.222	0.266	41.1	NO	1.91
222.2	1.72	1.29	171.1	54.3	138.3	76.7	0.243	0.874	0.175	0.210	40.8	NO	1.50
222.2	2.58	2.15	113.1	16.0	112.4	73.6	0.234	0.865	0.100	0.120	47.2	NO	0.86
222.2	3.44	3.01	74.3	5.7	111.5	73.5	0.234	0.865	0.057	0.068	54.7	NO	0.49
222.2	4.3	3.87	50.9	2.4	128.8	676.9	0.393	0.871	0.003	0.004	665.1	NO	0.03
222.2	5.16	4.73	36.5	1.2	143.6	684.3	0.426	0.876	0.002	0.003	676.2	NO	0.02
222.2	6.02	5.59	27.3	0.6	160.6	692.0	0.459	0.881	0.002	0.002	686.3	NO	0.01
q [kPa]	z [m]	z (Δσ) [m]	∆σ <sub>v</sub> [kPa]	∆σ <sub>H</sub> [kPa]	σ'c [kPa]	G <sub>0</sub> [MPa]	γr [%]	α	εv[%]	y[%]	G [MPa]	G/G <sub>0</sub> <0.4	si [mm]
277.8	0.86	0.43	273.3	203.3	252.9	86.6	0.267	0.900	0.308	0.370	37.0	NO	2.65
277.8	1.72	1.29	213.9	67.9	161.7	79.2	0.249	0.881	0.241	0.290	36.9	NO	2.07
277.8	2.58	2.15	141.4	20.0	124.5	75.1	0.238	0.870	0.134	0.161	43.9	NO	1.15
277.8	3.44	3.01	92.9	7.1	118.7	74.4	0.236	0.867	0.074	0.089	52.1	NO	0.64
277.8	4.3	3.87	63.7	3.0	133.4	679.3	0.404	0.873	0.004	0.005	665.4	NO	0.03
277.8	5.16	4.73	45.7	1.5	146.9	685.8	0.432	0.877	0.003	0.003	676.2	NO	0.02
277.8	6.02	5.59	34.1	0.8	163.0	693.0	0.464	0.881	0.002	0.002	686.2	NO	0.02

q [kPa]	z [m]	z (Δσ) [m]	∆σ <sub>v</sub> [kPa]	∆σ <sub>H</sub> [kPa]	σ'c [kPa]	G <sub>0</sub> [MPa]	Yr [%]	α	εv[%]	Y[%]	G [MPa]	G/G <sub>0</sub> <0.4	si [mm]
333.3	0.86	0.43	328.0	244.0	298.2	89.5	0.273	0.860	0.401	0.482	34.0	SI	3.45
333.3	1.72	1.29	256.7	81.4	185.0	81.3	0.254	0.887	0.322	0.387	33.2	NO	2.77
333.3	2.58	2.15	169.7	24.0	136.6	76.5	0.242	0.874	0.173	0.208	40.8	NO	1.49
333.3	3.44	3.01	111.5	8.6	125.8	75.3	0.239	0.870	0.094	0.113	49.5	NO	0.81
333.3	4.3	3.87	76.4	3.7	138.1	681.6	0.414	0.874	0.005	0.006	665.8	NO	0.04
333.3	5.16	4.73	54.8	1.8	150.1	687.3	0.439	0.878	0.003	0.004	676.2	NO	0.03
333.3	6.02	5.59	40.9	1.0	165.4	694.0	0.468	0.882	0.002	0.003	686.1	NO	0.02
q [kPa]	z [m]	z (Δσ) [m]	∆σ <sub>v</sub> [kPa]	∆σ <sub>H</sub> [kPa]	σ'c [kPa]	G <sub>0</sub> [MPa]	γr [%]	α	εv[%]	¥[%]	G [MPa]	G/G <sub>0</sub> <0.4	si [mm]
388.9	0.86	0.43	382.7	284.7	343.5	92.0	0.279	0.860	0.519	0.622	30.7	SI	4.46
388.9	1.72	1.29	299.5	95.0	208.3	83.3	0.259	0.860	0.410	0.492	30.4	SI	3.53
388.9	2.58	2.15	198.0	28.0	148.7	77.8	0.245	0.877	0.218	0.262	37.8	NO	1.87
388.9	3.44	3.01	130.1	10.0	133.0	76.1	0.241	0.872	0.115	0.138	47.1	NO	0.99
388.9	4.3	3.87	89.1	4.3	142.7	683.8	0.424	0.875	0.006	0.007	666.2	NO	0.05
388.9	5.16	4.73	63.9	2.1	153.4	688.8	0.445	0.879	0.004	0.005	676.3	NO	0.03
388.9	6.02	5.59	47.7	1.1	167.8	695.0	0.472	0.882	0.003	0.003	686.0	NO	0.02
q [kPa]	z [m]	z (Δσ) [m]	∆σ <sub>v</sub> [kPa]	∆σ <sub>H</sub> [kPa]	σ'c [kPa]	G <sub>0</sub> [MPa]	γr [%]	α	ε <sub>v</sub> [%]	¥[%]	G [MPa]	G/G <sub>0</sub> <0.4	si [mm]
444.4	0.86	0.43	437.4	325.4	388.9	94.4	0.284	0.860	0.659	0.791	27.6	SI	5.67
444.4	1.72	1.29	342.3	108.6	231.6	85.1	0.263	0.860	0.520	0.624	27.4	SI	4.47
444.4	2.58	2.15	226.3	32.0	160.7	79.1	0.249	0.881	0.270	0.323	35.0	NO	2.32
444.4	3.44	3.01	148.7	11.4	140.1	76.9	0.243	0.875	0.138	0.166	44.8	NO	1.19
444.4	4.3	3.87	101.9	4.9	147.4	686.0	0.433	0.877	0.006	0.008	666.7	NO	0.05
444.4	5.16	4.73	73.1	2.4	156.6	690.2	0.452	0.879	0.005	0.005	676.4	NO	0.04
444.4	6.02	5.59	54.6	1.3	170.2	696.0	0.476	0.883	0.003	0.004	686.0	NO	0.03
q [kPa]	z [m]	z (Δσ) [m]	∆σ <sub>v</sub> [kPa]	∆σ <sub>H</sub> [kPa]	σ'c [kPa]	G <sub>0</sub> [MPa]	γr [%]	α	εv[%]	Y[%]	G [MPa]	G/G <sub>0</sub> <0.4	si [mm]
500.0	0.86	0.43	492.0	366.0	434.2	96.5	0.288	0.860	0.829	0.995	24.7	SI	7.13
500.0	1.72	1.29	385.1	122.2	254.9	86.7	0.267	0.860	0.651	0.781	24.7	SI	5.59
500.0	2.58	2.15	254.5	36.0	172.8	80.2	0.251	0.884	0.329	0.395	32.2	NO	2.83
500.0	3.44	3.01	167.3	12.8	147.3	77.7	0.245	0.877	0.163	0.196	42.6	NO	1.41
500.0	4.3	3.87	114.6	5.5	152.0	688.2	0.443	0.878	0.007	0.009	667.3	NO	0.06
500.0	5.16	4.73	82.2	2.7	159.8	691.6	0.458	0.880	0.005	0.006	676.6	NO	0.04
500.0	6.02	5.59	61.4	1.4	172.5	696.9	0.481	0.884	0.004	0.004	685.9	NO	0.03

q [kPa]	z [m]	z (Δσ) [m]	∆σ <sub>v</sub> [kPa]	∆σ <sub>H</sub> [kPa]	σ'c [kPa]	G <sub>0</sub> [MPa]	γ <b>r [%]</b>	α	εv[%]	Y[%]	G [MPa]	G/G <sub>0</sub> <0.4	si[mm]
555.6	0.86	0.43	546.7	406.7	479.5	98.4	0.292	0.860	1.034	1.241	22.0	SI	8.90
555.6	1.72	1.29	427.9	135.7	278.2	88.2	0.271	0.860	0.807	0.968	22.1	SI	6.94
555.6	2.58	2.15	282.8	39.9	184.9	81.3	0.254	0.860	0.390	0.468	30.2	SI	3.35
555.6	3.44	3.01	185.9	14.3	154.4	78.4	0.247	0.879	0.191	0.230	40.5	NO	1.65
555.6	4.3	3.87	127.3	6.1	156.7	690.3	0.452	0.880	0.008	0.010	667.8	NO	0.07
555.6	5.16	4.73	91.3	3.0	163.1	693.0	0.464	0.881	0.006	0.007	676.7	NO	0.05
555.6	6.02	5.59	68.2	1.6	174.9	697.9	0.485	0.884	0.004	0.005	685.9	NO	0.04
q [kPa]	z [m]	$z$ $(\Delta\sigma)$ [m]	∆σ <sub>v</sub> [kPa]	∆σ <sub>H</sub> [kPa]	σ'c [kPa]	G <sub>0</sub> [MPa]	γr [%]	α	εv[%]	<b>y[%]</b>	G [MPa]	G/G <sub>0</sub> <0.4	si[mm]
611.1	0.86	0.43	601.4	447.4	524.9	100.2	0.296	0.860	1.283	1.539	19.5	SI	11.03
611.1	1.72	1.29	470.7	149.3	301.5	89.7	0.274	0.860	0.994	1.193	19.7	SI	8.55
611.1	2.58	2.15	311.1	43.9	197.0	82.4	0.257	0.860	0.463	0.556	28.0	SI	3.98
611.1	3.44	3.01	204.4	15.7	161.6	79.2	0.249	0.881	0.222	0.266	38.4	NO	1.91
611.1	4.3	3.87	140.1	6.7	161.3	692.3	0.461	0.881	0.009	0.010	668.4	NO	0.08
611.1	5.16	4.73	100.5	3.3	166.3	694.4	0.470	0.882	0.006	0.007	676.9	NO	0.05
611.1	6.02	5.59	75.0	1.8	177.3	698.8	0.489	0.885	0.005	0.005	686.0	NO	0.04
q [kPa]	z [m]	z (Δσ) [m]	∆σ <sub>v</sub> [kPa]	∆σ <sub>H</sub> [kPa]	σ'c [kPa]	G <sub>0</sub> [MPa]	∀r [%]	α	ε <sub>v</sub> [%]	<b>\[%]</b>	G [MPa]	G/G <sub>0</sub> <0.4	si[mm]
666.7	0.86	0.43	656.0	488.0	570.2	101.9	0.299	0.860	1.585	1.902	17.3	SI	13.63
666.7	1.72	1.29	513.4	162.9	324.8	91.0	0.277	0.860	1.219	1.463	17.5	SI	10.49
666.7	2.58	2.15	339.4	47.9	209.1	83.3	0.259	0.860	0.547	0.656	25.8	SI	4.70
666.7	3.44	3.01	223.0	17.1	168.7	79.8	0.251	0.883	0.255	0.307	36.4	NO	2.20
666.7	4.3	3.87	152.8	7.3	166.0	694.2	0.469	0.882	0.010	0.011	669.0	NO	0.08
666.7	5.16	4.73	109.6	3.6	169.6	695.7	0.475	0.883	0.007	0.008	677.2	NO	0.06
666.7	6.02	5.59	81.8	1.9	179.7	699.8	0.493	0.885	0.005	0.006	686.0	NO	0.04
q [kPa]	z [m]	z (Δσ) [m]	∆σ <sub>v</sub> [kPa]	∆σ <sub>H</sub> [kPa]	σ'c [kPa]	G <sub>0</sub> [MPa]	γr [%]	α	εv[%]	<b>y[%]</b>	G [MPa]	G/G <sub>0</sub> <0.4	si[mm]
722.2	0.86	0.43	710.7	528.7	615.5	103.4	0.302	0.860	1.951	2.341	15.2	SI	16.78
722.2	1.72	1.29	556.2	176.5	348.2	92.3	0.280	0.860	1.490	1.788	15.6	SI	12.81
722.2	2.58	2.15	367.7	51.9	221.2	84.3	0.261	0.860	0.643	0.771	23.8	SI	5.53
722.2	3.44	3.01	241.6	18.6	175.8	80.5	0.252	0.885	0.293	0.351	34.4	NO	2.52
722.2	4.3	3.87	165.5	7.9	170.6	696.2	0.477	0.883	0.010	0.012	669.6	NO	0.09
722.2	5.16	4.73	118.7	3.9	172.8	697.0	0.481	0.884	0.007	0.009	677.4	NO	0.06
722.2	6.02	5.59	88.7	2.1	182.1	700.7	0.497	0.886	0.005	0.006	686.1	NO	0.05

q [kPa]	z [m]	z (Δσ) [m]	∆σ <sub>v</sub> [kPa]	∆σ <sub>H</sub> [kPa]	σ'c [kPa]	G <sub>0</sub> [MPa]	Yr [%]	α	εv[%]	Y[%]	G [MPa]	G/G <sub>0</sub> <0.4	si [mm]
777.8	0.86	0.43	765.4	569.4	660.9	104.9	0.305	0.860	2.397	2.876	13.3	SI	20.61
777.8	1.72	1.29	599.0	190.0	371.5	93.5	0.282	0.860	1.815	2.178	13.7	SI	15.61
777.8	2.58	2.15	395.9	55.9	233.3	85.2	0.263	0.860	0.752	0.902	21.9	SI	6.46
777.8	3.44	3.01	260.2	20.0	183.0	81.2	0.254	0.886	0.334	0.401	32.5	NO	2.87
777.8	4.3	3.87	178.3	8.5	175.3	698.0	0.485	0.884	0.011	0.013	670.2	NO	0.10
777.8	5.16	4.73	127.9	4.2	176.1	698.3	0.487	0.885	0.008	0.009	677.6	NO	0.07
777.8	6.02	5.59	95.5	2.2	184.4	701.6	0.501	0.887	0.006	0.007	686.1	NO	0.05
q [kPa]	z [m]	z (Δσ) [m]	∆σ <sub>v</sub> [kPa]	∆σ <sub>H</sub> [kPa]	σ'c [kPa]	G <sub>0</sub> [MPa]	γr [%]	α	εv[%]	¥[%]	G [MPa]	G/G <sub>0</sub> <0.4	si [mm]
833.3	0.86	0.43	820.0	610.0	706.2	106.3	0.308	0.860	2.938	3.525	11.6	SI	25.26
833.3	1.72	1.29	641.8	203.6	394.8	94.6	0.285	0.860	2.207	2.649	12.1	SI	18.98
833.3	2.58	2.15	424.2	59.9	245.4	86.1	0.266	0.860	0.876	1.052	20.2	SI	7.54
833.3	3.44	3.01	278.8	21.4	190.1	81.8	0.255	0.860	0.371	0.446	31.3	SI	3.19
833.3	4.3	3.87	191.0	9.1	179.9	699.9	0.493	0.886	0.012	0.014	670.8	NO	0.10
833.3	5.16	4.73	137.0	4.4	179.3	699.6	0.492	0.885	0.008	0.010	677.9	NO	0.07
833.3	6.02	5.59	102.3	2.4	186.8	702.5	0.505	0.887	0.006	0.007	686.2	NO	0.05
q [kPa]	z [m]	z (Δσ) [m]	∆σ <sub>v</sub> [kPa]	∆σ <sub>H</sub> [kPa]	σ'c [kPa]	G <sub>0</sub> [MPa]	γr [%]	α	ε <sub>v</sub> [%]	Y[%]	G [MPa]	G/G <sub>0</sub> <0.4	si [mm]
888.9	0.86	0.43	874.7	650.7	751.6	107.6	0.310	0.860	3.594	4.313	10.1	SI	30.91
888.9	1.72	1.29	684.6	217.2	418.1	95.7	0.287	0.860	2.679	3.214	10.6	SI	23.04
888.9	2.58	2.15	452.5	63.9	257.5	86.9	0.267	0.860	1.019	1.223	18.5	SI	8.76
888.9	3.44	3.01	297.4	22.8	197.3	82.4	0.257	0.860	0.418	0.501	29.7	SI	3.59
888.9	4.3	3.87	203.7	9.7	184.6	701.7	0.501	0.887	0.013	0.015	671.4	NO	0.11
888.9	5.16	4.73	146.1	4.7	182.5	700.9	0.498	0.886	0.009	0.011	678.2	NO	0.08
888.9	6.02	5.59	109.1	2.6	189.2	703.4	0.508	0.888	0.007	0.008	686.3	NO	0.06
q [kPa]	z [m]	z (Δσ) [m]	∆σ <sub>v</sub> [kPa]	∆σ <sub>H</sub> [kPa]	σ'c [kPa]	G <sub>0</sub> [MPa]	γr [%]	α	εv[%]	¥[%]	G [MPa]	G/G <sub>0</sub> <0.4	si [mm]
944.4	0.86	0.43	929.4	691.4	796.9	108.9	0.313	0.860	4.390	5.267	8.8	SI	37.75
944.4	1.72	1.29	727.4	230.8	441.4	96.8	0.289	0.860	3.245	3.894	9.3	SI	27.91
944.4	2.58	2.15	480.8	67.9	269.6	87.7	0.269	0.860	1.182	1.419	16.9	SI	10.17
944.4	3.44	3.01	316.0	24.3	204.4	83.0	0.258	0.860	0.468	0.562	28.1	SI	4.03
944.4	4.3	3.87	216.5	10.3	189.2	703.4	0.508	0.888	0.013	0.016	672.0	NO	0.12
944.4	5.16	4.73	155.3	5.0	185.8	702.1	0.503	0.887	0.010	0.011	678.4	NO	0.08
944.4	6.02	5.59	115.9	2.7	191.6	704.3	0.512	0.888	0.007	0.008	686.4	NO	0.06

q [kPa]	z [m]	z (∆σ) [m]	∆σ <sub>v</sub> [kPa]	∆σ <sub>H</sub> [kPa]	σ'c [kPa]	G <sub>0</sub> [MPa]	γr [%]	α	εv[%]	Y[%]	G [MPa]	G/G <sub>0</sub> <0.4	si [mm]
1000.0	0.86	0.43	984.0	732.1	842.2	110.1	0.315	0.860	5.350	6.420	7.7	SI	46.01
1000.0	1.72	1.29	770.2	244.3	464.7	97.8	0.291	0.860	3.924	4.709	8.2	SI	33.75
1000.0	2.58	2.15	509.1	71.9	281.6	88.5	0.271	0.860	1.369	1.643	15.5	SI	11.78
1000.0	3.44	3.01	334.5	25.7	211.6	83.5	0.260	0.860	0.524	0.629	26.6	SI	4.50
1000.0	4.3	3.87	229.2	11.0	193.9	705.1	0.516	0.889	0.014	0.017	672.6	NO	0.12
1000.0	5.16	4.73	164.4	5.3	189.0	703.3	0.508	0.888	0.010	0.012	678.7	NO	0.09
1000.0	6.02	5.59	122.7	2.9	194.0	705.1	0.516	0.889	0.007	0.009	686.5	NO	0.06
q [kPa]	z [m]	z (Δσ) [m]	∆σ <sub>v</sub> [kPa]	∆σ <sub>H</sub> [kPa]	σ'c [kPa]	G <sub>0</sub> [MPa]	∀r [%]	α	εv[%]	<b>y[%]</b>	G [MPa]	G/G <sub>0</sub> <0.4	si[mm]
1055.6	0.86	0.43	1038.7	772.7	887.6	111.3	0.317	0.860	6.505	7.806	6.7	SI	55.95
1055.6	1.72	1.29	813.0	257.9	488.0	98.7	0.293	0.860	4.737	5.684	7.2	SI	40.74
1055.6	2.58	2.15	537.3	75.9	293.7	89.2	0.273	0.860	1.584	1.901	14.1	SI	13.62
1055.6	3.44	3.01	353.1	27.1	218.7	84.1	0.261	0.860	0.584	0.701	25.2	SI	5.03
1055.6	4.3	3.87	241.9	11.6	198.6	706.8	0.523	0.890	0.015	0.018	673.2	NO	0.13
1055.6	5.16	4.73	173.5	5.6	192.3	704.5	0.513	0.888	0.011	0.013	679.0	NO	0.09
1055.6	6.02	5.59	129.6	3.0	196.3	706.0	0.519	0.889	0.008	0.009	686.6	NO	0.07
q [kPa]	z [m]	z (Δσ) [m]	∆σ <sub>v</sub> [kPa]	∆σ <sub>H</sub> [kPa]	σ'c [kPa]	G <sub>0</sub> [MPa]	γr [%]	α	εv[%]	<b>y[%]</b>	G [MPa]	G/G <sub>0</sub> <0.4	si [mm]
1111.1	0.86	0.43	1093.4	813.4	932.9	112.4	0.319	0.860	7.891	9.469	5.8	SI	67.86
1111.1	1.72	1.29	855.7	271.5	511.3	99.7	0.295	0.860	5.706	6.848	6.2	SI	49.08
1111.1	2.58	2.15	565.6	79.9	305.8	89.9	0.274	0.860	1.830	2.196	12.9	SI	15.74
1111.1	3.44	3.01	371.7	28.5	225.9	84.6	0.262	0.860	0.651	0.781	23.8	SI	5.60
1111.1	4.3	3.87	254.7	12.2	203.2	708.4	0.530	0.891	0.016	0.019	673.8	NO	0.14
1111.1	5.16	4.73	182.7	5.9	195.5	705.7	0.518	0.889	0.011	0.013	679.3	NO	0.10
1111.1	6.02	5.59	136.4	3.2	198.7	706.9	0.523	0.890	0.008	0.010	686.7	NO	0.07

<b>Q</b> [kN]	Stot
500	0.96
1000	2.05
1500	3.33
2000	4.82
2500	6.60
3000	8.62
3500.0	10.96

Q[kN]	Stot
4000	13.77
4500	17.10
5000	20.99
5500	25.65
6000	31.20
6500	37.84
7000	45.78

Q[kN]	Stot
7500	55.21
8000	66.55
8500	80.12
9000	96.32
9500	115.63
10000	138.58

ALLEGATO 21: METODO ITERATIVO, FONDAZIONE 3X3M

L[m]	<b>B</b> [m]	β	$\gamma [kN/m^3]$	<b>D</b> [m]	G <sub>0</sub> [Mpa]	v	E[Mpa]	q[kPa]	s[mm]
1	1	1.1	15	0.76	79	0.2	189.6	100	0.32
								200	0.63
								300	0.95
								400	1.27
								500	1.58
								600	1.90
								700	2.22
								800	2.53
								900	2.85
								1000	3.16
								1100	3.48
								1200	3.80
								1300	4.11
								1400	4.43
								1500	4.75
								1600	5.06
								1700	5.38
								1800	5.70

L[m]	<b>B</b> [m]	β	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	<b>D</b> [m]	G <sub>0</sub> [Mpa]	v	E[Mpa]	q[kPa]	s[mm]
1	1	1.1	15	0.76	59.35	0.2	142.44	100	0.42
								200	0.84
								300	1.26
								400	1.68
								500	2.11
								600	2.53
								700	2.95
								800	3.37
								900	3.79
								1000	4.21
								1100	4.63
								1200	5.05
								1300	5.48
								1400	5.90
								1500	6.32
								1600	6.74
								1700	7.16
								1800	7.58

L[m]	<b>B</b> [m]	β	$\gamma [kN/m^3]$	<b>D</b> [m]	G <sub>0</sub> [Mpa]	v	E[Mpa]	q[kPa]	s[mm]
1	1	1.1	15	0.76	39.5	0.2	94.8	100	0.63
								200	1.27
								300	1.90
								400	2.53
								500	3.16
								600	3.80
								700	4.43
								800	5.06
								900	5.70
								1000	6.33
								1100	6.96
								1200	7.59
								1300	8.23
								1400	8.86
								1500	9.49
								1600	10.13
								1700	10.76
								1800	11.39

L[m]	<b>B</b> [m]	β	$\gamma [kN/m^3]$	<b>D</b> [m]	G <sub>0</sub> [Mpa]	v	E[Mpa]	q[kPa]	s[mm]
1	1	1.1	15	0.76	19.75	0.2	47.4	100	1.27
								200	2.53
								300	3.80
								400	5.06
								500	6.33
								600	7.59
								700	8.86
								800	10.13
								900	11.39
								1000	12.66
								1100	13.92
								1200	15.19
								1300	16.46
								1400	17.72
								1500	18.99
								1600	20.25
								1700	21.52
								1800	22.78

L[m]	<b>B</b> [m]	β	$\gamma [kN/m^3]$	<b>D</b> [m]	G <sub>0</sub> [Mpa]	v	E[Mpa]	q[kPa]	s[mm]
3	3	1.1	15	0.76	79	0.2	189.6	55.56	0.53
								111.11	1.05
								166.67	1.58
								222.22	2.11
								277.78	2.64
								333.33	3.16
								388.89	3.69
								444.44	4.22
								500.00	4.75
								555.56	5.27
								611.11	5.80
								666.67	6.33
								722.22	6.86
								777.78	7.38
								833.33	7.91
								888.89	8.44
								944.44	8.97
								1000.00	9.49
								1055.56	10.02
								1111.11	10.55

L[m]	<b>B</b> [m]	β	$\gamma [kN/m^3]$	<b>D</b> [m]	G <sub>0</sub> [Mpa]	v	E[Mpa]	q[kPa]	s[mm]
3	3	1.1	15	0.76	59.25	0.2	142.2	55.56	0.70
								111.11	1.41
								166.67	2.11
								222.22	2.81
								277.78	3.52
								333.33	4.22
								388.89	4.92
								444.44	5.63
								500.00	6.33
								555.56	7.03
								611.11	7.74
								666.67	8.44
								722.22	9.14
								777.78	9.85
								833.33	10.55
								888.89	11.25
								944.44	11.95
								1000.00	12.66
								1055.56	13.36
								1111.11	14.06

L[m]	<b>B</b> [m]	β	$\gamma[kN/m^3]$	D[m]	G <sub>0</sub> [Mpa]	v	E[Mpa]	q[kPa]	s[mm]
3	3	1.1	15	0.76	39.5	0.2	94.8	55.56	1.05
								111.11	2.11
								166.67	3.16
								222.22	4.22
								277.78	5.27
								333.33	6.33
								388.89	7.38
								444.44	8.44
								500.00	9.49
								555.56	10.55
								611.11	11.60
								666.67	12.66
								722.22	13.71
								777.78	14.77
								833.33	15.82
								888.89	16.88
								944.44	17.93
								1000.00	18.99
								1055.56	20.04
								1111.11	21.10

L[m]	<b>B</b> [m]	β	$\gamma [kN/m^3]$	<b>D</b> [m]	G <sub>0</sub> [Mpa]	v	E[Mpa]	q[kPa]	s[mm]
3	3	1.1	15	0.76	19.75	0.2	47.4	55.56	2.11
								111.11	4.22
								166.67	6.33
								222.22	8.44
								277.78	10.55
								333.33	12.66
								388.89	14.77
								444.44	16.88
								500.00	18.99
								555.56	21.10
								611.11	23.21
								666.67	25.32
								722.22	27.43
								777.78	29.54
								833.33	31.65
								888.89	33.76
								944.44	35.86
								1000.00	37.97
								1055.56	40.08
								1111.11	42.19

ALLEGATO 22: CEDIMENTI ELASTICI CON MODULO OPERATIVO