

## **5. CARATTERIZZAZIONE DINAMICA DEI TERRENI DI AUGUSTA E NOTO**

*M. Maugeri, A. Cavallaro*

### **5.1 Introduzione**

Nell'ambito del progetto Sicilia Orientale del GNDT sono stati studiati i centri abitati di Augusta e Noto. In particolare sono stati studiati mediante prove in sito e prove di laboratorio i parametri geotecnici dei terreni con particolare attenzione alla caratterizzazione dinamica ed alla misura in sito della velocità delle onde di taglio, utili per l'analisi degli effetti di sito nella risposta sismica in superficie e per la modellazione ingegneristica del modulo del suolo.

### **5.2 Caratterizzazione dinamica dei terreni di Augusta**

#### **5.2.1 Indagini geotecniche eseguite**

A seguito del terremoto del 13 Dicembre 1990 sono state eseguite alcune indagini geotecniche (Frenna e Maugeri 1994) comprendenti sondaggi, prove in sito, prove geosismiche in foro, prove SASW (Cascone et al. 1996) e prove di laboratorio (Cavallaro e Maugeri 1996, Cavallaro 1997, Cavallaro et al. 1998), finalizzate all'analisi degli effetti di sito nella risposta sismica in superficie (Maugeri e Frenna 1995) ed all'adeguamento sismico degli edifici danneggiati dal sisma (Maugeri et al. 1994; Castelli et al. 1995).

Le indagini hanno riguardato la località Saline, dove erano più evidenti gli effetti dovuti all'amplificazione sismica locale che ha causato il danneggiamento grave di numerosi edifici in c.a.. Le indagini, i cui risultati sono stati riportati per esteso da Lo Presti et al. (1998a), sono costituite da sondaggi, prove SPT, Prove CPT, prove DMT (Cavallaro et al. 1999), prove Cross-Hole, prove Down-Hole, misure SASW, misure piezometriche, campionamento indisturbato, prove di laboratorio in campo statico e dinamico.

I depositi dell'era Olocene del sito di Augusta sono costituiti da un'alternanza di strati di argille grigie e sabbie limose. Alla quota compresa fra 10 e 15 m si possono trovare strati consistenti di sabbia cementata. I depositi dell'era Pleistocene sono costituiti principalmente da un'argilla marina consistente, sovraconsolidata (OCR da 2.0 a 6.0) con valori medio-alti dell'indice di plasticità. Il deposito presenta inoltre un elevato grado di omogeneità, con la profondità, e può essere classificato come un'argilla inorganica. Nei paragrafi successivi vengono riportati sommariamente i risultati delle prove di laboratorio per la determinazione del modulo di taglio e del rapporto di smorzamento (Lo Presti et al. 1997b; Lo Presti et al. 1998b; Lo Presti et al. 1999;

Cavallaro et al. 1999). I valori del modulo di taglio a piccole deformazioni ottenuti in laboratorio sono stati altresì confrontati con quelli ottenuti mediante correlazioni empiriche con i risultati delle prove in sito.

### 5.2.2 Modulo di taglio e rapporto di smorzamento

Il modulo di taglio a piccole deformazioni  $G_0$  è stato determinato da una prova in sito Cross-Hole (CH). Il modulo di taglio equivalente ( $G_{eq}$ ) ed il rapporto di smorzamento  $D$  sono stati determinati in laboratorio attraverso prove di Colonna Risonante (RCT) e di Taglio Torsionale Ciclico (CLTST) eseguite su campioni di terreno, prelevati con il campionatore Shelby, per mezzo dell'apparecchio di Colonna Risonante/Taglio Torsionale (Lo Presti et al. 1993). Prove di Taglio Torsionale Monotone (MLTST) sono state eseguite utilizzando lo stesso apparecchio, ottenendo la misura del modulo di taglio secante  $G_s$ . Prove RCT sono state inoltre eseguite all'Ismes di Bergamo su campioni prelevati con il campionatore Osterberg (1973).

Le condizioni di prova in laboratorio ed i valori del modulo di taglio a piccole deformazioni,  $G_0$ , ottenuti sono riportati nella Tab. 5.1. In alcuni casi, lo stesso provino è stato prima sottoposto ad una prova MLTST, poi a CLTST, dopo un periodo di riposo di 24 ore con il drenaggio aperto, ed eventualmente, dopo un ulteriore periodo di riposo di 24 ore con il drenaggio aperto, ad una prova RCT. La dimensione e la forma dei provini sono inoltre indicati nella Tab. 5.1.

Tab. 5.1: Condizioni di prova per i provini dell'argilla di Augusta.

Prova No.	H [m]	$\sigma_v$ [kPa]	e	PI	MLTST CLTST RCT	$G_0(1)$ [MPa]	$G_0(2)$ [MPa]	$G_0(3)$ [MPa]	Provino
1	28.50	259	0.889	40	U		70	75	H
2	16.00	182	0.684	29	U		84	85	S
3	13.00	155	0.693	30	U			46	H
4	35.50	377	0.834	38	U	67		75	H
5	35.50	398	0.768	38	U		70		H

dove: U = Prove non-drenate.  $G_0(1)$  da MLTST,  $G_0(2)$  da CLTST,  $G_0(3)$  da RCT. H = Provino cilindrico cavo ( $R_0=25\text{mm}$ ;  $R_1=15\text{mm}$ ;  $h = 100\text{ mm}$ ). S = Provino cilindrico pieno ( $R=25\text{mm}$ ;  $h = 100\text{ mm}$ ).

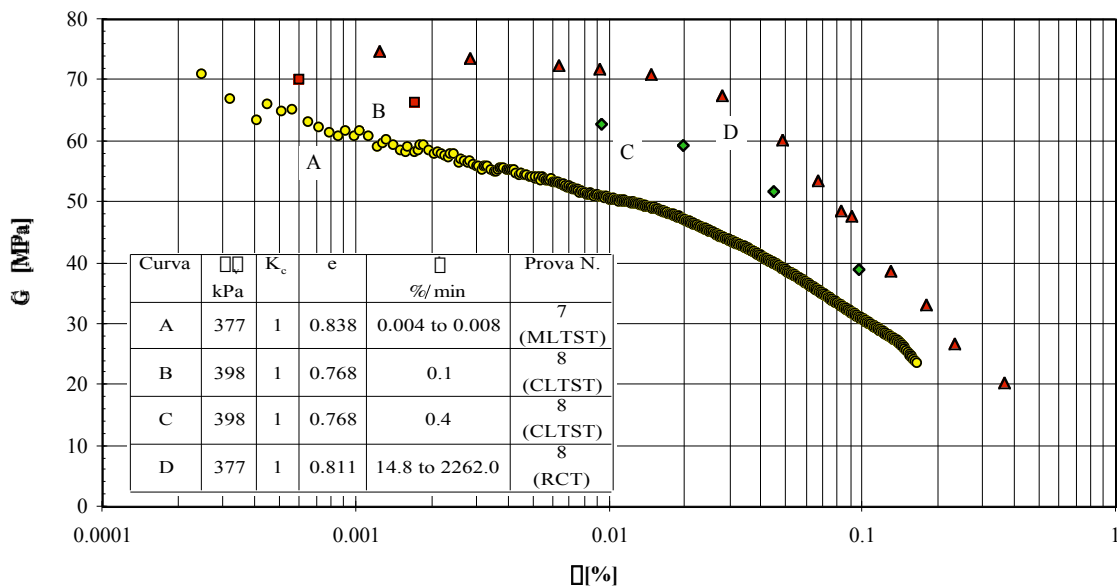


Fig. 5.1 - Curve  $G-\gamma$  ottenute da prove MLTST, CLTST e RCT.

I valori di  $G_0$ , riportati in Tab. 5.1, evidenziano una moderata ma misurabile influenza della velocità di deformazione e del tipo di carico anche per livelli di deformazione molto bassi dove il comportamento del terreno è solitamente considerato elastico (Lo Presti et al. 1997a). Con lo scopo di stimare l'influenza della velocità di deformazione  $G_0$ , è opportuno ricordare che la velocità di deformazione di taglio ( $\dot{\gamma} = 240 \cdot f \cdot \gamma$  [%/s]) sperimentata dal campione durante le prove di colonna risonante può assumere valori di tre ordini di grandezza superiori a quelli adottati durante le prove di taglio torsionale ciclico. Gli effetti della velocità di deformazione e delle condizioni di carico diventano maggiormente rilevanti al crescere del livello di deformazione da taglio, come è possibile osservare in Fig. 5.1, dove vengono confrontate le curve  $G-\gamma$  ottenute da prove MLTST, CLTST e RCT. E' possibile osservare che la più bassa degradazione di  $G$  con  $\gamma$  si osserva nelle prove RCT, mentre la massima degradazione avviene nel corso delle prove MLTST.

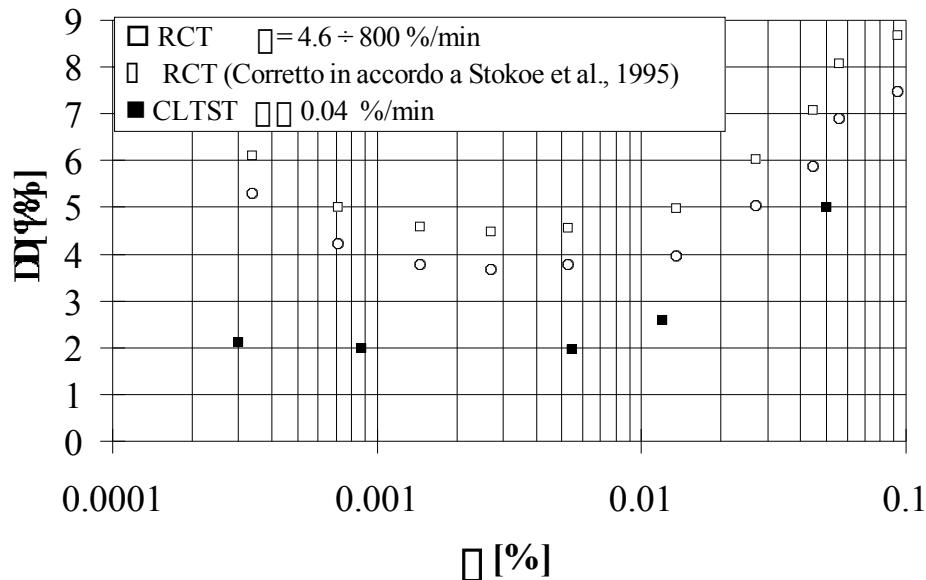


Fig. 5.2 - Rapporto di smorzamento ottenuto da prove CLTST e RCT.

Un confronto tra i valori del rapporto di smorzamento ottenuti da prove RCT e da prove CLTST è riportato in Fig. 5.2. E' possibile osservare che il rapporto di smorzamento ottenuto da prove CLTST, per livelli di deformazione molto piccoli, è uguale al 2 %. Valori maggiori di  $D$  sono stati ottenuti da prove RCT per l'intero intervallo di deformazione investigato. Dopo una correzione dei dati sperimentali a causa dello smorzamento apparente ( $D_{app}$ ) generato dall'apparecchiatura, in accordo a quanto proposto da Stokoe et al. (1995), permangono ancora grandi differenze fra i risultati delle prove CLTST e RCT.

Considerando che nel caso di terreni argillosi, per livelli di deformazione inferiori a 0.1 %, l'influenza di  $N$  su  $D$  risulta trascurabile, si è ipotizzato che le prove RCT determinino valori più elevati di  $D$  rispetto alle prove CLTST a causa degli effetti della velocità (frequenza), in accordo con i dati riportati da Shibuya et al. (1995) e Tatsuoka et al. (1995). In accordo a questi ricercatori la natura dello smorzamento dei terreni può essere collegata ai seguenti fenomeni:

Non-linearità che governa il cosiddetto smorzamento isteretico in funzione del livello di deformazione corrente. Questo tipo di smorzamento è assente o trascurabile per livelli di deformazione molto bassi.

La viscosità dello scheletro solido (creep) che è rilevante per velocità di deformazione molto basse.

La viscosità del fluido interstiziale che è predominante in corrispondenza di valori molto elevati della frequenza.

Nei terreni, quindi, per deformazioni molto piccole lo smorzamento dipende principalmente dalla viscosità dello scheletro solido o del fluido interstiziale, in funzione della velocità di deformazione o della frequenza. Inoltre in accordo a Tatsuoka e Kohata (1995) e Tatsuoka et al. (1995) una condizione di parziale drenaggio può portare a valori molto elevati del rapporto di smorzamento.

Shibuya et al. (1995) hanno determinato che, per un dato livello di deformazione, il rapporto di smorzamento dei terreni coesivi aumenta quando la frequenza di carico è inferiore a 0.1 Hz, a causa della viscosità dello scheletro solido (creep), si mantiene costante per valori delle frequenze compresi fra 0.1 Hz e 10 Hz, per effetto predominante della non linearità, e infine cresce per frequenze superiori a 10 Hz, a causa della viscosità del fluido interstiziale.

### 5.2.3 Modulo di taglio da prove in situ e da correlazioni empiriche

La Fig. 5.3 riporta i valori di  $G_0$  ottenuti in situ dalla prova CH e quelli misurati in laboratorio dalle prove RCT, CLTST e MLTST eseguite su provini indisturbati isotropicamente riconsolidati alle tensioni medie efficaci in situ.

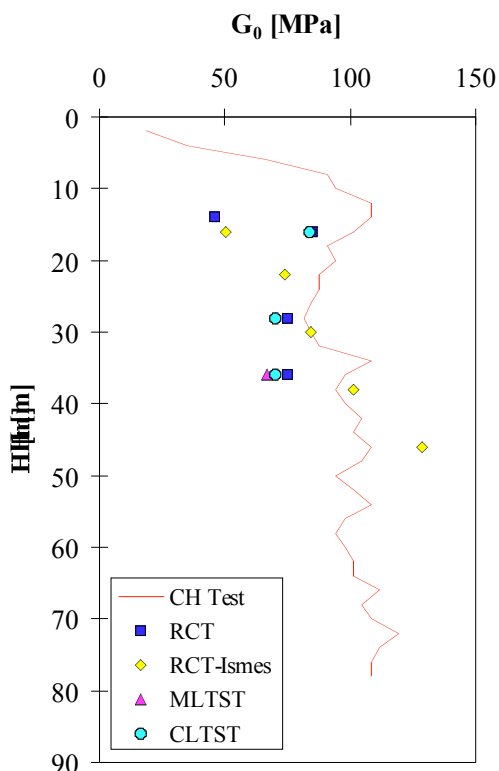


Fig. 5.3 -  $G_0$  da prove di laboratorio ed in situ.

I valori di  $G_o$  sono riportati in Fig. 5.3 in funzione della profondità. Nel caso delle prove di laboratorio, i valori di  $G_o$  ottenuti sono stati determinati per livelli di deformazione di taglio inferiore allo 0.001 %. E' possibile osservare che esiste un buon accordo fra i risultati di laboratorio e quelli della prove in sito. Un migliore accordo fra i risultati di laboratorio e quelli della prove in sito si è osservato nel caso dei campioni Osterberg rispetto a quelli prelevati con il campionatore Shelby. In media il rapporto fra  $G_o(\text{Lab})$  e  $G_o(\text{Sito})$  è risultato uguale a 0.86 con una Deviazione Standard di 0.095.

I valori di  $G_o$  per l'argilla limosa superiore dell'era Olocene aumentano velocemente da 20 a 80 MPa con la profondità. Nella zona di transizione, dove sono presenti strati consistenti di sabbia,  $G_o$  cresce fino a 110 MPa. E' opportuno notare che i risultati della prova CH ignorano l'esistenza degli strati soffici compresi fra gli strati consistenti a causa dell'insorgere del fenomeno della rifrazione.

Nell'argilla arruza inferiore dell'era Pleistocene, i valori di  $G_o$  sono compresi nell'intervallo compreso fra 80 e 120 MPa, e crescono lentamente con la profondità.

Si è, infine, tentato di valutare il modulo di taglio a piccole deformazioni attraverso le seguenti correlazioni empiriche basate sui risultati delle prove penetrometriche o sui risultati delle prove di laboratorio disponibili in letteratura.

a) Otha and Goto (1978):

$$V_s = 54.33 \cdot (N_{\text{SPT}})^{0.173} \cdot \rho \cdot \rho_w \cdot \frac{Z}{0.303 \rho}^{0.193} \quad (5.1)$$

dove:  $V_s$  = velocità delle onde di taglio (m/s),  $N_{\text{SPT}}$  = numero di colpi SPT,  $Z$  = profondità (m),  $\rho$  = fattore d'età (Olocene = 1.000, Pleistocene = 1.303),  $\rho_w$  = fattore geologico (argille = 1.000, sabbie = 1.086).

$$G_o = \rho \cdot V_s^2 \quad (5.2)$$

dove  $\rho$  = densità di massa.

b) Hryciw (1990):

$$G_o = \frac{530}{(\rho'_v/p_a)^{0.25}} \frac{\rho_D/\rho_w \rho_1}{2.7 \rho \rho_D/\rho_w} K_o^{0.25} \cdot (\rho'_v \cdot p_a)^{0.5} \quad (5.3)$$

dove:  $G_o$ ,  $\rho'_v$  e  $p_a$  sono espresse nella stessa unità di misura;  $p_a = 1$  bar è una pressione di riferimento;  $\rho_D$  e  $K_o$  sono rispettivamente il peso dell'unità di volume ed il coefficiente di spinta a riposo, ottenuti dai risultati delle prove DMT secondo quanto proposto da Marchetti (1980).

c) Mayne e Rix (1993):

$$G_o = \frac{406 \cdot q_c^{0.696}}{e^{1.13}} \quad (5.4)$$

dove:  $G_o$  e  $q_c$  sono entrambi espresse in [kPa] ed "e" è l'indice dei vuoti. L'eq. (5.4) è applicabile solamente per i depositi argillosi.

d) Jamiolkowski et. al. (1995):

$$G_o = \frac{600 \cdot \sigma'_m{}^{0.5} p_a^{0.5}}{e^{1.3}} \quad (5.5)$$

dove:  $\sigma'_m = (\sigma'_v + 2 \sigma'_h) / 3$ ;  $p_a = 1$  bar è una pressione di riferimento;  $G_o$ ,  $\sigma'_m$  e  $p_a$  sono espresse nella stessa unità di misura. I valori dei parametri che compaiono nell'eq. (5.5) sono uguali ai valori medi che risultano dalle prove di laboratorio eseguite su argille quaternarie Italiane e su sabbie ricostituite. Un'equazione simile fu proposta da Shibuya e Tanaka (1996) per i depositi di argilla dell'era Olocene.

Le eq. da (5.3) a (5.5) incorporano un termine che esprime l'indice dei vuoti; il coefficiente di spinta a riposo compare solamente nelle eq. (5.3) e (5.5). Comunque solo l'eq. (5.3) utilizza i dati ottenuti dai risultati delle prove DMT.

I valori di  $G_o$ , ottenuti con i metodi sopra indicati, sono riportati in Fig. 5.4 in funzione della profondità.

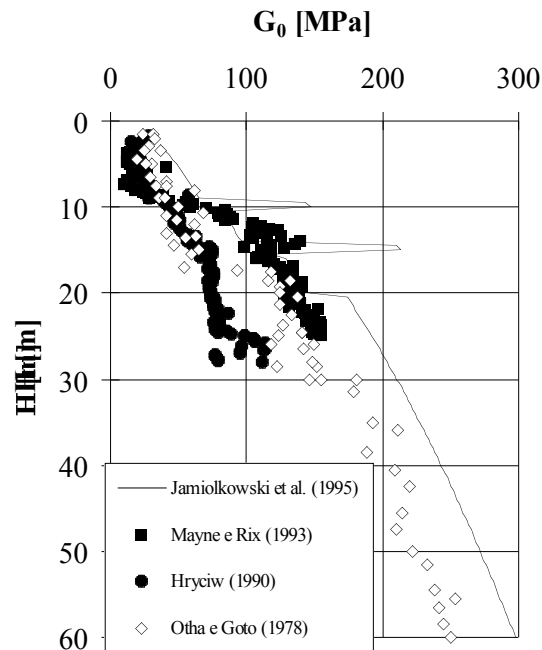


Fig. 5.4 -  $G_o$  da differenti correlazioni empiriche.

Il metodo di Jamiolkowski et. al. (1995) è stato applicato considerando un dato profilo dell'indice dei vuoti e di  $K_o$ . Il coefficiente di spinta a riposo è stato determinato attraverso le prove DMT. Il metodo di Mayne e Rix (1993) è stato applicato solo per gli strati coesivi, scartando i valori più elevati di  $q_c$ , riscontrati negli strati sabbiosi esistenti fra 10 e 15 m. I valori  $N_{SPT}$ , sperimentalmente ottenuti nel corso delle prove SPT, non mostrano alcuna importante variazione nella zona di transizione compresa fra 10 e 15 m, dove sono presenti sottili strati di sabbia consistente. Le prove penetrometriche dinamiche sono state eseguite ad intervalli compresi fra 1.5 e 3.0 m. L'ampio intervallo di prova utilizzato potrebbe spiegare perché i sottili strati di sabbia non sono stati investigati. Di conseguenza, i valori di  $G_o$  ottenuti, nella zona di transizione, risultano essere bassi. L'indice di materiale dalle prove DMT indica la presenza di strati sabbiosi alle profondità di circa 10 e 15 m ed alla stessa profondità il modulo dilatometrico cresce notevolmente (Maugeri et al. 1994). Comunque il metodo di Hryciw (1990) non è stato capace di investigare questi strati consistenti come può essere osservato in Fig. 5.4.

Tutti i metodi considerati mostrano valori di  $G_o$  molto differenti sia negli strati d'argilla di era Olocene e che in quelli dell'era Pleistocene. Nel complesso, le eq. (5.4) e (5.5) sembrano fornire l'andamento più accurato di  $G_o$ , con la profondità, come può essere osservato confrontando la Fig. 5.1 con la Fig. 5.4. Infine è opportuno osservare che le equazioni considerate sovrastimano  $G_o$  per profondità superiori ai 20 m.

### **5.3. Caratterizzazione dinamica dei terreni di noto**

#### **5.3.1 Indagini geotecniche eseguite**

A seguito del crollo della cupola della Cattedrale di Noto avvenuto in data 13 Marzo 1996, successivamente al terremoto del 13 Dicembre 1990, che aveva provocato lesioni ad alcuni pilastri ed altri elementi strutturali, è stata avviata una campagna di indagini finalizzata alla ricostruzione della Cattedrale.

Le indagini, i cui risultati sono stati riportati per esteso da Cavallaro et al. (1999), sono costituite da sondaggi, prove SPT, Prove CPT, prove pressiometriche, prove geosismiche di superficie, prove con georadar, prove Cross-Hole, prove Down-Hole, misure piezometriche, campionamento indisturbato, prove di laboratorio in campo statico e dinamico.

I depositi dell'era Pliocene di Noto sono costituiti principalmente da una sabbia argillosa di media consistenza, normalconsolidata con valori di plasticità medio-bassi. I depositi di terreno presentano un basso grado di omogeneità, con la profondità, e possono essere classificati come terreni inorganici.

Nei paragrafi successivi vengono riportati sommariamente i risultati delle prove di laboratorio per la determinazione del modulo di taglio e del rapporto di smorzamento i



valori del modulo di taglio a piccole deformazioni ottenuti in laboratorio sono stati altresì confrontati con quelli ottenuti mediante correlazioni empiriche con i risultati delle prove in sito.

### 5.3.2 Modulo di taglio e rapporto di smorzamento

Il modulo di taglio equivalente  $G_{eq}$  ed il rapporto di smorzamento  $D$  del terreno di Noto sono stati ottenuti in laboratorio da prove di Colonna Risonante (RCT) e Taglio Torsionale Ciclico (CLTST), eseguite su campioni prelevati con campionatore Shelby, utilizzando un apparecchio di Colonna Risonante/Taglio Torsionale (Lo Presti et al. 1993).

$G_{eq}$  è il modulo di taglio di scarico ricarico ottenuto da prove CLTST e RCT, mentre  $G_o$  è il massimo valore od anche valore di “plateau” osservato sul grafico  $G-\log(\dot{\gamma})$ . Generalmente  $G_{eq}$ , genericamente indicato con il termine  $G$ , è costante finché un certo livello di deformazione non è superato. Questo limite è chiamato soglia elastica ( $\gamma_t^c$ ) e si ritiene che il terreno si comporti elasticamente per livelli di deformazione inferiori a  $\gamma_t^c$ . La rigidezza elastica per  $\dot{\gamma} < \dot{\gamma}_t^c$  rappresenta così il già definito modulo di taglio iniziale  $G_o$ .

Si è inoltre tentato di valutare  $G_o$  per mezzo di correlazioni empiriche basate sia sui risultati delle prove di penetrazione dinamiche che sui risultati delle prove di laboratorio.

Per le prove di taglio torsionale ciclico il rapporto di smorzamento è ottenuto utilizzando la definizione di rapporto di smorzamento isteretico ( $D$ ) attraverso la relazione:

$$D = \frac{\Delta W}{4W} \quad (5.6)$$

in cui  $\Delta W$  è l'area racchiusa dal ciclo di scarico-ricarico e rappresenta l'energia totale persa durante il ciclo mentre  $W$  è l'energia elastica accumulata. Nel caso di prove di colonna risonante il rapporto di smorzamento è stato determinato utilizzando il metodo del fattore di amplificazione (SSM, Steady State Method) durante la condizione di risonanza del campione.

Le prove di laboratorio eseguite ed i valori ottenuti del modulo di taglio iniziale sono riportati nella Tab. 5.2. Lo stesso provino è stato prima sottoposto ad una prova CLTST, poi ad una prova RCT, dopo un periodo di riposo di 24 ore con il drenaggio aperto.

Tab. 5.2: Condizioni di prova per i provini del sito di Noto.

Prova No.	H [m]	$\sigma'_c$ [kPa]	e	PI	CLTST RCT	$G_o(1)$ [MPa]	$G_o(2)$ [MPa]	Provino
1	9.00	166	0.641	15	U	92	116	S
2	13.00	196	0.611	20	U	64	77	S
3	15.50	237	0.718	27	U	68	84	S
4	22.20	294	0.629	29	U	100	116	S
5	22.50	297	0.749	22	U	178	190	S
6	51.00	522	0.584	36	U	221	237	S

dove: U = Prove non-drenate.  $G_o(1)$  da CLTST,  $G_o(2)$  da RCT. S = Provino cilindrico pieno (R=25 mm. h = 100 mm).

I valori di  $G_o$ , riportati in Tab. 5.2, evidenziano una moderata influenza della velocità di deformazione anche per livelli di deformazione molto bassi dove il comportamento del terreno è solitamente considerato elastico (Lo Presti et al. 1997a). Come si può osservare dai dati mostrati in Fig. 5.5, gli effetti della velocità di deformazione sul modulo di taglio sono gli stessi sopra l'intero intervallo di deformazione investigato  $G_o(RCT)/G_o(CLST) \approx 1.24$ .

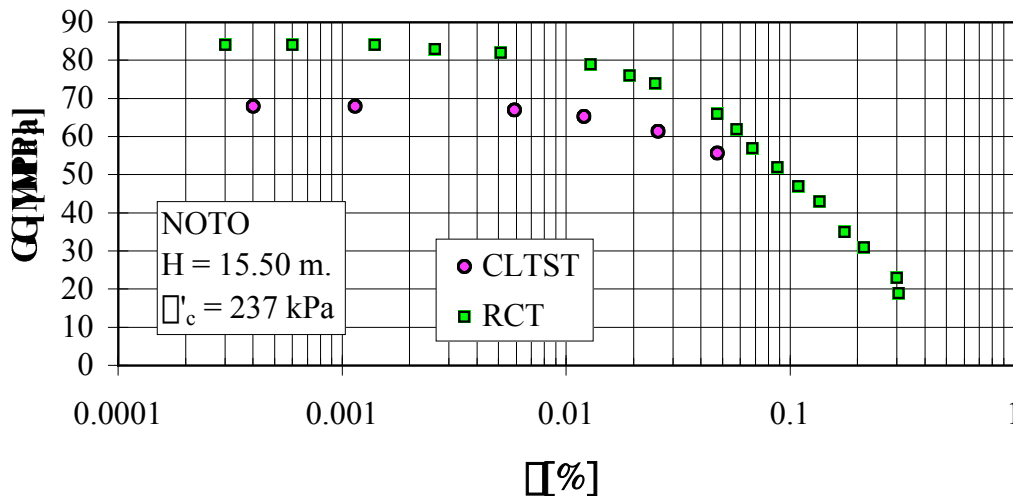


Fig. 5.5 - Curve  $G-\gamma$  da prove CLTST e RCT.

Tale risultato sperimentale è in contrasto a quanto osservato da Cavallaro (1997), Lo Presti et al. (1996), Lo Presti et al. (1998a), Tatsuoka et al. (1997) che hanno mostrato un incremento dell'effetto della velocità di deformazione con l'incremento del livello di deformazione. Questo differente comportamento può essere spiegato considerando che in questo studio sono stati utilizzati campioni cilindrici pieni, caratterizzati da una deformazione di taglio variabile da zero (al centro della sezione)

fino ad un valore massimo al bordo, mentre nei precedenti studi sono stati utilizzati principalmente campioni cilindrici cavi. Nel caso di campioni cavi, la deformazione di taglio è quasi costante lungo il raggio.

In Fig. 5.6 è riportato un confronto fra i valori del rapporto di smorzamento ottenuti da prove di colonna risonante e quelli ricavati da prove di taglio torsionale ciclico. E' possibile osservare che i valori del rapporto di smorzamento ottenuti da prove CLTST, a piccole deformazioni, è uguale a circa 1 %. Valori più elevati di D sono stati ottenuti da prove RCT per l'intero intervallo di deformazione investigato.

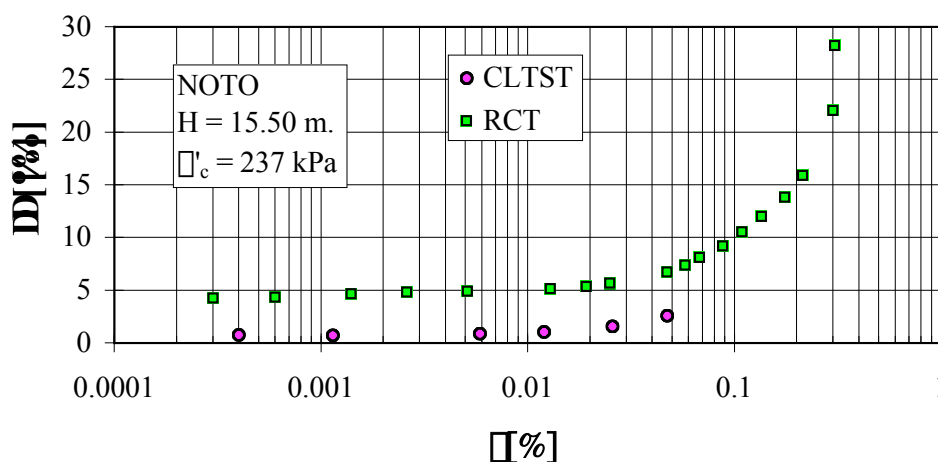


Fig. 5.6 - Rapporto di smorzamento da prove CLTST e RCT.

E' possibile ipotizzare, in accordo con Shibuya et al. (1995) e Tatsuoka et al. (1995), che le prove di colonna risonante determinano valori più elevati di D a causa dell'effetto della velocità (frequenza). Inoltre il rapporto di smorzamento dei terreni, per deformazioni molto piccole, è principalmente influenzato dalla viscosità dello scheletro solido o del fluido interstiziale che dipendono dalla velocità di deformazione.

### 5.3.3 Modulo di taglio da prove in situ e da correlazioni empiriche

La Fig. 5.7 mostra i valori del modulo  $G_0$  ottenuti da prove di laboratorio e ricavate per mezzo delle seguenti correlazioni empiriche basate su prove di penetrazione dinamica (SPT) o sui risultati di laboratorio.

a) Ohta e Goto (1978):

$$V_s = 54.33 \cdot (N_{SPT})^{0.173} \cdot \sigma'_{c0} \cdot \left( \frac{Z}{0.303} \right)^{0.193} \quad (5.7)$$

dove:  $V_s$  = velocità delle onde di taglio (m/s),  $N_{SPT}$  = numero di colpi SPT,  $Z$  = profondità (m),  $\sigma$  = fattore d'età (Olocene = 1.000, Pleistocene = 1.303),  $\sigma_g$  = fattore geologico (argille = 1.000, sabbie = 1.086).

b) Yoshida e Motonori (1988):

$$V_s = \sigma \cdot (N_{SPT})^{0.25} \cdot \sigma_{v0}^{0.14} \quad (5.8)$$

dove:  $V_s$  = velocità delle onde di taglio (m/s),  $N_{SPT}$  = numero di colpi SPT,  $\sigma'_{v0}$  = pressione verticale,  $\sigma$  = fattore geologico (qualunque terreno = 55, sabbia fine = 49).

$$G_o = \sigma \cdot V_s^2 \quad (5.9)$$

dove  $\sigma$  = densità di massa.

c) Jamiolkowski et. al. (1995):

$$G_o = \frac{600 \cdot \sigma'_m{}^{0.5} p_a^{0.5}}{e^{1.3}} \quad (5.10)$$

dove:  $\sigma'_m = (\sigma'_v + 2 \cdot \sigma'_h)/3$ ;  $p_a = 1$  bar è una pressione di riferimento;  $G_o$ ,  $\sigma'_m$  e  $p_a$  sono espresse nella stessa unità di misura. I valori assunti dai parametri che compaiono nell'eq. (5.10) sono uguali ai valori medi che risultano dalle prove di laboratorio eseguite su argille quaternarie Italiane e su sabbie ricostituite. Un'equazione simile fu proposta da Shibuya e Tanaka (1996) per i depositi di argilla dell'era Olocene.

I valori di  $G_o$  ottenuti con i metodi sopra indicati sono riportati in Fig. 5.7. Il metodo di Jamiolkowski et al. (1995) è stato applicato considerando un dato profilo dell'indice dei vuoti e di  $K_o$ .

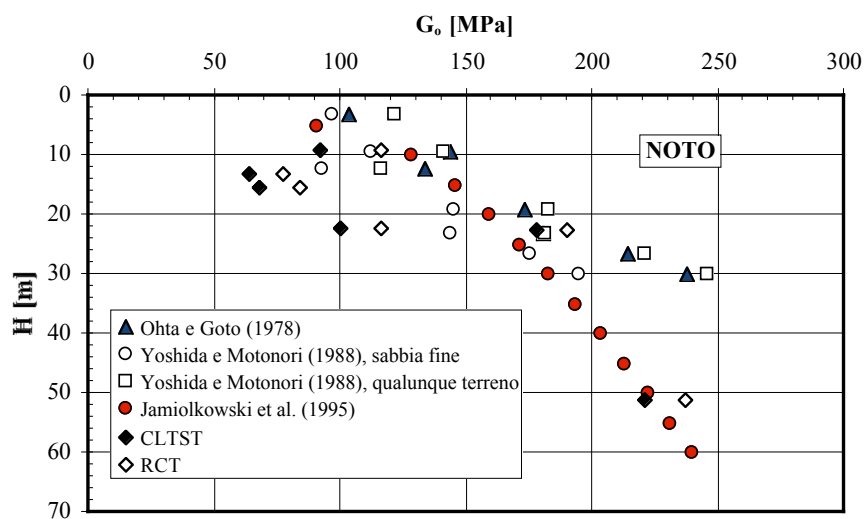


Fig. 5.7 -  $G_o$  da prove di laboratorio e da differenti correlazioni empiriche.

In Fig. 5.7 sono inoltre riportati i valori di  $G_0$  misurati in laboratorio da prove RCT e CLTST eseguite su campioni indisturbati. Si è osservato un buon accordo fra i risultati del laboratorio ed i valori del modulo di taglio iniziale ottenuti per mezzo delle correlazioni empiriche proposte. Nel complesso l'eq. (5.10) sembra stimare in maniera più accurata l'andamento di  $G_0$  con la profondità, come si può osservare dalla Fig. 5.7.

## BIBLIOGRAFIA

- Cascone, E., Cavallaro, A. M. F., Maugeri, M. (1996): "Analysis of Impact and Traffic-Induced Vibrations for the Characterization of a Clayey Soil"; Proceeding of the 11th World Conference on Earthquake Engineering, Acapulco, 23 - 28 June 1996, paper n°. 1848.
- Castelli, F., Maugeri, M., Motta E. (1995): "Modellazione di una Prova di Carico Orizzontale su un Palo Sottostante un Edificio Danneggiato dal Terremoto"; 7° Convegno Nazionale 'L'ingegneria Sismica in Italia', Siena, 25-28 Settembre 1995.
- Cavallaro, A.M.F., Maugeri M. (1996): "Comportamento Tensionale e Deformativo dell'Argilla di Augusta Sottoposta a Carichi Ciclici"; *Ingegneria Sismica*, **1**, 1996, pag. 30 - 40.
- Cavallaro, A.M.F., (1997): "Influenza della Velocità di Deformazione sul Modulo di Taglio e sullo Smorzamento delle Argille"; Ph. D. Thesis, University of Catania.
- Cavallaro, A., Lo Presti, D.C.F., Maugeri, M., Pallara, O. (1998): "Strain Rate Effect on Stiffness and Damping Ratio of Clays"; *Rivista Italiana di Geotecnica*, Vol. XXXII, **4**, pag. 30 - 50.
- Cavallaro, A., Lo Presti, D.C.F., Maugeri, M., Pallara, O. (1999): "A Case Study (The Saint Nicolò Cathedral) for Dynamic Characterization of Soil from in Situ and Laboratory Tests"; Proceeding of the 2nd International Symposium on Earthquake Resistant Engineering Structures, Catania, 15 - 17 June 1999, pag. 769 - 778.
- Cavallaro, A., Lo Presti, D.C.F., Maugeri, M., Pallara, O. (1999): "Caratteristiche di Deformabilità dei Terreni da Prove Dilatometriche: Analisi Critica delle Correlazioni Esistenti"; XX Convegno Nazionale di Geotecnica, Parma, 22 - 25 Settembre 1999.
- Cavallaro, A., Maugeri, M., Lo Presti, D.C.F., Pallara O. (1999): "Strain Rate Effect on the Young's Modulus of Augusta Clay"; Proceeding of the 2nd International Symposium on Pre-failure Deformation Characteristics of Geomaterials, Torino, 28 - 30 September 1999.
- Frenna, M., Maugeri, M. (1994): "Microzoning of the Saline of Augusta Town (Sicily, Italy)"; Proceedings of the 10th European Conference on Earthquake Engineering, Wien, 28 August - 2 September 1995, pag. 43-49.
- Hryciw, R.D. (1990): "Small Strain Shear Modulus of Soil by Dilatometer"; *JGED*, ASCE, Vo. 116, No. 11, pp. 1700-1715.
- Jamiolkowski, M., Lo Presti D.C.F., Pallara, O. (1995): "Role of In-Situ Testing in Geotechnical earthquake Engineering". Third International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamic, State of the Art 7, **3**, pp. 1523-1546.
- Lo Presti, D.C.F., Pallara, O., Lancellotta, R., Armandi, M., Maniscalco, R. (1993): "Monotonic and Cyclic Loading Behaviour of Two Sands at Small Strains"; *Geotechnical Testing Journal*, **16**, 4, pp 409-424.

- Lo Presti, D.C.F., Jamiolkowski, M., Pallara O., Cavallaro, A. (1996): "Rate and Creep Effect on the Stiffness of Soils"; ASCE Convention, Washington, 10-14 Nov. 1996, Geotechnical Special Publication No. 61, pp. 166-180.
- Lo Presti, D.C.F., Jamiolkowski, M., Pallara, O., Cavallaro, A., Pedroni, S. (1997a): "Shear Modulus and Damping of Soils"; International Symposium on the Pre-failure Deformation Behaviour of Geomaterials, 50th Geotechnique, London, 4 September 1997, Geotechnique 47(3): 603 - 617.
- Lo Presti, D.C.F., Maugeri, M., Cavallaro, A., Pallara, O. (1997b): "Rapporto di Smorzamento dei Terreni da Prove di Laboratorio"; ANIDIS, 8° Convegno Nazionale, L'Ingegneria Sismica in Italia, Taormina, 21 - 24 Settembre 1997, pag. 99 - 106.
- Lo Presti, D.C.F., Maugeri M., Cavallaro A., Pallara, O. (1998a): "Shear Modulus and Damping of a Stiff Clay from in Situ and Laboratory Tests"; 1st International Conference on Site Characterization, Atlanta, 19 - 22 April 1998, pp. 1293-1300.
- Lo Presti, D.C.F., Maugeri, M., Cavallaro, A., Pallara, O. (1998b): "Non Linear Stress-Strain Relations of Soils for Cyclic Loading"; Proceeding of the 11th European Conference on Earthquake Engineering, Paris, 6 - 11 September 1998.
- Lo Presti, D.C.F., Cavallaro, A., Maugeri, M., Pallara, O. (1999): "Non-Linear Stress-Strain Modelling of Geomaterials under Stable and Unstable Cyclic Loading"; Proceeding of the 2nd International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, Lisbon, 21 - 25 June 1999, pag. 29 - 34.
- Maugeri, M., Castelli, F., Motta, E. (1994): "Pile Foundation Performance of an Earthquake Damaged Building"; Proceedings of the Italian-French Symposium on Strengthening and Repair of Structures in Seismic Areas, Nice, France, 17-19 October 1994
- Maugeri, M., Frenna, M. (1995): "Soil-Response Analyses for the 1990 South-East Sicily Earthquake"; Proceeding of the 3rd International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, St. Louis, Missouri, April 2-7, 1995, vol. II, pag. 653-658.
- Mayne, P.W., Rix, G.J. (1993): "Gmax -qc Relationships for Clays"; Geotechnical Testing Journal, 16, No. 1, pp. 54-60.
- Osterberg, J.O. (1973): "An Improved Hydraulic Piston Sampler" Proc. 8th ICSMFE, Moscow. Vol 1.2.
- Ohta, Y., Goto, N. (1978): "Empirical Shear Wave Velocity Equations in Terms of Characteristic Soil Indexes," Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 6.
- Shibuya, S., Mitachi, T., Fukuda, F., Degoshi, T. (1995): "Strain Rate Effect on Shear Modulus and Damping of Normally Consolidated Clay"; Geotechnical Testing Journal, 18:3, 365-375.
- Shibuya, S., Tanaka, H. (1996): "Estimate of Elastic Shear Modulus in Holocene Soil Deposits"; Soils and Foundations, 36, N° 4, pag. 45-55.
- Stokoe, K.H.II, Hwang, S.K. Lee, J.N.-K, Andrus R. (1995): "Effects of Various Parameters on the Stiffness and Damping of Soils at Small to Medium Strains." Keynote Lecture 2, IS Hokkaido 1994 2, 785-816.
- Tatsuoka, F., Kohata, Y. (1995): "Stiffness of Hard Soils and Soft Rocks in Engineering Applications"; Report of The Institute of Industrial Science, The University of Tokyo, March 1995, Vol. 38, N° 5.

- Tatsuoka F., Lo Presti D. C. F. e Kohata Y., (1995): "Deformation Characteristics of Soils and Soft Rocks Under Monotonic and Cyclic Loads and Their Relations"; Proceeding of the 3rd International Conference on Recent Advances in Geot. Earth. Eng. and Soil Dynamic, State of the Art 1, 2, 851-879.
- Tatsuoka F., Jardine R. J., Lo Presti D., Di Benedetto H. e Kodaka T., (1997): "Characterising the Pre-Failure Properties of Geomaterials"; Proceeding of the 14th International Conference on Soil Mechanics and Foundations Engineering, Hamburg, 6 - 12 September 1997, Theme Lecture.
- Yoshida Y. e Motonori I., (1988): "Empirical Formulas of SPT Blow-Counts for Gravelly Soils"; Proceedings of ISOPT-1, Orlando (USA).