

Alcune osservazioni sulla tecnica Iswest (*)

L. CASCINI (**)

SOMMARIO: Nella nota si esamina la possibilità di utilizzare la tecnica 'Iswest' nei terreni granulari; a tale scopo si passano in rassegna alcune serie di prove eseguite in formazioni, cementate e non, e si opera un confronto, dove possibile, con dati ottenuti in laboratorio sugli stessi terreni.

Nella nota si discutono, altresì, le modalità di interpretazione della prova proposte dal suo ideatore ed utilizzate nel presente contesto. Una analisi critica dei risultati conseguiti nei terreni granulari sembra, infatti, mostrare che dette modalità costituiscono una potenziale fonte di errori nella valutazione dei parametri investigati.

1. Introduzione

Alcuni anni orsono un ricercatore [MIRATA, 1974] ha ideato un apparecchio con il quale è possibile eseguire prove di taglio diretto in situ in modo semplice e speditivo. L'apparecchio denominato Iswest (in situ wedge shear test), consente di agire con un unico martinetto su blocchi a forma di cuneo; la prova in sé non richiede particolari attrezzature o complessi accorgimenti e può essere eseguita con orientazione qualsiasi.

Ideato per studiare la resistenza a rottura di un'argilla dura, fessurata e parzialmente satura, l'Iswest è, in realtà, ricco di potenzialità applicative ed una sua utilizzazione appare possibile anche in altre formazioni. Nella presente comunicazione si esamina la possibilità che sia impiegato nell'ambito dei terreni granulari; a tale scopo si passano in rassegna alcune serie di prove eseguite in formazioni, cementate e non, e si opera un confronto, dove possibile, con dati ottenuti in laboratorio sugli stessi terreni.

Nella nota si discutono, altresì, le modalità di interpretazione della prova proposte dal suo ideatore ed utilizzate nel corso dell'indagine svolta. Un'analisi critica dei risultati conseguiti nei terreni granulari sembra, infatti, indicare che dette modalità non sono utilizzabili nella totalità dei casi e devono essere considerate, allo stato attuale, una possibile fonte di errori nella valutazione dei parametri investigati.

2. Brevi cenni sui principi basilari della prova

I principi su cui si basa l'Iswest, le caratteristiche della apparecchiatura necessaria per realizzare la prova e le modalità di esecuzione

di quest'ultima sono già state illustrate in CASCINI [1980 a]. Per una più agevole discussione di alcuni aspetti salienti emersi dall'indagine svolta si farà, pertanto, solo un breve cenno ai principi basilari della prova ed alle modalità di interpretazione proposte dal suo ideatore.

Un cuneo di terreno, caratterizzato da un angolo α , è sottoposto ad una forza P progressivamente crescente (fig. 1). In determinate condizioni — in pratica se α è compreso in un intervallo funzione delle caratteristiche meccaniche del terreno sottoposto a prova — ciò comporta per un certo valore di P la creazione di una superficie di rottura lungo il piano ABDE.

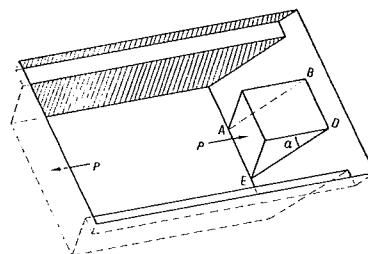


Fig. 1. - Principio su cui si basa l'Iswest.

Noto il valore della forza che determina la rottura si risale allo stato tensionale su ABDE attraverso una semplice scomposizione di P in una componente normale ed in una tangenziale al piano sul quale si assume una distribuzione lineare di tensioni.

La prova può essere ripetuta con differenti valori di α , ottenendo la rottura con differenti valori delle tensioni normali e tangenziali; si è così in grado di individuare la curva intrinseca del materiale. Per una corretta valutazione dei parametri di resistenza è conveniente, inoltre, elaborare le sole prove nelle quali la superficie è piana e coincidente con quella desiderata e scartare, viceversa, quelle nelle quali, pur essendo piana, è interna al cuneo ovvero è tridimensionale [MIRATA, 1974].

(*) Ricerca finanziata dal C.N.R.

(**) Assistente ordinario e prof. stabilizzato di Geotecnica - Dipartimento di Difesa del Suolo - Università della Calabria.

3. Risultati sperimentali

L'Iswest è stato utilizzato in formazioni, debolmente cementate e non, caratterizzate da una curva granulometrica compresa nel fuso di fig. 2 ed aventi le proprietà indici medie riportate in tab. 1. Laddove è stato possibile, si sono prelevati con le fustelle del taglio diretto numerosi campioni; in alcuni casi si è operato direttamente in sito su superfici adiacenti ai piani di scorrimento dei cunei, in altri il prelievo è stato effettuato in laboratorio da blocchi. Sui campioni opportunamente montati nelle scatole di Casagrande si sono eseguite prove di taglio diretto adottando valori della tensione normale compresi nell'intervallo fornito dall'Iswest. Per ogni sito, tale intervallo è stato determinato elaborando, secondo le modalità illustrate nel par. 2, soltanto le prove nelle quali la superficie di scorrimento si presentava perfettamente piana e coincidente con quella desiderata.

Il campo di tensioni indagato, gli angoli α utilizzati nelle prove 'Iswest', i parametri di resistenza dedotti in sito ed in laboratorio sulla base di un'interpolazione lineare ed i relativi coefficienti di correlazione sono riportati in

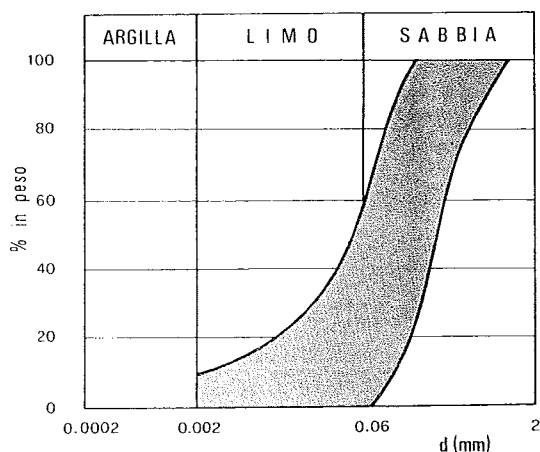


Fig. 2. - Fuso granulometrico delle formazioni investigate.

TAB. 1 Proprietà indici medie

| Sito | Granulometria | \bar{n} (%) | $\bar{\gamma}$ (gr/cm ³) | \bar{w} (%) |
|--------------------|--------------------------------------|---------------|--------------------------------------|---------------|
| Contrada Muono | Sabbia limosa | 50.03 | 1.48 | 4.61 |
| Zumpano | " | 40.98 | 1.89 | 20.94 |
| Expo-Caravanng '1' | Sabbia con limo debolmente argillosa | 38.35 | 1.97 | 20.11 |
| Expo-Caravanng '2' | " | 39.02 | 1.87 | 14.36 |
| Arcavacata '1' | Sabbia limosa | 45.92 | 1.70 | 19.89 |
| Arcavacata '2' | Sabbia debolmente limosa | 44.52 | 1.62 | 16.27 |

tab. 2. Le resistenze di picco ottenute in tutte le serie di prove Iswest sono, infine, mostrate in fig. 3.

Dall'insieme delle prove eseguite emergono alcuni interessanti elementi. In primo luogo si deve sottolineare la semplicità con la quale è possibile operare nei terreni granulari con la tecnica in oggetto. In tali materiali, infatti, non si incontrano, da un punto di vista sperimentale, difficoltà di alcun genere ed è possibile realizzare cunei perfetti ed eseguire prove con tutti i requisiti inizialmente richiesti anche laddove il prelievo dei campioni agevole non è ovvero richiede il ricorso a tecniche complesse. In secondo luogo si deve evidenziare l'elevata correlabilità di alcune prove in sito ed in particolare di quelle eseguite nelle formazioni per le quali non si è potuto procedere ad una caratterizzazione meccanica in laboratorio.

Tali elementi sembrano delineare un proficuo impiego dell'Iswest nell'ambito dei terreni granulari e costituiscono, a parere dello scrivente, un significativo punto di partenza per un'ulteriore e più approfondita indagine che consenta di acquisire altri dati sul significato e sull'attendibilità dei parametri stimati. Infatti, se l'uso dell'Iswest nei terreni granulari non comporta incertezze sul significato della resistenza misurata in rapporto a importanti fattori quali le condizioni di drenaggio e la parziale saturazione, la problematica estremamente complessa che contraddistingue tali materiali [NIENWENHUIS, 1979] richiede un'attenta analisi di come le variazioni di 'struttura', prodotte dalle modalità di prova, incidano sui parametri investigati.

Al di là di questa possibile, interessante utilizzazione della tecnica, dall'indagine svolta emerge la necessità di un approfondimento delle modalità di interpretazione della prova suggerite in MIRATA [1974]. In base ai risultati riportati in tab. 2 sembra dedursi, infatti, che in alcuni casi l'Iswest è particolarmente efficace oltre che attendibile, in altri dà viceversa origine ad incertezze se non ad errori vistosamente grossolani. Approfondendo questo punto si nota tuttavia che, laddove i risultati sono sospetti, i parametri di resistenza sono fortemente influenzati dal massimo valore di α utilizzano per calcolarli (fig. 4). Nel caso, per esempio, della serie 'EXPO 2', l'angolo di attrito assume i valori $\phi = 25^\circ$ e $\phi = 45^\circ$ a seconda che siano interpolati linearmente i risultati di tutte le prove oppure siano esclusi quelli ottenuti per $\alpha > 35^\circ$. Comportamenti analoghi si registrano negli altri casi cosiddetti 'sospetti'.

TAB. 2 Risultati sperimentali

| S i t o | Prove di laboratorio eseguite su campioni | Laboratorio | | | I s w e s t | | | | |
|-----------------------|---|--------------------------|----------|-------|-----------------------|---------------------------------------|--------------------------|----------|-------|
| | | c (t/m ²) | φ (°) | r | σ ₁ (°) | σ ₂ (t/m ²) | c (t/m ²) | φ (°) | r |
| Contrada Muoio | rimaneggiati | — | 34.25 | 0.989 | 25-45 | 1.70-8.70 | 0.58 | 40.43 | 0.996 |
| Zumpano | — | — | — | — | 25-45 | 1.80-6.18 | 2.02 | 32.61 | 0.995 |
| Expo - Caravaning '1' | prelevati da blocchi | 3.17 | 36.47 | 0.978 | 25-45 | 2.19-17.49 | 2.49 | 38.55 | 0.988 |
| Expo - Caravaning '2' | " | 4.27 | 36.95 | 0.939 | 25-45 | 3.63-31.48 | 7.31 | 25.22 | 0.954 |
| Arcavacata '1' | prelevati in sito | — | 38.00 | 0.959 | 25-55 | 0.85-7.70 | 0.57 | 30.79 | 0.984 |
| Arcavacata '2' | " | 0.52 | 37.83 | 0.962 | 25-55 | 0.66-12.03 | 0.76 | 30.58 | 0.992 |

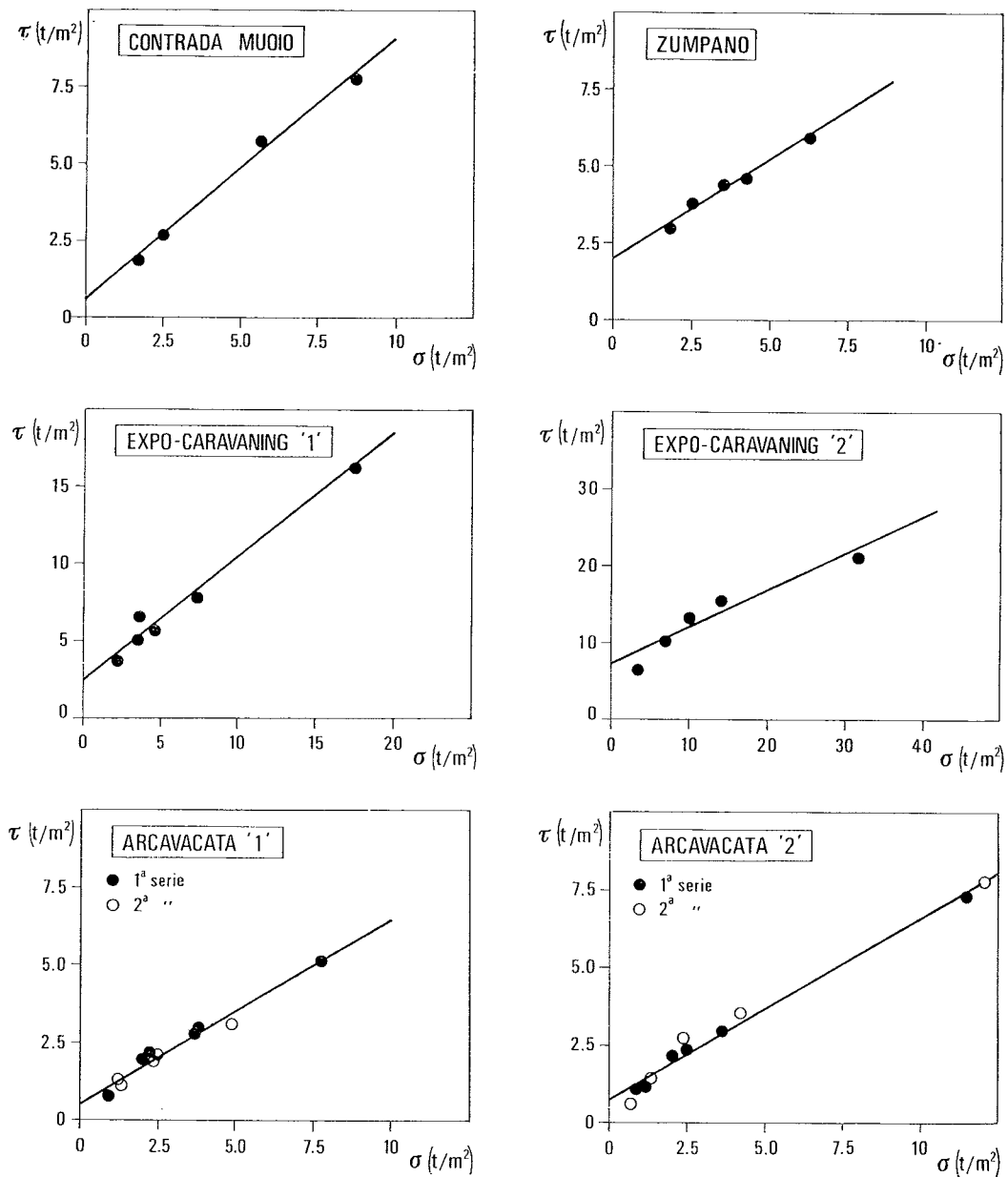


Fig. 3. - Resistenze di picco fornite dall'Iswest.

In base alle figg. 3-4 si potrebbe pensare che le formazioni in oggetto siano caratterizzate da involucri di rottura curvilinei; una legge del tipo $\tau = \beta\sigma^n$ fornisce, al riguardo, coefficienti

di correlazione superiori a quelli della interpolazione lineare. Tale ipotesi deve essere, tuttavia, valutata con cautela. Se è vero, infatti, che BISHOP [1966] e VESIC-CLOUGH [1968] hanno



Fig. 4. - Influenza di α sui parametri di resistenza.

indicato per i terreni granulari la possibile esistenza, alle alte tensioni, di curvature pronunciate nell'involuppo di rottura, mentre DUSSEAULT-MORGENSTERN [1978] e BALIGH [1976] hanno riportato casi nei quali la curvatura è chiaramente presente alle basse tensioni, nell'ambito dell'indagine svolta tale circostanza appare sospetta. Nei casi in esame, infatti, i corrispondenti dati di laboratorio sono correlabili solo attraverso un'interpolazione di tipo lineare. L'assunzione di curve del tipo $\tau = \beta\sigma^n$ porta, d'altra parte, a valori dell'angolo di attrito ancora più bassi e quindi del tutto irreali, soprattutto nel caso delle serie EXPO '2'. Infine, una rielaborazione delle prove presentate in MIRATA [1974], sebbene eseguite in tutt'altro contesto, evidenzia un'analogia tendenza dell'Iswest a fornire involuppi di rottura marcatamente curvilinei.

Sulla base di tali considerazioni è lecito pensare alle modalità di interpretazione della prova come possibile fonte di errori nella valutazione dei parametri investigati. Alcune considerazioni sembrano dare corpo a questa ipotesi.

Una semplice scomposizione della forza P in una componente normale ed in una tangenziale al piano di scorrimento, dalle quali risalire allo stato tensionale su di esso agente, presuppone che il cuneo trasli rigidamente lungo ABDE (fig. 1). Assumendo tale meccanismo ed analizzando la prove con il metodo cinematico dell'analisi limite [CASCINI, 1980 b] si ottengono i diagrammi illustrati in fig. 5. Nella figura i massimi valori di P misurati nel corso delle prove sono confrontati, per due differenti siti, con i valori teorici calcolati assumendo, come parametri di resistenza, i corrispondenti dati

forniti dalle prove di laboratorio. Orbene dalla figura emerge che in un caso il meccanismo è giustificato dall'analisi teorica, per lo meno per $\alpha \leq 40^\circ$, in un altro tale condizione non è verificata mai. Tenendo presente i risultati forniti dall'Iswest nelle formazioni in questione, questa circostanza lascia supporre che le modalità di collasso dei cunei possano essere, talvolta, molto diverse da quelle ipotizzate, pur registrando al termine della prova superfici di scorrimento perfettamente piane; nell'ambito della schematizzazione adottata i valori teorici rappresentano, infatti, un limite superiore delle forze necessarie per produrre lo scorrimento di cunei rigidi.

La semplicità ed i limiti dell'analisi utilizzata certamente non consentono di trarre conclusioni definitive su questo importante punto. Tuttavia, il sospetto che le curvature pronunciate evidenziate dall'Iswest siano la conseguenza di una non idonea interpretazione della prova sembra legittimo anche in considerazione del fatto che nei casi in cui i parametri sono fortemente influenzati da α si ottengono diagrammi analoghi a quello di fig. 5b, negli altri diagrammi del tipo di fig. 5a.

4. Conclusioni

L'indagine svolta ha delineato un possibile proficuo impiego dell'Iswest nei terreni granulari; una diffusa e corretta utilizzazione della tecnica in tali formazioni è, tuttavia, subordinata alla risoluzione di alcuni problemi. Sulla base dei risultati conseguiti la ricerca sarà, pertanto, proseguita secondo due diversi indirizzi. Da una parte si approfondirà la sperimentazione, confrontando i risultati ottenuti in sito con quelli forniti da diversi tipi di prove di laboratorio condotte su campioni prelevati con svariate tecniche. D'altra parte si effettuerà una approfondita analisi teorica della prova al fine di fugare i dubbi emersi e pervenire, nel contempo, a modalità di interpretazione che abbiano un adeguato supporto teorico oltre che validità generale. La problematica emersa indica nel FEM il metodo più idoneo per perseguire tali scopi anche in considerazione del ruolo che in tale quadro è, probabilmente, giocato dal legame costitutivo e soprattutto dalla deformabilità del mezzo. Una ricerca di tal genere è già stata iniziata; non appena si conseguiranno risultati significativi ne verrà data comunicazione.

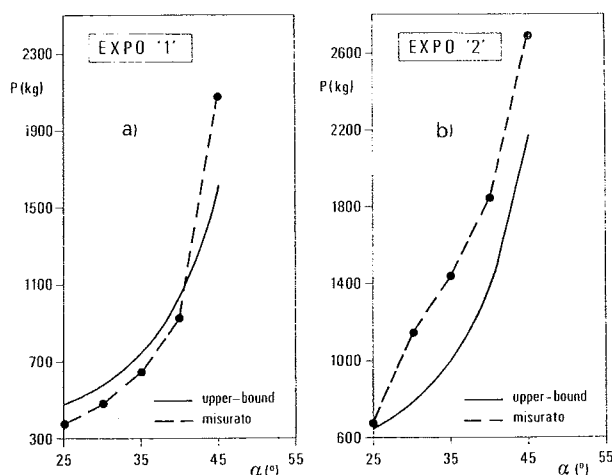


Fig. 5. - Confronto dei P_{max} misurati con i valori forniti dall'analisi limite (upper-bound).

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia l'Ing. L. Picarelli per le proficue discussioni ed il geom. A. Bernabò per la preziosa assistenza fornita durante lo svolgimento della presente ricerca.

BIBLIOGRAFIA

- BALIGH M. (1976) - *Cavity expansion in sands with curved envelopes*. J. of the Geotechnical Eng. Division, ASCE GT11, pp. 1131-1146.
- BISHOP A. W. (1966) - *The strength of soils as engineering materials*. Geotechnique, vol. 16, pp. 91-130.
- CASCINI L. (1980a) - *Su alcune prove eseguite con l'Iswest*. Rivista Italiana di Geotecnica, Anno XVI, n. 1, pp. 63-69.
- CASCINI L. (1980b) - *Applicazione dell'analisi limite a problemi di meccanica dei terreni*. Rivista Italiana di Geotecnica, Anno XVI, n. 3, pp. 191-207.
- DUSSEAULT M. B., MORGENSTERN N. R. (1978) - *Shear strength of Athabasca Oil Sands*. Can Geotechnical J., vol. 15, pp. 216-238.
- MIRATA T. (1974) - *The in situ wedge shear test-a new technique in soil testing*. Geotechnique, 24, n. 3, pp. 311-332.
- NIENWENHUIS J. D. (1979) - *Design parameters for granular soils*. Proc. VII European Conference on soil Mech. Found. Eng. Brighton, vol. V, pp. 171-196.
- VESIC A. S. (1968) - *Behaviour of granular materials under high stresses*. J. of the Soil Mech. and Found. Division, ASCE, vol. 94, n. SM3, pp. 661-688.

SUMMARY

Some remarks on Iswest technique

1. Introduction

In this short communication the possibility of using the Iswest technique [MIRATA, 1974] in granular soils is examined; to this end some series of tests carried out in soils, cemented or not, are illustrated and the 'in situ' results are compared, where possible, with laboratory results.

In the paper the test interpretation procedure suggested by its Author and used in the present context is also discussed. A critical analysis of the data obtained in granular soils seems, in fact, to show that this procedure can not be used in all cases and that, at the present time, it must be considered as a possible source of errors in the evaluation of the investigated parameters.

2. Brief notes on the basic principles of the test

For an easier discussion of the experimental results, the basic principles of the Iswest technique and the test interpretation procedure proposed by its Author are briefly summarized. For more details refer to MIRATA [1974] and CASCINI [1980a].

On a soil wedge, characterized by an α angle, a gradually increasing force P is applied (fig. 1). In some conditions this brings about the sliding of the wedge along the plane $ABDE$; assuming that on this plane there is a linear distribution of stresses, the peak shear strength can then be easily evaluated from the maximum value of the applied force P .

The test can be repeated with different values of α , obtaining different peak stress values. In this way the shear strength envelope of the soil being tested is determined. For a correct evaluation of the soil parameters it is convenient to elaborate only the tests in which the sliding surface is flat and coincident with the desired one, elimin-

ating those in which the surface, even though flat, is inside the wedge or is three-dimensional.

3. Experimental results

The Iswest technique has been used in soils, weakly cemented and not, characterized by a granulometric curve included in the diagram of fig. 2 and having the average index properties shown in tab. 1. Where possible, numerous specimens, sampled by using simple techniques, have been tested in direct shear test apparatus under normal stress values included in the range provided by the in situ tests. For each site this range has been determined elaborating, according to the procedure previously mentioned, only the tests in which the sliding surface was perfectly flat and coincident with the desired one.

All experimental data, in situ and laboratory peak shear strengths estimated on the basis of a linear interpolation law and the correlation coefficients are listed in tab. 2 and fig. 3.

From the tests carried out in granular soils some interesting elements emerge. First of all the simplicity of using the Iswest technique in the soils in question must be emphasized: in fact, from an experimental point of view no difficulties are encountered and it is possible to model perfect wedges and to perform tests having all the characteristics initially required even where sampling is not easy, that is, where complex techniques are requested. This fact, in connection with the high correlation of some tests, especially of those carried out in the soils where the mechanical characterization in the laboratory has not been possible, seems to indicate a profitable use of the Iswest in granular soils and represent, in the writer's opinion, a significant starting point for further investigation to obtain more informations about the meaning and the reliability of the measured parameters. The complex problems which characterize such soils [NIENWENHUIS, 1979] require, in fact, a careful analysis of how the 'structure' variations, produced by the test modes, influence the investigated parameters.

Besides this possible and interesting use of the Iswest, from the tests carried out the need for investigating the interpretation procedure suggested in MIRATA [1974] and summarized in par. 2 also emerges. In fact, on the basis of results listed in tab. 2, it seems that in some cases the technique is particularly efficient, whereas in others there are doubts or even mistakes. In these last cases, however, one may note the shear strength to be greatly influenced by the maximum value of α used to calculate it (fig. 4). With reference, for example, to the site EXPO 2, the friction angle assumes the values $\phi = 25^\circ$ or $\phi = 45^\circ$ depending on whether the results of all the tests are linearly interpolated or whether those obtained for $\alpha > 35^\circ$ are excluded.

On the basis of figg. 3-4 one could think that the soils in question are characterized by curvilinear strength envelopes; curves of the type $\tau = \beta\sigma^n$ provide, in fact, correlation coefficients superior to those of the linear interpolation. However, even though many Authors have found curvilinear envelopes in granular soils, see for example BALIGH [1976], the curvilinear envelopes furnished by the Iswest appear 'suspect'. First of all the corresponding laboratory data can be correlated only through a linear interpolation law; on the other hand the curvilinear envelopes lead to even lower friction angles and therefore misleading, especially in the case of EXPO 2. Finally, the tests carried out by Mirata in different soils show similar behaviours.

On the basis of such considerations, one could believe that the test interpretation procedure may be the source of errors in the evaluation of the investigated parameters; some considerations would seem to reinforce this hypothesis.

The procedure suggested by Mirata presumes that the soil wedge rigidly slides along the $ABDE$ plane (fig. 1). Assuming this hypothesis and analyzing the tests along with

the kinematic method of the limit analysis, the diagrams of fig. 5 are obtained. In figure 5, the maximum values of P measured during the tests are compared, for two different sites, with the theoretical one calculated assuming, as shear strength parameters, the corresponding laboratory results. In this way we note that in one case the theoretical analysis justifies the assumed mechanism, at least for $\alpha = 40^\circ$, in the other case such a condition is never verified. Keeping in mind the results furnished by the Iswest technique for both cases, this fact seems to suggest that the collapse of the wedge may occur, sometimes, in a different manner from that assumed even where the sliding surfaces are, at the end of the test, perfectly flat; for the limit analysis theory the theoretical values represent, in fact, an upper bound of the forces necessary to provide the sliding of rigid wedges.

The simplicity of the utilized analysis certainly doesn't consent definite conclusions regarding this important point. However, the suspect that the curvilinear shear envelopes furnished by the Iswest technique are the results of an inexact interpretation of the test seems legitimate also considering the fact that, in the cases where the strength parameter is greatly influenced by α , diagrams are obtained

similar to the one in fig. 5b, in others, diagrams similar to those in fig. 5a.

4. Concluding remarks

The experimental investigation allowed the outline for a possible use of the Iswest technique in granular soils. However, a wide and correct use in this context requires the solution to some problems.

On the basis of the obtained results, the research program will then be continued following two different directions. On the one hand the experimental investigation will be continued comparing the in situ results with those obtained by different laboratory tests carried out on specimens sampled by different techniques. On the other hand, a theoretical analysis of the test will be made in order to eliminate any doubts and reach a reliable support for test interpretation. The arisen questions indicate the FEM as the most suitable method to reach such aims, keeping in mind the role which is probably played by the elasto-plastic response of the soil. Such a research has already begun and as soon as there are significant results, they will be communicated.