

Utilizzo della prova al blu di metilene nella determinazione di alcuni parametri geotecnici di terreni argillosi

Claudia Meisina

Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Pavia, Via Ferrata n°1, 27100 Pavia, Tel 0382985831, Fax 0382/985890; e-mail cmeisina@manhattan.unipv.it

The use of the blue methylene method for the determination of some geotechnical parameters in clay soils

ABSTRACT: The drained residual strength, the swelling pressure and strain of clayey soils are strongly influenced by the mineralogy of the clay fraction. The blue methylene method is based on the property of the organic blue methylene dye which is adsorbed by negatively charged soil particles when in solution forming a monomolecular layer. The value of blue (the quantity of blue methylene consumed per 100 g of soil) is an indicator of the amount of clay and of the type of clay mineral. This paper assesses a correlation between the value of blue, the swelling parameters (swelling pressure and strain) and the residual strength friction angle. For this purpose several soils of the Oltrepo Pavese area (alluvial and eluvial-colluvial soils) have been submitted to geotechnical tests. The swelling pressure and swell strain were measured with different methods (free-swell test, constant volume test and loaded-swell test in the oedometer cell) on remolded soil samples prepared at a water content equivalent to the shrinkage limit. The residual strength friction angle was determined with direct shear tests (Kanji method). The correlation between the value of blue and the swelling pressure is strongly influenced by test procedure. The value of blue appears to be a good indicator of the swelling strain and of the residual strength friction angle.

Key terms: the methylene blue test, swelling pressure, swell strain, residual shear strength

Termini chiave prova al blu di metilene, pressione di rigonfiamento, variazione percentuale di volume, resistenza al taglio residua.

Riassunto

La pressione di rigonfiamento, la variazione percentuale di volume e la resistenza al taglio residua dei terreni argillosi sono fortemente influenzati dalla composizione mineralogica. La prova al blu di metilene consiste nel quantificare la capacità di adsorbimento dei terreni misurando la quantità di blu di metilene necessaria per ricoprire la superficie totale delle particelle argillose. Il “valore al blu” ricavato riflette la quantità e la tipologia dei minerali argillosi presenti. Scopo di questo lavoro è stato quello di verificare, per alcuni terreni dell’Oltrepo Pavese, la possibilità di predire i parametri del rigonfiamento e la resistenza al taglio residua a partire dal valore al blu.

Le prove di rigonfiamento “in parallelo” e a volume costante su campioni ricostituiti al limite di ritiro hanno permesso la determinazione della pressione di rigonfiamento e della variazione percentuale di volume. Per la misura dell’angolo di attrito residuo sono state eseguite prove di taglio diretto (metodo Kanji). Il valore al blu risulta essere un buon indicatore della variazione percentuale di volume e dell’angolo di attrito residuo dei terreni argillosi studiati.

Introduzione

La caratterizzazione geotecnica dei terreni argillosi ai fini di studi di fondazioni o della stabilità dei pendii richiede la valutazione di alcuni parametri geotecnici, quali la pressione di rigonfiamento, la variazione percentuale di volume e la resistenza al taglio residua. Quest’ultima in condizioni drenate è un parametro fondamentale nelle analisi di stabilità di un pendio soprattutto quando il movimento avviene lungo preesistenti superfici di discontinuità. La pressione di rigonfiamento e la variazione percentuale di volume misurano l’intensità del fenomeno di ritiro-rigonfiamento e di conseguenza la loro determinazione ha particolare rilevanza nel dimensionamento di opere di fondazione in terreni argillosi e negli studi di pianificazione territoriale (zonazione del territorio). I parametri in questione comportano l’esecuzione di prove di laboratorio (prove di rigonfiamento all’edometro, prove di taglio diretto o torsionale) spesso con lunghi tempi di esecuzione e costi elevati. La pressione di rigonfiamento, la variazione percentuale di volume e la resistenza al taglio residua dipendono strettamente dalla composizione mineralogica dei terreni e di conseguenza numerosi tentativi sono stati fatti per correlare questi parametri con alcune proprietà indici quali i limiti di

Atterberg e la frazione argillosa.

Alcune di queste correlazioni pongono a confronto la variazione percentuale di volume e la pressione di rigonfiamento con le proprietà indici, quali la frazione argillosa, il limite liquido e l'indice di plasticità (Seed et al., 1962; Williams e Donaldson, 1980).

L'angolo di attrito residuo è stato correlato con la frazione argillosa (Skempton, 1964; Borowicka, 1965; Binnie et al., 1967; Blondeau e Josseume, 1976; Lupini et al., 1981; Collotta et al., 1989), l'indice di plasticità (Fleischer, 1972, Bucher, 1975, Lambe, 1985, Vaughan et al., 1978 in Stark e Eid, 1994; Voight, 1973; Kanji, 1974; Seycek, 1978, Rouaiguia, 1996; Wesley, 2003) e il limite liquido (Mesri e Cepeda-Diaz, 1986).

La prova al blu di metilene consiste nel quantificare la capacità di adsorbimento dei terreni misurando la quantità di blu di metilene necessaria per ricoprire la superficie totale delle particelle argillose. Il "valore al blu" ricavato riflette la quantità e la tipologia dei minerali argillosi presenti. La correlazione tra il valore al blu di metilene ed alcuni parametri di rigonfiamento è già stata studiata con un buon grado di successo da alcuni autori: Chiappone e Scavia (1999) hanno trovato una relazione tra VB e la pressione di rigonfiamento di marne prelevate in aree di frana; Fytius et al. (2000) hanno studiato la relazione tra VB e l'indice di ritiro-rigonfiamento.

Scopo di questo lavoro è stato quello di verificare, per alcuni terreni dell'Oltrepò Pavese, la possibilità di predire i parametri del rigonfiamento e la resistenza al taglio residua a partire dal valore al blu.

Materiali

Sono stati analizzati circa 50 campioni prelevati con sondaggi e trincee esplorative in terreni quaternari della fascia di pianura dell'Oltrepò Pavese (Provincia di Pavia). Tali depositi si sono originati dall'attività deposizionale dei torrenti appenninici e del fiume Po e sono distinguibili in (Beatrizotti et al., 1969) (Fig.1):

- depositi alluvionali del ripiano principale della pianura (Alluvioni Oloceniche e Wurmiane), costituiti da alternanze di sabbie e/o ghiaie con argille e limi a geometria lenticolare. Alla sommità della successione è presente una coltre di copertura argillo-limosa con spessori massimi di 20 m nel settore occidentale e minimi (minori di 2 m) nel settore orientale;
- depositi alluvionali antichi (Alluvioni pre-wurmiane) che corrispondono a due ordini di ripiani terrazzati, costituiti da ghiaie e sabbie a matrice limosa con suoli argillo-limosi.

Un numero minore di campioni appartiene a coltri eluvio-colluviali, che raggiungono anche 6 m di spessore, derivanti dall'alterazione di formazioni terziarie a dominante argillosa appartenenti ai seguenti complessi litologici: argille varicolori, complesso caotico, marne calcaree con intercalazioni argillose (Calcari di Zebedassi),

marne, marne calcaree e argilliti (Formazione della Val Luretta). Tali coltri sono spesso coinvolte in fenomeni franosi superficiali e sono soggette a variazioni di volume.

I campioni sono stati prelevati generalmente a profondità inferiori ai 3 m e le loro caratteristiche geotecniche e mineralogiche sono descritte in Tabella 1.

Metodi

La prova al blu di metilene

I terreni, caratterizzati con le prove di classificazione standard (areometrie, limiti di Atterberg), sono stati sottoposti al test al blu di metilene (prova "alla macchia"). Il principio di base di tale prova consiste nel quantificare la capacità di adsorbimento ionico dei terreni misurando la quantità di blu di metilene necessaria per ricoprire la superficie totale delle particelle costituenti il terreno. Si tratta di un fenomeno di adsorbimento chimico provocato dai "deficit" di carica elettrica delle particelle di argilla e/o dai fenomeni di scambio ionico tra i cationi facilmente scambiabili dell'argilla stessa ed i cationi del blu di metilene, a seguito della scissione, in acqua, di questi ultimi dagli anioni (Cl). La capacità di adsorbimento di acqua di un terreno, a parità di percentuale di argilla presente e di composizione del mezzo acquoso, è funzione della tipologia del minerale argilloso; essa aumenta in funzione della superficie specifica e della carica particellare (massima per le smectiti, minima per le caoliniti) (Lautrin, 1989; Magnan e Youssefian, 1989; Shaeffner, 1989; Torenq e Tran Ngoc Lan, 1989, AFNOR 1998). La prova al blu di metilene consente di caratterizzare in modo speditivo i terreni sulla base di un valore indice ("valore al blu" VB) che dà indicazioni semi-qualitative sulla quantità (cresce all'aumentare della percentuale di frazione argillosa) e sulla tipologia dei minerali argillosi presenti .

$$VB = V \cdot 0.01 \cdot 100 / m_0$$

dove:

- V (cm³) è il volume della soluzione di blu utilizzata;
- 0,01 (g/ cm³) è la concentrazione della soluzione di blu, ovvero 10 g/l;
- m₀ (g) è la massa del campione secco.

VB può assumere valori che vanno da 0 a 16 grammi di blu assorbito dal campione su 100 grammi di suolo secco.

Dalla prova si può inoltre ricavare la superficie specifica totale Sa (m²/g), ovvero la superficie interna ed esterna accessibile all'acqua (una superficie molto elevata indica sempre la presenza di materiali argillosi attivi, Sa = 800 m²/g per la montmorillonite) e l'indice di attività della frazione argillosa del terreno (ACB), che corrisponde alla quantità di blu di metilene fissata da 100 g di frazione inferiore a 2 µm (CF) (ACB può assumere valori che variano da 1 a 18 grammi su 100 grammi, ed aumenta con il tenore di montmorillonite).

$$Sa = 20.93 \cdot V / m_0$$

dove:

20.93 rappresenta la superficie corrispondente a 1 cm³ di blu di metilene;

V (cm³) è il volume della soluzione di blu utilizzata;

m₀ (g) è la massa del campione secco.

$$ACB = 100 * VB / CF$$

La prova al blu di metilene, meno conosciuta in Italia, è utilizzata di routine in Francia, dove rientra tra le prove

standard che vengono richieste dalla normativa per la caratterizzazione e la selezione degli inerti destinati alla costruzione dei rilevati stradali. A differenza delle prove di classificazioni tradizionali (limiti di Atterberg) che riproducono il comportamento del terreno al contatto con l'acqua, determinato indistintamente dal contenuto argilloso, dalla natura mineralogica e dal pH, il valore al blu di metilene indica direttamente la capacità di adsorbimento.

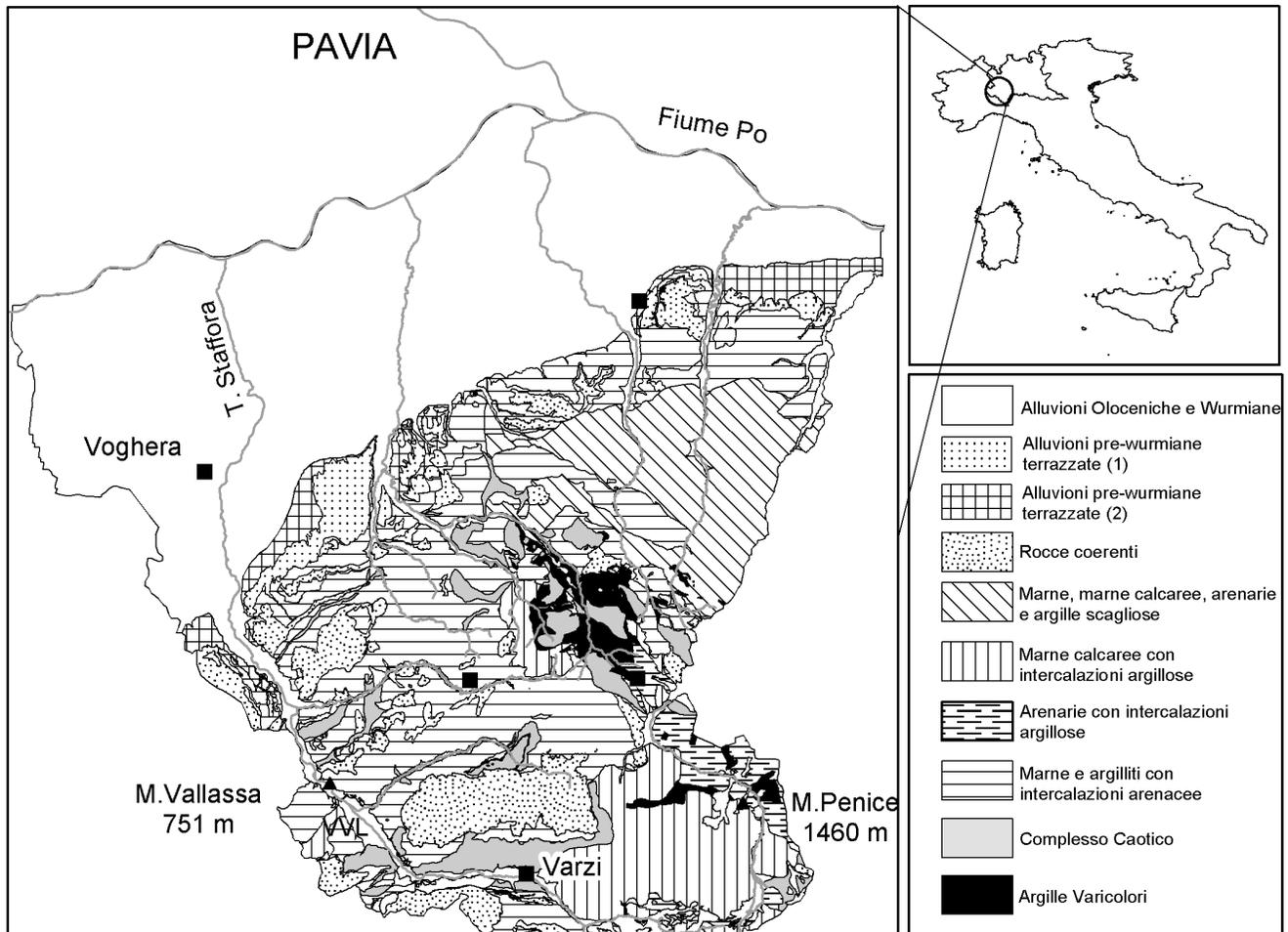


Fig. 1. Inquadramento litologico dell'area studiata.
Simplified lithological map of the study area.

Le prove di rigonfiamento

Per l'identificazione dei terreni rigonfianti e per la quantificazione del fenomeno di rigonfiamento vengono utilizzati comunemente alcuni parametri rappresentati da:

- pressione di rigonfiamento: sforzo da applicare per mantenere costante, nel corso dell'imbibizione, un dato volume di terreno;
- rigonfiamento libero o variazione percentuale di volume: deformazione massima provocata dall'imbibizione, a carico nullo o molto debole; talvolta

questo parametro viene definito anche come potenziale di rigonfiamento (relazione tra sforzi e deformazioni dovute all'aumento di volume).

Tali parametri non rappresentano caratteristiche intrinseche del terreno ma dipendono strettamente dalle condizioni del terreno in situ (contenuto in acqua, peso di volume secco, grado di saturazione) (Vandageon, 1992). Nello standard proposto dal Comitato TC6 sui terreni espansivi si considera una particolare condizione di riferimento per un terreno allo stato rimaneggiato, vale a

dire quella per la quale il contenuto in acqua e il peso di volume secco iniziale assumono i valori corrispondenti allo stato di ritiro (Scarpelli, 1995). Nel caso specifico il peso di volume secco corrispondente al limite di ritiro è stato ricavato dalla curva di ritiro degli stessi campioni

indisturbati. SP_{max} e S_{max} rappresentano quindi rispettivamente il valore della pressione di rigonfiamento e della variazione percentuale di volume per un terreno ricostituito allo stato di ritiro.

Tabella 1. Proprietà geotecniche e composizione mineralogica dei terreni analizzati. CF: frazione argillosa; IP: indice di plasticità; VB: valore al blu; ACB: indice di attività della frazione argillosa; Sa: superficie attiva della frazione argillosa; Sm: smectite; V: vermiculite; Int: intergradi; K: caolinite; I: il lite; Cl: clorite; F: feldspati; Q: quarzo; C: calcite.

Geotechnical properties and mineralogical composition of the studied soils. CF: clay fraction; IP: plasticity index; VB: value of blue; ACB: clay fraction index of activity; Sa: active surface of clay fraction; Sm: smectite; V: vermiculite; Int: intergrade; K: kaolinite; I: il lite; Cl: chlorite; F: feldspar; Q: quartz; C: calcite.

Tipo di terreno	CF	Composizione mineralogica	IP	VB (g/100g di suolo)	Acb	Sa (m ² /g)
DEPOSITI ALLUVIONALI						
1. Ripiano principale della pianura	32-50	Q, F, V, Int	18-40	3,0-6,5	6,7-15,2	64-136
2. Terrazzo alluvionale (1° ordine)	30-75	V, Q, I, F, Int, Sm	19-80	1,5-10,8	2,9-23,6	30-225
3. Terrazzo alluvionale (2° ordine)	25-70	V, Q, I, F, Int	17-62	2,4-13	6,3-36,8	50-227
COLTRI ELUVIO-COLLUVIALI						
4. Complesso Caotico	39-55	Q, Cc, Sm, I, K, Int, Cl	44-50	6,4-12,8	11,4-22,8	134-267
5. Argille Varicolori	35-64	Q, Sm, Cc, Int, I	22-44	4,6-13,1	18,6-19,6	97-274
6. F.ne Val Luretta	18-48	Sm, Cc, Q, K, V	13-68	3,4-7,1	10-46,5	70-148
7. Calcari di Zebadassi	29-70	Sm, Cc, Q, K	21-70	4,6-11,6	9,9-18	97-244

I parametri sopra menzionati sono inoltre strettamente dipendenti dalla particolare procedura di misura adottata (Serratrice e Soyez, 1996), che influenza l'evoluzione nel tempo delle variazioni di volume. Le procedure per la valutazione di questi parametri, si distinguono principalmente per le modalità di applicazione e la durata del carico sul provino e per lo strumento utilizzato (edometro o triassiale). Per la determinazione di S_{max} è stata adottata la prova di rigonfiamento libero all'edometro (variazione di volume di un campione ricostituito allo stato di ritiro, sottoposto ad un carico di 12,5 kPa e lasciato rigonfiare fino a completa saturazione). Per la determinazione di SP_{max} è stata utilizzata per la maggior parte dei campioni la prova a volume costante (ASTM D4546-85) e subordinatamente la prova in parallelo (AFNOR XP P 94-091), entrambe all'edometro. La prima, molto delicata da eseguire, consiste nel misurare, mediante incrementi successivi, il carico necessario per mantenere costante il volume di un campione sottoposto ad imbibizione. La seconda prova, ritenuta più affidabile, consiste nell'applicare una sequenza di carichi a differenti provini (almeno 3) di uno stesso materiale. Ogni provino viene consolidato ad un carico scelto, successivamente si procede all'imbibizione ed alla misura delle variazioni di altezza fino alla stabilizzazione. Il valore della

deformazione finale ΔH_f (altezza finale)/ H_i (altezza iniziale), al raggiungimento dell'equilibrio per ciascun provino, è riportato su un diagramma semilogaritmico [$\Delta H_f/H_i - \log \sigma$]. Per convenzione, il carico al quale corrisponde una deformazione nulla è la pressione di rigonfiamento SP_{max} , mentre la variazione di volume corrispondente al carico di 12.5 kPa è la variazione percentuale di volume S_{max} (Fig.2). La misura di rigonfiamento in parallelo ha lo svantaggio di richiedere l'utilizzo di provini diversi di uno stesso campione che difficilmente sono perfettamente omogenei, con possibili imprecisioni nella determinazione di SP_{max} .

La prova di taglio

Su un ridotto numero di campioni è stata misurata la resistenza al taglio drenata residua mediante prove di taglio diretto secondo il metodo Kanji (Kanji, 1974). Tale prova permette di riprodurre la condizione più critica in cui può trovarsi il materiale, essa viene eseguita su campioni rimaneggiati (annullamento della resistenza legata alla struttura del terreno), ricostituiti in condizioni corrispondenti al limite liquido (annullamento della coesione tra le particelle di terreno) e consolidati (le particelle argillose sono isorientate e si facilita quindi lo scorrimento sulla superficie di taglio). La prova ha

interessato tre campioni di uno stesso materiale, consolidati a tre carichi verticali distinti, pari a 100, 200 e 300 kPa, in funzione della profondità di prelievo dei campioni. Gli sforzi di taglio sono stati applicati con una velocità orizzontale di 2 $\mu\text{m}/\text{min}$ fino a raggiungere spostamenti orizzontali uguali a circa 6 mm, imponendo lo scorrimento del campione su una lastra di agata.

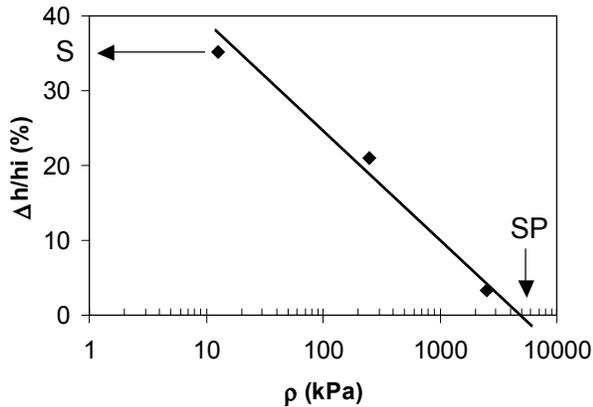


Fig. 2. Determinazione di SPmax e Smax mediante la prova di rigonfiamento in parallelo.
SPmax and Smax determination through the loaded-swell test.

Correlazione tra il valore al blu e le proprietà di rigonfiamento

I precedenti confronti tra le proprietà indici ed i valori di SPmax e Smax misurati in laboratorio non hanno indicato significative correlazioni (Meisina, 2000) per i terreni studiati.

I valori al blu sono stati confrontati separatamente con quelli di SPmax e di Smax. Nel primo caso la correlazione è discreta (SP max aumenta con l'incremento di VB) ma di tipo diverso (lineare, esponenziale) a seconda della procedura di prova utilizzata per la determinazione della pressione di rigonfiamento (Fig.3-4), i cui valori presentano differenze anche del 30% per uno stesso terreno nelle medesime condizioni iniziali (la prova di rigonfiamento in parallelo fornisce i valori maggiori di SPmax). Le incertezze connesse alla misura della SPmax suggeriscono quindi un utilizzo molto cauto delle correlazioni descritte.

La correlazione tra VB e Smax (Fig.5) è più attendibile delle precedenti in relazione alle minori incertezze sperimentali presentate dalla misura della variazione percentuale di volume.

Correlazione tra il valore al blu e l'angolo di attrito residuo

La tabella 2 rappresenta le proprietà geotecniche dei campioni analizzati per lo studio della resistenza al taglio residua. I terreni appartengono a depositi alluvionali ed in minor misura a coltri di frana. I campioni sono classificabili come argille limose e limi argillosi di alta plasticità (CH) ad

eccezione di 13, 14 e 3. Il valore al blu varia da 2,6 a 10,8 in relazione con la composizione mineralogica dei campioni; generalmente i valori più elevati, a parità di contenuto in argilla, indicano la presenza di minerali argillosi a reticolo espandibile (smectite e vermiculite). I corrispondenti valori di angolo di attrito variano da 4° a 21° in correlazione inversa con l'indice di plasticità.

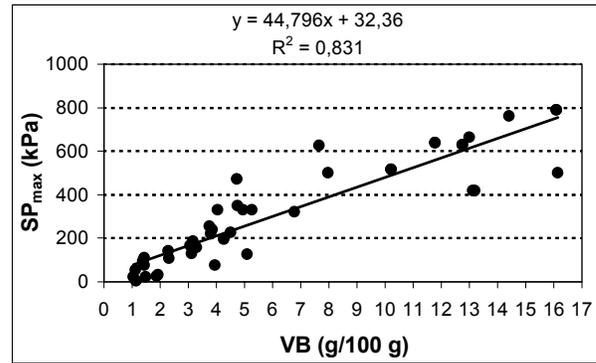


Fig. 3. Correlazione tra il valore al blu e SPmax determinato mediante la prova di rigonfiamento a volume costante.
Comparison between the value of blue and the SPmax measured with the constant volume test.

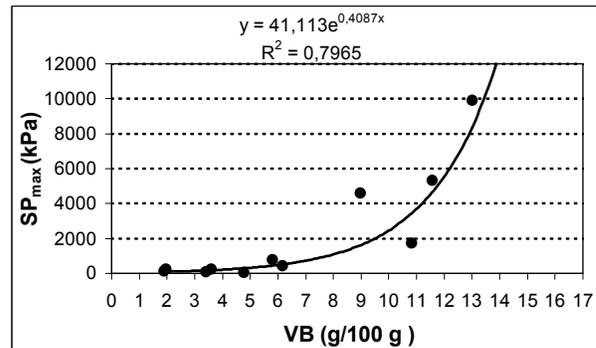


Fig. 4. Correlazione tra il valore al blu e SPmax determinato mediante la prova di rigonfiamento in parallelo.
Comparison between the value of blue and the SPmax measured with the loaded-swell test.

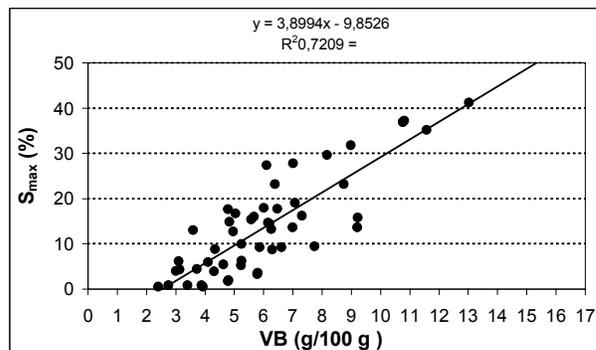


Fig. 5. Correlazione tra il valore al blu e la variazione percentuale di volume Smax.
Correlation between the value of blue and the swell strain Smax.

E' stata verificata l'applicabilità di alcune correlazioni proposte in letteratura (Tab.3). Le correlazioni che hanno avuto maggior successo per i terreni esaminati sono state quelle di Seycek (1978), Blondeau e Josseume (1976), Lambe (1985), anche se il campo di variazione di ϕ'_r è molto elevato (5-20° per Seycek e 15° per Lambe).

Il confronto tra il valore al blu di metilene e l'angolo di attrito residuo (Fig.6) ha messo in evidenza una buona correlazione, come indicato anche dalla ridotta dispersione dei punti sperimentali rispetto alla retta di regressione ($\Delta\phi'_r=4-5^\circ$).

Tabella 2. Proprietà geotecniche dei campioni sottoposti a prove di taglio diretto mediante il metodo Kanji. WI: limite liquido, Wp: limite plastico; IP: indice di plasticità; CF: frazione argillosa; VB: valore al blu; ACB: indice di attività della frazione argillosa; Sa: superficie attiva della frazione argillosa; ϕ'_r : angolo di attrito residuo.

Geotechnical properties of the soils subjected to direct shear strength tests through the Kanji method. WI: liquid limit, Wp: plastic limit; IP: plasticity index; CF: clay fraction; VB: value of blue; ACB: clay fraction index of activity; Sa: active surface of clay fraction; ϕ'_r : residual shear strength.

Campione	Tipo	Profondità (m)	WI	Wp	IP	CF	VB (g/100g)	ACB	Sa (m2/g)	ϕ'_r (°)
1	1	2,25	60,0	18,6	41,5	49,2	6,5	13,2	136	12,70
2	1	2,4	67,7	20,5	47,2	57,8	5,0	10,5	127	9
3	1	3,6	33,2	15,6	17,7	33,7	2,6	7,7	54	17,00
4	2	2,5	47,0	14,9	32,1	33,0	7,7	23,5	162	14,50
5	2	6,7	104,4	23,2	81,2	75,0	10,8	14,5	225	4,70
6	2	0,8	53,8	23,4	30,3	41,0	4,9	11,8	101	16,00
7	2	2,15	53,7	22,3	31,4	33,0	5,8	17,5	121	14,00
8	3	1,3	72,1	19,9	52,2	50,0	8,2	15,5	173	8,00
9	3	2,1	56,7	18,4	38,3	44,5	8,3	15,9	148	6,00
10	3	1,5	52,2	30,3	21,9	24,5	3,8	16,1	82	21,00
11	3	1,9	63,3	23,0	40,4	53,1	7,3	13,2	147	11,00
12	fr	1,2	89,8	19,7	70,0	61,0	9,6	15,7	200	5,50
13	fr	0,5	30,8	20,2	10,6	34,0	1,7	5,1	36	17,00
14	fr	0,5	45,1	21,3	23,8	31,0	3,2	10,4	67	17,00
15	fr	0,5	94,0	25,8	68,2	52,5	9,9	18,8	207	4,00

Tabella 3. Angolo di attrito residuo dei terreni esaminati determinato attraverso alcune correlazioni empiriche.
Residual shear friction angle of the studied soils derived from empirical correlations.

Autore	Metodo	1	2	3	6	7	8	9	10	11	12	15
Skempton (1964)	ϕ'_r / CF	9-20	8,5-18	14-26,5	13-24	15-27	10,5-21	11,5-23	20-31	10-20	8,5-17	9,5-20
Boroviccka (1965)	ϕ'_r / CF	7	7	12,5	9	14	7	7	19,5	7	7	8
Binnie et al. (1967)	ϕ'_r / CF	14	12,5	19	17	19	15	16	23	14	-	13,5
Blondeau e Josseume (1976)	ϕ'_r / CF	6,5 - 14,5	6 - 12	9-22	7 - 19	10 - 23	7 - 15	7,5 - 15,5	13,5 - 27	6,5 - 13,5	5,5-10,5	7 - 14
Collotta et al. (1989)	ϕ'_r / CF	10,5-14,5	7-10,5	21,5-27,5	16 - 21,5	>24	10 - 14	13 - 18	-	9 - 13	6,5-9,5	9,5-13,5
Collotta et al. (1989)	ϕ'_r / CALIP	8 - 10	7,5-8,5	>26	16 - 19	20 - 24	7,5 - 9	10 - 14	>26	8 - 10	-	7,5-8,5
Fleischer (1972)	ϕ'_r / IP	-	-	17	10	10	9	9,5	13	9	-	-
Voight (1973)	ϕ'_r / IP	13,5	12,5	23,5	18,5	18	12	16	22	14	8	8,5
Kanji (1974)	ϕ'_r / IP	8,5	8	13	10	10	8	8,5	12	8,5	7	7
Bucher (1975)	ϕ'_r / IP	7,5-15	7,5-12,5	16-34	10 - 26	9 - 25	8,5 - 13	8,5 - 18,5	13 - 34	8,5 - 17	-	-
Seycek (1978)	ϕ'_r / IP	5-18,5	4,5-17	8 - 28	4,5 - 23	4,5 - 22,5	4,5 - 17	4,5 - 20	6 - 26	4,5 - 19	4,5-13	4,5-13,5
Vaughan et al. (1978)	ϕ'_r / IP	8-13	8-13	22-31	8 - 13	8 - 13	8 - 13	8 - 13	22-30	8 - 13	-	-
Lambe (1985)	ϕ'_r / IP	7-22,5	6-21,5	16-32	12 - 27	11 - 26,5	-	10 - 25	15 - 30	8 - 24	-	-
Wesley (2003)	ϕ'_r / Δ IP	-	-	-	6 - 21	6 - 21	4,5 - 8,5	5 - 9	8 - 28	4 - 12	3 - 5	-

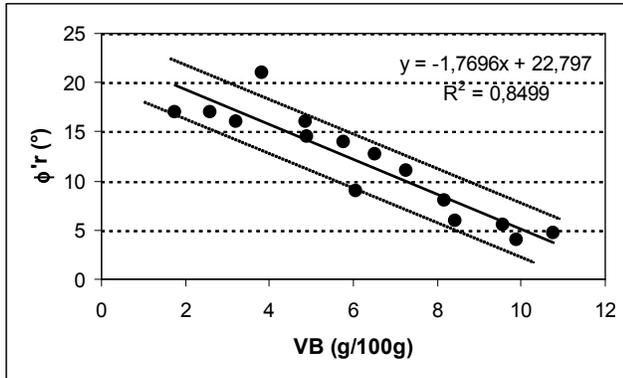


Fig. 6. Correlazione tra il valore al blu e l'angolo di attrito residuo.
Correlation between the value of blue and the residual shear friction angle.

Conclusioni

L'elevato costo ed i lunghi tempi di esecuzione di prove di laboratorio per la determinazione della pressione di rigonfiamento, della variazione percentuale di volume e della resistenza al taglio residua hanno portato a ricercare correlazioni tra tali parametri e le proprietà indici. Esse però non possono essere ritenute universalmente valide, in quanto dipendono dalle caratteristiche geologiche dei terreni sulle quali sono state messe a punto. E' emersa di conseguenza la necessità di sviluppare delle correlazioni più specifiche per i terreni studiati dell'Oltrepò Pavese. Le correlazioni ottenute nello studio incoraggiano l'utilizzo della prova al blu di metilene nello studio del fenomeno di rigonfiamento e nei problemi di stabilità che coinvolgono la resistenza al taglio residua. I vantaggi dell'utilizzo della prova al blu di metilene sono la semplicità (la sua determinazione non necessita di apparecchiature sofisticate e di personale specializzato) e la rapidità (da 15 a 60 minuti

in funzione del tipo di terreno); essa inoltre permette di ottenere informazioni sulla quantità e la tipologia dei minerali argillosi.

I parametri del rigonfiamento SP_{max} e S_{max} si riferiscono ad una particolare condizione del terreno, quella per la quale il contenuto di acqua e la densità secca iniziali assumono i valori corrispondenti allo stato limite di ritiro. Le prove discusse sono state pertanto eseguite su campioni ricostituiti. E' emersa una certa difficoltà nella valutazione delle correlazioni tra VB e la pressione di rigonfiamento a causa dell'incertezza connessa alla determinazione di questo parametro che è influenzato dal tipo e dalla procedura di prova in laboratorio. Una discreta correlazione è stata trovata tra la variazione percentuale di volume e VB. Ciò sta ad indicare l'elevata complessità del fenomeno di rigonfiamento che dipende da molteplici fattori, tra i quali vi sono la composizione mineralogica e il contenuto in argilla. Ricerche sono in corso, mirate all'applicazione di reti neurali artificiali, che hanno il vantaggio, rispetto ai metodi statistici tradizionali, di poter considerare più fattori del fenomeno contemporaneamente e di non richiedere la conoscenza a priori della relazione tra le variabili.

Una buona correlazione è stata ugualmente individuata tra VB e $\phi'r$. Ulteriori ricerche sono rivolte ad una più accurata verifica della relazione trovata in funzione dell'origine e della tipologia dei terreni dell'area in esame.

Le correlazioni trovate possono essere utilizzate per una prima stima dei valori di pressione di rigonfiamento, della variazione percentuale di volume e dell'angolo di attrito residuo in attività di pianificazione territoriale (e.g. carte di pericolosità) e di progettazione preliminare. La sua applicazione in ambiti geologici differenti da quelli esaminati richiede comunque una taratura sperimentale.

Bibliografia

- AFNOR, 1998. Mesure de la quantité et de l'activité de la fraction argileuse: détermination de la valeur de bleu de méthylène d'un sol par l'essai à la tache. Norme française homologuée, NF P94-068.
- Beatrizzotti, G., Bellinzona, G., Beltrami, G., Boni, A., Braga, G., Marchetti, G., Mosna, S., 1969. Geological map of Italy Fig.71 - Voghera (2nd Ed) - Servizio Geologico d'Italia, Roma.
- Binnie, M., Clark, J.F.F., Skempton, A.W., 1967. The effect of discontinuities in clay bedrock on the design of dams in the Mangle project. Thans. 9th Int. Congress on large dams, 1, 165-183.
- Blondeau, F., Josseume, H., 1976. Mesure de la résistance au cisaillement résiduelle en laboratoire. Bull. Liaison Labo. P. et Ch., 90-106.
- Borowicka, H., 1965. The influence of the colloidal content on the shear strength of clay. Proc. 6th Int. Conf. On Soil Mech. And Found. Engrg., 1, 175-178.
- Chiappone, A., Scavia, C., 1999. La prova al blu di metilene nella caratterizzazione geotecnica: un'applicazione allo studio nella stabilità dei versanti. Rivista Italiana di Geotecnica, 4, 36-51.
- Collotta, T., Cantoni, R., Pavesi, U., Ruberl, E., Moretti, P.C., 1989. A correlation between residual friction angle gradation and the properties of cohesive soils. Geotechnique, 39 (2), 343-346.
- Fityus, S.G., Smith, D.W., Jennar, A.M., 2000. Surface area using methylene blue adsorption as a measure of soil expansivity. GeoEng 2000, 2, 601.
- Kanji, M.A., 1974. The relationship between drained friction angles and Atterberg limits of natural soil. Geotechnique, 24, 671-674.
- Lautrin, D., 1989. Utilisation pratiques des paramètres dérivés de l'essai au bleu de méthylène dans les projets de génie civil. Bull. Liaison Labo. P. et Ch., 160, 29-41.
- Lupini, J.F., Skinner, A.E., Vaughan, P.R., 1981. The drained residual strength of cohesive soil. Geotechnique, 31 (2), 181-213.
- Magnan, J.P., Youssefian, G., 1989. Essai au bleu de méthylène et classification géotechnique des sols. Bull. Liaison Labo. P. et Ch., 159, 93-104.
- Meisina, C., 2000. Predicting swelling/shrinkage potential using the blue methylene method: some examples in Italian clayey soils. Proc.Int.Conf. on Geotechnical & geological Engineering Geoeng2000, Melbourne, 19-24 november 2000.
- Mesri, G., Cepeda-Diaz, 1986. Residual shear strength of clays and shales. Geotechnique ,36 (6), 269-274.
- Rouiguia, A., 1996. L'influence de quelques facteurs sur la résistance résiduelle des argiles. Rev. Franç. de Géotech., 74, 55-69.
- Scarpelli, G., 1995. Comitato tecnico TC6 sui terreni espansivi, Nuova Delhi, Aprile 1993. Rivista Italiana di Geotecnica, 2, 137-142.
- Schaeffner, M., 1989. Introduction de la valeur

- de bleu de méthylène d'un sol dans la classification des sols de la recommandation pour les terrassements routiers. Bull. Liaison Labo. P. et Ch., 163, 9-16.
- Seed, M.B., Woodward, R.J., Lundgren, R. 1962. Prediction of swelling potential for compacted clays. Journal of the Soil Mechanics and Foundation Engineering Division, ASCE, 88, 107-131.
- Serratrice, J.F., Soyez, B., 1996. Les essais de gonflement. Bull. Liaison Labo. P. et Ch., 204, 65-85.
- Seycek, J. 1978. Residual shear strength of soils. Bull. Int. Assoc. Engrg. Geologists, 17, 73-75.
- Skempton, A.W., 1964. Long-term stability of clay slopes. Geotechnique, 14 (2), 77-101.
- Stark, T.D., Eid, H.T., 1994. Drained residual shear strength of cohesive soils. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 120 (5), 856-871.
- Tourenq, C., Tran Ngoc Lan 1989. Mise en évidence des argiles par l'essai au bleu de méthylène. application aux sols, roches et granulats. Bull. Liaison Labo. P. et Ch., 159, 79-92.
- Vandageon, P., 1992. Exemples de sinistres en région parisienne. Rev. Franç. de Géotech., 58, 7-14.
- Voight, B., 1973. Correlation between Atterberg plasticity limits and residual shear strength of natural soil. Geotechnique, 27 (2), 125-136.
- Wesley, L.D., 2003. Residual strength of clays and correlations using Atterberg limits. Geotechnique, 53 (7), 669-672.
- Williams, A.B., Donaldson, G.W., 1980. Developments relating to building on expansive soils in South Africa: 1973-1980. Proc. of the 4th Int. Conf. on Exp. Soils, Denver, 2, 834-844.