

Classificazione dei terreni argillosi

Ennio Polidori¹, Umberto Gori²

¹Autore corrispondente .Istituto di Geologia Applicata, Università degli Studi “Carlo Bo”, Urbino, Campus Scientifico, 61029 Urbino (PU) - Fax 0722 304260 ennio.polidori@uniurb.it

² Istituto di Geologia Applicata, Università degli Studi “Carlo Bo”, Urbino, ugori@uniurb.it

Clayey soils classification

ABSTRACT: The present study investigates the consistency limits of two pure clay minerals kaolinite and montmorillonite, and the mixtures of each clay mineral with fine silica sand. Plotting the plasticity index data as a function of the liquid limit, allows the zones where mixtures with the same clay contents fall to be defined. In particular, the line corresponding to 50% clay (designated as the 0.5C-line), makes it possible to distinguish the points that lie above the line, namely silt (soils with clay < 50%), from the points lying below the line in the clay zone. A new plasticity chart, which aims to classify soils (< 425 μm) using the Atterberg limits, is defined. The silt and clay zones (separated from 0.5C-line) allow to classifying inorganic soils that contain platy clay minerals. Below these zones, should lie data of the soils that have particular characteristics (low plasticity), as organic soils and residual inorganic soils with non-platey clay minerals. This plasticity chart differs from that proposed by Casagrande, primarily in that the respective position of the silt and clay zones are reversed. In fact, on the new chart, the silt zone is found above the clay zone, because (contrary to what is believed) in inorganic soils, plasticity indexes being equal, the liquid limit increases as the clay content increases. As consequence, the clay zone lie below the silt zone (that is below the 0.5C-line). Several literature data from inorganic soils plotted on the two charts, confirm that the position of the clay and silt zones on Casagrande’s empirical chart are not accurate.

Key terms: soil classification, plasticity, clays, Atterberg limits.

Termini chiave: classificazione dei terreni, plasticità, argille, limiti di Atterberg.

Riassunto

Si affronta uno studio sui limiti di consistenza di due minerali argillosi puri, caolinite e montmorillonite e delle miscele di ciascun minerale argilloso con sabbia fine silicea. La rappresentazione dei dati dell’indice plastico in funzione del limite liquido, permette di definire i campi di appartenenza delle miscele aventi il medesimo contenuto di argilla. In particolare, la linea corrispondente al 50% di argilla (denominata 0.5C-line), consente di distinguere i punti che cadono sopra di essa, limi (terreni con argilla < 50%), dai punti che cadono sotto la linea nel campo dell’argilla. Viene definita una nuova carta di plasticità, con lo scopo di classificare i terreni (< 425 μm) attraverso i limiti di Atterberg. I campi del limo e dell’argilla (separati dalla 0.5C-line) permettono di classificare i terreni inorganici che contengono minerali argillosi “platey shape”. Sotto questi campi, dovrebbero cadere i dati dei terreni con particolari caratteristiche (bassa plasticità) come i terreni organici e i terreni inorganici residuali con minerali argillosi “non-platey shape”. Questa carta di plasticità si differenzia da quella proposta da Casagrande, soprattutto per avere i rispettivi campi del limo e dell’argilla invertiti. Infatti, sulla nuova carta, il campo del limo è ubicato sopra quello dell’argilla perché nei terreni (contrariamente a quanto

ritenuto), a parità di indice plastico, all’aumentare del limite liquido corrisponde un aumento del contenuto di argilla. Di conseguenza, il campo dell’argilla è ubicato sotto quello del limo (ovvero sotto la 0.5C-line). I numerosi dati dei terreni inorganici (tratti dalla letteratura) rappresentati sulle due carte, confermano che sulla carta empirica di Casagrande le posizioni dei campi del limo e dell’argilla non corrispondono alla realtà.

Introduzione

Nei terreni argillosi, generalmente possono essere distinte due frazioni a diverso comportamento. La frazione “attiva, legante” composta di particelle < 2 μm , CF (considerata convenzionalmente costituita interamente di minerali argillosi) e la frazione “inerte” composta di particelle non argillose > 2 μm . È noto che le proprietà e il comportamento delle “round particles” (basati principalmente sulla loro dimensione-forma) sono diverse da quelle dei minerali argillosi, perché le caratteristiche dei minerali argillosi non sono primariamente legate alle dimensioni delle loro particelle. Quindi, per classificare i terreni costituiti da una elevata percentuale di fine, assumono notevole importanza il contenuto e il tipo di minerali argillosi presenti nel campione.

I dati che definiscono la plasticità dei terreni (Casagrande, 1932, 1958) possono essere inseriti nella carta di plasticità di Casagrande (1948), dove l'indice plastico (I_p) è messo in relazione con il limite liquido (W_L). Tale carta è divisa in due campi dalla A-line [$I_p = 0.73(W_L - 20)$], che permette di distinguere i punti che cadono al di sopra della A-line (argille inorganiche, C), dai limi (M), che giacciono al di sotto della retta. Questa caratteristica è comune a tutte le carte di plasticità riportate dalle varie normative per classificare i terreni fini. Secondo le norme ASTM (D 2487), a loro volta i limi e le argille (Fig. 4), sia inorganiche, sia organiche (O) sono classificati a bassa (L) o ad alta (H) plasticità, quando il valore del limite liquido è rispettivamente minore o maggiore del 50%. Per valori dell'indice plastico compresi fra 4 e 7 è definito, inoltre, il gruppo delle argille siltose a bassa plasticità (CL-ML).

In riferimento alla classificazione dei terreni basata sulle dimensioni delle particelle, per esempio secondo BS standard (BS 1377), il terreno può essere così distinto: argilla = frazione del terreno con particelle < 2 µm; limo = frazione del terreno con particelle 2-60 µm. Con il termine sabbia, è qui intesa la sola frazione (60-425 µm) presa in esame per determinare i limiti di Atterberg. Le due ultime frazioni (simili per comportamento), sulla carta di plasticità sono indicate semplicemente con il termine limo (M).

In un precedente lavoro (Polidori, 2003) è stata proposta una nuova carta di plasticità per classificare i terreni. La seguente esposizione ripropone tale carta (migliorata) e nuovi esempi di terreni rappresentati sulle due carte di plasticità.

Dati e discussione

Nella Tab. 1 sono riportati i valori dei limiti di consistenza dei minerali argillosi puri caolinite e montmorillonite tratti da Polidori (2003) e delle loro rispettive miscele con sabbia fine silicea in percentuale crescente del 25%, fino al valore massimo del 75%. Il calcolo dei valori dei limiti di Atterberg delle miscele con sabbia, è stato eseguito sulla base dei dati dei minerali puri assumendo che il limite liquido e il limite plastico (W_p) (e di conseguenza I_p) siano linearmente proporzionali al contenuto di argilla, in accordo con Skempton (1953) e Seed *et alii* (1964b), precisamente:

$$W_L = CF/100 \cdot W_{Lc} \quad \text{e} \quad W_p = CF/100 \cdot W_{pc}$$

dove, CF è la percentuale < 2 µm; W_{Lc} e W_{pc} sono rispettivamente i limiti liquido e plastico della sola frazione argillosa (CF = 100%).

Unendo i punti della caolinite con quelli della montmorillonite che hanno la stessa percentuale di argilla, si delineano i campi di appartenenza delle miscele con uguale contenuto di argilla. In particolare le linee corrispondenti alle percentuali del 100% CF e 50% CF, denominate rispettivamente C-line e 0.5C-line (Polidori, 2003), delimitano il campo di esistenza delle miscele con CF ≥ 50%. Sopra la 0.5C-line è rappresentato il campo delle miscele a prevalente contenuto di sabbia (CF < 50%).

Tab. 1. Limiti di Atterberg dei minerali argillosi puri caolinite e montmorillonite, tratti da Polidori (2003). I valori delle loro rispettive miscele con sabbia fine silicea, sono calcolati in accordo con Skempton (1953) e Seed *et alii* (1964b).

Atterberg limits of pure caolinite and montmorillonite clay minerals, taken from Polidori (2003). The values of their respective mixtures with fine silica sand, were calculated according to Skempton (1953) and Seed et alii (1964b).

CF (% < 2 µm)		25	50	75	100
caolinite	W_L	16.7	33.5	50.2	67
	W_p	9.5	19	28.5	38
	I_p	7.2	14.5	21.7	29
montmorillonite	W_L	51	102	153	204
	W_p	11.2	22.5	33.7	45
	I_p	39.8	79.5	119.3	159

W_L , W_p e I_p sono in %.

In Fig. 1 sono rappresentati i dati di Tab. 1 e la A-line di Casagrande per osservare dove questi cadrebbero sulla carta di Casagrande. Tutti i valori (W_L , I_p) giacciono sopra la A-line nel campo dell'argilla, esclusa la caolinite pura che è ubicata sotto la A-line nel campo del limo (secondo Casagrande). Quindi, anche le miscele costituite principalmente da sabbia (> 50%), quando vengono rappresentate sulla carta di plasticità di Casagrande, possono cadere nel campo classificativo delle argille.

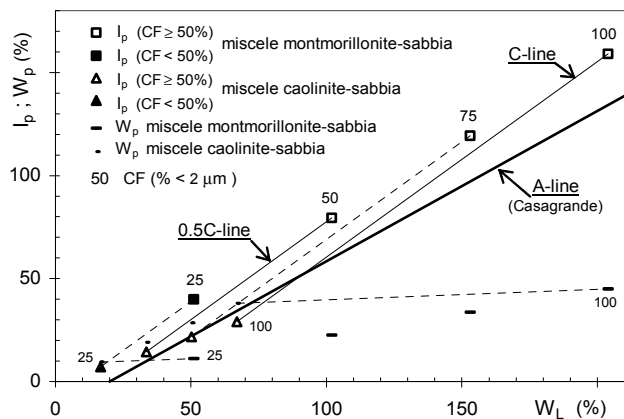


Figura 1. Indice plastico, I_p e limite plastico, W_p in funzione del limite liquido, W_L basati sui dati riportati in Tab.1. E' inoltre riportata la A-line di Casagrande.

Plasticity index, I_p and plastic limit, W_p as function of liquid limit, W_L based on data reported in Tab. 1. Casagrande's A-line is also shown.

Si può osservare che il gruppo del limo (CF < 50%) è ubicato sopra quello dell'argilla (CF ≥ 50%). Infatti, a parità di indice plastico, all'aumentare del limite liquido corrisponde un aumento del contenuto di argilla; di conseguenza, il campo dell'argilla è ubicato sotto quello del limo (ovvero sotto la 0.5C-line).

Sulla carta di plasticità di Casagrande a parità di indice plastico, i terreni ricadenti sopra la A-line nel campo dell'argilla, presentano i valori del limite liquido inferiori a

quelli dei limi sottostanti la A-line. Poichè $I_p = W_L - W_p$, a parità di indice plastico, i valori del limite plastico delle argille (terreni con $CF \geq 50\%$) dovrebbero essere inferiori a quelli dei limi (terreni con particelle $2-425 \mu m > 50\%$) contrariamente a quanto illustrato e conosciuto (Seed *et alii*, 1964b).

Per avere il campo del limo sotto quello dell'argilla (carta di plasticità di Casagrande) è necessario che i valori dell'indice plastico delle miscele (Fig.1) con $CF < 100\%$ cadano sotto la C-line. In questo caso, i valori del limite plastico delle miscele plottate in Fig. 1 dovrebbero aumentare al diminuire del contenuto di argilla, contrariamente a quanto avviene.

Nuova carta di plasticità

Nella Fig. 2 è rappresentata la nuova carta di plasticità (ricavata dalla Fig. 1), per classificare i terreni o la frazione di terreni $< 425 \mu m$, attraverso i limiti di Atterberg. Sono definite nuove linee. La C-line e la 0.5C-line sono linee sulle quali dovrebbero cadere i valori ($W_L - I_p$) dei terreni inorganici (con minerali argillosi "platey shape") che contengono rispettivamente il 100% CF e il 50% CF. La U-line (come nella carta di plasticità di Casagrande) rappresenta il limite superiore di esistenza dei terreni.

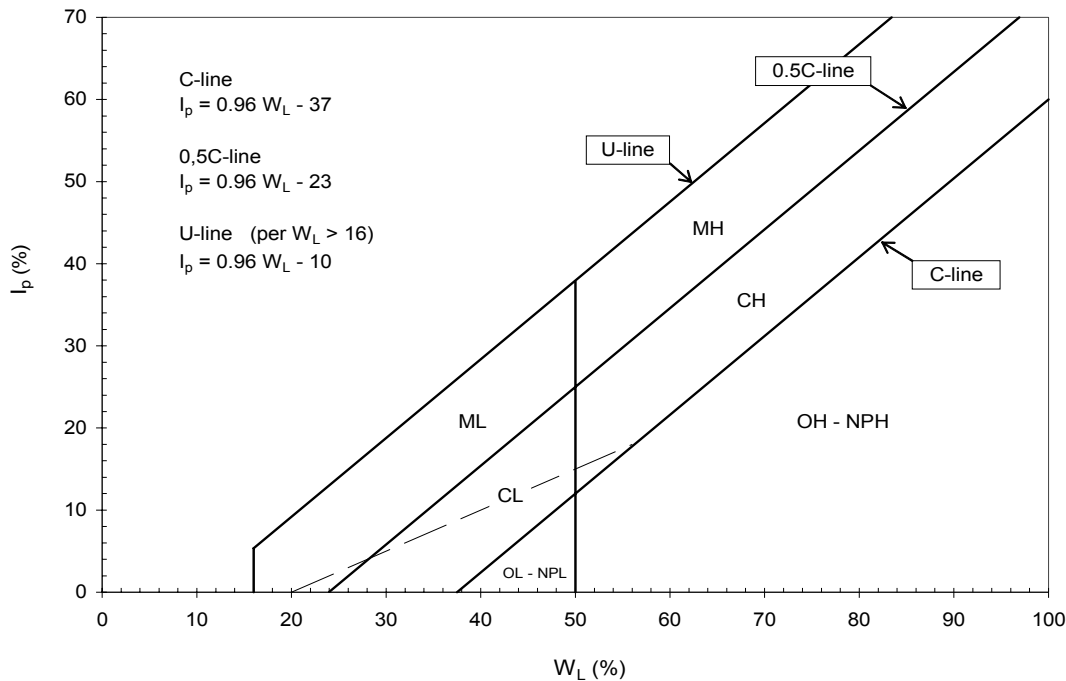


Figura 2. Nuova carta di plasticità. C-line, 0.5C-line: linee sulle quali dovrebbero cadere i valori dell'indice plastico, I_p in funzione del limite liquido, W_L dei terreni inorganici (con minerali argillosi "platey-shape") che contengono rispettivamente 100% CF e 50% CF ($< 2 \mu m$). U-line: limite superiore di esistenza dei terreni. CL, CH = gruppi delle argille ($CF \geq 50\%$) con rispettivamente bassa e alta plasticità. ML, MH = gruppi dei limi ($2 - 425 \mu m > 50\%$) con rispettivamente bassa e alta plasticità. OL, OH = terreni organici con rispettivamente bassa e alta plasticità. NPL, NPH = terreni con minerali argillosi "non-platey-shape" con rispettivamente bassa e alta plasticità. Bassa plasticità (L) e alta plasticità (H) basate su ASTM standard.

New plasticity chart. C-line, 0.5C-line: lines on which plasticity index, I_p values should lie as a function of liquid limit, W_L , of inorganic soils (with platey clay minerals) that contain 100% CF and 50% CF ($< 2 \mu m$) respectively. U-line: upper limit of existence of soils. CL, CH = groups of clays ($CF \geq 50\%$) with low and high plasticity respectively. ML, MH = groups of silts ($2 - 425 \mu m > 50\%$) with low and high plasticity respectively. OL, OH = organic soils with low and high plasticity respectively. NPL, NPH = soils with non-platey clay minerals with low and high plasticity respectively. Low plasticity (L) and high plasticity (H) based on ASTM standard.

Sulla linea tratteggiata (coordinate 20-0 e 56-18) dovrebbero cadere, indicativamente, i valori ($W_L - I_p$) del minerale argilloso meno espandibile (caolinite) miscelato con limo e/o sabbia ($< 425 \mu m$). E' noto che le "round particles" anche con dimensioni uguali a quelle dei minerali argillosi producono con acqua miscele non plastiche (Casagrande, 1932). Di conseguenza, la loro presenza nei terreni fa diminuire il valore della plasticità e la caolinite,

talvolta può cadere sotto la linea tratteggiata. Le linee descritte sono state definite sulla base dei dati disponibili. Le relative equazioni sono riportate in Fig. 2. La 0.5C-line permette di distinguere i punti che cadono sotto di essa, argille (C), dai punti che giacciono al di sopra della retta, nella zona del limo (M).

Nella zona dell'argilla (compresa fra la C-line e la 0.5C-line), dovrebbero cadere i terreni inorganici con $CF \geq 50\%$.

Nella zona del limo (compresa fra la 0.5C-line e la U-line) dovrebbero cadere i terreni inorganici costituiti da limo e/o sabbia ($2-425 \mu\text{m}$) $> 50\%$.

I terreni inorganici residuali (NP) composti da minerali argillosi “non-platey shape” (allophane, halloysite, attapulgite) dovrebbero cadere sotto la C-line perché le loro caratteristiche (alto limite plastico, basso indice plastico; Kenney, 1967; Skempton, 1985; Mitchell, 1993) sono molto diverse da quelle dei minerali argillosi “platey shape” (caolinite, illite, montmorillonite, ecc.) per i quali la carta di plasticità è stata sviluppata. Infine, i terreni che contengono entrambi i minerali argillosi “platey” e “non-platey shape”, come accade per i terreni organici (O) possono cadere sopra o sotto la C-line in funzione delle caratteristiche dei costituenti il terreno.

I campi descritti possono essere suddivisi in gruppi, a bassa (L) o ad alta (H) plasticità, secondo le norme ASTM quando il valore del limite liquido è rispettivamente minore o maggiore del 50%.

Per i comuni terreni inorganici, la distanza di un punto rappresentato sulla nuova carta di plasticità, dalla C-line (v. Fig.1), dovrebbe essere inversamente proporzionale al suo contenuto di argilla. I minerali argillosi puri dovrebbero cadere sulla C-line, i terreni inorganici che cadono sulla 0.5C-line, dovrebbero avere $CF = 50\%$, mentre quelli che cadono alla maggior distanza, vicino alla U-line, dovrebbero avere i più bassi contenuti di argilla. Tale distanza permette di stimare il valore della CF. Inoltre, ad un determinato valore di limite liquido, dovrebbero corrispondere sia il valore del limite plastico (attraverso l'indice plastico) che il valore della percentuale di argilla del terreno $< 425 \mu\text{m}$. La percentuale di argilla ricavata dalla nuova carta di plasticità dovrebbe corrispondere a quella della distribuzione granulometrica riferita alla

frazione del terreno $< 425 \mu\text{m}$ (Polidori, *in prep.*). L'eventuale differenza fra i due valori di CF, potrebbe essere dovuta principalmente alla limitata precisione della metodologia standard per determinare il limite plastico. Talvolta, il valore dell'indice plastico non proporzionale al contenuto di argilla (più basso), potrebbe essere dovuto alla presenza di sostanza organica e/o di minerali argillosi “non-platey shape”. Il valore dell'indice plastico e la percentuale di argilla (ricavata), permettono di calcolare l'attività ($A = I_p/CF$; Skempton, 1953) dei minerali argillosi presenti nel terreno.

Il confine designato 0.5C-line, poiché delimita il campo dell'argilla dal campo del limo, dovrebbe equivalere alla A-line nella carta di plasticità di Casagrande. La differenza fondamentale è che le rispettive posizioni di questi due campi sono invertite.

Per i terreni inorganici la classificazione, limo o argilla ricavata dalla nuova carta di plasticità dovrebbe essere in accordo con la componente principale (limo o argilla) definita dalla nomenclatura, ad esempio BS standard, prevista per la distribuzione granulometrica della frazione di terreno $< 425 \mu\text{m}$. Possono fare eccezione i campioni con CF 34-49%. Infatti, potrebbe accadere che un terreno costituito, ad esempio, da argilla = 34%, limo ($2-60 \mu\text{m}$) = 33% e sabbia ($60-425 \mu\text{m}$) = 33%, quindi definibile per distribuzione granulometrica “argilla con ...” (in base alla relativa nomenclatura), dal punto di vista comportamentale sulla carta di plasticità proposta dovrebbe invece essere classificato limo. Questo perché a differenza di quanto avviene per la distribuzione granulometrica, nella frazione 2-425 μm sono comprese le due componenti, limo e sabbia (simili per comportamento).

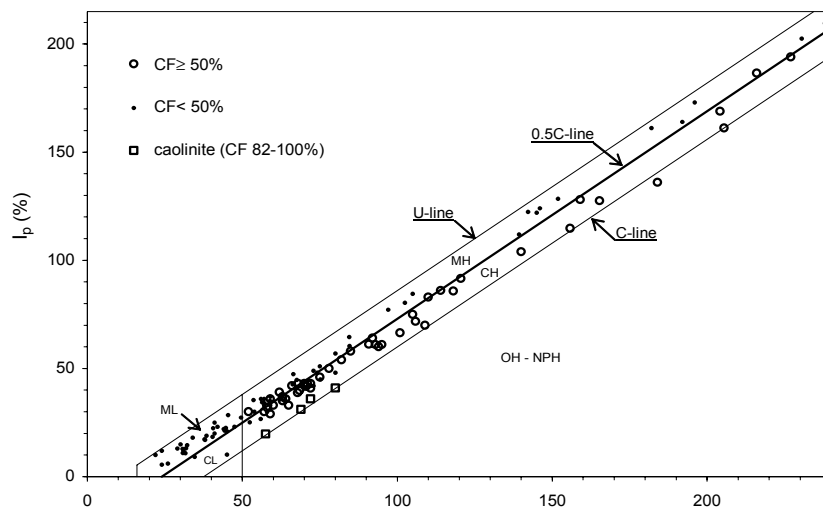


Figura 3. Rappresentazione sulla nuova carta di plasticità di 130 campioni naturali e artificiali, tratti dalla letteratura. Location on new plasticity chart of 130 natural and artificial samples from literature.

Esempio di terreni plottati sulle due carte di plasticità

Sulla nuova carta (Fig. 3) sono rappresentati i dati dell'indice plastico in funzione del limite liquido di 130 campioni inorganici naturali e artificiali tratti dalla letteratura (Seed *et alii*, 1964a; Lupini *et alii*, 1981; Skempton, 1985; Wasti & Bezirci, 1986; Burland, 1990; Di Maio & Fenelli, 1994). Circa l'85% dei campioni rappresentati cadono sopra la 0.5C-line nel campo del limo o sotto nel campo dell'argilla, quando il loro contenuto di argilla è rispettivamente minore o maggiore del 50%. E' possibile osservare che, a parità di valore dell'indice plastico, all'aumentare del limite liquido corrisponde un

aumento del contenuto di argilla e di conseguenza il campo dell'argilla è ubicato sotto quello del limo.

Gli stessi dati sono inoltre rappresentati sulla carta di plasticità di Casagrande (Fig.4). La posizione della A-line è tale per cui i suoli inorganici rappresentati cadano sopra di essa, nel campo dell'argilla, indipendentemente dal loro contenuto di argilla, variabile da circa 10% al 100%. Alcuni dati cadono fuori del campo dell'argilla, sopra la U-line. Sotto la A-line nel campo del limo si osservano solo 6 campioni (su 130 rappresentati) dei quali 4 sono costituiti da caolinite con CF 82-100%. In sostanza, sulla carta di Casagrande le posizioni dei campi dell'argilla e del limo (e della A-line) non corrispondono alla realtà.

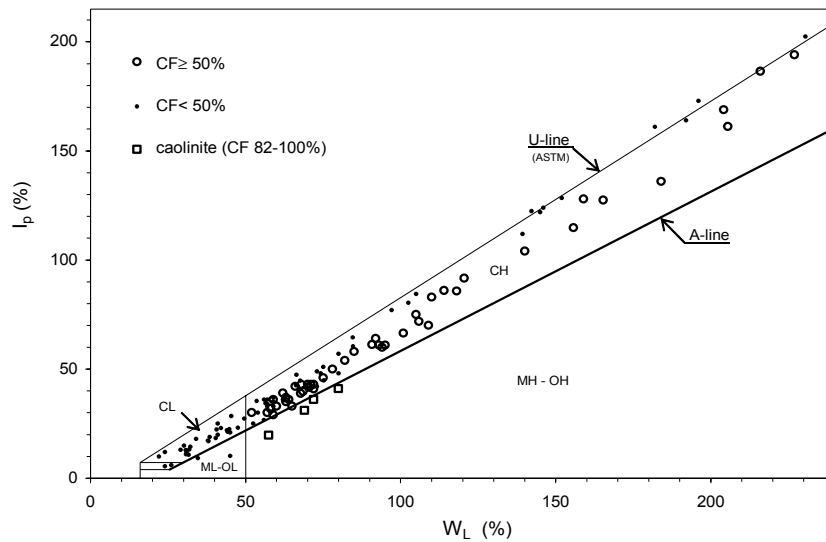


Figura 4. Rappresentazione sulla carta di plasticità di Casagrande (ASTM D 2487) dei 130 campioni riportati in Fig. 3. Location on Casagrande's plasticity chart (ASTM D 2487) of samples reported in Fig. 3.

Se le percentuali di argilla dell'intero campione e della frazione usata per determinare i limiti di Atterberg sono uguali e in assenza di sostanza organica e di minerali argillosi "non-platey shape", le eccezioni (sottostima o sovrastima di I_p , per alcuni campioni) osservabili in Fig.3, potrebbero essere dovute principalmente alla scarsa precisione (valutazione soggettiva) del metodo standard per determinare il limite plastico. Ad esempio, Whyte (1982) riportò che il limite plastico di un campione determinato in diversi laboratori variava dal 19% al 39% con valore medio 23%. Dalla letteratura sono stati appositamente selezionati i valori delle proprietà indice (Tab. 2) di alcuni campioni inorganici (Lupini *et alii*, 1981; Mesri & Cepeda Diaz, 1986; Wasti & Bezirci, 1986; Sridharan *et alii*, 1986; Sridharan *et alii*, 1988; Di Maio & Fenelli, 1994; Sridharan & Nagaraj, 2000) per essere confrontati fra di loro.

I campioni sono ordinati secondo il minerale argilloso che contengono e in ordine decrescente di CF. I valori del limite plastico di questi campioni in relazione ai valori di W_L e CF sono difficili da comprendere (o meglio ancora, incomprensibili) poiché non seguono la stessa regola.

Tab. 2. Proprietà indici di alcuni campioni tratti dalla letteratura. Index properties of some samples taken from literature.

Camp.	CF	W_L	W_p	I_p	
1	88	526	38	488	B
2	88	184	48	136	B
3	51	73,5	35,6	37,9	B
4	50	75	42,5	32,5	B
5	100	57,5	37,8	19,7	C
6	100	45	29	16	C
7	32	55	31,4	23,6	C
8	27	38	15,3	22,7	C
9	11,5	58,7	45,2	13,5	C
10	84	362	29	333	
11	84	184	55	129	

B = bentonite; C = caolinite; CF, W_L , W_p e I_p sono in %.

Chiaramente, non tutti questi campioni trovano la giusta collocazione (in accordo con i loro CF) se vengono rappresentati sulla carta proposta ed ancor meno sulla carta di Casagrande (per esempio, i campioni n. 3, 4 e n. 5, 6 che contengono rispettivamente il 50% di bentonite e il 100% di caolinite cadrebbero sotto la A-line nel campo classificativo

del limo, secondo Casagrande).

Conclusioni

La nuova carta di plasticità (W_L , I_p) permette di classificare i terreni (o frazione dei terreni) $< 425 \mu\text{m}$ attraverso i limiti di Atterberg. Nei campi del limo e dell'argilla (definiti da tre linee) dovrebbero cadere i dati dei terreni inorganici che contengono minerali argillosi "platey shape". Sotto questi campi, dovrebbero cadere i dati dei terreni che hanno particolari caratteristiche (bassa plasticità) come i terreni organici e i terreni inorganici residuali con minerali argillosi "non-platey shape".

Per i comuni terreni inorganici, la carta proposta, oltre alla classificazione, permette di ricavare informazioni sia sulla quantità, sia sul tipo (attività) dei minerali argillosi presenti.

Questa carta di plasticità si differenzia da quella proposta da Casagrande (W_L , I_p) soprattutto per avere i rispettivi campi del limo e dell'argilla invertiti. Infatti, nella nuova carta, il campo del limo è ubicato sopra il campo dell'argilla. Sulla base di quanto esposto, è possibile affermare che nella carta proposta da Casagrande le posizioni dei campi dell'argilla e del limo (ricavate empiricamente senza considerare i contenuti di argilla presenti nei campioni) non corrispondono alla realtà.

Bibliografia

- ASTM, 1993. Standard classification of soils for engineering purposes, Test Designation D 2487, v. 04.08.
- Philadelphia: American Society for Testing and Materials.
- BSI, 1990. British standard methods of test for soils for engineering purposes, BS 1377. Milton Keynes: British Standards Institution.
- Burland J.B., 1990. On the compressibility and shear strength of natural clays. *Géotechnique* 40 (3), 329-378.
- Casagrande A., 1932. Research on the Atterberg limits of soils. *Public Roads* 13, 121-136.
- Casagrande A., 1948. Classification and identification of soils. *Trans. ASCE* 113, 901-991.
- Casagrande A., 1958. Notes on the design of the liquid limit device. *Géotechnique* 8, 84-91.
- Di Maio C. & Fenelli G.B., 1994. Residual strength of kaolin and bentonite: the influence of their constituent pore fluid. *Géotechnique* 44 (4), 217-226.
- Kenney T.C., 1967. The influence of mineral composition on the residual strength of natural soils. *Proc. Geotech. Conf. Oslo*, 1, 123-129.
- Lupini J.F., Skinner A.E. & Vaughan P.R., 1981. The drained residual strength of cohesive soils. *Géotechnique* 31 (2), 181-213.
- Mesri G. & Cepeda-Diaz A.F., 1986. Residual shear strength of clays and shales. *Géotechnique* 36 (2), 269-274.
- Mitchell J.K., 1993. *Fundamentals of soil behaviour*. II ed. John Wiley, New York, p.437.
- Polidori E., 2003. Proposal for a new plasticity chart. *Géotechnique* 53 (4), 397-406.
- Seed H.B., Woodward R.J. & Lundgren R., 1964a. Clay mineralogical aspects of the Atterberg limits. *J. Soil Mech. Found. Div., ASCE* 90 (SM4), 107-131.
- Seed H.B., Woodward R.J. & Lundgren R., 1964b. Fundamental aspects of the Atterberg limits. *J. Soil Mech. Found. Div., ASCE* 90 (SM6), 75-105.
- Skempton A.W., 1953. The colloidal activity of clays. *Proc. 3rd Int. Conf. Soil Mech. Found. Engng*, 1, 57-61, Zurich.
- Skempton A.W., 1985. Residual strength of clays in landslides, folded strata and the laboratory. *Géotechnique* 35 (1), 3-18.
- Sridharan A., Rao S.M. & Murthy N.S., 1986. Liquid limit of montmorillonite soils. *ASTM Geotech. Test. J.* 9, 156-159.
- Sridharan A., Rao S.M. & Murthy N.S., 1988. Liquid limit of kaolinitic soils. *Géotechnique* 38 (2), 191-198.
- Sridharan A. & Nagaraj H.B., 2000. Compressibility behaviour of remoulded, fine-grained soils and correlation with index properties. *Can. Geotech. J.* 37 (3), 712-722.
- Wasti Y. & Bezirci M.H., 1986. Determination of consistency limits of soils by the fall cone test. *Can. Geotech. J.* 23 (2), 241-246.
- Whyte I.L., 1982. Soil plasticity and strength - a new approach using extrusion. *Ground Engng* 15 (1), 16-24.