

3. Descrizione dei materiali

L'individuazione della tipologia di argilla che rispondesse meglio ai criteri di indagine è stato il primo passo nello svolgimento della ricerca. Per tale ragione si sono svolti degli esami preliminari su bentonite, caolinite, argille di Montemesola, Vasto e Londra.

Sono state così condotte prove preliminari di caratterizzazione del materiale, quali quelle per la determinazione delle dimensioni delle particelle, dei limiti di Atterberg, del peso specifico dei solidi e della composizione mineralogica, in soluzioni saline a diverse molarità. Inoltre, considerando l'effetto della modalità di preparazione del campione, così come l'ambiente di deposizione, sulla fabric del materiale, sono state realizzate prove di sedimentazione in differenti soluzioni saline.

Sono stati quindi privilegiati i materiali per cui l'effetto della composizione chimica del fluido interstiziale fosse apprezzabile, ma che al contempo richiedessero una discreta "lavorabilità" e tempi di consolidazione non eccessivamente lunghi.

Al fine di rimuovere ogni incertezza riguardo all'effettivo contenuto di sale nel materiale in situ, questo è stato lavato ripetutamente, prima di procedere con le prove.

A seguito di queste prove, l'argilla di Vasto e di Londra sono state identificate come il materiale più adatto, tra quelli analizzati, alla ricerca. Essi presentano una buona dipendenza dalla concentrazione salina del fluido interstiziale, la preparazione dei provini risulta sufficientemente facile e dimostrano tempi di consolidazione accettabili.

Gli altri materiali hanno dato esiti negativi, in particolare la caolinite, il cui comportamento non è risultato sensibilmente dipendente dalla composizione chimica del fluido interstiziale, come dimostrato dai test di sedimentazione e dalle prove edometriche condotte con soluzioni a diversa molarità. La bentonite, per cui questo aspetto è invece ben messo in evidenza, ha mostrato una certa difficoltà d'uso per la realizzazione di provini, a causa delle sue proprietà flocculanti. L'argilla di Montemesola ha presentato un comportamento analogo a quello dell'argilla di Vasto, ma la dipendenza dalle concentrazioni saline è apparsa meno pronunciata. Considerando inoltre la scarsa disponibilità di questo materiale, si è preferito scegliere l'argilla di Vasto. Infine, la London clay ha manifestato una relazione soddisfacente con il NaCl, e ha l'indubbio vantaggio di essere stata ampiamente studiata in passato.

Sia la bentonite che la caolinite sono state acquisite presso la Laviosa Chimica Mineraria S.p.A. di Livorno (Italy). Le argille di Vasto e Montemesola sono state gentilmente procurate rispettivamente dal Prof. G. Melidoro e dalla Prof.ssa F. Cotecchia dell'Università degli Studi di Bari. Il Prof. M. R. Coop e PhD S. Nishimura dell'Imperial College of London hanno cortesemente fornito l'argilla di Londra, oggetto di alcune ricerche interne al gruppo di studio.

3.1. Classificazione geologica e mineralogica

I minerali costituenti delle argille sono fillosilicati e vengono classificati in quattro gruppi principali, in base alla struttura cristallografica:

a due strati T-O (tetraedrico-diottaedrico) es. Caolinite

a tre strati T-O-T (tetraedrico-diottaedrico-tetraedrico) es. Montmorillonite, illite

a quattro strati T-O-T-O (tetraedrico-diottaedrico-tetraedrico-triottaedrico) es. Cloriti

a strati misti (dati da combinazioni degli strati dei gruppi precedenti) es. illiti-montmorilloniti, caoliniti-montmorilloniti, illiti-cloriti-montmorilloniti, cloriti-vermiculiti

Le differenti conformazioni cristallografiche sono dettate da ragioni di tipo legame. I silicati hanno come elemento costituente un catione di Si (e Al che per le dimensioni ioniche può svolgere il ruolo di sostituto del Si, da cui il termine di allumino-silicati) in coordinazione tetraedrica con quattro atomi di O. Questi gruppi anionici, tetraedrici, possono essere isolati oppure collegati fra loro a formare coppie, anelli, nastri, sviluppi bidimensionali (planari) di tetraedri, sviluppi tridimensionali.

I fillosilicati raggruppano i minerali che presentano uno sviluppo bidimensionale dei tetraedri Si-O. Si tratta di catene di tetraedri disposte sullo stesso piano, a formare una maglia ad anelli, generalmente di simmetria pseudoesagonale. In tre dimensioni, la struttura cristallografica di un fillosilicato è costituita da piani bidimensionali di tetraedri a maglia ciclica (strati T) sovrapposti a strati ottaedrici (strati O) costituiti da cationi bivalenti e trivalenti, (prevalentemente Mg, Ca, Na, K, Fe e Al). Gli atomi di O sono comuni fra i due strati. Questa classe di silicati è generalmente idrata, con la presenza di ossidrili (OH) che si dispongono al centro degli anelli tetraedrici.

La superficie specifica, ossia l'area della superficie delle particelle argillose per unità di massa, dipende dalla tipologia di minerale. Valori tipici per la montmorillonite, per esempio, sono dell'ordine dei $1000\text{m}^2/\text{g}$, mentre per la caolinite dei $10\text{m}^2/\text{g}$.

3.1.1. Bentonite

La bentonite è un fillosilicato ($\text{Al}_2\text{O}_3 - 4\text{SiO}_2 - 4\text{H}_2\text{O}$), un minerale argilloso della famiglia delle smectiti, prevalentemente costituito da montmorilloniti (Fig. 3.1).

Le smectiti sono un gruppo di minerali altamente rigonfianti, per assorbimento sia di acqua, sia di molecole organiche entro gli strati strutturali, e mostrano notevoli proprietà di scambio cationico. Il minerale argilloso che le compone allo stato cristallino deriva dalla devetrificazione e conseguente alterazione chimica di vetri di origine magmatica, generalmente tufi o ceneri vulcaniche (definizione Ross e Shannon, 1926). La natura e le origini vulcaniche dei giacimenti bentonitici danno luogo a varietà spesso fortemente eterogenee del minerale. Vengono così a formarsi bentoniti che possono essere descritte in associazione con gli ioni dominanti, quali K, Na, Ca e Al.

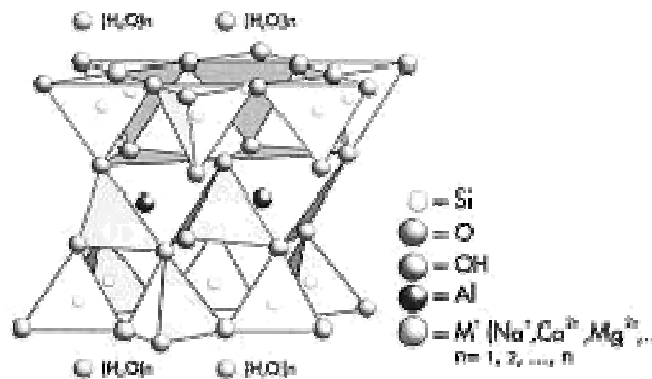


Fig. 3.1 Bentonite, struttura del reticolo cristallino (dal sito web di Laviosa Chimica Mineraria)

La montmorillonite ha formula chimica $(\text{Na},\text{Ca})_{0,33}(\text{Al},\text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, ha colore bianco e grigio-bianco e si forma per alterazione di feldspati in rocce a basso contenuto di Si. La montmorillonite ha un'elevata predisposizione a rigonfiare, espandendo il periodo basale (ovvero la distanza fra gli strati) per adsorbimento del fluido interstiziale. A tale gruppo appartiene anche l'Illite, un minerale argilloso potassico chimicamente simile alla mica muscovite.

La bentonite è spesso utilizzata nell'ambito dell'ingegneria geotecnica e soprattutto nelle perforazioni, a causa delle sue proprietà reologiche: è altamente rigonfiante, con caratteristiche tixotropiche. Anche le soluzioni con bassa concentrazione di bentonite assumono la consistenza di un gel.

3.1.2. Caolinite

La caolinite è un idrosilicato di alluminio, un minerale argilloso prodotto da un'alterazione idrotermale (caolinizzazione), o in ambiente acido, di feldspati, di feldspatoidi e di altri silicati alluminiferi, presenti principalmente in rocce di tipo granitico e gneissico. In un ambiente acido, con acqua e CO₂, nonché in condizioni di basse temperatura e bassa pressione, questi minerali rilasciano in soluzione gli ioni alcalini e alcalino-terrosi e si trasformano in silicati idrati di alluminio. La caolinite è anche presente in depositi sedimentari secondari, a seguito di un trasporto per mezzo di soluzioni non alcaline e di un successivo deposito in ambiente non marino, quale i delta dei fiumi o i laghi.

La caolinite si presenta sotto forma di minutissime lamelle pseudoesagonali, spesso riunite in ammassi untuosi al tatto, plastici, opachi, terrosi e in aggregati vermiformi o granulari. È di colore variabile fra il grigio-giallastro e il grigio-bruno.

La formula chimica della caolinite è Al₂ Si₂ O₅ (OH)₄.

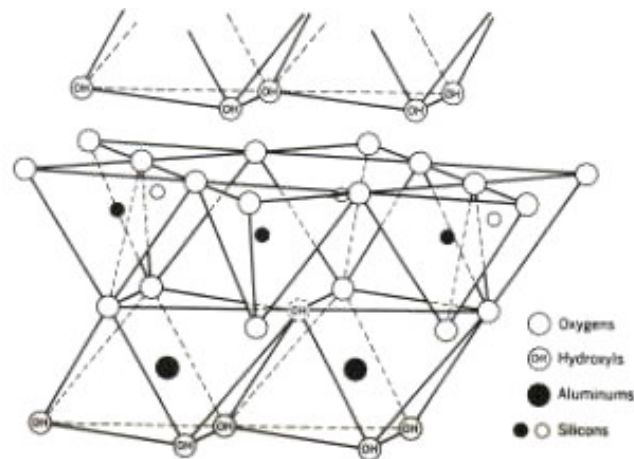


Fig. 3.2 Caolinite, struttura del reticolo cristallino (Grim, 1968)

Nella struttura del reticolo cristallino (Fig. 3.2) si distinguono due strati, uno costituito da tetraedri ai cui vertici sono situati atomi di ossigeno e il cui centro è occupato da atomi di silicio (Si₂O₅), l'altro formato da ottaedri con ossigeno o ossidrilici ai vertici e alluminio al centro (Al₂(OH)₄). Il reticolo quindi non contiene cationi metallici scambiabili né acqua, e i fogli elementari sono fortemente legati fra loro con legame d'idrogeno; ne consegue una bassa capacità di disgregazione della caolinite in confronto agli altri minerali delle argille.

La caolinite è impiegata come materia prima nella fabbricazione delle porcellane, delle terraglie e delle maioliche; finemente polverizzata ed impastata con acqua, dà una massa molto plastica

facilmente modellabile che, per cottura, indurisce subendo una notevole contrazione. È utilizzata anche nell'industria della gomma e in quella della carta.

Le differenze tra le strutture di caolinite e smectite sono notevoli, in primo luogo come risultato del loro grado di degradazione. D'altra parte, la caolinite presenta un'alta stabilità chimica e una bassa capacità di rigonfiamento.

3.1.3. Argilla di Montemesola

Montemesola è una località situata in Puglia, nel sud Italia. L'argilla di Montemesola è un'argilla sovraconsolidata (argille bluastre subappenniniche) di colore grigio composta principalmente da ilite, depositatasi durante il Pleistocene inferiore (Cotecchia & Chandler, 1995). L'ambiente di deposizione d'origine era un'unità di calcarenite sommersa dal mare (Ciaran et al., 1971), dal quale si è sviluppato un deposito argilloso litologicamente uniforme. Un mappa geologica dell'area è illustrata in Fig. 3.3.

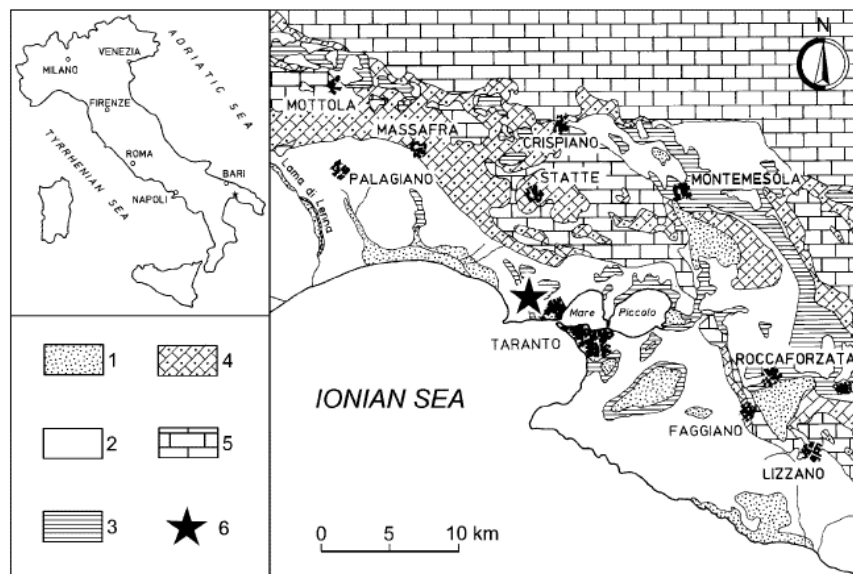


Fig. 3.3 Mappa geologica: (1) depositi alluvionali; (2) depositi marini terrazzati; (3) Argille Subappennine; (4) Calcarenite di Gravina; (5) Calcere di Altamura; (6) discarica (Polemio, Romanizzi, 1999)

Dopo una normalconsolidazione le argille furono soggette a diagenesi, con lo sviluppo di legami carbonatici e il conseguente aumento della resistenza dell'argilla (Cotecchia & Chandler, 1997). Di seguito, nell'Olocene inferiore, a seguito di un'erosione l'argilla ha subito uno scarico tensionale. Dopo l'emersione, è verosimile che si sia sviluppata un'ossidazione dei minerali ferrosi degli strati superficiali della formazione, a seguito di cambiamenti fisico-chimici ambientali, causati dal passaggio da una deposizione in ambiente marino all'ossidazione in un clima semiarido. Tale

ossidazione è accompagnata da una variazione del colore delle argille, da grigio in profondità a giallo-bruno negli strati superiori ossidati.

Cafaro & Cotecchia (2001) hanno analizzato la struttura dell'argilla di Montemesola allo scopo di determinare l'influenza della degradazione dell'argilla sulla struttura e sul comportamento meccanico della stessa. L'argilla grigia ha una fabric 'compacted bookhouse' con un grado di orientamento dei domini medio, mentre quella giallo-bruna appare meno densa della grigia con una fabric formata da flocculi orientati casualmente ed evidenti spazi interparticellari. Dalle indagini, il fenomeno di essiccamento è risultato essere la principale causa del processo di degradazione dell'argilla gialla, ancor di più rispetto alla storia tensionale.

In questa sede le indagini sono state compiute su argilla grigia non degradata.

3.1.4. Argilla di Vasto

L'argilla di Vasto utilizzata è stata ricavata da alcuni blocchi estratti durante gli scavi della galleria ferroviaria congiungente Vasto San Salvo e Porto di Vasto, in Abruzzo. La realizzazione di questa galleria rientra nell'ambito di sviluppo della rete ferroviaria Bari-Pescara per conto della RFI, Rete Ferroviaria Italiana. Il tracciato del nuovo segmento di raddoppio attivato nel luglio 2005 misura 12,6 chilometri ed è stato realizzato parte in variante (circa 10 chilometri) e parte (circa 2 chilometri) in affiancamento alla linea esistente. Principali opere del nuovo tratto sono appunto la galleria di Vasto, lunga 6.833 metri (Fig. 3.4) e il viadotto sul torrente Lebba.

I costituenti principali il terreno sono argilla e limo argilloso.



Fig. 3.4 Tracciato della galleria di Vasto (Rapporto RFI, 2005)

3.1.5. London clay

La Formazione London clay, appartenente al Thames Group, è un deposito di origine marina, accumulatosi circa 50 milioni di anni fa, durante l'Eocene inferiore (piano Ypresiano) nell'Inghilterra meridionale. La sua storia geologica può essere sintetizzata in cicli di deposizione,

erosione degli starti superficiali, sedimentazione e nuova deposizione dei sedimenti appartenenti al Quaternario. Nel bacino orientale di Londra l'argilla è coperta da ghiaia grossolana del Quaternario, depositatasi dopo l'erosione (Fig. 3.5).

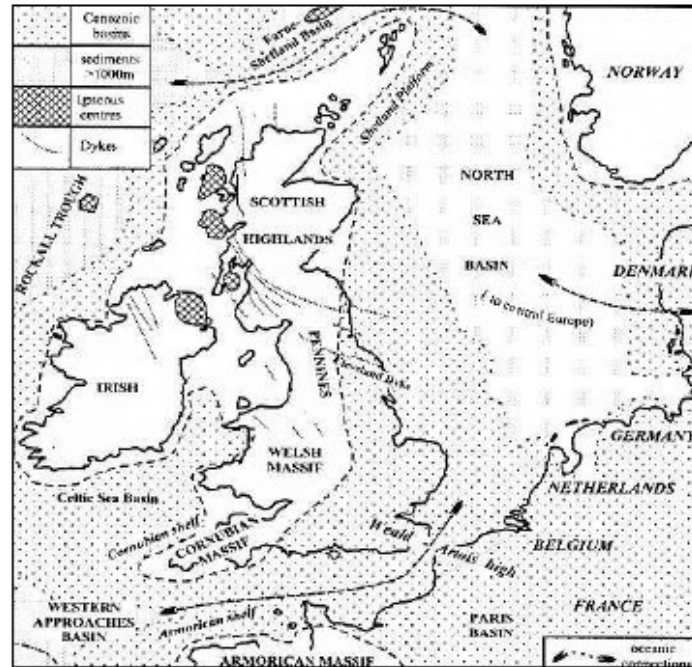


Fig. 3.5 Il bacino del Mare del Nord e la Formazione London clay (King, 1981)

La London clay è catalogata come un'argilla sovraconsolidata, fessurata e rigida, ad alta plasticità. È di colore bluastro e diventa bruna a seguito di degradazione. I minerali argillosi predominanti sono l'illite e la montmorillonite, con tracce di caolinite.

Hight et al. (2003) hanno mostrato che la London clay al T5 era ricoperta da circa 6 metri di ghiaia grossolana e che il livello della falda si trovava a 1.5 m sopra al livello superiore dell'argilla. Dai sondaggi è stato possibile ricavare che lo spessore degli starti di argilla è di circa 52 m, e che la pressione dell'acqua può essere considerata idrostatica. Nella Fig. 3.6 è rappresentata la stratigrafia della London clay al T5 e descrive le caratteristiche litologiche di ciascuna divisione. Quest'ultime sono a loro volta suddivise in unità, alcune delle quali facenti parte della Formazione London Clay. Ogni divisione è caratterizzata da un'unità basale sottile di sabbia e ciottoli sovrastati da ghiaia (p.es. King, 1981 and 1991).

L'argilla utilizzata nella presente ricerca è stata prelevata da sondaggi realizzati presso il cantiere per il nuovo Terminal 5 (T5) dell'aeroporto di Heathrow, ad ovest di Londra.

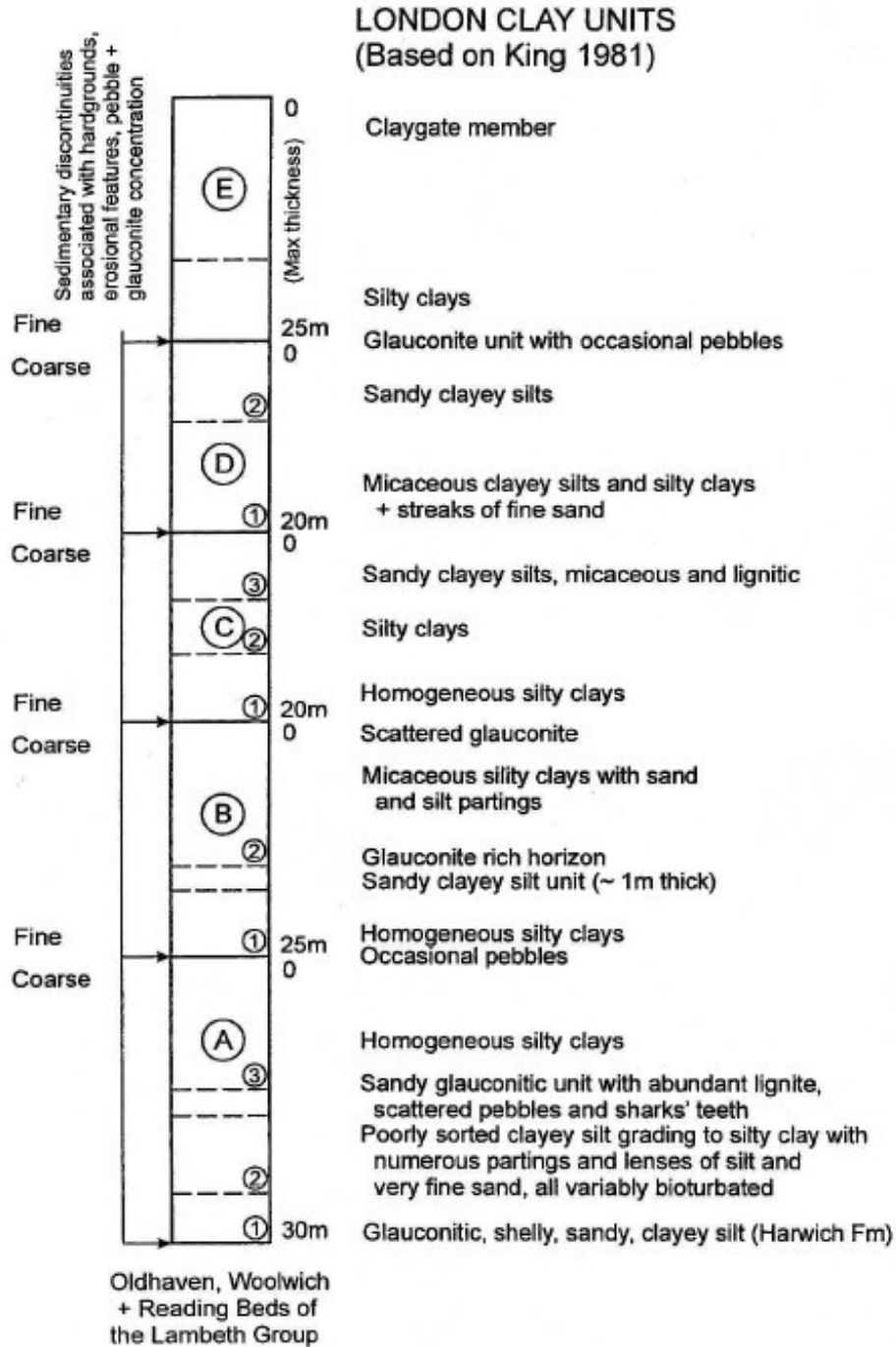


Fig. 3.6 Suddivisione litologica della Formazione London clay (proposta da King ,1981 e riprodotta da Hight et al., 2003)

I campioni utilizzati per le indagini sono stati ricavati da blocchi e rotary cores. I blocchi sono stati prelevati vicino alla superficie e alle basi di due gradini creatisi durante gli scavi, come si può vedere nella Fig. 3.7.

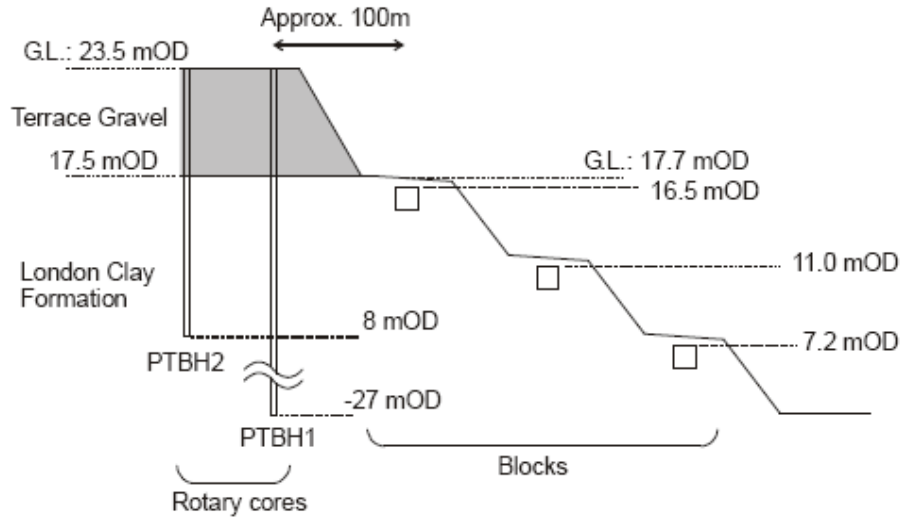


Fig. 3.7 Schematic cross-section of rotary core boreholes and excavation from which block samples were retrieved (Nishimura , 2005)

Test	Block No.	Initial p' [kPa]	G_{20} [MPa]	WC [%]	PL [%]	LL [%]	CF [%]	PI	Activity	SC [%]	Unit weight [kN/m ³]
AC0000	Block4	308	92.7	25.2	26	69	56	43	0.77	1.2	20.4
AC0005	Block1	280	82.9	24.0	27	69	54	42	0.78	2.2	19.6
AC2305	Block3	408	85.6	25.0	26	70	57	44	0.77	1.7	19.7
AC4505	Block1	285	83.5	25.0	27	68	54	41	0.76	1.8	19.3
AC6705	Block3	382	89.6	24.9	27	70	55	43	0.78	2.1	19.9
AC9005	Block1	340	90.3	23.4	26	70	54	44	0.81	1.7	19.8
AC4507	Block4	350	87.5	25.1	25	70	56	45	0.80	1.6	20.1
AC4510	Block4	295	84.9	25.2	26	69	56	43	0.77	1.4	19.8
AC6710	Block4	356	89.5	25.2	25	68	55	43	0.78	1.9	20.1
AC9010	Block3	380	90.1	24.3	26	70	56	44	0.79	1.8	19.6
IC0000	Block2	373	95.9	24.9	-	-	54	-	-	1.5	20.1
IC2300	Block3	380	92.7	24.4	26	68	56	42	0.75	2.1	19.8
IC4500	Block4	327	89.2	25.2	26	71	57	45	0.79	2.2	20.1
IC0005	Block2	295	88.9	24.8	25	70	54	45	0.83	1.9	20.0
IC2305	Block2	335	89.1	25.4	27	70	55	43	0.78	1.8	20.3
IC4505	Block2	329	94.3	25.5	25	70	56	45	0.80	1.4	19.7
IC6705	Block3	395	97.2	25.3	26	69	54	43	0.80	1.8	19.7
IC9005	Block2	343	88.2	25.7	28	70	56	42	0.75	1.7	19.9
IC9010	Block3	373	97.0	24.7	26	71	55	45	0.82	1.4	20.2
SS16	Block1	370	86.4	24.6	27	69	56	42	0.75	2.1	20.1
Average		344	87.6 for AC+SS 92.5 for IC	24.9	26	70	55	43	0.79	1.7	19.9
Std. Dev.		37	3.1 for AC+SS 3.7 for IC	0.5	0.8	0.9	1.0	1.2	0.02	0.3	0.3

Tab. 3.1 Proprietà indice, tensione efficace iniziale e modulo di taglio alla tensione stimata in sito per I blocchi campionati 7.2m-OD (10.5 m BGL) (G_{20} : modulo di taglio misurato da RC tests prima di un taglio non drenato, SC: contenuto di sabbia) (Nishimura, 2005)

Le facce superiori dei blocchi risultano essere alle profondità 7.2 mOD, 11.0 mOD e 16.5 mOD, mentre il livello originale del piano campagna era a 17.7 mOD.

Il materiale utilizzato in questa ricerca è stato estratto dai blocchi alla profondità 7.02mOD e in particolare i blocchi 1-5, 3-A, 3-D, 3-E e 4.

Nishimura (2005) ha definito, per caratterizzare e dimostrare l'uniformità dei blocchi campionati, i contenuti d'acqua, i limiti di Atterberg, la granulometria, le tensioni efficaci iniziali e il modulo di taglio del materiale costituente i blocchi a 7.2-m OD. Questi risultati sono indicati nella

Tab. 3.1. Per poter fare un confronto con i valori ricavati in questo studio, va considerato che sono state seguite, anche in questo caso, le indicazioni della normativa BS-1377 e che i limiti liquidi sono stati determinati con il metodo del penetrometro a cono. La granulometria, per contro, è stata misurata con il metodo dell'idrometro, ma sul passante a 63 μm .

3.2. Caratterizzazione dei materiali

Al fine di ottenere una caratterizzazione completa dei materiali investigati, si è proceduto con lo studio delle loro caratteristiche fisico-chimiche.

La distribuzione granulometrica delle particelle di diametro superiore a 75 μm (trattenuto al setaccio No. 200) è stata ricavata tramite setacciatura (come indicato dalla normativa BS 1377:1975, Test 7 (A)) mentre per le particelle di diametro inferiore a 75 μm è stata determinata con un processo di sedimentazione, servendosi di un idrometro 151H (BS 1377:1975, Test 7 (D)).

I limiti di Atterberg sono stati determinati utilizzando come fluido nei pori acqua distillata e soluzione satura di NaCl. La procedura roll thread (BS 1377:1975, Test 3) è stata adottata per la determinazione del limite plastico PL, e il metodo del penetrometro a cono (BS 1377:1975, Test 2 (A)) per il limite liquido LL.

Infine, il peso specifico dei grani G_s è stato dedotto dal metodo dei picnometri (BS 1377:1975, Test 6 (B)).

Indice di plasticità

$$I_p = LL - PL \quad (3.1)$$

e attività

$$A = \frac{I_p}{\text{clay fraction}} \quad (3.2)$$

Sono state ricavate dai precedenti risultati.

Di seguito vengono esposti i risultati delle analisi condotte sui materiali presi in considerazione nello studio. Parte dei dati riguardante l'argilla di Vasto e la London clay è presentata come confronto tra le caratteristiche dei due materiali, per meglio comprendere più avanti gli esiti delle prove sperimentali.

3.2.1. Granulometria

In questo paragrafo vengono illustrati gli esiti della determinazione della granulometria dei materiali testati. Non viene indicata la curva granulometrica della bentonite, la quale è quasi interamente costituita da particelle colloidali (montmorillonite); si rivela anche molto problematica l'analisi con l'idrometro, a causa della consistenza della soluzione anche in presenza di piccolissime quantità di argilla.

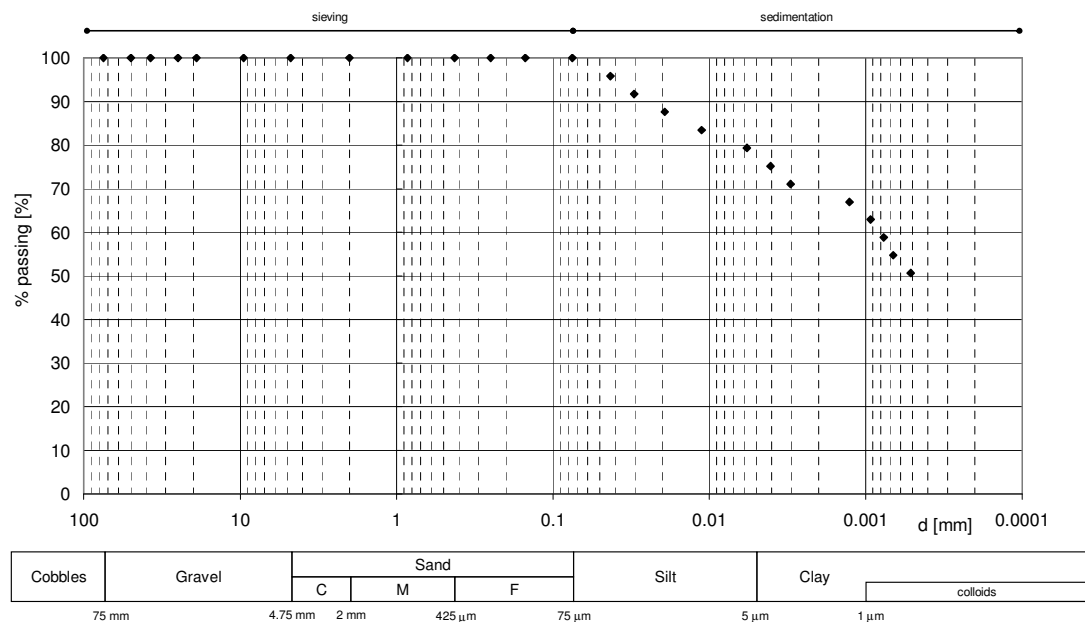


Fig. 3.8 Curva granulometrica della caolinite

Nelle figure dalla Fig. 3.8 alla Fig. 3.10 sono quindi rappresentate le distribuzioni granulometriche secondo gli standard ASTM del caolino e delle argille di Montemesola, Vasto e Londra.

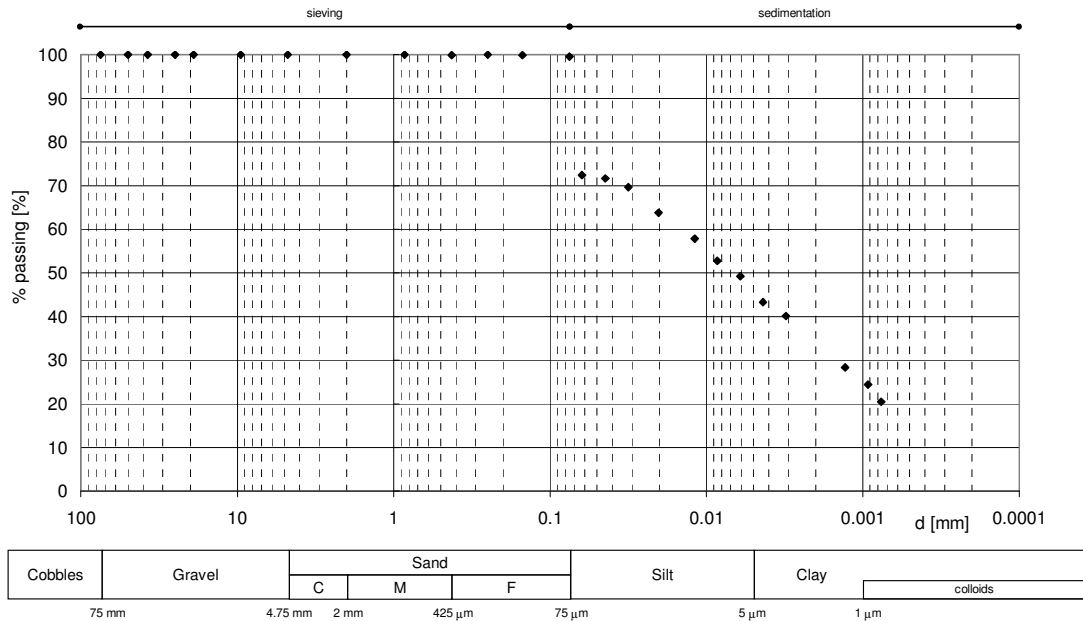


Fig. 3.9 Curva granulometrica dell'argilla di Montemesola

Dalla Fig. 3.10 è possibile operare un confronto tra le dimensioni delle particelle delle argille di Vasto e Londra: l'argilla di Vasto è caratterizzata da una percentuale di passante inferiore rispetto alla London clay, soprattutto per le particelle di diametro inferiore.

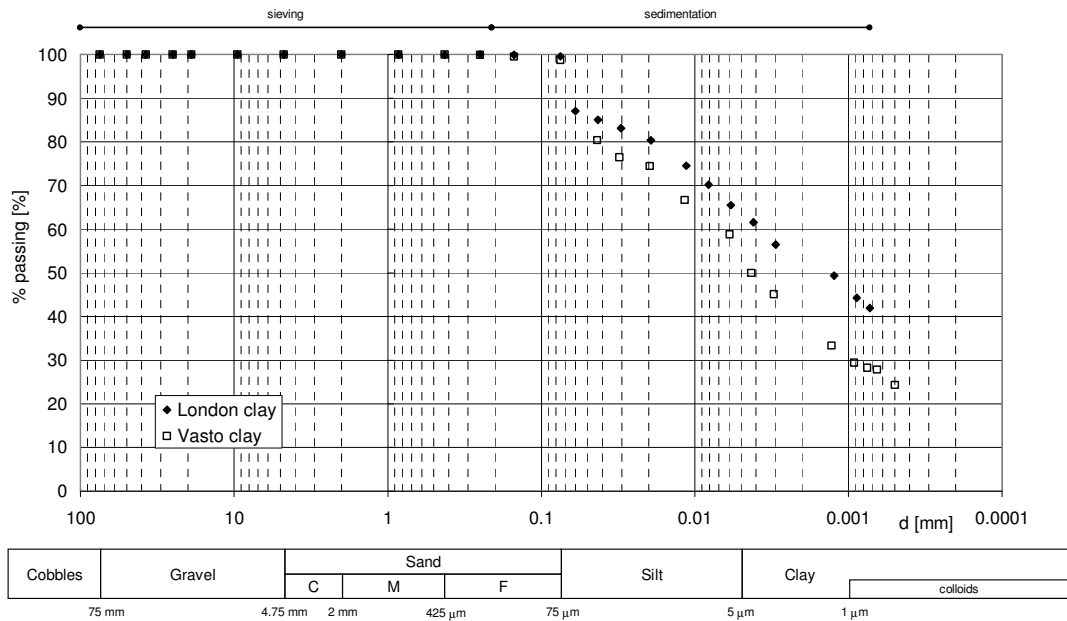


Fig. 3.10 Curva granulometrica dell'argilla di Vasto e della London clay

3.2.2. Proprietà indice e caratterizzazione

Schmitz&van Paassen (2003) hanno studiato la correlazione tra limite liquido e molarità della soluzione di NaCl nel caso della bentonite. Come si può vedere dalla Fig. 3.11, ad un incremento di molarità corrisponde una diminuzione del limite liquido, secondo la legge esponenziale

$$LL = 57.5 + 241 \cdot e^{\left(\frac{-C}{0.148}\right)} + 69.3 \cdot e^{\left(\frac{-C}{2.85}\right)} \quad (3.3)$$

dove C è la concentrazione dei cationi monovalenti e R^2 è pari a 0.937.

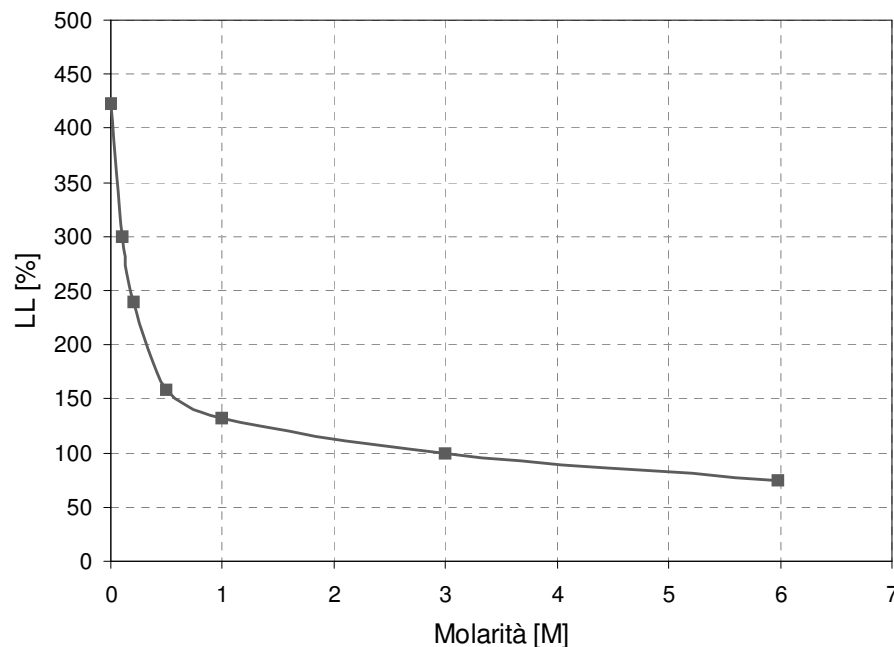


Fig. 3.11 Limite liquido di bentonite in funzione della molarità della soluzione di NaCl (da Schmitz&van Paassen, 2003)

In questa sede vengono presentate le proprietà indice delle argille di Vasto, Londra e Montemesola, la quale si avvicina maggiormente alle due precedenti, scelte poi come materiali da testare.

Con le modalità espone in precedenza sono stati determinati i limiti di Atterberg, l'indice di plasticità I_p , la frazione di argilla (sulla base delle curve granulometriche), il peso specifico del solido G_s e l'attività. Questi parametri sono riassunti nelle tabelle dalla Tab. 3.4 alla Tab. 3.3.

Particolare attenzione viene posta alle differenze tra argilla di Vasto e Londra, ma soprattutto tra le proprietà ricavate con acqua distillata e soluzione saturata di NaCl.

Il valore di G_s è identico per le due argille.

In entrambi i casi, come si è potuto vedere per la bentonite all'aumentare della salinità diminuisce il limite liquido. Passando dall'acqua distillata alla soluzione saturata di NaCl l'entità di questa diminuzione interessa diversi punti percentuali. Il limite plastico, invece, pare non subire cambiamenti significativi, anche se il procedimento per la determinazione di del PL non è perfettamente idoneo nel caso di fluidi dei pori diversi dall'acqua, infatti all'evaporare dell'acqua rimangono dei cristalli di sale prima disciolti in soluzione che interferiscono sulla struttura e consistenza.

Pore fluid	Liquid limit	Plastic limit	Plasticity Index	%d<0.002mm	Activity	Specific gravity
	LL [%]	PL [%]	I _p [%]	CF [%]	A	G _s
distilled water	49.15	21.31	27.84	39	0.71	2.76
NaCl saturated solution	42.05	22.53	19.52	39	0.50	2.76

Tab. 3.2 Proprietà indice dell'argilla di Vasto

Pore fluid	Liquid limit	Plastic limit	Plasticity Index	%d<0.002mm	Activity	Specific gravity
	LL [%]	PL [%]	I _p [%]	CF [%]	A	G _s
distilled water	66.94	29.12	37.83	54	0.70	2.76
NaCl saturated solution	57.21	27.03	30.18	54	0.56	2.76

Tab. 3.3 Proprietà indice della London clay

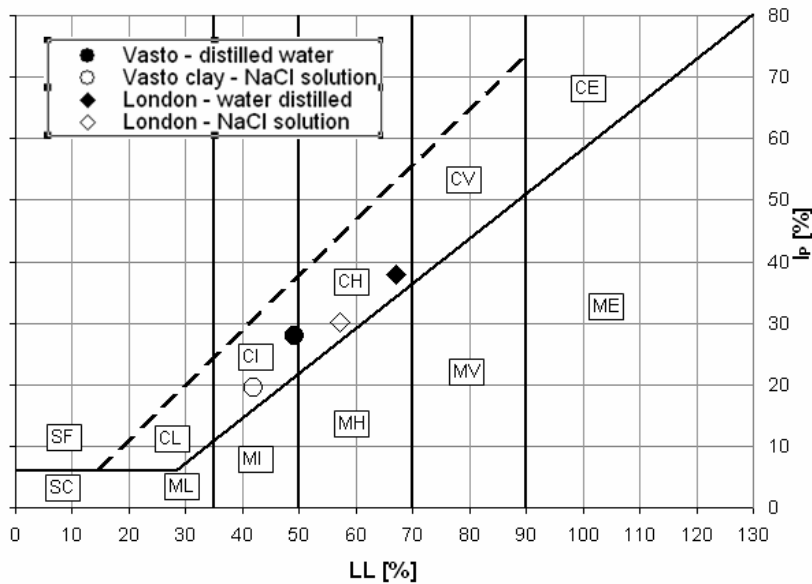


Fig. 3.12 Classificazione dell'argilla di Vasto e della London clay

Di conseguenza l'indice di plasticità è influenzato principalmente dal limite liquido.

In riferimento ai valori trovati si è in grado di definire la plasticità delle due argille (

Fig. 3.12). L'argilla di Londra risulta altamente plastica sia in acqua distillata sia in soluzione salina. L'argilla di Vasto, invece, è mediamente plastica in soluzione salina e a cavallo tra mediamente e altamente plastica in presenza di acqua distillata. L'uso di differenti fluidi interstiziali, visibilmente, è in grado di modificare in modo rilevante la plasticità del materiale.

Così come ne influenza l'attività (Fig. 3.13). Rispetto all'impiego di acqua distillata, che colloca entrambe le argille a cavallo tra argille normali e inattive, la soluzione di NaCl le rende evidentemente inattive. In figura è indicato, per l'argilla di Londra, anche il valore medio dell'attività individuata da Nishimura (2005) durante l'indagine sperimentale condotta su materiale non lavato.

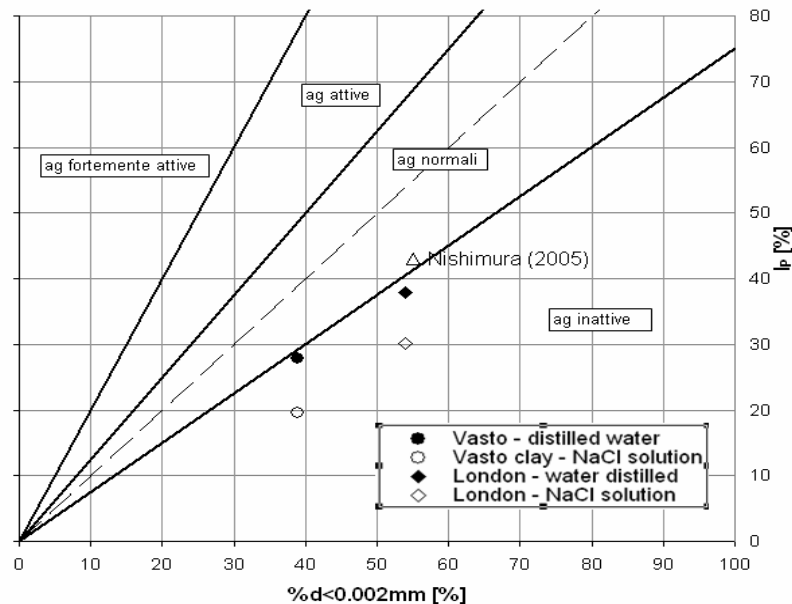


Fig. 3.13 Attività dell'argilla di Vasto e della London clay

L'argilla di Montemesola è caratterizzata da proprietà indice e comportamento in termini di plasticità e attività molto simile a quello dell'argilla di Vasto.

Pore fluid	Liquid limit	Plastic limit	Plasticity Index	%d<0.002mm CF [%]	Activity A	Specific gravity Gs
	LL [%]	PL [%]	Ip [%]			
distilled water	47.41	22.04	25.36	35	0.72	2.74

Tab. 3.4 Proprietà indice dell'argilla di Montemesola

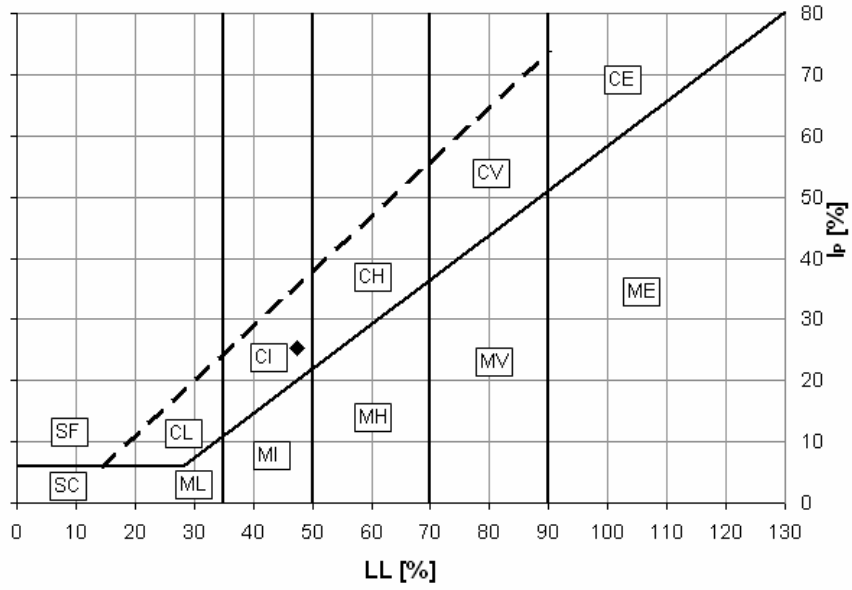


Fig. 3.14 Classificazione dell'argilla di Montemesola

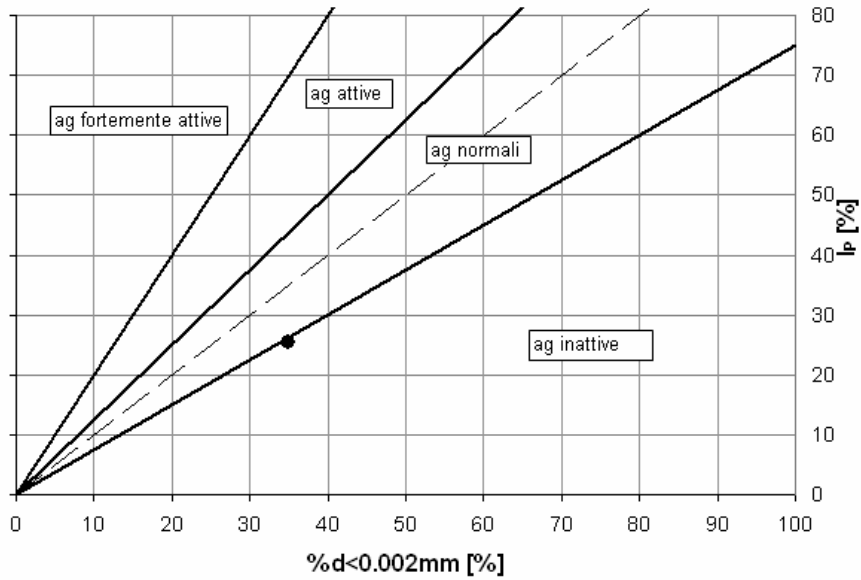


Fig. 3.15 Attività dell'argilla di Montemesola

3.3. Sedimentazione

Al fine di evidenziare le differenze di struttura tra le argille testate si è deciso di procedere con una serie di prove di sedimentazione.

La medesima quantità di argilla, pari a 20 g, è stata posizionata in diversi cilindri graduati con volume di 250 ml, ciascuno contenente una soluzione salina di NaCl a diverse molarità, dall'acqua distillata (0M) alla soluzione satura (5.98M). Lo scopo è stato quello di voler correlare l'indice dei vuoti dei sedimenti, e per via indiretta la fabric, con la concentrazione di sale nel fluido interstiziale.

In Fig. 3.16 è stato riprodotto l'esperimento di sedimentazione in soluzioni a diversa molarità per la bentonite e risulta molto evidente dal volume dei sedimenti come questo materiale sia fortemente influenzato dalla salinità dell'ambiente di deposizione. Questa risposta può essere correlata con il legame tra limite liquido e molarità esposto in Fig. 3.11. Purtroppo le difficoltà riscontrate in fase di realizzazione dei provini e la bassa permeabilità ne hanno precluso l'utilizzo nella campagna sperimentale.

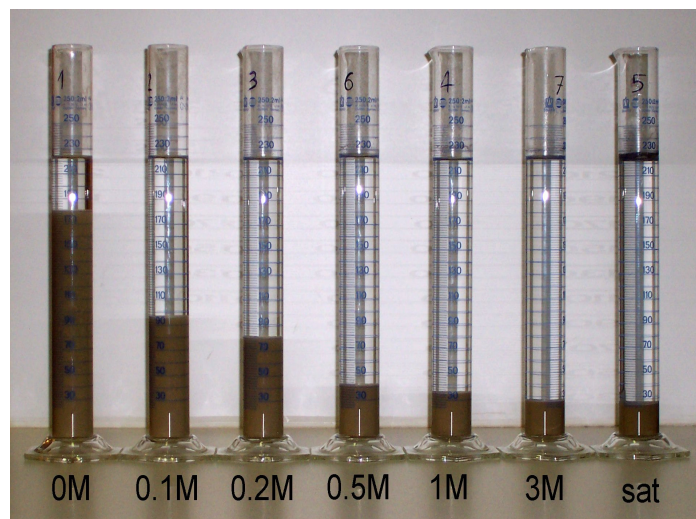


Fig. 3.16 Sedimentazione di bentonite in soluzioni di NaCl a differenti molarità

Gli altri materiali testati hanno mostrato un comportamento simile, anche se meno marcato. La London clay, sebbene in scala diversa rispetto alla bentonite, presenta una buona dipendenza dal fluido dei pori (Fig.3.17), il cui indice dei vuoti dei sedimenti diminuisce di due unità nel passaggio da acqua distillata a soluzione satura. L'argilla di Montemesola rispecchia poco questo andamento, particolare che ha aiutato nella scelta di escluderla dallo studio successivo.

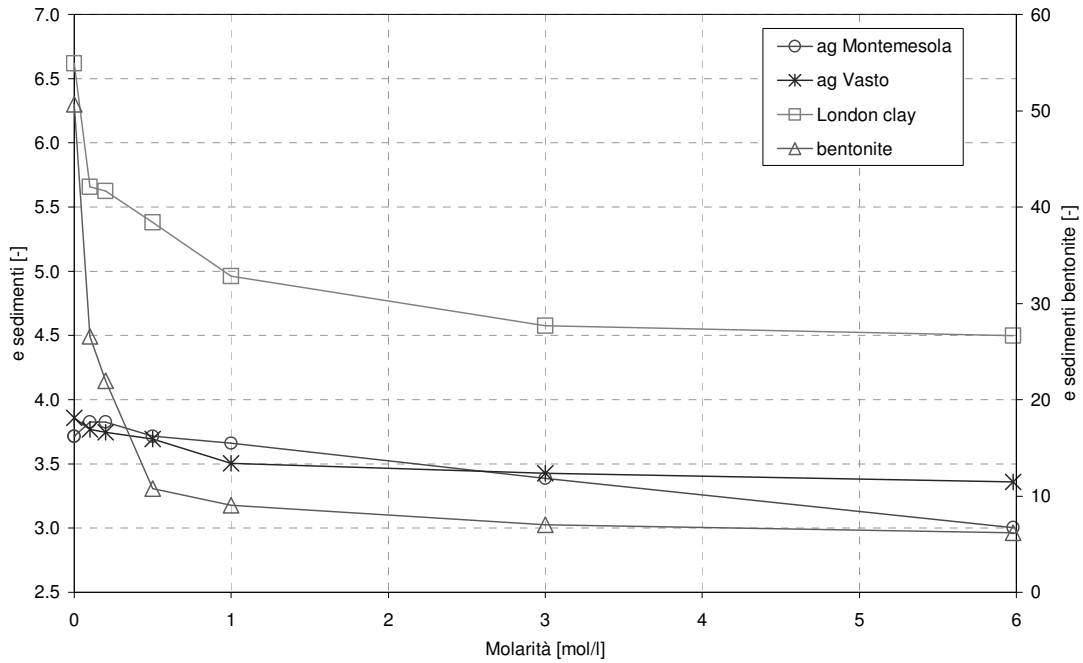
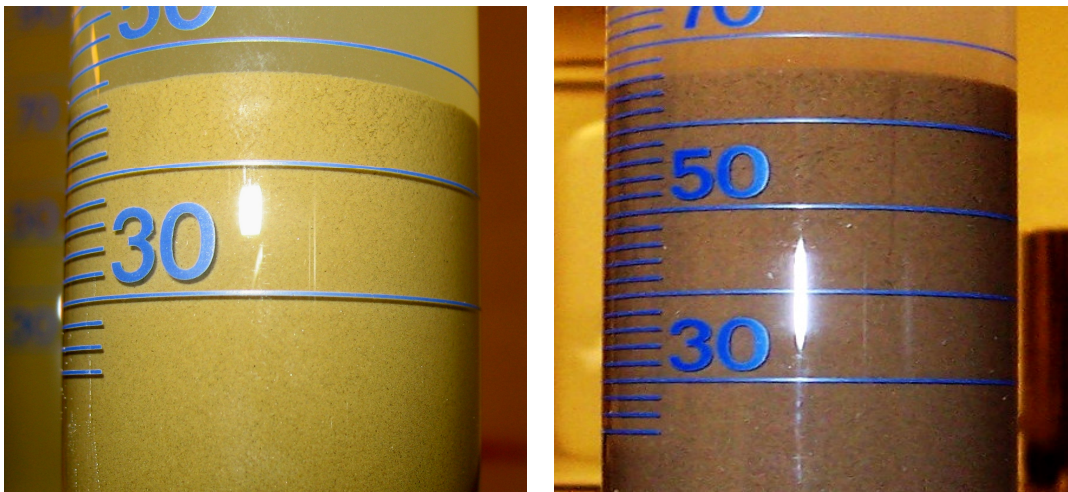


Fig.3.17 Andamento dell'indice dei vuoti dei sedimenti in funzione della molarità della soluzione

E' confermata quindi la teoria secondo cui l'argilla abbia una fabric dispersa in acqua distillata e flocculata in soluzioni salmastre.



(a)

(b)

Fig. 3.18 Aspetto flocculato di (a) argilla di Vasto e (b) London clay sedimentate in soluzione satura di NaCl

L'aspetto flocculato è inoltre ben visibile durante la deposizione, come si può vedere dalla Fig. 3.18 in cui si possono notare i flocculi generatisi durante la deposizione di argilla di Vasto e Londra in soluzione satura.

Altro aspetto rilevante, manifestato dai materiali in fase di sedimentazione è la velocità con cui questi sedimentano. Sono stati annotati, ad intervalli fitti e regolari, i valori dell'indice dei vuoti dei sedimenti nei cilindri graduati con le soluzioni saline a diversa molarità. Nelle Fig. 3.19 e Fig. 3.20 vengono mostrati le curve e_{sed} -tempo, in funzione della salinità per argilla di Vasto e di Londra. In ambedue i casi la velocità di sedimentazione dell'argilla aumenta all'aumentare della molarità. Ciò è conforme con la presenza di moti browniani in soluzioni a bassa o nulla salinità che rallentano il processo di deposizione, fino ad arrestarlo. Nel caso di sedimentazione in acqua distillata, infatti, alcune particelle di argilla rimangono in sospensione permanentemente. La differenza tra gli indici dei vuoti dei sedimenti è più marcata durante le fasi iniziali della sedimentazione, e tende ad annullarsi verso la fine, così come la velocità di deposizione.

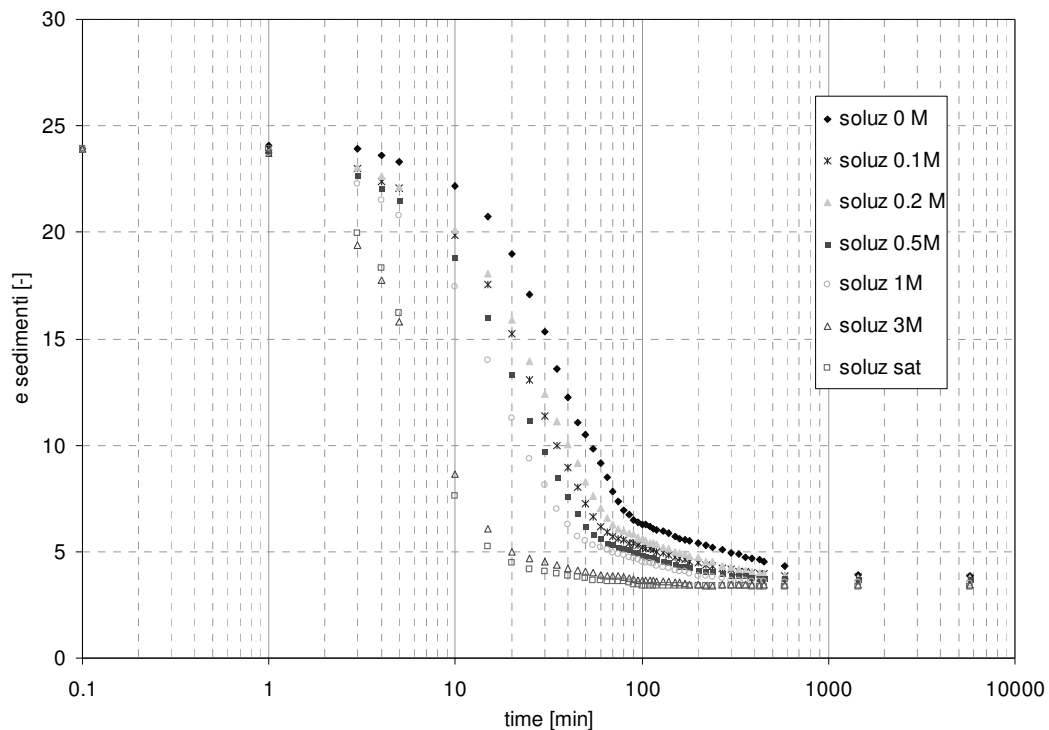


Fig. 3.19 Andamento dell'indice dei vuoti dei sedimenti in funzione del tempo, sedimentazioni in soluzioni a diversa molarità (argilla di Vasto)

L'andamento delle curve suggerisce inoltre l'autoconsolidazione dettata dal processo di sedimentazione del materiale.

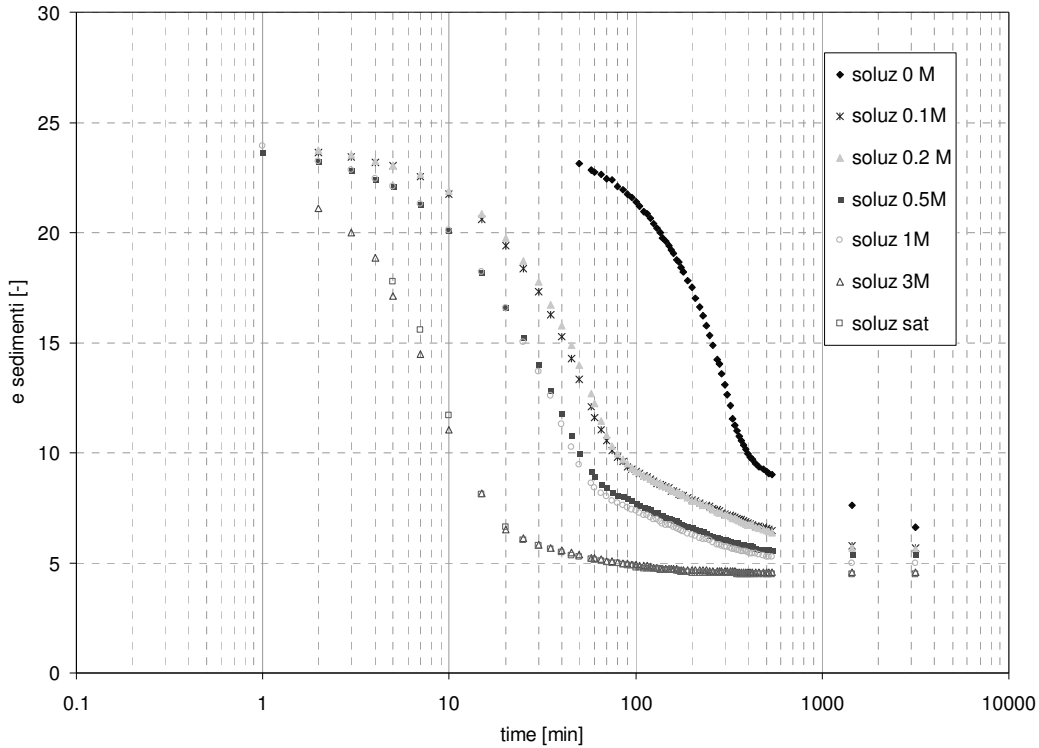


Fig. 3.20 Andamento dell'indice dei vuoti dei sedimenti in funzione del tempo, sedimentazioni in soluzioni a diversa molarità (London clay)

Confrontando gli esiti dell'esperimento delle due argille si nota come la London clay abbia tempi di sedimentazione apprezzabilmente più lunghi rispetto all'argilla di Vasto. Questo aspetto andrà poi a influire anche sulla realizzazione dei provini.

La Fig. 3.21 mostra come la variazione nel limite liquido e nel contenuto d'acqua alla fine del processo di sedimentazione siano correlati. Si può osservare che ad elevati valori del limite liquido corrisponde un contenuto d'acqua maggiore. Questo dimostra che quando un'argilla necessita di una quantità di soluzione superiore ad un'altra per incrementare il suo passaggio allo stato liquido, buona parte di quella soluzione rimane adsorbita dalle particelle e nei pori durante la fase di deposizione.

Facendo una comparazione con gli andamenti dei limiti liquidi e del volume dei sedimenti, da cui il contenuto d'acqua, ad esempio per la bentonite (Fig. 3.11 e Fig. 3.16), si può notare come questi risultati siano in accordo.

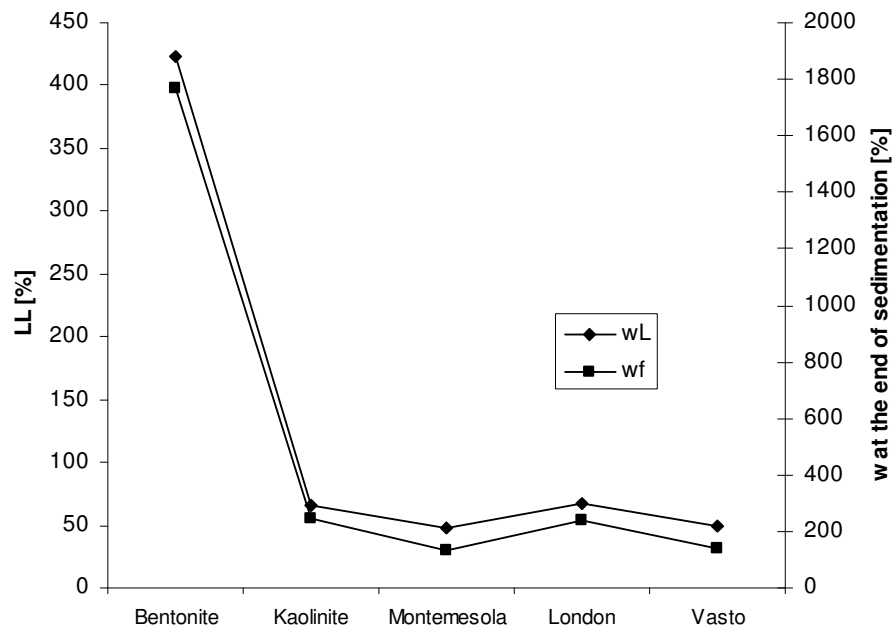


Fig. 3.21 Relazione tra limite liquido e contenuto d'acqua dei sedimenti alla fine della sedimentazione (soluzione: acqua distillata)

3.4. Conclusioni

Dalle indagini conoscitive svolte sui materiali presi in considerazione è stato possibile confermare le teorie espone dagli studi precedenti (v. Capitolo 2) sulla sedimentazione delle argille e conseguente struttura, nonché procedere con una scelta sui materiali che, per caratteristiche fisico-chimiche o 'pratiche' fossero i più idonei alla ricerca: argilla di Vasto e Londra.

