

INDAGINE SULLA COMPRESSIBILITA' DELLA LIGNITE DI MORCONE

F. ESU (*)

SOMMARIO: Si riportano i risultati di prove edometriche eseguite su alcuni campioni di lignite provenienti dal bacino lignitifero di Morcone (Benevento).

Con tali prove si volevano raccogliere dati obiettivi sulla compressibilità di questo materiale ed elementi utili per interpretare la storia geologica del giacimento. Si intendeva inoltre confrontare la compressibilità della lignite e quella della torba.

I risultati ottenuti consentono di dire che la lignite di Morcone si comporta come un materiale pre-costipato sotto carichi maggiori di quelli attualmente agenti e dovuti al peso dei terreni sovrastanti agli strati da cui provengono i campioni esaminati. Si è constatato inoltre che la porosità ed il contenuto d'acqua naturale della lignite sono molto minori di quelli delle torbe. Gli indici di compressione edometrica per i due materiali sono invece dello stesso ordine di grandezza ed anche gli andamenti dei cedimenti in funzione del tempo presentano strette analogie.

Premesse

Su alcuni campioni di lignite provenienti dal bacino lignitifero di Morcone (Benevento) sono state eseguite delle prove edometriche.

Scopo di tali prove era anzitutto quello di raccogliere dei dati obiettivi sul comportamento e sulle caratteristiche di compressibilità di questo materiale; per quanto risulta, infatti, le ligniti non sono state finora oggetto di studi sistematici da questo punto di vista, che pure ha una notevole importanza anche in rapporto alle esigenze tecniche dei mezzi di sfruttamento moderni.

In secondo luogo, si intendeva stabilire se dal comportamento del materiale è possibile ricavare qualche elemento utile per interpretare la « storia » del giacimento. Si voleva in particolare indagare se, per mezzo delle curve di compressione, è possibile risalire al valore della massima pressione cui è stata sottoposta la lignite in sede e stabilire se essa debba essere considerata un materiale pre-costipato (1).

Si voleva inoltre istituire un confronto tra il comportamento alla compressione della lignite di Morcone e quello delle torbe nell'ipotesi che, malgrado l'analogia di origine dei due materiali, il processo di progressiva maturazione del combustibile potesse aver portato a spiccate differenze di comportamento meccanico.

A tale fine si ritiene perciò utile richiamare qui

alcuni dei risultati ottenuti con prove di compressione edometrica eseguite su campioni di torbe.

Si ricorda, in particolare, che l'indice di porosità e il contenuto d'acqua naturali delle torbe sono di regola elevatissimi. Su materiali che presumibilmente non erano stati sottoposti ad alcun sovraccarico si sono rilevati valori dell'indice di porosità dell'ordine di 21 e del contenuto d'acqua di oltre il 1000% (HANRAHAN, 1954), mentre su materiali sottoposti in sede ad una pressione di circa 1 kg/cm² (dovuta al peso di terreni sovrastanti) si sono trovati valori dell'indice di porosità di 6-7 e contenuti d'acqua di circa il 300% (THOMPSON e PALMER, 1951 e SAPIO, 1955).

E' inoltre noto che la compressibilità delle torbe è estremamente alta. Per le torbe mai compresse (HANRAHAN, 1954) si è avuta una riduzione dell'indice di porosità da 21 fino a 7-8 in seguito all'applicazione di carichi dell'ordine di 1 ÷ 1,2 kg/cm², mentre per quelle che avevano già subito una compressione in sede, l'indice di porosità si è ridotto da 6-7 a 1-2 sotto un carico dell'ordine di 6 kg/cm² (SAPIO, 1955).

Tutti gli sperimentatori hanno inoltre rilevato che per le torbe l'andamento dei cedimenti in funzione del tempo è nettamente differente da quello previsto dalla teoria di TERZAGHI.

La fase di cedimento secondario è infatti molto marcata e quella di cedimento primario si completerebbe in circa 1 minuto (THOMPSON e PALMER, 1951). Durante la fase secondaria si stabilirebbe una relazione lineare fra cedimenti e logaritmi dei tempi.

Questo comportamento è stato attribuito (HANRAHAN, 1954) alla viscosità dell'acqua contenuta nelle torbe ed a fenomeni di adsorbimento. L'entità del cedimento sarebbe direttamente proporzionale allo spessore del campione, mentre la durata del fenomeno sarebbe direttamente proporzionale al quadrato dello spessore (HANRAHAN, 1954).

(*) Dott. Ing. Franco ESU, Assistente ordinario di *Geologia Applicata*, Fac. Ingegneria, Università di Roma.

(1) Secondo la definizione comunemente accettata, un terreno si considera pre-costipato quando è stato sottoposto nella sua sede ad un carico maggiore di quello corrispondente al peso dei terreni attualmente sovrastanti al livello da cui esso proviene.

Determinazioni e prove eseguite

I campioni del materiale su cui si è sperimentato erano stati prelevati ⁽²⁾ sotto forma di « carote » da sondaggi a rotazione, alla profondità di 11,50÷14,50; 21,71÷25,71 e 51,06÷54,06 m sotto il piano di campagna, in località Taverna Vecchia sulla sinistra del F. Tammaro (tavoletta IGM 162, III SE, Morcone, punto VF 746774).

La lignite è costituita da una massa compatta di colore bruno-scuro e di consistenza piuttosto elevata, che tende a suddividersi in scaglie la cui giacitura forma un angolo di circa 45° con l'asse delle « carote ».

Essa si presta ad essere facilmente lavorata e tagliata per ricavarne i provini per gli esperimenti. Posta in acqua non perde la consistenza.

Oltre alle prove di compressibilità sono state eseguite anche le determinazioni necessarie per ricavare le caratteristiche che intervengono nella elaborazione dei dati delle prove edometriche (pesi specifici reali ed apparenti, contenuto d'acqua naturale, indice di porosità ecc.).

I pesi specifici, dato che il materiale immerso in acqua non perdeva la consistenza, sono stati determinati con la bilancia idrostatica su campioni preventivamente saturati d'acqua alla pressione atmosferica.

La porosità e l'indice di porosità sono stati dedotti dai valori dei pesi specifici; il contenuto d'acqua si è determinato essiccando il materiale in stufa a 110°C.

Le prove di compressibilità sono state eseguite sui campioni 562 e 542, impiegando provini cilindrici indisturbati, alcuni di 7 cm ed altri di 5 cm di diametro, ricavati dalle carote di sondaggio con asse parallelo a quello delle carote stesse. Per le prove sono state seguite le modalità normalmente impiegate per i terreni sciolti. Tutti i campioni sono stati compressi in presenza di acqua, facendo agire ciascun incremento di carico per un periodo di almeno 24 ore.

I risultati sono sintetizzati nei grafici allegati. Seguendo i metodi di rappresentazione usuali, si sono riportate le curve $e-lg\sigma$ e le curve cedimenti-logaritmi dei tempi.

Esame dei risultati

Nel piano semilogaritmico (ascisse: $lg\sigma$; ordinate: indici di porosità e , Fig. 1) le curve di compressione relative al primo ciclo di carico presentano una marcata inflessione che separa un tratto iniziale a pendenza lieve da un secondo tratto molto ripido e praticamente rettilineo.

Tale inflessione si verifica in corrispondenza di valori di $\sigma = 8-10 \text{ kg/cm}^2$ per il campione 562 (profondità circa 11 m) ed in corrispondenza di $\sigma = 10-15 \text{ kg/cm}^2$ per il campione 542 (profondità circa 50 m).

Le curve relative ai cicli di carico successivi al primo non presentano tale marcata inflessione ed hanno curvatura debole e all'incirca costante.

TAB. 1 - Caratteristiche fisiche

Campione N. (3)	Profondità sotto il p.c. m	γ_r gr/cm ³	γ_s gr/cm ³	γ_n gr/cm ³	n	w_n %	e	S	Contenuto in ceneri %
562	11,50-14,50	1,83	0,53	1,01	0,71	90,1(4)	2,45	0,67	25,7
662	21,71-25,71	1,81	0,56	1,22	0,69	118,0	2,23	0,96	31,7
542	51,06-54,06	1,86	0,59	1,22	0,67	103,0	2,03	0,92	50,0

γ_r = peso specifico reale

γ_s = peso specifico apparente del materiale essiccato

γ_n = peso specifico apparente del materiale con contenuto d'acqua naturale

n = porosità (volume dei pori/volume totale)

w_n = contenuto d'acqua della lignite subito dopo l'estrazione dall'involucro impermeabile riferito al peso del materiale essiccato

e = indice di porosità (volume dei pori/volume della sostanza solida)

S = grado di saturazione.

(2) Il prelevamento dei campioni fu fatto durante la esecuzione di una campagna di esplorazione del giacimento lignitifero di Morcone da parte della Società Meridionale di Elettricità.

(3) Il numero qui riportato è quello di contrassegno col quale ci furono inviati i campioni.

(4) Con ogni probabilità i campioni impiegati per queste determinazioni avevano già subito un essiccamento parziale. Il valore del contenuto d'acqua determinato in laboratorio non corrisponderebbe perciò esattamente a quello naturale. In effetti, su alcuni campioni appena estratti dagli involucri impermeabili, si sono ottenuti i seguenti valori $w_n = 139\%$; $S = 0,93$.

Le curve relative alle prove in cui non si sono raggiunti valori elevati della pressione, non solo non presentano inflessione, ma hanno andamento pressoché rettilineo.

Le osservazioni di cui sopra sono espresse, dal punto di vista quantitativo, dai valori del rapporto $(\Delta e/\Delta\sigma)$ in funzione del campo di pressione considerato (vedi Fig. 2).

Per il campione 562 si rileva inoltre, che, all'aumentare del numero di cicli di carico cui il campione è stato sottoposto, il valore $\Delta e/\Delta\sigma$, per pressioni superiori ai 10 kg/cm^2 , si abbassa notevolmente rispetto

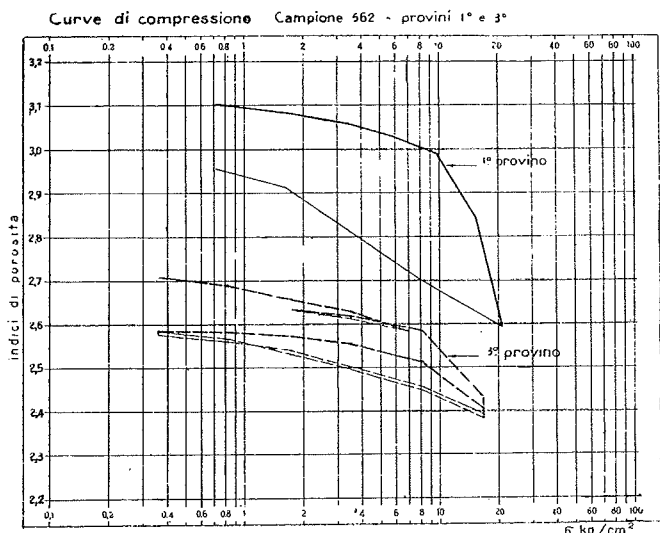


Fig. 1 - Curve di compressione edometrica di alcuni campioni di lignite di Morcone.

a quello corrispondente al primo ciclo e si approssima al valore che, nel primo ciclo, si ha per pressioni minori di 10 kg/cm² (Fig. 2).

Comportamento analogo ha il campione 542. Come si è accennato, la variazione di pendenza della curva di compressione si ha per una pressione compresa tra 10 e 15 kg/cm²; le differenze dei valori di $\Delta e/\Delta \sigma$ relativi ai due tratti della curva sono però molto meno accentuate che per il campione 562.

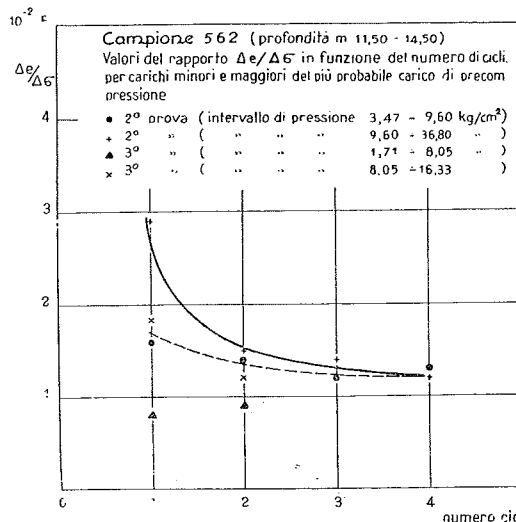


Fig. 2 - Compressibilità della lignite in funzione del valore del carico e del numero di cicli.

Nel campo di pressioni investigato si è riscontrato che, per ogni campione, l'entità dei cedimenti massimi, dei cedimenti residui e dei rigonfiamenti (5) cresce al crescere del valore massimo del carico raggiunto con le prove (Fig. 3).

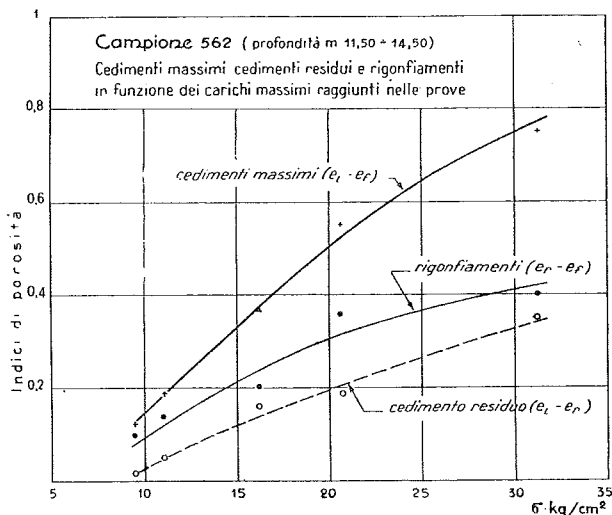


Fig. 3 - Cedimenti massimi, cedimenti residui e rigonfiamenti della lignite in funzione del carico massimo raggiunto durante le prove.

In un provino sottoposto ad una serie di cicli di carico e scarico, l'entità dei cedimenti massimi e residui dei cicli successivi al primo resta sempre molto inferiore a quella relativa al primo ciclo e decresce

(5) Espresi rispettivamente dalle differenze: $e_i - e_f$; $e_i - e_r$; $e_r - e_f$ in cui:
 e_i = indice di porosità all'inizio della fase di carico
 e_f = indice di porosità al termine della fase di carico
 e_r = indice di porosità al termine della fase di scarico.

con l'aumentare del numero di cicli subiti dallo stesso provino (Fig. 4).

Il rigonfiamento decresce invece molto lievemente all'aumentare del numero di cicli.

Esaminando l'andamento dei cedimenti in funzione del tempo (Fig. 5), si rileva che il comportamento del materiale dipende anzitutto dal valore della pressione agente. Sotto pressioni non elevate il cedimento totale viene infatti raggiunto in un tempo relativamente breve (dell'ordine di 24 ore); sotto pressioni elevate il cedimento, rilevante come valore assoluto, è invece prolungato nel tempo.

L'andamento dei cedimenti in funzione del tempo si scosta sensibilmente da quello previsto nella teoria della consolidazione di TERZAGHI ed i diagrammi cedimenti/logaritmi dei tempi sono pressoché rettilinei.

A parità di carico agente, l'andamento dei cedimenti nel tempo ed il valore finale del cedimento dipendono dal numero di cicli di carico subiti dal provino.

Con l'aumentare del numero di cicli, il valore massimo del cedimento relativo ad un dato incremento di carico diminuisce sensibilmente. Si riscontra inoltre che i diagrammi cedimenti-logaritmi dei tempi, relativi si intende allo stesso incremento di carico, per

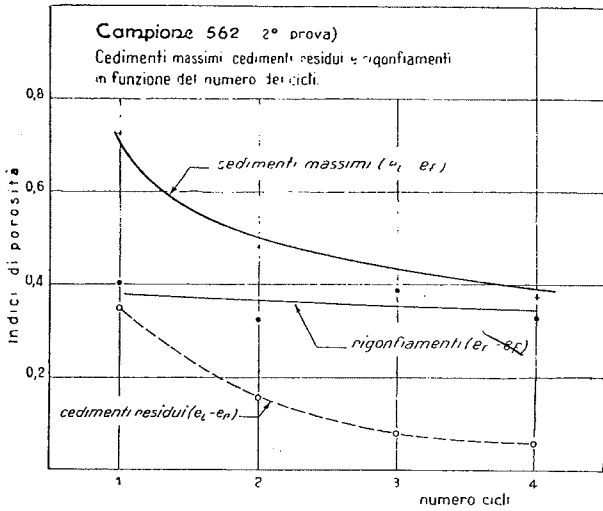


Fig. 4 - Cedimenti massimi, cedimenti residui e rigonfiamenti della lignite in funzione del numero di cicli di carico e scarico.

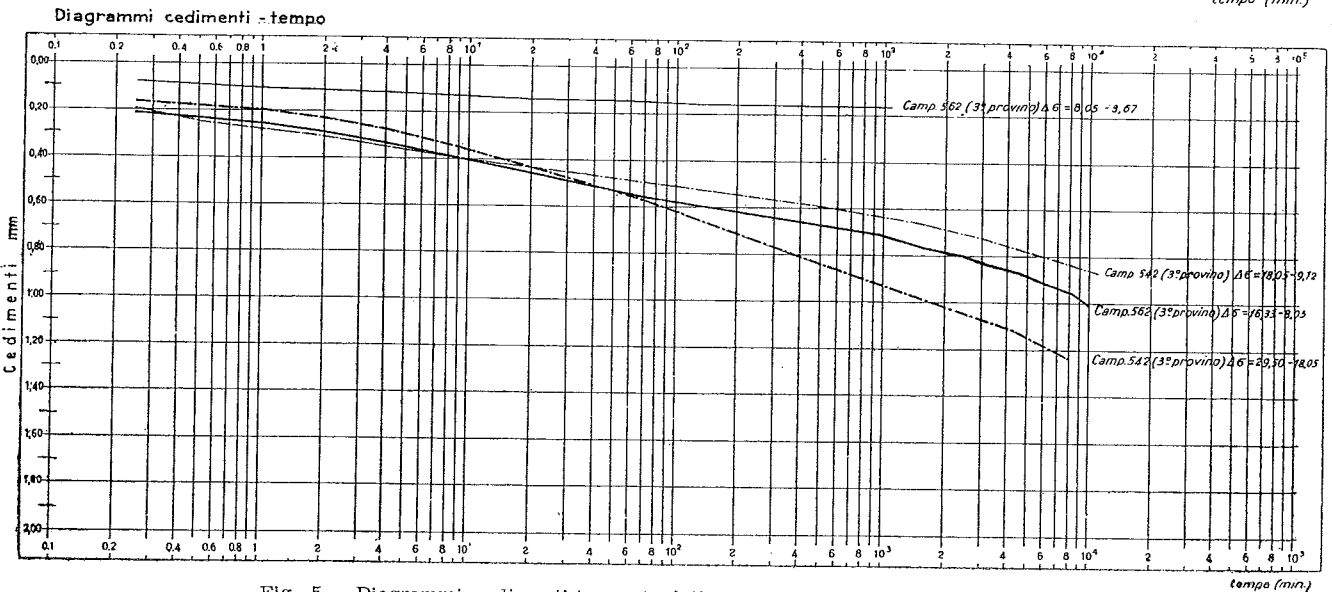
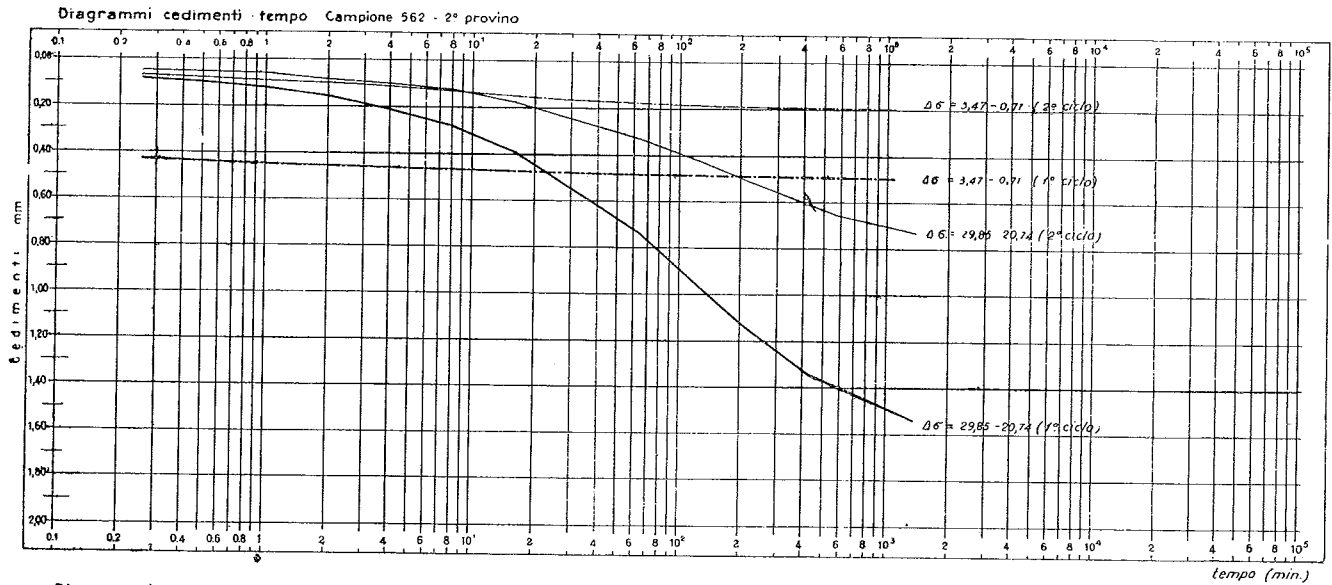


Fig. 5 - Diagrammi cedimenti-tempo, relativi ad alcuni incrementi di carico.

i cicli successivi al primo sono praticamente coincidenti fra loro.

Conclusioni

I risultati delle prove indicano che la lignite ha un comportamento analogo a quello dei terreni sciolti coerenti fortemente « *pre-costipati* ».

Tale considerazione è suggerita dall'andamento delle curve di compressione (curve $e/\log\sigma$) corrispondenti al primo ciclo di carico che sono formate, come si è detto, da due tratti con diversa pendenza.

Data la posizione dell'intervallo di inflessione delle curve di compressione, sembra potersi dedurre che la pressione che costipò il materiale in sede debba essere stata dell'ordine di 8-10 kg/cm² per la lignite più superficiale e di 10-15 kg/cm² per quella più profonda. La lignite sarebbe, cioè, stata sottoposta a pressioni sensibilmente più elevate di quelle agenti attualmente e dovute al peso dei terreni ad essa sovrastanti.

Tali maggiori pressioni erano verosimilmente generate dal peso di una coltre di sedimenti, che successivamente fu in parte erosa, di spessore alquanto maggiore di quella attuale.

Non può comunque trascurarsi il fatto che i carichi sul materiale in sede hanno agito per tempi lunghissimi (dell'ordine delle centinaia di migliaia di anni), praticamente infiniti rispetto all'andamento dei fenomeni qui analizzati; è pertanto possibile che la pre-costipazione sia dovuta ad un carico diverso da quello corrispondente alla inflessione della curva di compressione.

Comportamento particolare presenta il materiale durante la fase di scarico. Il rigonfiamento è, infatti, tanto maggiore quanto maggiore è la pressione massima raggiunta ed è praticamente indipendente dal numero di cicli di carico subiti dal provino.

Sotto questo aspetto, il materiale si differenzia nettamente dalle argille e dalle torbe, che, nella fase di scarico, presentano rigonfiamenti praticamente trascurabili.

Una spiegazione di tale fatto potrebbe forse ricercarsi nella costituzione e nella struttura della lignite, formata da scaglie e fibre, piuttosto flessibili ed elastiche, con giacitura pressoché normale alla direzione degli sforzi applicati durante le prove eseguite.

I risultati delle prove eseguite mostrano inoltre che gli indici di porosità ed i contenuti d'acqua della lignite di Morcone sono molto minori di quelli delle torbe. Essi confermano anche che indice di porosità e contenuto di acqua descomponono con l'aumentare della profondità a cui è stato prelevato il materiale.

Tali risultati, messi in relazione con quelli ottenuti dagli sperimentatori che hanno eseguito prove di compressibilità su torbe, consentono di stabilire una relazione empirica, valida in prima approssimazione (6), tra l'altezza dello strato (di torba o di lignite) e la pressione che ha agito sullo stesso strato.

(6) In particolare, la espressione qui suggerita non può considerarsi valida negli intorni di $\sigma = 0$. In tali intorni, infatti, la compressibilità del materiale risulterebbe infinita.

Tale espressione è stata ricavata osservando che per le torbe che non erano state sottoposte all'azione costipante di carichi l'indice di porosità assume valori dell'ordine di 21÷22, mentre per le torbe che erano state sottoposte a pressioni dell'ordine di 1 kg/cm² tale indice è dell'ordine di 7÷8, cioè circa un terzo rispetto a quello delle torbe non compresse.

Per la lignite, sottoposta in sede a pressioni dell'ordine dei 10-15 kg/cm², è risultato che l'indice di porosità iniziale è dell'ordine di 2,5÷3.

In base a tali valori, la espressione che lega la altezza dello strato (di torba o di lignite) al valore della pressione agente potrebbe essere del tipo:

$$h = h_0 \frac{1 + A e^{-\sigma/e}}{A + 1}$$

in cui:

h = altezza dello strato per un valore generico della pressione

h_0 = altezza dello strato per pressione nulla

e = base dei logaritmi naturali

A e B = coefficienti empirici che, in base ai dati su riportati, risultano uguali circa a 20 e 3, rispettivamente.

Per quanto riguarda compressibilità relativa, la differenza tra la lignite e le torbe non appare molto accentuata (7). Il valore dell'indice di compressione (8) della lignite, per il tratto più pendente delle curve di compressione, è risultato, infatti, intorno a 1,3 cioè dello stesso ordine di grandezza di quello trovato da SAPIO (1955) per le torbe della valle del Volturno.

La lignite ha un comportamento analogo a quello delle torbe dal punto di vista dei cedimenti in funzione del tempo. I diagrammi cedimenti-logaritmi dei tempi si discostano infatti dalla curva teorica, la fase di cedimenti secondari è molto accentuata e, inoltre, sembra che, come per le torbe, valga una relazione lineare tra cedimenti e logaritmi dei tempi.

Nelle grandi linee può quindi concludersi che la lignite di Morcone ha un comportamento analogo a quello delle torbe sotto l'aspetto dei cedimenti in funzione del tempo e dell'indice di compressione.

Essa deve però considerarsi un materiale fortemente pre-costipato sotto l'azione di carichi che, nel caso in esame, appaiono maggiori di quelli agenti attualmente sugli strati da cui provengono i campioni esaminati.

Roma (S. Pietro in Vincoli), *Centro di studio per la Geologia Tecnica del C.N.R.* presso l'Istituto di Geologia Applicata e Giacimenti Minerari dell'Università, Agosto 1959.

(7) Deve però tenersi conto, sia della grandissima variabilità di caratteristiche di questi tipi di materiali, sia del fatto che è molto difficile da valutare l'eventuale influenza sull'andamento del fenomeno di costipazione delle trasformazioni fisico-chimiche che hanno accompagnato la trasformazione da torba a lignite.

(8) Ammessa valida l'espressione $e = e_1 - C_c \ln \sigma$ in cui e_1 = indice di porosità per $\sigma = 1$ kg/cm² e C_c = indice di compressione.

Bibliografia

- [1] CUPERUS J. L. A. - *Permeability of peat by water* - Proc. 2nd Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng., 1, Amsterdam, 1948.
- [2] HANRAHAN E. T. - *An investigation on some physical properties of peat* - Geotéchnique, 4, 3, 1954.
- [3] KOPPEJAN A. W. - *A formula combining the Terzaghi load-compression relationship and the Buisman secular time effect* - Proc. 2nd Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng., 3, Amsterdam, 1948.
- [4] LEWIS W. A. - *The settlement of the approach embankments to a new road bridge at Lackford* - Geotéchnique, 6, 3, 1956.
- [5] RADFORTH N. W., MACFARLANE I. C. - *Correlation of paleobotanical and engineering studies of Muskeg (peat) in Canada* - Proc. 4th Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng., 1, Londra, 1957.
- [6] SAPIO G. - *Caratteristiche geotecniche dei terreni organici* - Geotecnica, 2, 5, 1955.
- [7] SMITH C. K., REDLINGER J. F. - *Soil properties of Fort Union clay shales* - Proc. 3rd Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng., 1, Zurigo, 1953.
- [8] THOMPSON J. B., PALMER L. A. - *Report of consolidation tests with peat* - A.S.T.M. Symposium on consolidation testing of soils, Special Techn. Publication, 126, 1951.

SOMMAIRE: L'Auteur donne les résultats des essais de compression oedométrique exécutés sur des échantillons de lignite provenant du bassin de Morcone (Benevento).

Avec ces essais, l'Auteur avait le but de recueillir des données objectives sur la compressibilité de la lignite et des éléments pour interpréter l'histoire géologique du gisement en question. Il désirait encore faire une comparaison entre la compressibilité de la lignite et celle de la tourbe.

Les résultats obtenus par les essais montrent que la lignite de Morcone peut être considérée un matériel pré-comprimé sous l'action de charges plus grandes que les charges actuelles dues au poids des terrains situés au-dessus des couches d'où les échantillons proviennent. On a pu constater en outre que la lignite a une porosité et une teneur en eau plus faibles que celles de la tourbe. Les indices de compression des deux matériaux ont le même ordre de grandeur et les relations tassements-temps sont du même type.

SUMMARY: This article deals with the results of oedometric compression tests on some samples of lignite from the basin of Morcone (Benevento).

The main purpose of this investigation was to collect some data on the compressibility of lignite and to acquire informations on the geological history of the basin of Morcone.

A comparison of the compressibility of lignite to that of peat was also wanted.

The results of the test show that the lignite from Morcone behaves as a material which has been pre-compressed under a load greater than the existing overburden.

It has been found that the porosity and natural water content of the lignite are minor than those of peats. The compression indexes of these two materials are of the same order of magnitude and their settlement-time relationship show a fairly close analogy.

V CONGRESSO INTERNAZIONALE DI GEOTECNICA

Parigi, luglio 1961

Il Comitato organizzatore del Congresso invierà nel novembre prossimo il bollettino n. 2 a tutti coloro i quali abbiano già provveduto alla loro iscrizione preliminare al Congresso stesso.

Le notizie principali contenute nel bollettino n. 2 verranno riportate su questa rivista.