

Il consolidamento dei terreni di fondazione dell'argine del Reno presso Alsum mediante dreni verticali di cartone (*Konsolidierung eines Schlammobodens für den Rheindeich bei Alsum durch senkrecht eingebrachte Pappdräns*).

AHRENS W. - *Die Bautechnik*, H. 1, pagg. 13-16, 1956.

Come è noto, se ad una qualsiasi formazione di rocce sciolte viene applicato un sistema di carichi esterni, la formazione stessa cede in conseguenza di una diminuzione del volume complessivo dei pori. Man mano che la porosità del terreno diminuisce, si verifica, se il terreno è saturo d'acqua, un'espulsione dell'acqua medesima verso l'esterno.

Questo processo, che viene indicato con il termine « consolidazione » si svolge nel tempo con maggiore o minore velocità a seconda del coefficiente di permeabilità del materiale, dell'entità dei carichi applicati e della posizione ed estensione delle superfici di drenaggio.

Nei terreni a grana fina il fenomeno di consolidazione si svolge molto lentamente nel tempo; spesso quindi si presenta in pratica la necessità di accelerarne il decorso.

Lasciando da parte procedimenti speciali come quello dell'elettroosmosi, questo scopo può essere raggiunto per due vie: a) applicando dei carichi temporanei al terreno di fondazione; b) aumentando l'estensione delle superfici di drenaggio.

Il primo metodo, che viene denominato « precompressione del terreno di fondazione », è stato applicato con successo tecnico ed economico specie negli Stati Uniti; di ciò abbiamo già dato notizia su questa rivista (1).

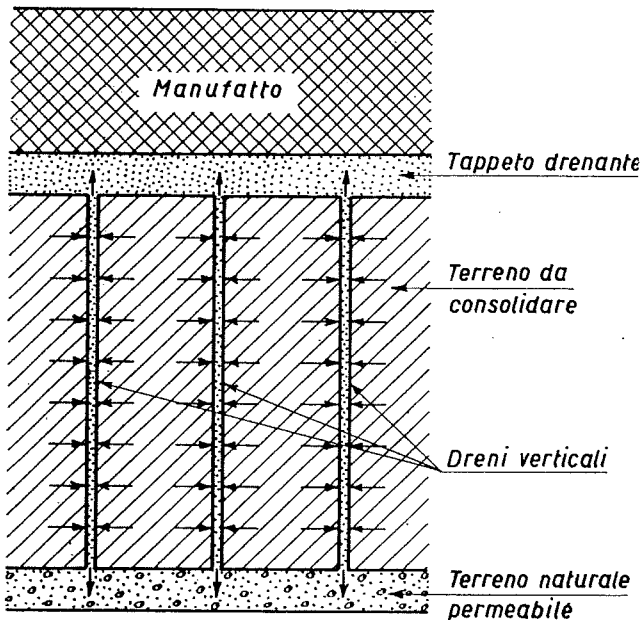


Fig. 1 - Introducendo in un terreno a grana fina un sistema di dreni verticali l'acqua viene espulsa più rapidamente sotto l'azione del carico ed il cedimento si verifica in un tempo molto più breve. Le frecce rappresentano schematicamente il movimento dell'acqua.

(1) La riduzione dei cedimenti mediante precompressione del terreno di fondazione (*Control of foundation settlements by preloading* - WILSON S. D. - Journ. Boston Soc. Civ. Eng. - Vol. 40, gennaio 1953, pag. 10-24) - "Geotecnica" n. 2, 1955 (rec. a cura di R. JAPPELLI).

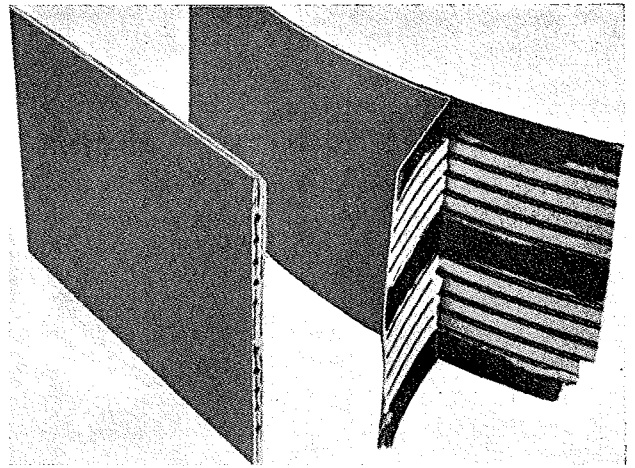


Fig. 2 - Dreni di cartone adottati nel procedimento Kjellmann.

Il secondo procedimento ha avuto grande sviluppo, anche questa volta negli Stati Uniti, specie nella costruzione di strade ed aeroporti. L'A. dell'articolo che qui recensiamo ne descrive una applicazione con impiego di dreni verticali.

Viene illustrato innanzitutto lo schema del procedimento, rappresentato nella fig. 1; in questa è disegnato un banco di terreno a grana fina che poggia su di uno strato di terreno naturale permeabile.

Sul tetto del banco viene disposto uno strato di materiale a grana grossa che funziona sia da drenaggio del banco sottostante sia da sottofondo per il passaggio dei mezzi. Indi si procede all'infissione nel terreno da consolidare di una serie di elementi verticali drenanti situati a distanza opportuna. Infine si procede alla costruzione del manufatto, sia esso una strada in rilevato, che un argine od addirittura una diga di terra.

Grazie ai dreni infissi nel terreno, l'acqua contenuta nei pori viene espulsa, sotto l'azione dei carichi esercitati dal manufatto, non solo in direzione verticale, ma anche in direzione orizzontale (radiale rispetto al singolo dreni).

In tal modo il raggiungimento di un determinato grado di consolidazione, a parità di ogni altra condizione, può essere accelerato a piacere, entro certi limiti, scegliendo opportunamente il diametro dei dreni ed il loro interasse.

Dal punto di vista costruttivo i dreni possono essere realizzati in vario modo. Una soluzione originale è quella proposta dal compianto ing. KJELLMANN (2) ed adottata nei lavori illustrati nell'articolo che qui recensiamo.

I dreni KJELLMANN, costituiti di cartone, si presentano come nella fig. 2; essi hanno una sezione rettangolare di mm 4x100.

Questa forma molto allungata ha lo scopo di accrescere al massimo lo sviluppo del perimetro; come è evidente infatti, data la portata trascurabile che i dreni devono smaltire, l'efficienza di questi dipende

(2) KJELLMANN W. - *Accelerating consolidation of fine-grained soils by means of card-board wicks* - II Int. Conf. on Soil Mechanics - Rotterdam, 1948, Vol. II, pagg. 302-305.

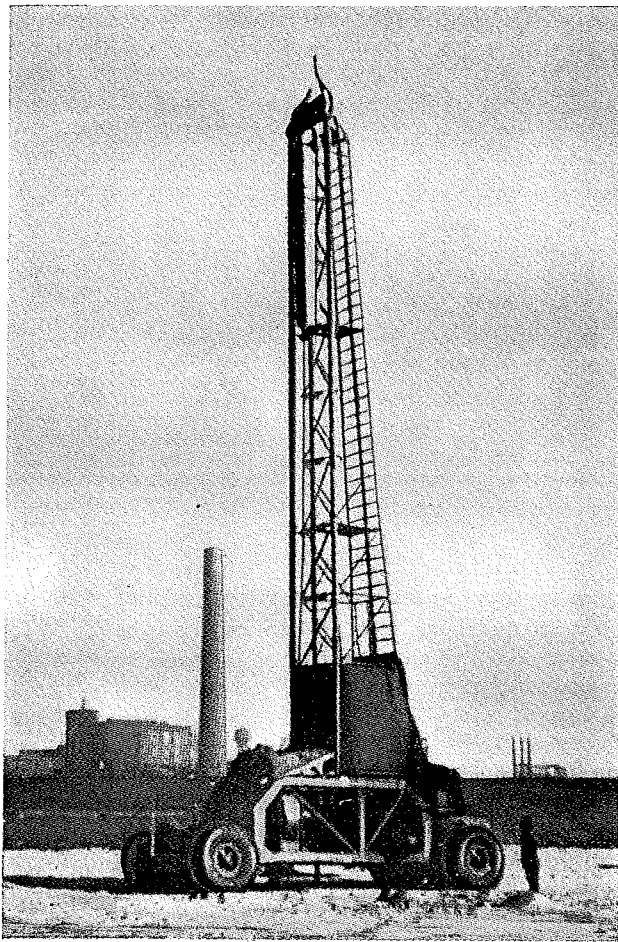


Fig. 3 - Macchina della Franki per la posa in opera dei dreni di cartone.

in misura maggiore dallo sviluppo del perimetro che non dalla sezione.

Dalla fig. 2 risulta in particolare la struttura del dreno di cartone. Esso è costituito da due fogli di questo materiale impregnati di sale di arsenico e di resina di melamina per difesa dall'azione dell'acqua. Su questi fogli, che vengono poi incollati in modo da costituire una striscia unica, sono ricavate delle scanalature; queste scanalature venendo a trovarsi l'una di fronte all'altra formano dei canaletti di 3 mm² di sezione, attraverso i quali l'acqua fluisce verso l'esterno.

Il peso del nastro di cartone è di soli 200 gr/m; esso viene fornito da una casa svedese in rotoli della lunghezza di 400 m; il prezzo è di circa 75 lire al metro.

Per quanto riguarda la capacità di resistenza del dreno a contatto dell'acqua l'esperienza attuale ha dimostrato che il dreno ha una vita di almeno due anni, sempre che il cartone sia stato trattato con le sostanze di cui si è già detto.

Per l'affondamento dei dreni la ditta Franki ha costruito una macchina speciale, completamente automatica, che consente di porre in opera i dreni con grande rapidità alla distanza prefissata. Questa macchina è rappresentata nella fig. 3, ed il suo funzionamento è illustrato dagli schemi di fig. 4.

Il nastro di cartone è inizialmente avvolto sulla

puleggia *a*; da qui esso passa sulla puleggia *b*, situata al vertice superiore della macchina e viene infilato e bloccato all'estremità inferiore di un lungo tubo verticale, che termina a punta. Il tubo viene infisso nel terreno fino alla profondità voluta e qui il nastro viene sbloccato e reso indipendente dal tubo. Nella fase successiva il tubo viene ritirato ed il nastro viene tagliato ed abbandonato nel terreno. In ultimo la macchina si sposta di un tratto pari al prefissato interasse dei dreni e nella nuova posizione ripete le operazioni già descritte.

Dopo aver così illustrato lo schema del procedimento, l'A. richiama le ipotesi sulle quali è basata la teoria della consolidazione radiale, che è stata impostata da R. A. BARRON nel 1947 (3), trascurando l'espulsione in senso verticale, ed applicata da KJELLMANN (2) al caso dei dreni di cartone.

Senza entrare nel merito di tale teoria, l'A. riporta le formule finali ed i diagrammi con i quali in pratica si progetta un sistema di drenaggi con dreni verticali, in base all'accennata teoria.

Con i seguenti simboli:

U = grado di consolidazione (rapporto tra il cedimento al tempo t ed il cedimento finale);

$c = \frac{k}{s_0 a}$ = coefficiente di consolidazione in $\frac{\text{cm}^2}{\text{sec}}$,

dove k = coefficiente di permeabilità in cm/sec, s_0 = peso specifico dell'acqua in gr/cm³, $a = \frac{\Delta e}{\Delta p}$ = modulo di compressibilità del terreno in cm²/gr;

t = tempo trascorso dall'applicazione del carico in sec;

L = distanza tra i dreni in cm;

r = raggio dei dreni in cm;

risulta:

$$U = 1 - e^{-\frac{2ct}{L^2 \left(1 + \frac{L}{r\sqrt{\pi}} - \frac{3}{4} \right)}} \quad [1]$$

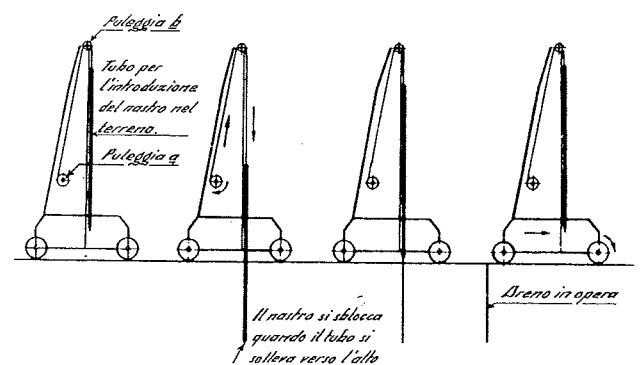


Fig. 4 - Schema del funzionamento della macchina per la posa in opera dei dreni.

(3) BARRON R. A. - Consolidation of fine-grained soils by drain wells - Proc. A.S.C.E., giugno 1947.

Per facilitare la soluzione di questa equazione per via grafica conviene porre:

$$n = \frac{L^2}{2\pi} \left(\ln \frac{L}{r\sqrt{\pi}} - \frac{3}{4} \right) \quad [2]$$

$$g = \frac{n}{c}$$

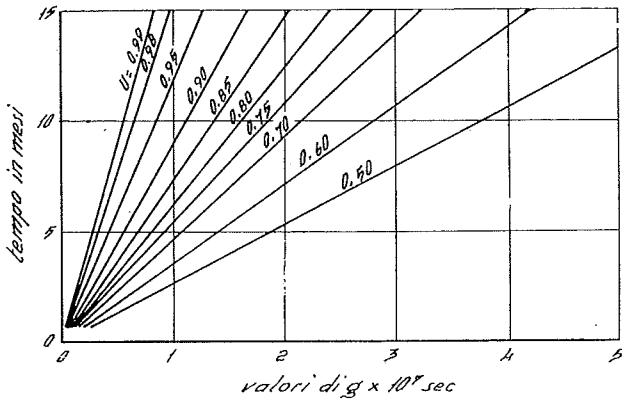


Fig. 5.

L'equazione [1] diviene quindi:

$$U = 1 - e^{-\frac{t}{g}} \quad [3]$$

L'espressione [3] è riportata in diagramma nella fig. 5; sull'asse delle ascisse sono riportati i valori di g in 10⁷ sec. e sull'asse delle ordinate il tempo in mesi. Come parametro è stato assunto il grado di consolidazione che nella figura varia tra 0,50 ÷ 0,99.

Nella fig. 6 è riportata in diagramma l'espressione [2], con le quantità n in cm² e L in m; come parametro è stato assunto il raggio r in cm.

Per progettare i dreni si procede quindi come segue. Noti i coefficienti k ed a (questi si suppongono costanti in conformità della teoria della consolidazione di Terzaghi) si calcola il coefficiente di consolidazione c; fissato poi il tempo entro il quale si desidera realizzare un certo grado di consolidazione, si ricava g dal diagramma della fig. 5. Si può calcolare così n = cg e dal diagramma di fig. 6, fissato un certo raggio dei dreni, si ricava l'interasse L.

Le formule ed i diagrammi a cui abbiamo accennato valgono, come è evidente, per dreni verticali a sezione circolare. Per applicarle al caso dei dreni di cartone aventi una sezione diversa da quella circolare, occorrerebbe modificare le formule. L'A. non fornisce sufficienti delucidazioni su questo punto, ma si limita ad osservare che l'azione drenante di un dreno di cartone della forma e delle dimensioni già accennate è equivalente a quella di un dreno di sabbia di sezione circolare con diametro di 6 cm. KJELLMANN nota che adoperando dreni di cartone come quelli già descritti, occorre adoperare per il calcolo dell'interasse

dei dreni la curva della fig. 6 corrispondente ad un raggio di cm 2,5.

L'A. illustra infine l'applicazione dei dreni di cartone per la consolidazione dei terreni di fondazione dell'argine del Reno ad Alsum in vicinanza di Duisburg. E' questa la prima applicazione del procedimento in Europa, al di fuori dei paesi scandinavi.

A causa dei lavori minerari che si svolgono nel sottosuolo è in atto in tutta la zona di Duisburg un fenomeno di subsidenza regionale, che ha portato ad

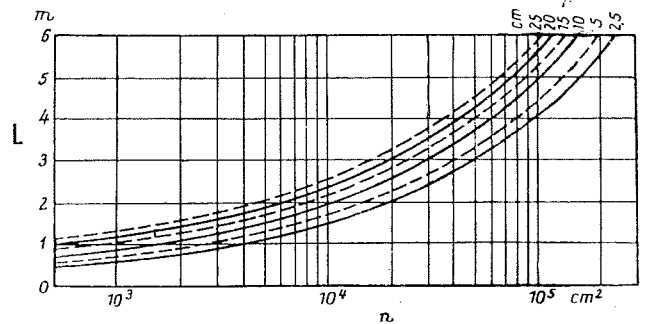


Fig. 6.

un abbassamento del piano di campagna di circa 4,00 m; l'antico argine del Reno non era quindi più sufficiente per proteggere la città di Alsum dalle piene del fiume, e si è manifestata la necessità di portarne il coronamento a quota più elevata. Inoltre l'andamento dell'argine è stato rettificato in pianta.

I terreni di fondazione del tratto di argine di nuova costruzione erano costituiti da materiale fangoso molto cedevole depositato dal fiume per uno spessore di 10 m circa.

Il problema era di riuscire a costruire il nuovo argine nel brevissimo tempo di 7 ÷ 8 mesi, prima cioè della prossima stagione delle piene. Dai calcoli di progetto è risultato che il processo di consolidazione sotto il peso del rilevato, nelle condizioni naturali avrebbe avuto una durata di circa dieci anni. E' stata decisa quindi l'adozione dei dreni verticali di cartone; con questo procedimento il tempo di consolidazione si è ridotto notevolmente; infatti dopo sei mesi dal termine del lavoro d'infissione dei dreni e due mesi dal termine del lavoro di costruzione dell'argine, il grado di consolidazione del terreno di fondazione aveva già raggiunto il valore 0,90. Si può dire quindi che il lavoro sia stato coronato da pieno successo.

L'A. fornisce in ultimo qualche particolare esecutivo. I dreni sono stati piazzati alla distanza di m 1,70 l'uno dall'altro; la lunghezza di ciascun dreno variava tra m 4,00 e m 12,00 a seconda dello spessore, variabile, del materiale da consolidare. In totale sono stati posti in opera 61.000 m di dreni in 30 giorni lavorativi.