

QUESTIONI GEOTECNICHE RELATIVE A STRADE, PISTE DI AEROPORTO, STRADE FERRATE

G. MORALDI (**)

SOMMARIO: Vengono passati in rassegna gli argomenti trattati nelle comunicazioni, nella relazione generale e nelle discussioni presentate al IV Congresso Internazionale di Geotecnica, Londra, 1957, nella sezione 4.

Il notevole interesse che la « *Geotecnica stradale* » (come, con felice espressione, il relatore generale Ing. PELTIER ha voluto chiamare questo ramo della meccanica dei terreni) desta negli studiosi è comprovato dal grande numero delle memorie presentate (venti in tutto) e dagli ancora più numerosi interventi che hanno caratterizzato questo Congresso.

Affinché il lettore possa meglio rendersi conto dei risultati e dei progressi realizzati in questo campo negli anni intercorsi fra il Congresso precedente, tenutosi a Zurigo nel 1953, e l'attuale, si è mantenuta per i diversi argomenti la stessa suddivisione che formò oggetto di analoga rassegna compilata dallo scrivente e pubblicata su questa stessa Rivista [1].

1 - Metodi di calcolo - Portanza del terreno

a) Metodi razionali

Quantunque siamo ancora lontani da un metodo di calcolo teorico, che possa tener conto delle effettive deformazioni plastiche ed elastiche del terreno e delle sovrastrutture, si notano però dei felici tentativi di razionalizzare il calcolo, introducendo le proprietà intrinseche del materiale, quale il modulo di elasticità o di deformazione, e svincolandolo dai riferimenti puramente empirici, costituiti da una prova di classificazione o di penetrazione.

Questo appare evidente nella memoria 4/6 dei russi IVANOV BIRULYA, BABKOV e PUZAKOV [2], nella memoria 4/16 di SCHIFFMANN, U.S.A. [3] e nel metodo presentato dal francese JEUFFROY in sede di discussione (1).

Il metodo di calcolo sommariamente presentato dai russi si basa su considerazioni teoriche di calcolo e sulla introduzione di fattori empirici di correzione.

La deformabilità del sottofondo e della sovrastruttura, considerate come elastiche, viene caratterizzata dai rispettivi moduli E_0 ed E_1 di deformabilità, ed il dimensionamento viene effettuato in modo da non superare una determinata deformazione critica limite, funzione del carico, (pressione e superficie di impron-

ta) dello spessore della sovrastruttura e dei moduli di deformabilità anzidetti. Si tiene conto della intensità del traffico introducendo un apposito fattore di correzione, funzione logaritmica del numero N delle ripetizioni del carico.

Il modulo di deformabilità E_0 del sottofondo può essere determinato mediante prove di carico eseguite sul sottofondo stesso, introducendo però un termine correttivo per tener conto della diminuzione di portanza conseguente al rammollimento del terreno prodotto dal disgelo in primavera o dall'assorbimento di acqua per altre cause (v. Fig. 1). A questo riguardo il territorio dell' U.R.S.S. è stato diviso in 5 zone climatiche, che vanno da quelle più a Nord, permanentemente gelate, a quelle del Sud, desertiche e a clima arido.

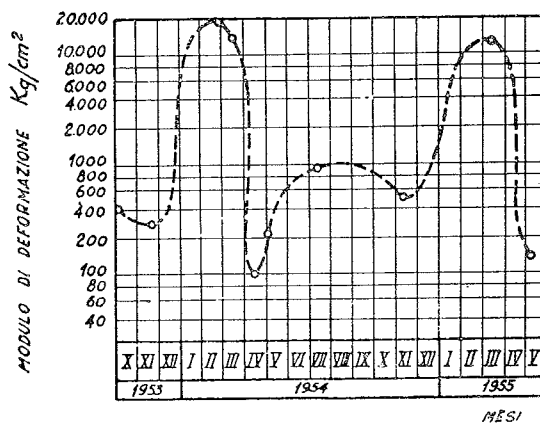


Fig. 1 - Variazioni annuali del modulo di deformazione di un sottofondo.

Anche il modulo di deformabilità E_1 della sovrastruttura viene determinato mediante prove di carico su campioni rappresentativi dei vari tipi di strutture adottate (conglomerato bituminoso, macadam bituminato, inghiaiate ecc.).

E' interessante notare che è stata anche studiata l'influenza dei carichi mobili, eseguendo prove di carico a diverse velocità di applicazione del carico.

La memoria 4/16 di SCHIFFMANN (U.S.A.) presenta sotto forma tabellare la soluzione matematica delle deformazioni in superficie e del valore della pressione e dello sforzo di taglio in profondità nel sistema a tre strati di BURMISTER. Lo sviluppo dei calcoli è stato eseguito mediante calcolatrici elettroniche.

Anche di calcolatrici elettroniche si è servito il JEUFFROY nella soluzione analitica da lui proposta

(*) La presente nota è stata redatta per incarico della Associazione Geotecnica Italiana, che l'Autore sentitamente ringrazia.

(**) Dott. Ing. Giorgio MORALDI, Capo del Laboratorio Geotecnico del Demanio Aeronautico - Ciampino, Assistente dell'Istituto di Costruzioni Stradali e Ferrovie dell'Università di Roma.

(1) Questo metodo è stato oggetto di un importante articolo dello stesso, apparso in seguito su una rivista francese [4].

del sistema a tre strati, comprendente la pavimentazione, la fondazione ed il sottofondo, ciascuno caratterizzato dal proprio modulo di elasticità E , E_1 , E_2 .

Il JEUFFROY peraltro presenta la soluzione del problema sotto forma di diagrammi, partendo dalla ipotesi di un comportamento elastico degli strati, ed assimilando la pavimentazione ad una lastra elastica (ipotesi di NAVIER).

Secondo l'autore il comportamento elastico sarebbe ammissibile allorché la sovrastruttura si trova a lavorare in condizioni di stabilità, giacché le deformazioni elastiche sarebbero preponderanti rispetto alle deformazioni plastiche.

Il metodo è certamente assai promettente, in quanto si applica al calcolo di sovrastrutture flessibili e rigide, ed ha avuto una conferma sperimentale di notevole importanza nei risultati delle prove di traffico accelerate eseguite in America dal W.A.S.H.O. (2).

Quel che appare ancora piuttosto arbitrario sono i valori dei moduli assunti dall'autore a caratterizzare i vari strati, per la cui determinazione occorrerà poter raccogliere una maggior copia di dati sperimentali.

b) *Metodi empirici*

Malgrado la tendenza suaccennata, non si può certo dire che il favore incontrato dai metodi di calcolo puramente empirici stia per tramontare: il metodo C.B.R. continua ancora ad essere il più largamente impiegato, sia negli Stati Uniti che altrove.

La memoria 4/18 presentata da TURNBULL e AHLVIN [6] cerca di dare una interpretazione analitica ai diagrammi C.B.R. di progetto; viene proposta una relazione in cui figura il carico, la pressione di gonfiaggio ed il C.B.R. del terreno, valida peraltro solo per valori di C.B.R. inferiori a 12%.

Sarà opportuno ricordare che analoga relazione è stata proposta in Europa da KERKHOVEN e DORMON [7] dei laboratori Schell di Amsterdam, formula che anzi non soggiace a questa limitazione.

Un seguito delle accese discussioni che erano sorte al precedente congresso di Zurigo fra i fautori del C.B.R. eseguito dopo saturazione, e coloro che preferivano operare con campioni alla umidità naturale, si è avuto anche in questo Congresso.

La memoria 4/20 dell'olandese VAN DER VEEN [8] infatti, riferisce su alcune prove eseguite in fase di progettazione e ad opera finita sull'aeroporto di Beek, e confronta i risultati ottenuti su campioni del sottofondo costipati in laboratorio e saturati a 4 giorni, con i C.B.R. eseguiti sul terreno in sito alla umidità naturale, giungendo alla conclusione che la progettazione eseguita con i C.B.R. saturi aveva condotto ad un sovradimensionamento delle strutture.

(2) Si tratta di una serie esauriente di prove di traffico fatte eseguire con diversi tipi di autocarri su diverse sovrastrutture stradali dall'Associazione dei tecnici stradali dell'America occidentale (W.A.S.H.O.) vedi [5].

Le sue conclusioni sono state, in sede di discussione, pesantemente criticate dall'americano ZEITLIN, il quale lo ha apertamente accusato di avere impiegato una tecnica sperimentale errata.

A conclusioni diverse giunge nella sua memoria 4/17 il giapponese TAKESHITA [9] il quale ha potuto constatare come, durante il periodo di disgelo primaverile, il terreno è talmente imbevuto di acqua, che i C.B.R. eseguiti su campioni indisturbati all'umidità naturale hanno fornito valori assai più bassi di quelli raggiunti con imbibizione artificiale.

Egli avrebbe altresì rilevato una notevole discordanza fra il valore del C.B.R. eseguito su campioni indisturbati ed il C.B.R. eseguito sul terreno in sito, che sono stati all'incirca 1,9 volte maggiori dei precedenti.

Gli interventi orali di DOSSANTOS (Mozambico) e VERHEYDEN (Congo Belga) hanno confermato che la progettazione in base ai C.B.R. saturi ha sempre dato completa soddisfazione in regioni a clima tropicale.

Un interessante criterio di progettazione che costituisce un compromesso fra le due tendenze è stato avanzato da NOUVAIS-FERREIRA dell'Angola: egli commisurerebbe l'opportunità di fare riferimento al C.B.R. saturo (mettendosi così dal lato della sicurezza) al costo delle riparazioni conseguenti ad un eventuale ammaloramento.

E' un criterio realistico di economia che viene anche prospettato dai russi nel loro metodo, e che merita di essere tenuto in considerazione soprattutto per la progettazione della viabilità secondaria.

Un collegamento fra il metodo C.B.R. di calcolo ed i metodi razionali, basati sulla determinazione del modulo di deformazione del sottofondo, è costituito dalla memoria 4/15 dei portoghesi NASCIMENTO e SIMOES [10]. Costoro, partendo dalla ipotesi che il rapporto deformazione/diametro è una funzione lineare della pressione applicata al terreno, hanno cercato di trovare una relazione fra il C.B.R. eseguito su campioni di terreno alla umidità naturale ed il modulo di deformazione, servendosi di prove di carico eseguite con piastra avente la stessa superficie del pistone C.B.R.

La correlazione è risultata piuttosto indeterminata in quanto, per terreni con indice di portanza elevato, si è trovato un rapporto fra il modulo E ed il C.B.R. compreso fra 10 e 30, mentre nel caso di terreni ad indice portante basso questo valore risulta compreso fra 10 e 20.

E' quindi necessario, come ha osservato giustamente l'inglese CAPPER, raccogliere ulteriori dati sperimentali al riguardo.

c) *Determinazione diretta della portanza delle sovrastrutture*

La determinazione della portanza dei sottofondi e delle sovrastrutture è stata oggetto di due memorie, una la 4/12 del canadese MCLEOD [11], l'altra la 4/14 dello scrivente [12].

La memoria 4/12 può considerarsi il completamento di altra memoria presentata dal MCLEOD al precedente Congresso di Zurigo, nella quale veniva-

no indicati i criteri di valutazione della portanza delle pavimentazioni di aeroporti canadesi mediante prove di carico con piastre.

La memoria attuale riveste un interesse più generale, in quanto tratta delle relazioni riscontrate fra le deformazioni totali, elastiche e plastiche dei sottofondi e delle sovrastrutture flessibili ricavate da prove a carichi ripetuti, con diversi diametri delle piastre di prova.

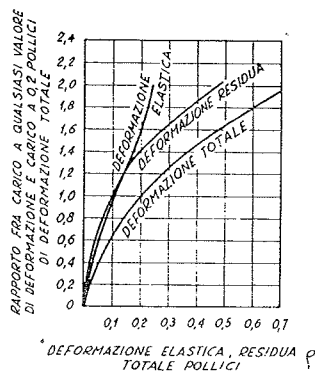


Fig. 2 - Relazione fra la deformazione totale elastica e residua per sottofondo argilloso.

Le principali conclusioni cui è giunto l'Autore sono le seguenti:

1° - E' stata verificata fino a 100 ripetizioni la linearità delle deformazioni totali e residue in funzione del numero delle ripetizioni.

2° - Coll'aumentare della deformazione totale aumenta la deformazione permanente residua a scapito della deformazione elastica (v. Fig. 2); i rapporti fra le varie deformazioni sono pressoché indipendenti dal diametro della piastra.

3° - Il rapporto fra deformazione elastica e deformazione totale è maggiore nei terreni coesivi che non nei terreni sabbiosi, rivelando una minore elasticità di questi ultimi rispetto ai primi; inoltre detti rapporti sono pressoché identici se ricavati da prove di carico eseguite sulla pavimentazione finita o sul sottofondo.

La memoria 4/14 di MORALDI contiene anch'essa alcune considerazioni tratte da prove di carico con piastre eseguite su diverse pavimentazioni di aeroporti italiani.

L'Autore osserva che la ben nota relazione fra le deformazioni totali ed il numero delle ripetizioni del carico si mantiene lineare fintanto che non viene superato un determinato carico, oltre il quale la linearità più non sussiste. Questo valore del carico (che per le pavimentazioni flessibili coincide con lo inizio di fenomeni di refluitamento nel terreno) può essere agevolmente individuato da un aumento di pendenza del diagramma dell'incremento delle frecce plastiche (secondo l'interpretazione data alle prove dal compianto Prof. MARESCA) e potrebbe essere assunto come carico limite di una sovrastruttura sia essa rigida che flessibile.

Nella memoria stessa vengono altresì fatte alcune considerazioni sulla possibilità di individuare le proprietà elastiche della pavimentazione mediante prove di carico eseguite con una sola piastra di pic-

colo diametro, e vengono proposte alcune modifiche da introdurre nel tracciamento della caratteristica complessiva di portanza di una pista (curve del PALMER e L.C.N.).

La possibilità di individuare con poche ripetizioni il carico limite è stata contestata dal belga REICHERT, il quale ha riferito verbalmente sul risultato di prove di carico ripetute sul terreno, eseguite a cadenza accelerata mediante pulsatore, e spinte fino ad un numero di $1,5 \times 10^6$ ripetizioni.

Tali risultati avrebbero messo in evidenza l'esistenza di un brusco cambiamento di pendenza della curva $z = f(n)$ delle deformazioni in funzione del numero delle ripetizioni, anche per valori molto bassi del carico.

Replicando, il MORALDI ha sostenuto che la curva presentata dal REICHERT conserva un andamento lineare dopo il ginocchio, la qual cosa sembrerebbe escludere trattarsi di fenomeni di instabilità progressiva portanti alla rottura.

Curve di deformazioni sul tipo di quelle del REICHERT sono state riportate dagli inglesi KING e PITT nella memoria 4/8 [13] eseguendo prove di carico ripetute in laboratorio mediante pulsatore su campioni di ridotte dimensioni (v. Fig. 3), ma l'andamento di queste curve per valori molto bassi della pressione non accusa il fenomeno anzidetto.

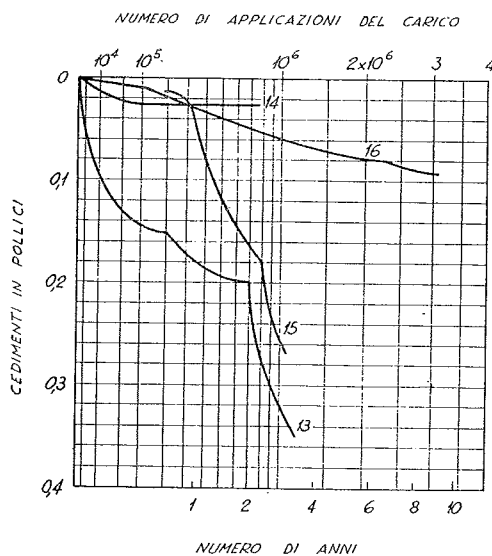


Fig. 3 - Diagramma dei cedimenti in funzione del numero delle applicazioni del carico per una argilla con sovrastante fondazione in materiale granulare; carico applicato 13 2960 - 14 2420 - 15 2600 - 16 2510 libbre per piede quadrato.

Si tratta di un argomento indubbiamente molto interessante in quanto potrebbe rivelare insospettati comportamenti dei terreni alla fatica.

2 - Umidità del terreno sotto le sovrastrutture

Il problema suscita molto interesse, almeno a giudicare dai numerosi interventi che si sono avuti al riguardo. Due memorie ne trattano dettagliatamente: una la 4/2 degli inglesi BLACK e CRONEY [14], la quale riferisce di alcune misure di umidità e temperatura eseguite in Gran Bretagna al Road

Research Laboratory sotto campioni sperimentali di pavimentazione in calcestruzzo, l'altra la 4/5 degli inglesi HATHERLEY e WOOD [15] che riferisce su analoghe misure eseguite sul sottofondo di una pavimentazione flessibile nell'Iraq.

La prima memoria si può dire che costituisca il seguito di altre memorie pubblicate dal CRONEY sullo stesso argomento [16] [17] e forma parte di un vasto programma di ricerche e studi intrapreso dal Laboratorio anzidetto.

I risultati ottenuti confermano quanto già noto in precedenza, e cioè che al di sotto delle pavimentazioni si stabilisce un tenore di umidità pressoché costante in tutte le stagioni dell'anno.

Tali risultati sembrerebbero essere validi però solo per le condizioni climatiche e per i terreni argillosi inglesi, in quanto sarebbero contraddetti non solo dalle conclusioni dell'altra memoria di HATHERLEY e WOOD sullo stesso argomento, ma anche da studi effettuati in Spagna dal SALAS e richiamati da questi in sede di intervento verbale.

Secondo questo sperimentatore nelle regioni a clima arido, con precipitazioni a regime molto variabile, l'acqua che penetra nel terreno dopo un violento acquazzone vi si diffonde come una nube, senza raggiungere la falda freatica, ma formando talora delle falde pensili temporanee, ed avvengono, per effetto delle forti escursioni termiche, trasferimenti di acqua nel sottosuolo sotto forma di vapore che non permettono l'instaurarsi di condizioni di regime.

Proseguendo nel suo intervento il SALAS ha voluto richiamare alcuni studi da lui fatti per porre in relazione il contenuto di acqua del terreno con i limiti di Atterberg ed il passante al setaccio n. 200; studi che sono stati oggetto di una comunicazione all'ultimo *Congresso Internazionale Stradale* di Istanbul nel 1955.

Oltre a quello di SALAS, sull'argomento vi sono stati un gran numero di brevi interventi da parte di CRONEY, RUSSAN, HATHERLEY, SHARMAN (Gran Bretagna), di JUMIKIS (U.S.A.) e dell'australiano AITCHISON: quest'ultimo conferma il giudizio di SALAS sulla inapplicabilità delle conclusioni inglesi ai climi semi aridi del suo paese.

3 - Gelività dei terreni

Studi particolari sull'argomento formano oggetto di una sola memoria; la 4/7 del tedesco KEIL [18] il quale, trattando della gelività dei materiali impiegati in fondazione, richiama l'attenzione sulla necessità di appurare la natura geologica delle rocce e di eseguire in laboratorio prove di gelività, onde evitare gli ammaloramenti verificatisi in molte autostrade tedesche per la degradazione conseguente al gelo di materiali ritenuti non gelivi.

Notizie interessanti sono però contenute in altre memorie, già esaminate.

Così nella memoria 4/6 dei russi, sono riportati dei diagrammi che forniscono le variazioni del modulo di deformabilità del terreno nelle varie stagioni dell'anno.

In primavera, in corrispondenza del periodo di di-

sgelo, si hanno riduzioni del modulo da 1 a 10 rispetto al valore dello stesso nella stagione estiva e da 1 a 200 rispetto al modulo del terreno gelato (v. Fig. 1).

Anche TAKESHITA nella sua memoria 4/17 riporta dei diagrammi sul valore del modulo di reazione del sottofondo (misurato con piastra di \varnothing 30 cm) in funzione della stagione che hanno un andamento simile ai precedenti ma con punte più ridotte, date le condizioni climatiche assai meno rigide.

In ambedue i casi è viva però la preoccupazione di progettare le strutture in base ai criteri di portanza più bassi, che si verificano all'epoca del disgelo primaverile.

4 - Costipamento di terreni

Le memorie che trattano di questo argomento sono tre: la memoria 4/9 dei giapponesi KUNO e MORGAMI [19] che hanno studiato l'assestamento del terreno per effetto del costipamento prodotto da un rullo compressore, la memoria 4/11 dell'inglese LEWIS [20] che tratta del costipamento ad urto, e la memoria 4/19 degli americani TURNBULL e FOSTER [21] che tratta del costipamento di pietriscate con rullo gommato pesante.

Lo studio dell'assestamento del terreno per effetto del costipamento prodotto da un rullo compressore è stato studiato dai Giapponesi basandosi in parte su considerazioni teoriche tratte dalla formula di consolidamento del TERZAGHI e dalla formula di FRÖLICH di distribuzione delle pressioni in profondità, in parte su considerazioni sperimentali tratte da prove edometriche e da prove eseguite con un modello ridotto di rullo compressore in laboratorio.

L'effetto del numero di passaggi viene valutato con una formula attribuita al SASAKI, per cui il cedimento sarebbe in relazione lineare con il numero dei passaggi N .

Si tratta in complesso di una memoria che può essere foriera di interessanti sviluppi tendenti ad introdurre delle formule razionali in un campo in cui sinora si è sempre ricorsi al più puro empirismo.

La memoria di LEWIS esamina un caso molto particolare di costipamento, cioè quello eseguito per percussione mediante la caduta di un maglio.

Ne derivano delle considerazioni utili per i costruttori di tali tipi di macchine, ma che non rivestono un interesse generale in quanto questi costipatori non hanno trovato un impiego molto esteso.

Di interesse maggiore è la memoria di TURNBULL e FOSTER che tratta di un problema specifico: il costipamento di strati di fondazioni in pietrisco mediante rullo gommato da 45 ton, onde ridurre al minimo l'assestamento di tali tipi di strutture sotto il traffico di aerei pesanti con elevate pressioni di gonfiaggio. Lo studio venne effettuato su un campione di fondazione di spessore uniforme di 30 cm suddiviso in tratti che avevano subito una umidificazione progressiva ed un diverso numero di passaggi del mezzo costipante.

Questi tratti, a costipamento ultimato, vennero assoggettati, oltre che a controlli di densità, ad un

traffico artificiale simulante il carico e la pressione di gonfiaggio delle ruote dell'aereo.

Le conclusioni interessanti che se ne possono trarre riguardano soprattutto la forma delle caratteristiche di costipamento ottenute in laboratorio e in sito, forma che mette in evidenza l'esistenza di due massimi: uno in corrispondenza del materiale asciutto l'altro del materiale saturo.

Questa forma sarebbe secondo gli autori propria dei materiali granulari incoerenti, e condurrebbe come conseguenza alla necessità di rullare il pietrisco allo stato molto bagnato.

E' interessante notare come gli americani, a differenza della tecnica stradale da noi adottata, ricorrono a pietriscate aventi granulometrie assortite, costipate con rullo gommato.

Come è stato osservato dal relatore generale, nessuna memoria tratta dei mezzi costipanti a vibrazione, e questo appare strano in quanto l'introduzione dei rulli vibranti in cantiere ha costituito il maggior progresso realizzato recentemente nel campo della costipazione.

Se ne è parlato però in sede di discussione, dove il LEWIS, (Gran Bretagna), ha riferito su alcuni esperimenti comparativi fra rulli vibranti e rulli gommati in corso al *Road Research Laboratory* su campioni al vero.

La conclusione che ne ha tratto è che per terreni coesivi i mezzi vibranti non sono idonei, se si eccettua un solo tipo di rullo trainato, del peso di 3,5 ton, che saltava sulla superficie del terreno producendo un assestamento per urto.

Per terreni incoerenti i mezzi vibranti sono idonei, ma in generale la loro azione costipante non supera lo spessore di 10—15 cm, bisogna quindi prendere con molta cautela la conclamata capacità di costipare strati molto profondi di terreno: al paragone i rulli gommati pesanti sarebbero preferibili per lavori in terra di grande estensione.

Questa affermazione potendo sembrare sorprendente, molto opportunamente è intervenuto il McLEAN, Capo della *Sezione Terreni* del Laboratorio alle cui dipendenze il LEWIS lavora, a chiarire che quanto esposto si riferiva a terreni incoerenti, mentre per costipare strati di fondazione in pietrisco o in ghiaia i mezzi vibranti pesanti sono indubbiamente più efficaci dei mezzi gommati.

Altri tecnici sono quindi intervenuti nella discussione per riferire sulle loro personali esperienze in proposito: l'americano BROWN del *Bureau of Yards and Docks* della Marina Americana ha affermato esattamente il contrario del LEWIS, sostenendo la maggior efficacia dimostrata dai rulli vibranti rispetto ai gommati per costipare terreni sabbiosi. Con costipatore a slitta del peso di 6,5 ton si sarebbero ottenuti valori pari al 95% della densità massima A.A.S.H.O. Mod. per profondità fino a m 0,60 e pari al 90% per profondità fino a 1,50.

Per spiegare risultati talmente contrastanti non resta che attribuirli alla influenza che sul costipamento di un determinato terreno deve indubbiamente avere non solo la frequenza e il peso del mezzo costipante, ma anche l'ampiezza della vibrazione trasmessa, elementi tutti sui quali conosciamo ancora ben poco.

Un'interessante informazione riguardante la notevole incidenza che può avere un costipamento adeguato sulla economia della sovrastruttura per la costruzione di strade economiche in zone coloniali, è stata apportata dal belga VERHEYDEN.

Egli ha riferito che nel Congo Belga, in zone con terreno costituito da sabbia limosa, è stato possibile stendere direttamente un manto in conglomerato bituminoso dello spessore di 4 cm su un sottofondo costipato con rulli gommati pesanti ad una densità pari al 100% della massima A.A.S.H.O. Mod. Naturalmente, condizione essenziale per la riuscita, è che la falda sia profonda, e che l'acqua venga rapidamente allontanata dal corpo stradale.

5 - Stabilizzazione dei terreni

Della stabilizzazione dei terreni trattano quattro memorie: La più importante è senza dubbio la 4/10 dell'americano LAMBE [22] che è un quadro assai interessante dello stato attuale degli studi sulla stabilizzazione mediante aggiunta di prodotti chimici nei laboratori del *Massachusetts Institute of Technology*.

Poche tracce di questi prodotti (aggiunti ai terreni in percentuali dell'ordine dell'1‰) sono sufficienti a diminuirne la permeabilità, a ridurne le caratteristiche di rigonfiamento per effetto del gelo, ad aumentarne la portanza nelle peggiori condizioni di saturazione.

E' stato anche studiato con successo l'aggiunta di prodotti del genere alle comuni stabilizzazioni con cemento e bitume.

Trattasi di una tecnica ancora in evoluzione ed oggetto di studio nel laboratorio anzidetto.

La memoria 4/1 degli austriaci AICHORN e STEINBRENNER [23] tratta invece di un problema specifico, cioè della stabilizzazione di graniti decomposti, mediante cemento e catrame.

La maggior preoccupazione essendo quella del gelo, vennero eseguite prove di laboratorio onde determinare la frantumabilità del materiale (la sua attitudine cioè, una volta in sito, di fabbricare dei fini per azione del traffico e del gelo) mediante prove ripetute di compressione e di congelamento, misurando la variazione della granulometria prima e dopo il trattamento.

Nella stabilizzazione a cemento il dosaggio del quantitativo di cemento è stato eseguito in base a prove di compressione ad espansione laterale libera dopo 12 cicli di gelo e disgelo, limitando la resistenza richiesta a 17 kg/cm², giusta la procedura seguita dal *Road Research Laboratory*.

Per la stabilizzazione a catrame le prove sono consistite nel confrontare il ringonfiamento di provini con diverse percentuali di legante, sottoposti a cicli ripetuti di gelo e disgelo con quello di provini senza legante. La percentuale sufficiente si è dimostrata essere del 4%.

I risultati delle ricerche di laboratorio hanno condotto alla costruzione di un tratto di strada sperimentale.

Di un particolare tipo di stabilizzazione granulometrica (se stabilizzazione può chiamarsi) tratta la

memoria 4/13 dell'indiano MEHRA [14] per la costruzione di strade secondarie. Si tratta di incorporare nello strato superficiale di pavimentazione in terra stabilizzata granulometricamente, una forte percentuale (40%) di detriti di rocce teneri. Si migliora la resistenza al taglio dello strato e si evita la frantumazione della roccia sotto traffico annegandola in un supporto plastico.

La memoria 4/4 degli inglesi GRIMER e ROSS [25] tratta infine della influenza del grado di polverizzazione delle argille sulla stabilizzazione di queste con cemento. E' un argomento che riveste per noi un interesse molto limitato, dati gli elevati quantitativi di cemento occorrenti.

In sede di interventi orali hanno parlato sull'argomento delle stabilizzazioni, l'austriaco AICHORN, che ha fornito ulteriori dettagli sui risultati delle stabilizzazioni oggetto della sua memoria, l'ungherese KEZDI che ha accennato ad un suo diagramma elaborato per calcolare lo spessore delle fondazioni in terra cemento, diagramma basato sulle relazioni di BURMISTER, ed infine il portoghese DOSSANTOS. Questi riferisce sui risultati ottenuti al Mozambico con la stabilizzazione granulometrica e con la stabilizzazione a cemento impiegando quantitativi di cemento di appena il 4%.

Accenna anche che tutta la rete stradale viene tenuta sotto costante osservazione, onde determinare le cause degli ammaloramenti che si verificano.

6 - Fondazioni stradali - Sovrastrutture

Sotto questo capitolo si possono raggruppare due memorie la 4/3, e la 4/8 che è l'unica memoria che tratta un argomento di natura ferroviaria.

Nella 4/3 gli svizzeri EGOLF, GERMANN, e SHAAD [2] descrivono un nuovo tipo di fondazione costituita da lastre in calcestruzzo delle dimensioni di m 1,00×1,00 o 1,00×2,00 dello spessore di m 0,10, costruite fuori opera, che vengono disposte in due strati a giunti sfalsati, con l'interposizione di un sottile strato di malta bituminosa (v. Fig. 4).

Le lastre possono poggiare direttamente sul sottofondo tramite uno strato agguagliatore di sabbia, ed al di sopra sono ricoperte da una pavimentazione in conglomerato bituminoso in 3 strati dello spessore complessivo di cm 8. Con questo tipo di sovrastruttura è stato costruito un tratto di strada sperimentale.

La memoria 4/8 degli inglesi KING e PITT [13] studia la determinazione dello spessore da dare alla fondazione in materiale granulare da interporre fra il piano di appoggio delle traversine ferroviarie ed un sottofondo argilloso.

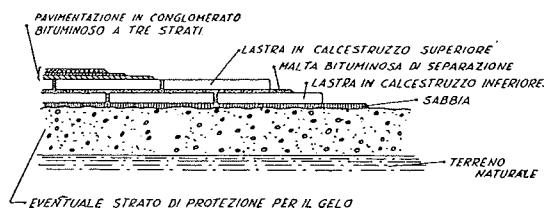


Fig. 4

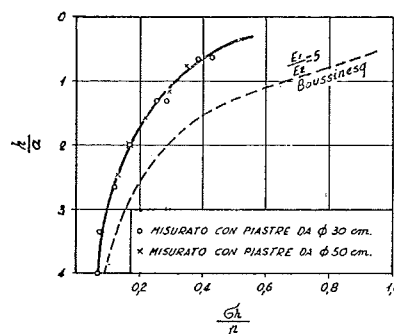


Fig. 5 - Relazione fra la pressione σ_n e la pressione p in superficie, in funzione dello spessore h dello strato di fondazione e del raggio a della piastra.

Il problema è stato affrontato in laboratorio mediante uno speciale apparecchio detto « pulsatore » che consente di applicare sulla superficie di un provino di limitate dimensioni un gran numero di ripetizioni di carico, leggendo le deformazioni subite dal provino.

Riportando in un diagramma i cedimenti del provino in funzione del numero delle applicazioni del carico per diversi valori di quest'ultimo (v. Fig. 3) si riesce ad individuare il carico che corrisponde a condizioni di stabilità.

Assumendo quindi che lo sforzo di taglio indotto nel provino sia eguale alla metà della pressione normale applicata, si può risalire, mediante formule teoriche (BOUSSINESQ) allo spessore di fondazione necessario affinché sulla superficie del terreno questo sforzo di taglio non venga superato.

Interessanti notizie sul comportamento di strati di fondazione sotto carico sono contenute anche nella memoria 4/17 del giapponese TAKESHITA già citata.

Disponendo una cellula di pressione poco al di sotto della superficie del sottofondo l'Autore ha potuto misurare l'attitudine a distribuire i carichi di strati di fondazione di diverso spessore mediante prove di carico con piastre da $\phi 30$ e $\phi 50$ cm (v. Fig. 5).

Paragonando questi risultati con quelli che si sarebbero avuti applicando i metodi teorici di FOX e BOUSSINESQ, ne risulta una notevole discordanza, per cui conclude sulla inapplicabilità della teoria elastica a strati di fondazione in granulare misto.

In particolare dalle indagini sarebbe risultato una notevole attitudine a distribuire i carichi fintanto che lo spessore della fondazione si mantiene inferiore al raggio della piastra, al di sopra di questo valore l'effetto di ripartizione diventa relativamente esiguo con l'aumentare dello spessore della fondazione.

7 - Conclusioni

Da esperienze ed opinioni così diverse e talvolta addirittura contrastanti si possono nondimeno trarre le seguenti conclusioni:

1° - Nei metodi di calcolo delle sovrastrutture, si nota un indubbio orientamento verso metodi meno empirici e più razionali, metodi peraltro che, presupponendo sempre un comportamento elastico

della sovrastruttura e del terreno, vanno applicati con una certa cautela allorché le deformazioni plastiche sono di entità non trascurabile rispetto alle deformazioni elastiche.

Nondimeno i metodi empirici, e particolarmente il metodo C.B.R., continuano a conservare la loro popolarità, non fosse altro, ha osservato il MACLEAN, fintanto che altri metodi non abbiano accumulato sufficienti conferme sperimentali.

Per quanto riguarda il contrasto esistente fra i fautori del C.B.R. saturo e non, le condizioni climatiche sembrano giustificare le rispettive posizioni. mentre al precedente Congresso di Zurigo si era avuto l'impressione che si trattasse di prese di posizioni individuali.

Molto utile per indirizzare le ricerche sui metodi di calcolo più appropriati riesce lo studio di tratti di strade sperimentali, vi è da augurarsi perciò, come ha detto il tedesco EHRLLENBACH, accennando a tronchi di strade sperimentali attualmente allo studio in Germania, che questi si moltiplichino e che al tempo stesso i risultati conseguiti nei vari Paesi vengano esaminati e posti in relazione fra loro.

2° - L'adozione di mezzi vibranti ha segnato indubbiamente un grande progresso nelle macchine impiegate per il costipamento.

Mentre però la loro superiorità sugli altri mezzi per costipare strati di fondazione in materiali granulari sembra oramai definitivamente accertata, molti dubbi sussistono ancora sul loro rendimento per il costipamento di terreni e sulla profondità a cui la loro azione sarebbe efficace.

Poco o niente infatti ancora conosciamo sulla migliore frequenza, ampiezza di vibrazione e peso da adottare.

3° - Nel campo delle stabilizzazioni convenzionali non vi è nulla di nuovo da segnalare.

Molto promettenti si annunciano gli studi sull'impiego di particolari prodotti chimici, che, in quantità assai esigue, migliorerebbero notevolmente le proprietà dei terreni.

Bibliografia

- [1] G. MORALDI - *Rassegna delle relazioni e delle discussioni tenute al III Congresso Internazionale di Geotecnica* - "Geotecnica" anno 1955 - n. 4.
- [2] IVANOV, BIRULYA, BABKOV, PUZAKOV - *Flexible Pavement Design* - Atti del Congresso - Vol. II - pag. 120.
- [3] R. L. SCHIFFMAN - *The Numerical Solution for Stresses and Displacements in a Three - layer Soil Sistem* - Atti del Congresso - Vol. II - pag. 169.
- [4] G. JEUFFROY - *Essai d'explication méthodique des experiences du W.A.S.H.O.* - Revue Générale des Routes - Sett. 1957, pag. 51.
- [5] R. DAVID - *La route d'essais du W.A.S.H.O.* - Revue Générale des Routes n. 293 - Giugno 1956.
- [6] TURNBULL e AHLVIN - *Mathematical Expression of the C.B.R.* - Atti del Congresso - Vol. II - pag. 178.
- [7] KERKHOVEN e DORMON - *Some Considerations on the California Bearing Ratio Method for the Design of Flexible Pavements* - Opuscolo edito dalla Shell.
- [8] VAN DER VEEN - *Loading Tests on the Airfield at Beek* - Atti del Congresso - Vol. II - pag. 186.
- [9] H. TAKESHITA - *The Stability of Gravel Roads in Volcanic Ash-soil Regions* - Atti del Congresso - Vol. II - pag. 174.
- [10] NASCIMENTO e SIMOES - *Relation between C.B.R. and Modulus of Strenght* - Atti del Congresso - Vol. II - pag. 166.
- [11] N. W. MCLEOD - *Relationships between Deflection, Settlement, and Elastic Deformation for Subgrade and Flexible Pavements, Provided by plate Bearing Tests at Canadian Airports* - Atti del Congresso - Vol. II - pag. 151.
- [12] G. MORALDI - *Détermination de la force portante des pistes* - Atti del Congresso - Vol. II - pag. 161.
- [13] KING e PITT - *Tests to Determine the Behaviour of Rail-track Formations on Various Soil Subgrades with Particular Reference to Clays* - Atti del Congresso - Vol. II - pag. 128.
- [14] BLACK e CRONEY - *Pore Water Pressure and Moisture Content Studies under Experimental Pavements* - Atti del Congresso - Vol. II - pag. 94.
- [15] HATHERLEY e WOOD - *Seasonal Variations in Subgrade Soil Moisture Content and Temperature with Depth in Baghdad, Iraq* - Atti del Congresso - Vol. II - pag. 114.
- [16] CRONEY e COLEMAN - *Soil moisture suction properties and their bearing on the moisture distribution in soil* - Proceedings IIIrd International Conference on Soil Mechanics - Vol. I pag. 13.
- [17] CRONEY, COLEMAN e BRIDGE - *The suction of moisture held in soil and other porous materials* - Road Research Tecnical Paper - n. 24 - H.M.S.O.
- [18] K. F. KEIL - *Classification and Importance of Frost susceptible Rocks in Road Construction* - Atti del Congresso - Vol. II - pag. 126.
- [19] KUNO e MOGAMI - *A Method of Estimating Settlement by Roller Compaction* - Atti del Congresso - Vol. II - pag. 134.
- [20] W. A. LEWIS - *A Study of Some of the Factors Likely to Affect the Performance of Impact Compactors on soil* - Atti del Congresso - Vol. II - pag. 145.
- [21] TURNBULL e FOSTER - *Compaction of a Graded Crushed-stone Base Course* - Atti del Congresso - Vol. II - pag. 181.
- [22] T. W. LAMBE - *Soil Stabilization Research at the Massachusetts Institute of Tecnology* - Atti del Congresso - Vol. II - pag. 139.
- [23] AICHORN e STEINBRENNER - *Stabilization of Desintegrated Granite for Base Courses of Highways Exposed to severe Frost Conditions* - Atti del Congresso - Vol. II - pag. 89.
- [24] S. R. MEHRA - *Cheap All-weather Roads from Soil and Soft Aggregates* - Atti del Congresso - Vol. II - pag. 158.
- [25] GRIMER e ROSS - *The Effect of Pulverization on the Quality of Clay Cement* - Atti del Congresso - Vol. II - pag. 109.
- [26] EGOLF, GERMANN e SHAAD - *The Behaviour of Pavements in Relation to the Base and Subsoil of Roads* - Atti del Congresso - Vol. II - pag. 104.

SOMMAIRE: On examine les communications, le rapport général et les discussions présentées au Quatrième Congrès International de Mécanique des Sols et des Travaux de Fondations, Londres 1957, dans la Section 4 (Routes, Pistes d'Envol et Voies Ferrées).

SUMMARY: The Author reviews the papers, the general report and the discussions, presented at the Fourth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, London 1957, in the Division 4 (Roads, Runways and Rail-tracks).