

ASSOCIAZIONE GEOTECNICA ITALIANA

Rassegna delle relazioni e delle discussioni tenute al III Congresso Internazionale di Geotecnica

PROBLEMI RIGUARDANTI LE SOVRASTRUTTURE RIGIDE E FLESSIBILI DI STRADE E PISTE PER AEROPORTI

GIORGIO MORALDI (*)

L'impressione che si ricava non solo dalla lettura delle 8 memorie presentate alla 6ª Sessione sull'argomento, ma anche dalle altre memorie e da tutti i contributi pubblicati in sede di Congresso e fuori, è che nei 5 anni intercorsi fra questo Congresso ed il precedente non vi sia stato in questo campo alcun decisivo apporto che sia valso a sanare le divergenze di opinioni e di risultati che ancora si notano fra gli sperimentatori.

Ci troviamo di fronte, come è facile constatare scorrendo le memorie, a risultati di ricerche pregevoli in sé e che costituiscono un indubbio contributo, ma manca il necessario processo di sintesi che permetta di fare il punto su un determinato argomento.

Questo stato di cose, avvertito e denunciato dal Relatore Generale Prof. BUCHANAN, è stato da lui attribuito a due motivi: il rapidissimo evolversi della circolazione, con la conseguente pressante richiesta di nuove strade e di nuove piste per carichi e traffici sempre maggiori, che non ha consentito di soffermarsi a sufficienza sugli aspetti teorici del problema; e la mancanza di adatti strumenti di investigazione che permettano di sviscerare i fenomeni che si verificano nell'interno delle sovrastrutture e del sottofondo.

1) Metodi di calcolo, portanza del terreno

Il dimensionamento della sovrastruttura e la determinazione delle qualità portanti del terreno, è certo il campo in cui le accennate divergenze e la mancanza di sintesi più si fanno sentire, creando un notevole senso di disagio fra i progettisti anche per i riflessi economici che comporta. Queste divergenze di opinioni riguardano sia le sovrastrutture flessibili che quelle rigide.

(*) Cap. Dott. Ing. Giorgio MORALDI Capo Laboratorio Geotecnico 8° Reparto Lavori - Aeronautica Militare.

Sovrastrutture flessibili

Per il calcolo di queste sovrastrutture il metodo più adoperato è ancora il C.B.R., sia in campo stradale che aeroportuale: lo riconosce anche il *Peltier* nella sua conferenza tenuta a Losanna in sede di chiusura del Congresso [1] sebbene muova serie critiche e parli addirittura « dell'illusione del C.B.R. ».

Tali critiche riguardano l'impostazione del metodo (che mancherebbe di basi teoriche e non troverebbe corrispondenza nel modo di deformarsi del terreno sotto carico) e la notevole dispersione di risultati che comporta; l'autore cita in proposito una serie di 21 prove eseguite su una sabbia argillosa che avrebbero dato risultati oscillanti fra 10 e 30%, cioè una incertezza nei risultati da 1 a 3.

Per tali motivi ritiene preferibile proporre l'impiego di metodi di calcolo sul tipo di quello degli « indici di gruppo » dell'« Highway Research Board » [2] basati sulle caratteristiche fisiche dei terreni (limiti di Atterberg ed analisi granulometrica) quantunque avverte che tale metodo debba subire dei ritocchi per le differenti condizioni di terreno e climatiche esistenti in America ed in Francia.

Il Mc LEOD invece, nella sua memoria 6/6 [3] descrive il procedimento di calcolo adottato dal Dipartimento canadese dei Trasporti, il quale valuta la portanza del terreno mediante una prova di carico ripetuta eseguita con piastra di 76 cm di diametro dopo 10 ripetizioni in corrispondenza di un cedimento totale di 12,5 mm per le piste di involo, e di 9 mm per le piste di rullaggio. Stabilita in tal modo la portanza del sottofondo, lo spessore della sovrastruttura viene dedotta da appositi diagrammi sperimentali basati sul comportamento delle piste aeroportuali canadesi finora costruite.

Il Mc LEOD riferisce inoltre in sede di discussione [4] come il suo metodo concordi sufficientemente (almeno per quanto riguarda le esperienze canadesi) con

gli spessori calcolati in base al C.B.R. in sito del terreno, ed attribuisce la notevole differenza di spessore riscontrata nei confronti dei diagrammi del Genio Militare degli Stati Uniti alla « ostinazione di quest'ultimo a voler progettare in base ai C.B.R. dedotti

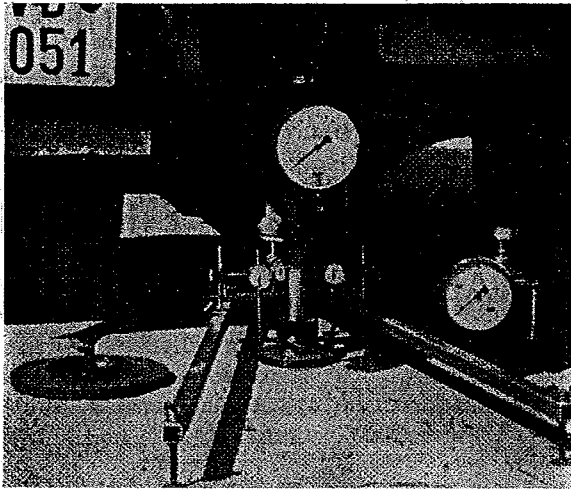


Fig. 1

su campioni che hanno subito una preventiva saturazione in acqua per 4 giorni».

Anche la memoria 6/1 di BRZESOWSKY e VAN DER VEEN, (5) i quali riferiscono sui risultati di prove di carico eseguite sulle piste dell'aeroporto di Schiphol (Olanda), contiene alcuni apprezzamenti sul metodo C.B.R. e su quello canadese: precisamente che, se le piste provate fossero state dimensionate in base al C.B.R. in sito (ed a maggior ragione in base al C.B.R. saturo), si sarebbero ottenuti spessori maggiori di quelli effettivamente dimostratisi necessari, mentre il metodo del Mc LEOD avrebbe dato spessori troppo scarsi.

Risultati confacenti all'effettivo comportamento delle pavimentazioni sotto traffico sono stati riscontrati effettuando le prove di carico, sia per piste d'involo che di circolazione a 10 ripetizioni del carico in corrispondenza di un cedimento di 5 mm dopo dedotto il cedimento plastico iniziale per le prime seguendo in ciò la procedura proposta dall'Highway Research Board [6] e di un cedimento totale di 5 mm (compreso quindi il cedimento iniziale) per le seconde.

Chiamati direttamente in causa dal Mc LEOD, in sede di discussione, [7] FORRESTER e TURNBULL del Waterways Experiment Station hanno validamente difeso il metodo C.B.R. e i diagrammi di progetto del Genio americano, sostenendo anzitutto che il metodo stesso prevede di fare a meno della saturazione allorché ci si trovi in condizioni idrauliche tali da non far ritenere probabile che essa possa avvenire dopo la costruzione della pista, e che la contraddizione fra l'esperienza canadese ed europea da un lato e quella statunitense dall'altro, può trovare una spiegazione nella molto maggiore intensità di traffico cui sono sottoposte le piste negli Stati Uniti.

A confermare la convenienza di imbibire i campioni è intervenuto nella discussione il MITCHELL [8], il quale ha riferito su alcuni ammaloramenti verificatisi in Ro-

desia con misti di fondazione che, sottoposti ad una imbibizione di 4 giorni, avrebbero dato un C.B.R. del 25%, mentre insistendo nella saturazione il C.B.R. sarebbe sceso al 5%, in accordo con i risultati sperimentali, e consiglia quindi di operare con stampi forati anche lateralmente onde procedere ad una saturazione più completa.

In simile divergenza di opinioni una messa a punto veramente opportuna è contenuta nella memoria 6/5 degli Inglesi Mc LEAN ed ARMSTRONG del Road Research Laboratory [9]: il nocciolo della questione, essi dicono, sta nel poter prevedere le condizioni di regime del terreno al di sotto della strada o della pista finita e nel progettare in base a queste previsioni, come meglio verrà accennato in seguito.

Sulla valutazione della capacità portante di piste flessibili in relazione alle caratteristiche degli aerei, ha trattato il DEL'HORTER nella memoria 6/3 [10].

Partendo dall'ipotesi che la sovrastruttura sia atta a sopportare i carichi senza deteriorarsi, e che quindi la portanza della pista dipenda dalla portanza del sottofondo, l'autore determina per ogni aereo il carico su ruota singola equivalente al suo carico complessivo, e lo stato di sollecitazione indotto sulla superficie del terreno da questo carico in funzione dello spessore della sovrastruttura.

Il carico ammissibile sul sottofondo viene determinato dal C.B.R. di esso misurato in sito alla umidità naturale.

Un apposito diagramma, elaborato dall'autore basandosi sulla teoria del BOUSSINESQ e su una relazione fra il C.B.R., il carico, la pressione di gonfiaggio e lo spessore della pavimentazione, permette di ricavare il carico su ruota singola ammissibile in base alla pressione di gonfiaggio, allo spessore della sovrastruttura ed all'indice portante del sottofondo.

Un apparecchio che riunisce in sé la possibilità di effettuare prove di C.B.R. in sito e prove di carico con piastre, e quindi di dimensionare le sovrastrutture stradali secondo questi due metodi e di controllare al tempo stesso la corretta lavorazione del sottofondo e degli strati di fondazione, è stato descritto dal RUCKLI in una sua conferenza [11] ed è raffigurato nella figura 1.

L'apparecchio e la procedura di prova relativa sono stati oggetto di Norma da parte dell'Unione svizzera dei Tecnici stradali [12] costituendo uno dei primi tentativi del genere.

Il dispositivo consta di un martinetto e di un pistone per prove di C.B.R. cui possono essere applicate due piastre da 16 e da 30 cm di diametro, il tutto adattabile alla parte posteriore di un autocarro.

Le due prove si integrano a vicenda: su sottofondi costituiti da elementi di dimensione non superiore a 15 mm si esegue il C.B.R. in sito secondo la procedura standard americana, sui terreni granulari e sugli strati costituenti la sovrastruttura si eseguono le prove di carico con piastra da $\varnothing 16$; la piastra da $\varnothing 30$ viene impiegata unicamente per eseguire la prova di carico sulla sovrastruttura finita. Mentre la prova di C.B.R. permette di effettuare il dimensionamento della sovrastruttura con la procedura ben nota, le prove di carico servono a ricavare il modulo di compressibilità « *Me* » del terreno mediante la relazione:

$$M_e = D \frac{\Delta p}{\Delta s}$$

dove:

D = diametro della piastra.

Δp = incremento di pressione media applicata (compresa di solito fra 0,5 ed 1,5 kg/cm²).

Δs = incremento dei cedimenti corrispondenti a Δp .

Tale modulo viene considerato come un coefficiente di qualità del terreno e degli strati della sovrastruttura e confrontato con alcuni valori standard prescritti dalle Norme e precisamente:

sottofondo cattivo	$M_e <$	150 kg/cm ² ;
» buono	$150 < M_e <$	400 kg/cm ² ;
strati di fondazione	$400 < M_e <$	1000 kg/cm ² ;
strati della pavimentazione	$M_e >$	1000 kg/cm ² .

Il dimensionamento della sovrastruttura procede per tentativi migliorando il sottofondo e sovrapponendo spessori di fondazione e di pavimentazione tali da raggiungere i valori minimi prescritti.

Sovrastrutture rigide.

Sulla determinazione delle qualità portanti del terreno per il progetto di sovrastrutture rigide ha parlato il PELTIER nella conferenza già citata [1]. Richiamandosi ad un suo articolo recentemente apparso [13] il conferenziere ha criticato la schematizzazione del comportamento del terreno di WESTERGAARD, sostenendo che essa conduce a spessori di calcestruzzo insufficienti, proponendo di sostituire loro le formule di BURMISTER secondo la schematizzazione del semispazio elastico indefinito del BOUSSINESQ.

Egli ha quindi esaminato il comportamento del terreno sotto carico ed ha posto in evidenza la funzione importantissima devoluta ad un adeguato strato di fondazione in materiale granulare disposto sotto la lastra, funzione che si esplica non in un aumento di portanza (che è quasi del tutto trascurabile) ma in un efficace sostegno della lastra presso i bordi, nell'evitare il fenomeno del *pumping*, in un'azione di contenimento dei movimenti propri del terreno ed infine in un effetto di schermo del sottofondo dalle azioni climatiche (umidità e gelo).

A conclusioni diverse arriva il VAN DER VEEN nella memoria 6-8 [14], in cui riporta i risultati di prove di carico eseguite su lastre di calcestruzzo precompresso dell'aeroporto di Schiphol allo scopo di confrontare le deformazioni e le tensioni effettive con quelle teoriche dedotte dalle teorie di WESTERGAARD e BOUSSINESQ.

L'autore giunge alla conclusione che ambedue le teorie conducono a risultati sufficientemente concordanti con l'esperienza purchè venga scelta opportunamente la piastra di carico e la deformazione in corrispondenza alla quale si determina il modulo di elasticità e di reazione del terreno, talchè operare una scelta al momento attuale non è possibile.

Contrari all'applicazione di metodi di calcolo teorici e fautori di metodi empirici basati sullo studio di

campioni di sovrastruttura di spessore diverso su diversi sottofondi si dimostrano invece MC LEAN e ARMSTRONG del Road Research Laboratory nella memoria 6/4 già citata [9], i quali avanzano dubbi sulla opportunità di strati di fondazione di notevole spessore, in quanto talune di queste fondazioni, assestandosi sotto l'azione del traffico, avrebbero favorito anzichè impedito i dissesti della pavimentazione in calcestruzzo sovrastante.

2) Condizioni di regime del terreno sotto le sovrastrutture

Come si è già visto, strettamente legato alla portanza del sottofondo e quindi al calcolo degli spessori, sono le condizioni di regime che si vengono a stabilire nel terreno al di sotto della sovrastruttura dopo la costruzione dell'opera, condizioni che se fossero prevedibili al momento del progetto toglierebbero alla progettazione gran parte della sua incertezza.

Oltre a richiamare l'attenzione su questo importante argomento MCLEAN e ARMSTRONG nella memoria già citata [9] e CRONEY e COLEMAN nella memoria 1/3 [15] riferiscono sui risultati cui sarebbe giunto al riguardo il Road Research Laboratory. Per l'umidità di regime ricerche sistematiche avrebbero dimostrato che essa dipende dalle proprietà capillari del terreno, dalla profondità della falda freatica, e, per i terreni compressibili, dal peso della sovrastruttura.

A conservare inalterata l'umidità propria del terreno durante le fasi della lavorazione viene consigliato di spandere uno strato di bitume appena terminate le sagomature del sottofondo.

CRONEY e COLEMAN riferiscono in particolare sulla relazione intercorrente fra la tensione capillare di un terreno ed il suo contenuto di acqua, ponendo in relazione la tensione capillare con il sovraccarico e la pressione interstiziale.

La memoria 6/4 di LOXTON, MC NICHOLL e WILLIAMS [16] riferisce i dati di misure di densità e umidità rilevate al disotto di piste di numerosi aeroporti australiani in diverse stagioni dell'anno.

Le conclusioni cui giungono gli autori nei riguardi dei sottofondi argillosi sono le seguenti:

- La densità non sembra subire un aumento apprezzabile per effetto del traffico.
- L'umidità di regime non sembra notevolmente influenzata dalla stagione e dall'annata.

c) Per sottofondi aventi un indice di plasticità > 9 e per le condizioni del clima australiano il rapporto fra l'umidità probabile di regime ed il limite di plasticità del terreno può essere espresso dalle seguenti relazioni:

$$\frac{U_r}{L_P} = 0,78 + \frac{LL}{150} - \frac{T}{200} + \frac{R}{250}$$

allorquando il terreno è ben drenato e

$$\frac{U_r}{L_P} = 1,20 = \frac{LL}{150} - \frac{T}{200}$$

in condizioni di cattivo drenaggio, dove:

U_r = umidità probabile di regime.

LP = limite di plasticità del sottofondo.

LL = limite di fluidità del sottofondo.

T = media delle massime temperature giornaliere in °F.

R = precipitazione annua in pollici.

La memoria 1/5 di J. FELT [17] richiama l'attenzione sulla influenza della vegetazione nel ridurre l'umidità del terreno a causa dell'assorbimento di acqua da parte delle radici, e l'effetto deleterio che tale assorbimento può produrre nell'assestamento delle sovrastrutture stradali. Ad analoghe conclusioni è giunto il WARD nella memoria 4/31 [18] quantunque il suo studio si riferisca prevalentemente ai danni causati a piccoli fabbricati.

Sul valore della densità di regime del terreno in argini in terra hanno riferito DHAWAN, BAHRI, ed altri

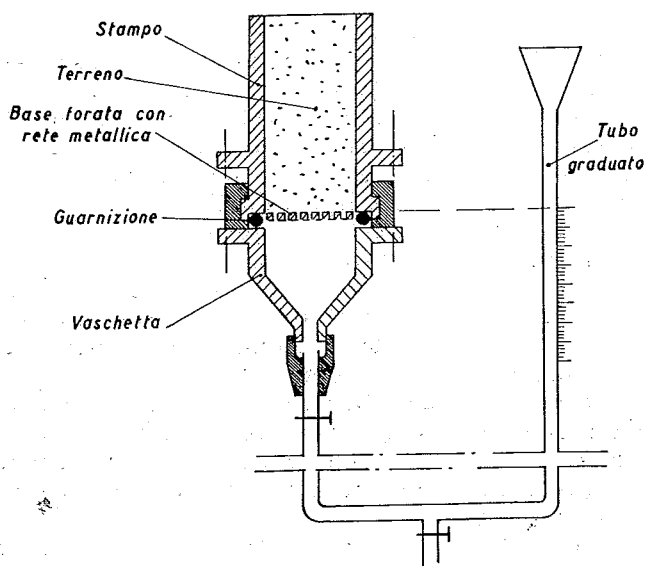


Fig. 2

nella memoria 2/7 [19]. Essi avrebbero assodato che sabbie limose con contenuto di argilla compreso fra il 7 e il 17% dopo ripetuti cicli di bagno-asciuga raggiungerebbero una densità stabile finale indipendente dal grado di costipamento cui sono stati assoggettati in fase di costruzione, e dipendente unicamente dalla entità del sovraccarico.

E' probabile che queste condizioni non si verifichino o si verifichino in minor misura sotto le sovrastrutture stradali per effetto del costipamento supplementare dovuto al traffico, ma è un fenomeno che meriterebbe di essere maggiormente approfondito per i riflessi che può avere sull'economia del costipamento.

3) Gelività del terreno

Due memorie sono state presentate su questo argomento: una la 6/7 di PELTIER [20] la quale sviluppa una teoria di richiamo capillare dell'acqua di falda dovuta all'attività superficiale dei grani e fa dipen-

dere la gelività del terreno (cioè l'attitudine a formarsi nel suo interno di lenti di ghiaccio) dal coefficiente K di permeabilità capillare, dall'altezza h di risalita capillare, dalla porosità, e da due coefficienti dipendenti dalle condizioni climatiche ed idrauliche della località.

Un'altra, la 6/2 di HARDY [21] che riferisce su alcune prove di impregnazione di terreni con soluzioni di «lignosol» (sottoprodotto della fabbricazione della cellulosa del legno) eseguite nel Canada onde ridurre l'espansività di terreni gelivi.

Tale proprietà è stata suffragata da prove di laboratorio e da prove di impregnazione eseguite in sito su alcuni rilevati ferroviari.

Strettamente legate alla memoria 6/7 di PELTIER è un'altra sua memoria, la 2/20 [22] che descrive i metodi impiegati presso il Laboratorio Centrale di Ponti e Strade a Parigi per la determinazione delle caratteristiche capillari dei terreni. Particolarmente interessante è la descrizione di un capillarimetro che permette la valutazione separata del coefficiente di permeabilità capillare K , e dell'altezza di risalita capillare h , anziché del valore complessivo del prodotto $K h$ come avviene di solito, capillarimetro la cui descrizione è apparsa anche in un manualetto dello stesso autore, abbastanza noto in Italia [23] ed il cui schema è stato riportato nella figura 2.

4) Costipamento di terreni, costruzione di rilevati

La memoria 3/9 di LEWIS [24] riassume le conclusioni di recenti studi effettuati dal Road Research Laboratory in Gran Bretagna, onde determinare le modalità di posa in opera e di costipamento più indicate per i terreni inglesi e l'efficienza dei diversi mezzi costipanti.

Premesso che le prove di laboratorio non hanno dimostrato una buona rispondenza con i risultati del costipamento in sito (tanto che l'autore è portato a dare loro più un valore di metodo di scelta delle terre da impiegare nei rilevati, che un valore di riferimento della umidità ottima e della densità massima), è stato osservato che a causa delle condizioni prevalenti del clima inglese, anziché alla umidità ottima conviene eseguire il costipamento ad un valore prossimo alla umidità naturale del rilevato ultimato e questo soprattutto con i terreni coesivi onde diminuire al massimo i nocivi effetti dell'espansione.

Tale umidità di regime del rilevato coincide all'incirca con l'umidità naturale posseduta dal terreno ad 1 m di profondità.

Per quanto riguarda poi il grado di costipamento da raggiungere, anziché fare riferimento ad una certa percentuale della densità massima di laboratorio, conviene aggiungere alla umidità di costipamento una percentuale di vuoti residui occupati dall'aria del 5-10% (vedi anche memoria 6/5 in proposito).

Circa l'efficienza dei mezzi costipanti è stato osservato che per la quasi totalità dei terreni, ivi comprese le argille grasse, i migliori risultati si ottengono con rulli compressori normali pesanti, salvo il caso di argille particolarmente umide in cui bisogna ricorrere

a rulli gommati; per i terreni granulari, specialmente se asciutti, risultati lievemente migliori si ottengono mediante rulli e piatti vibranti. Anche i trattori cingolati si sono dimostrati ottimi mezzi costipanti, mentre i rulli a punte si sono dimostrati al contrario di scarso valore, essendo il terreno di solito troppo bagnato per un loro efficiente impiego.

In ogni caso l'autore consiglia di procedere, ogni qual volta l'ammontare dell'opera lo giustifichi, ad alcune prove di cantiere con i mezzi disponibili, onde determinare le migliori condizioni di posa in opera della terra per quanto riguarda umidità, grado di costipamento raggiungibile, spessore degli strati e numero di passaggi.

Le conclusioni riguardanti i rulli a punte trovano conferma nei risultati di un'indagine sul costipamento di argille magre contenute nella memoria 3/19 di TURNBULL e SHOCKLEY [25] in quanto risulterebbe che, per il corretto impiego di questi rulli, occorre eseguire il costipamento con valori di umidità inferiori all'ottimo, cosa che non è possibile ottenere allorché, come in Gran Bretagna, l'umidità del terreno è di per se stessa superiore a questo valore.

L'indagine di TURNBULL e SHOCKLEY era diretta ad assodare l'effetto della variazione della superficie d'impronta delle punte a parità di pressione unitaria sul terreno per rulli a piede di pecora e della variazione di pressione di gonfiaggio a parità di superficie d'impronta, per rulli gommati.

Le conclusioni che si possono trarre è che la superficie d'impronta delle punte riveste minore importanza nei riguardi del valore della densità massima raggiunta (all'incirca eguale al 95% della densità massima A.A.S.H.O. Mod.) che non un aumento della pressione di gonfiaggio del rullo gommato che ha consentito di raggiungere valori di densità assai prossimi al 100% della precedente.

Nella discussione che ha seguito la lettura della relazione generale su questo tema, sono intervenuti SOWERS, MC LEAN e CRONEY a confermare ulteriormente in base alla propria esperienza i risultati espressi nelle due memorie che precedono, mentre PAPPART [26] ha riferito su un caso di instabilità rilevato durante il costipamento al Congo belga del sottofondo delle piste dell'aeroporto di Leopoldville mediante super compressori gommati da 200 ton, che confermerebbe il divario esistente fra la umidità ottima determinata in laboratorio e la umidità di costipamento più idonea ad assicurare la massima stabilità del rilevato.

5) Stabilizzazione di terreni

Il contributo apportato in questo campo dalle memorie presentate è molto limitato e riguarda soltanto la stabilizzazione a cemento e mediante resine di particolari terreni.

La memoria 3/10 di MC LEAN e CLARE [27] riferisce sui risultati conseguiti al Road Research Laboratory.

Si tratta di terreni argillosi grassi (aventi un limite di fluidità del 70%) che si sono potuti stabilizzare me-

dante l'aggiunta di cemento in quantità compresa fra il 10 ed il 20% in peso e per i quali benefica si è dimostrata la presenza di calce idrata in ragione del 2%, nonché di terreni organici nei quali l'azione nociva alla presa e all'indurimento dovuta alle sostanze organiche è stata potuta neutralizzare mediante l'aggiunta del 2-3% di cloruro di calcio.

Durante le prove eseguite con tale materiale stabilizzato si è potuta riscontrare una corrispondenza fra la resistenza a compressione ad espansione laterale libera ed il C.B.R. dei campioni dopo 7 giorni di stagionatura, corrispondenza che è riportata dal diagramma di figura 3.

Tale corrispondenza è importante in quanto permetterebbe di estendere alle fondazioni in terra stabilizzata a cemento i criteri di prova dei materiali di fondazione in granulare misto, ricorrendo alla determinazione del C.B.R. a 2,5 mm di penetrazione.

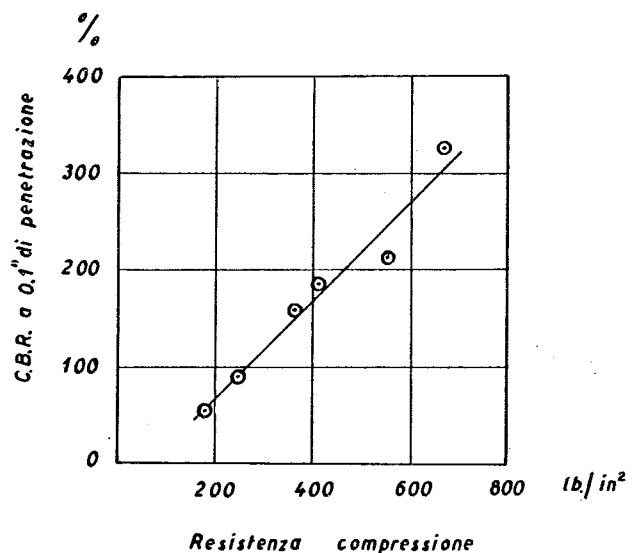


Fig. 3

I risultati ottenuti impiegando resine viniliche hanno permesso di ottenere miscele con terreni granulari ed argille in cui la resistenza a compressione dopo 7 giorni era paragonabile a quella ottenuta sui campioni stabilizzati con cemento Portland.

Dell'azione fisico-chimica di stabilizzazione dei terreni mediante polimeri, dei risultati ottenuti e del promettente campo di sviluppo che tali sostanze offrono, tratta la memoria 3/8 di LAMBE [28] la quale si limita a riferire risultati di prove di laboratorio eseguite al Massachusetts Institute of Technology.

6) Comportamento degli strati di fondazione

Il comportamento degli strati di fondazione costituenti la sovrastruttura è stato studiato dal PLANTEMA mediante prove di carico eseguite su campioni al vero all'aeroporto di Schiphol, impiegando per la lettura delle pressioni nel terreno apposite cellule costruite e tarate da lui stesso.

La descrizione della cellula e del suo complesso di taratura fa parte della memoria 3/14 [29]: si tratta di cellule provviste di estensimetri a resistenza nella quale la pressione del terreno fa inlettere una sottile membrana circolare del diametro di 25 cm, che a sua volta, tramite olio, trasmette amplificate le sue deformazioni ad una membrana più piccola cui sono applicati i due estensimetri: la capacità di misura è di 2 o 5 kg/cm².

Le caratteristiche di questo tipo di cellula sono state criticate dal MAXWELL e FORD [30] in sede di discussione,

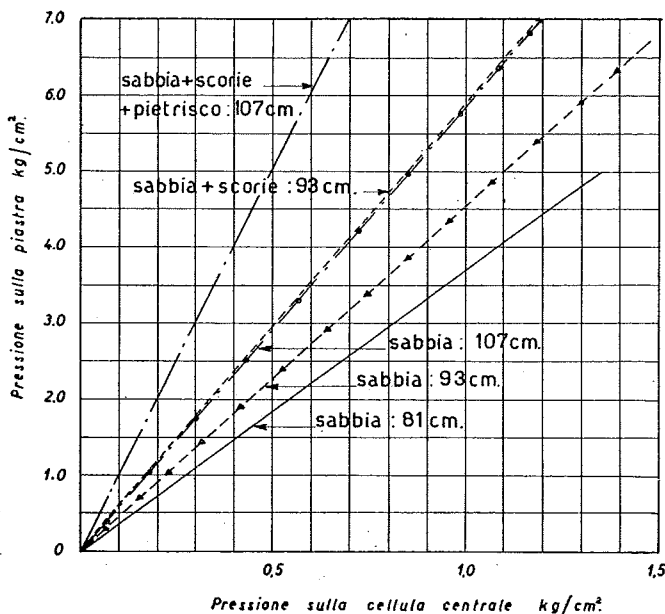


Fig. 4

in quanto le sue dimensioni, ed il fatto di impiegare una membrana sottile, fanno loro ritenere che essa debba introdurre notevoli variazioni nella distribuzione delle pressioni nel terreno e sia influenzata dalla obliquità dei carichi. Viene da loro descritta brevemente la cellula costruita ed impiegata al Waterways Experiment Station di Vicksburg U.S.A. la quale è di diametro e di spessore più piccolo, possiede una membrana più rigida ed è dotata di 4 estensimetri anziché di 2, con un conseguente aumento di sensibilità ed una minore influenza alle variazioni termiche.

La descrizione delle prove effettuate dal PLANTEMA su diversi strati di fondazione forma oggetto della memoria 3/15 [31]. L'autore, ha eseguito prove di carico con piastre di diverso diametro, 98-75-65-37,5 cm, entro una vasca quadrata di 10 m di lato e profonda 1 m, scavata nel terreno naturale argilloso costipato, vasca riempita di sabbia costipata in cui erano state disposte le cellule a profondità di 0,44 e 0,81 m dal piano superiore della sabbia.

Sulla sabbia viene disposto anzitutto uno strato costipato di 12 cm di scorie di alto forno, quindi un ulteriore strato di pietrisco costipato di 15 cm ed ese-

guite prove di carico sia sulla sabbia che su ciascuno degli strati. In un secondo tempo, ed il PLANTEMA ne dà comunicazione in sede di discussione della 6^a Sessione [32], vennero anche eseguite prove di carico su uno strato di fondazione in scapoli di pietra di medesimo spessore dei due strati di scorie e pietrisco.

I risultati si possono così riassumere:

— Sono state osservate delle irregolarità nella distribuzione delle pressioni rilevate a piccola profondità che peraltro spariscono a profondità maggiori.

— Si è riscontrato un buon accordo fra i valori sperimentali di distribuzione delle pressioni in profondità e quelli dedotti dalle formule di BOUSSINESQ.

— Si nota un graduale processo di lapidificazione dello strato di scorie che ne fa aumentare il potere di distribuzione dei carichi con il passare del tempo.

— Con piastra da \varnothing 75 la pressione che si verifica ad una profondità di 0,80 m dal piano di campagna con la fondazione di scorie e pietrisco è il 56% del valore che si sarebbe avuto con un eguale spessore di sabbia (vedi fig. 4).

— L'efficacia della fondazione di scorie e di pietrisco nel ridurre le pressioni nel sottofondo è, a parità di spessore, all'incirca 2,5 volte maggiore della fondazione in scapoli di pietra.

Quest'ultima conclusione è stata contraddetta in sede di discussione dal CANTO-MONIZ [32], il quale, ricordando gli ottimi risultati ottenuti in Spagna e in Portogallo con fondazioni in scapoli di pietra, ha ritenuto di dover attribuire i risultati trovati dal PLANTEMA ad un difetto di esecuzione della fondazione.

Il MORALDI invece (32), presupponendo che sia in un caso che nell'altro la fondazione fosse stata costruita a regola d'arte, ha ritenuto di poter attribuire il diverso comportamento alla durezza e alla frantumabilità della pietra impiegata, dato che prove di carico comparative effettuate sul medesimo sottofondo sabbioso all'aeroporto di Fiumicino con fondazioni in scapoli di pietra tenera (tufo della campagna romana) ed in granulare misto, non hanno fornito diversità di risultati apprezzabili.

7) Conclusioni

Oltre alle considerazioni di carattere generale che sono state esposte all'inizio della presente rassegna, ed a quelle fatte in corso di esame delle singole memorie, non è fuor di luogo richiamare l'attenzione del lettore sulla opportunità che egli eserciti il suo senso critico nel valutare i risultati cui i diversi autori sono giunti.

Le conclusioni del PELTIER, ad esempio, circa la opportunità di sostituire il metodo C.B.R. con un metodo basato sugli indici di gruppo per le pavimentazioni flessibili, e le formule di WESTERGAARD con quelle di BURMISTER per le pavimentazioni rigide, vanno prese con una certa cautela: non è detto infatti che il metodo degli indici di gruppo non conduca ad una incertezza di risultati superiore a quella del metodo C.B.R. [33], e le affermazioni circa l'insufficienza di spessori che deriverebbero dall'impiego delle formule di WESTERGAARD

sarebbero contraddette dal JEUFFROY in un suo recente articolo [34] e da numerose prove di traffico accelerate eseguite dal Genio Militare Americano.

Un notevole passo avanti verso la risoluzione delle polemiche riguardanti i metodi di calcolo delle sovrastrutture si potrà fare solo quando si sarà in possesso di maggiori dati riguardanti l'umidità e la densità in sito dei terreni sotto le sovrastrutture e degli elementi climatici che li influenzano: un valido aiuto potrà essere dato dall'impiego di strumenti di rilevamento a base di isotopi radioattivi che consentono rapidità di misura con il minimo disturbo del terreno [35].

Tali ricerche dovrebbero essere affiancate dallo studio contemporaneo della distribuzione delle pressioni nell'interno del terreno e della sovrastruttura mediante cellule, ed a questo riguardo è doveroso ricordare la cellula di pressione brevettata in Italia dal Prof. MARESCA e presentata al IX Congresso Internazionale stradale di Lisbona [36] che costituisce un notevole perfezionamento dei due tipi menzionati nella presente rassegna.

Bibliografia

- [1] R. PELTIER: *Considérations géotechniques sur la portance des sols routiers*. Atti del Congresso: Vol. III, pag. 312.
- [2] *Report of committee on classification of material for subgrade and granular type roads*. Proceedings Highway Research Board. Vol. 25, 1945.
- [3] Mc. LEOD: *Airport runway design and evaluation in Canada*. Atti del Congresso, Vol. II, pag. 122.
- [4] Mc. LEOD: *Discussioni sulla 6ª Sessione Atti del Congresso*. Vol. III, pag. 187.
- [5] BRZESOWSKY e van der VEEN: *An investigation on the bearing capacity of some flexible runways at Schiphol airport*. Atti del Congresso. Vol. II, pag. 97.
- [6] *Flex. Pavement Design Committee: Methods of designing thickness of flight strips and airport runways for loads exceeding 10.000 lbs*. Proc. Highway Res. Board 1943, vol. 23.
- [7] FOSTER e TURNBULL: *Discussioni sulla 6ª Sessione*. Atti del Congresso, vol. III, pag. 191 e 193.
- [8] MITCHELL: *Discussioni sulla 6ª Sessione*. Atti del Congresso. Vol. III, pag. 182.
- [9] MACLEAN e ARMSTRONG: *The design of road foundations*. Atti del Congresso. Vol. II, pag. 118.
- [10] De l'HORTET: *Capacité portante des pistes souples*. Atti del Congresso. Vol. II, pag. 107.
- [11] RUCKLI: *L'application de la mécanique des sols dans le domaine de la construction des routes en Suisse*. Atti del Congresso, vol. III, pag. 288.
- [12] *Schweizerische Normenvereinigung (S.N.V.). Norma n. 40312 Tragfähigkeit von Strassen*.
- [13] R. PELTIER: *Le calcul des revêtements rigides pour routes et aérodromes*. Revue Gen. des Routes, Ottobre 1952.
- [14] Van der VEEN: *Loading tests on concrete slabs at Schiphol Airport*. Atti del Congresso, vol. II, pag. 133.
- [15] CRONEY e COLEMAN: *Soil moisture suction properties and their bearing on the moisture distribution in soils*. Atti del Congresso, vol. I, pag. 13.
- [16] LOXTON, Mc MICHOLL e WILLIAMS: *Soil moisture and density measurements at Australian aerodromes*. Atti del Congresso, vol. II, pag. 112.
- [17] FELT: *Influence of vegetation on soil moisture contents and resulting soil volume changes*. Atti del Congresso. Vol. I, pag. 24.
- [18] WARD: *Soil movement and weather*. Atti del Congresso. Vol. I, pag. 477.
- [19] DHAWAN e altri: *Atti del Congresso*. Vol. I, pag. 114
- [20] R. PELTIER: *Contribution à l'élaboration d'une théorie capillaire du gel des sols routiers*. Atti del Congresso. Vol. II, pag. 128.
- [21] HARDY: *Prevention of frost heaving by injection of spent sulphite liquor*. Atti del Congresso. Vol. II, pag. 103.
- [22] R. PELTIER: *Mesure des caractéristique capillaires des sols au Laboratoire Central des Ponts et Chaussées*. Atti del Congresso. Vol. I, pag. 173.
- [23] R. PELTIER: *Manuel du Laboratoire Routier*.
- [24] LEWIS: *The Compaction of soil for earthworks and the performance of plant*. Atti del Congresso: vol. I pag. 258.
- [25] TURNBULL e SHOCKLEY: *Field compaction tests on lean clay soil*. Atti del Congresso, vol. I, pag. 313.
- [26] SOWERS, MAC LEAN, CRONEY, PAPPART: *Discussioni sulla III Sessione*. Atti del Congresso. Vol. III, pag. 138 e seg.
- [27] MACLEAN e CLARE: *Investigation of some problems of soil stabilization*. Atti del Congresso. Vol. I, pag. 263.
- [28] LAMBE: *The effect of polymers on soil properties*. Atti del Congresso: Vol. I, pag. 253.
- [29] PLANTEMA: *A Soil cell and calibration equipment*: Atti del Congresso: Vol. I, pag. 283.
- [30] MAXWELL e FORD: *Discussioni sulla 3ª Sessione*. Atti del Congresso: Vol. III, pag. 141.
- [31] PLANTEMA: *Soil pressure measurements during loading tests on a runway*. Atti del Congresso: Vol. I, pag. 289.
- [32] PLANTEMA, CANTO MONIZ, MORALDI: *discussioni sulla 6ª Sessione*. Atti del Congresso: Vol. III, pag. 184, 185, 187.
- [33] ANGELUCCI-MORALDI: *Atti del IX Congresso Nazionale Stradale: Bolzano 1954*.
- [34] G. JEUFFROY: *Considérations théoriques de calcul des chaussées en ébton*. Revue Général des Routes. Gennaio 1955, pag. 57.
- [35] HORONJEFF e GOLDBERG: *Field measurements of soil moisture and density with radioactive materials*. Proceedings Highway Research Board: 1952, pag. 500.
- [36] MARESCA: *Su una cellula dinamometrica per la misura delle pressioni in terreni sciolti*. Ingegneria Ferroviaria: Giugno 1952.