

# SULLA DETERMINAZIONE DELLA CAPACITÀ PORTANTE DELLE PISTE MEDIANTE PROVE DI CARICO CON PIASTRE (\*)

G. MORALDI (\*\*)

**SOMMARIO:** La memoria espone i risultati di alcune prove di carico con piastre eseguite su diverse pavimentazioni di piste di aeroporto seguendo differenti metodi di prova.

Confrontando fra loro i risultati si constata la difficoltà, con i metodi tradizionali, di determinare il carico limite che causa instabilità nella struttura, ed il vantaggio di applicare alle pavimentazioni il nuovo metodo proposto dal Prof. MARESCA.

Vengono quindi esaminate, secondo questo metodo, le caratteristiche elastiche delle pavimentazioni, giungendo ad alcune conclusioni per quanto riguarda la possibilità di eseguire le prove servendosi di una sola piastra di carico.

In ultimo vengono esaminati i metodi del PALMER e dell'L.C.N. per la valutazione della portanza di una pista proponendo alcune modifiche al primo metodo.

## 1 - Premessa

Sin dal 1949 il *Laboratorio Geotecnico della Direzione Generale del Demanio Aeronautico* esegue per la determinazione della capacità portante delle piste, prove di carico al vero mediante piastre metalliche circolari, servendosi di una attrezzatura apposta raffigurata nella Fig. 1 e già descritta nella letteratura tecnica [1], che consente la esecuzione di prove fino a 58 ton di carico totale.

Alcune di queste prove, limitate peraltro ai terreni di sottofondo, sono servite al compianto Prof. MARESCA per la elaborazione del suo nuovo metodo di interpretazione delle prove di carico, pubblicato nel 1952 [2], metodo che ha avuto conferma sperimentale dai risultati di altre prove eseguite dal *Laboratorio Sperimentale dell'Aeroporto di Fiumicino*, ed oggetto di una recente pubblicazione [3].

Scopo della presente memoria è quello di far conoscere i risultati delle prove eseguite sulle pavimentazioni di diversi aeroporti, di vedere come tali risultati si possono inquadrare nei principali metodi di valutazione attualmente in uso e di avere una conferma sperimentale sulla opportunità di estendere alle sovrastrutture il nuovo metodo del Prof. MARESCA.

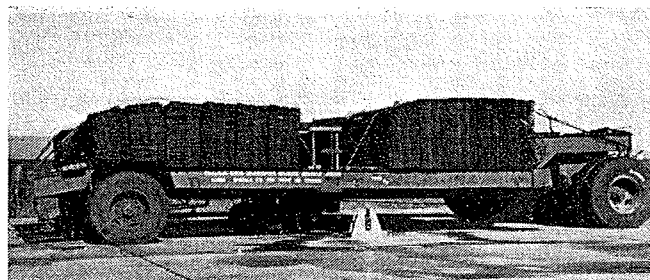


Fig. 1

## 2 - Attrezzatura di prova

Il carico è costituito da due rimorchi zavorrati con grelle metalliche, accoppiati mediante una trave trasversale; esso può essere applicato alla pavimentazione su piastre di diverso diametro (76-60-50-40-30 cm) mediante martinetto idraulico azionato da una pompa a mano. La pressione applicata alla piastra viene letta mediante manometro, le deformazioni verticali della pavimentazione mediante comparatori centesimali sorretti, tramite appositi bracci, da una trave in duralluminio della lunghezza di m 7,00 i cui estremi appoggiano sulla pavimentazione a notevole distanza dalle ruote, in modo da non essere disturbati da queste.

Caratteristica dell'attrezzatura è la mobilità, che consente ad un solo autocarro di effettuare gli spostamenti lungo la pista.

(\*) La presente Nota è stata pubblicata negli Atti del *IV Congresso Internazionale di Geotecnica*, Londra - Agosto 1957, e viene qui presentata nella traduzione italiana con il consenso della *International Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering* e della *Butterworths Publications Ltd.*, editrice degli Atti anzidetti.

(\*\*) Dott. Ing. Giorgio MORALDI, Capo del *Laboratorio Geotecnico e Prove Materiali* del Demanio Aeronautico - 8° Reparto Lavori - Ciampino - Assistente dell'Istituto di *Costruzioni Stradali e Ferroviarie* dell'Università di Roma.

### 3 - Metodi di prova

Per determinare la capacità portante di una pavimentazione vengono scelte un certo numero di posizioni lungo la pista o sulla superficie dei piazzali ed in ogni posizione vengono eseguite prove di carico con tre piastre di diverso diametro, distanziando le prove di 3 o 4 metri l'una dall'altra.

Si sono seguite fundamentalmente due modalità di prova:

Una prima che consisteva nell'eseguire un sol ciclo di carico secondo lo schema di Fig. 2 aumentando il carico progressivamente fino a raggiungere il valore massimo consentito e scaricando poi gradualmente fino a zero.

Una seconda che consisteva nell'effettuare diversi cicli di carico secondo il metodo proposto dall'*Highway Research Board* (H.R.B.) [4] e schematizzato nella Fig. 3 (4 ripetizioni con 3 incrementi di carico).

Sia nell'uno che nell'altro caso si attendeva per leggere le deformazioni che queste si fossero stabilizzate nel tempo, che cioè le variazioni fra due successive letture dei comparatori diventassero inferiori ad 1/100 di mm in un minuto.

Spesso su una stessa pavimentazione si seguivano i due metodi di prova e sulla pista «F» si sono anche effettuate prove di carico ripetute a cadenza rapida, simili a quelle di Orly [5] applicando i carichi senza attendere lo stabilizzarsi delle deformazioni e leggendo queste ultime solo dopo un determinato numero di cicli solitamente di 10 in 10.

### 4 - Caratteristiche delle sovrastrutture provate

Nella Tabella I sono indicate le caratteristiche delle sovrastrutture provate, quelle del terreno di sottofondo, nonché il tipo ed il numero di prove eseguite.

### 5 - Considerazioni su i diversi metodi di prova

L'aver eseguito prove con diversi metodi permette di trarne le seguenti considerazioni:

Si osserva anzitutto che le prove eseguite sia con un sol ciclo di carico sia secondo il metodo H.R.B. non individuano in modo sufficientemente certo il

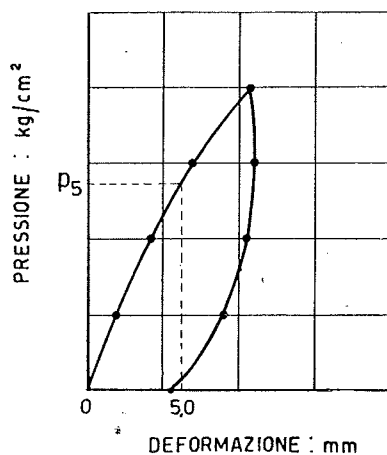


Fig. 2 - Prova con un sol ciclo di carico

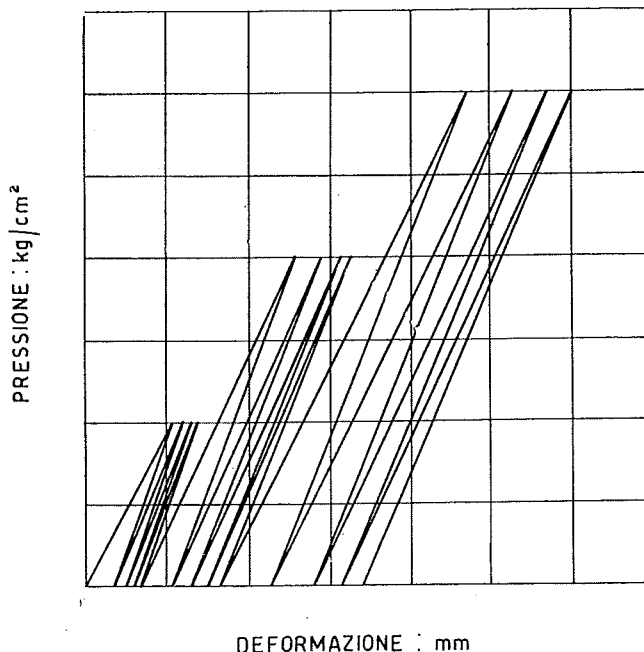


Fig. 3 - Prova a cicli ripetuti

carico limite o il carico di esercizio di una pavimentazione.

Difatti, paragonando fra loro i risultati delle prove di carico a ciclo unico con quelli a cicli ripetuti, si è potuto constatare che, mentre per la sovrastruttura «E» la portanza calcolata in corrispondenza di 5 mm di deformazione totale (vedi Fig. 1) corrispondeva alla portanza calcolata a 10 ripetizioni del carico con il metodo H.R.B., per la sovrastruttura «B» la corrispondenza si verificava fra 100 e 1000 ripetizioni, e per la sovrastruttura «F» questa corrispondenza non era determinabile.

Ciò lascia dubbiosi non solo sul valore delle deformazioni, ma altresì sul numero delle ripetizioni da adottare, e rende ragione del disaccordo che esiste al riguardo fra i diversi sperimentatori.

La stessa incertezza si manifesta per le pavimentazioni rigide, giacché per la sovrastruttura «G» quantunque si sia talora spinto il carico sino a rottura, quest'ultima non era sempre facilmente individuabile, tranne il caso di carico applicato all'angolo libero di una lastra.

Le prove hanno tuttavia permesso di stabilire che la portanza calcolata in corrispondenza di una deformazione totale di 1 mm al primo ciclo di carico, corrispondeva abbastanza con la portanza calcolata con il metodo H.R.B. a 10 ripetizioni del carico, e corrispondeva altresì ad adottare un coefficiente di sicurezza alla rottura compreso fra 1,3 e 2,1.

Si è potuto d'altronde constatare che, allorché si eseguono delle prove a carichi ripetuti, la linearità delle deformazioni in funzione del logaritmo del numero delle ripetizioni, cioè la relazione

$$(1) \quad Z_n = Z_1 + a \log n$$

rimane valida fintanto che non venga oltrepassata una certa pressione media di contatto. Ciò conferma

TABELLA I

PAVIMENTAZIONE	A	B	C	D	E	F	G
<i>Tipo di sovrastruttura</i>	<i>Flessibile</i> Macadam bitumato	<i>Flessibile</i> Conglomerato bituminoso su macadam bitumato	<i>Flessibile</i> Macadam bitumato	<i>Flessibile</i> Macadam bitumato	<i>Flessibile</i> Conglomerato bituminoso su macadam bitumato	<i>Flessibile</i> Conglomerato bituminoso su macadam bitumato	<i>Rigida</i> lastre di calcestruzzo non armate
<i>Natura del sottofondo</i>	Limo argilloso	Limo argilloso	pozzolana	pozzolana	argilla	limo sabbioso e argilloso	ghiaia e sabbia argillosa
<i>Classificazione C.A.A.</i>	E <sub>7</sub>	E <sub>7</sub>	E <sub>4</sub>	E <sub>4</sub>	E <sub>3</sub>	E <sub>4</sub> ÷ E <sub>7</sub>	E <sub>4</sub>
<i>Procedura di esecuzione delle prove di carico</i>	cicli singoli	cicli singoli	cicli singoli	cicli singoli	cicli singoli e ripetuti	cicli singoli e ripetuti	cicli singoli e ripetuti
<i>Numero delle prove eseguite</i>	22	15	24	15	25	16	44
<i>Piastre adoperate ø cm</i>	40-60-76	40-60-76	40-60-76	40-60-76	40-60-76	30-50-76	30-50-76

quanto osservato da COT, BECKER e LORIN [5] e permetterebbe di determinare la pressione, cioè il carico, a cui cominciano a manifestarsi fenomeni di instabilità nella struttura.

Tale constatazione limita peraltro notevolmente la validità del metodo H.R.B. in quanto questa mancanza di linearità, potendo manifestarsi in corrispondenza di cicli di carico successivi al primo, può falsare completamente i risultati, che si basano, come è noto, sull'extrapolazione delle prove a 4 ripetizioni, e porterebbe a concludere sulla necessità di eseguire

un gran numero di ripetizioni del carico, il che non è possibile altro che adottando un metodo di prova a cicli ripetuti a cadenza rapida (1).

Per non essere costretti di ricorrere a questo tipo di prova, che richiede una apparecchiatura costosa

(1) Si osserva in proposito, che sulla sovrastruttura "F" si è potuto constatare che i cicli di carico a cadenza rapida si inseriscono convenientemente nel diagramma di quelli a cadenza lenta (v. Fig. 4), il che permetterebbe di porre in relazione il metodo H.R.B. con quello di Orly.

PROVA F/KI

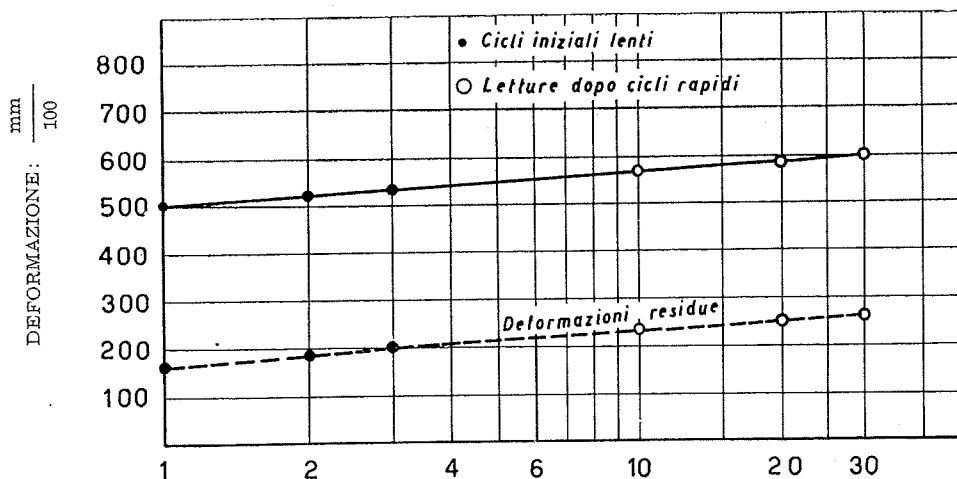


Fig. 4 - Ripetizione di carichi lenti e rapidi

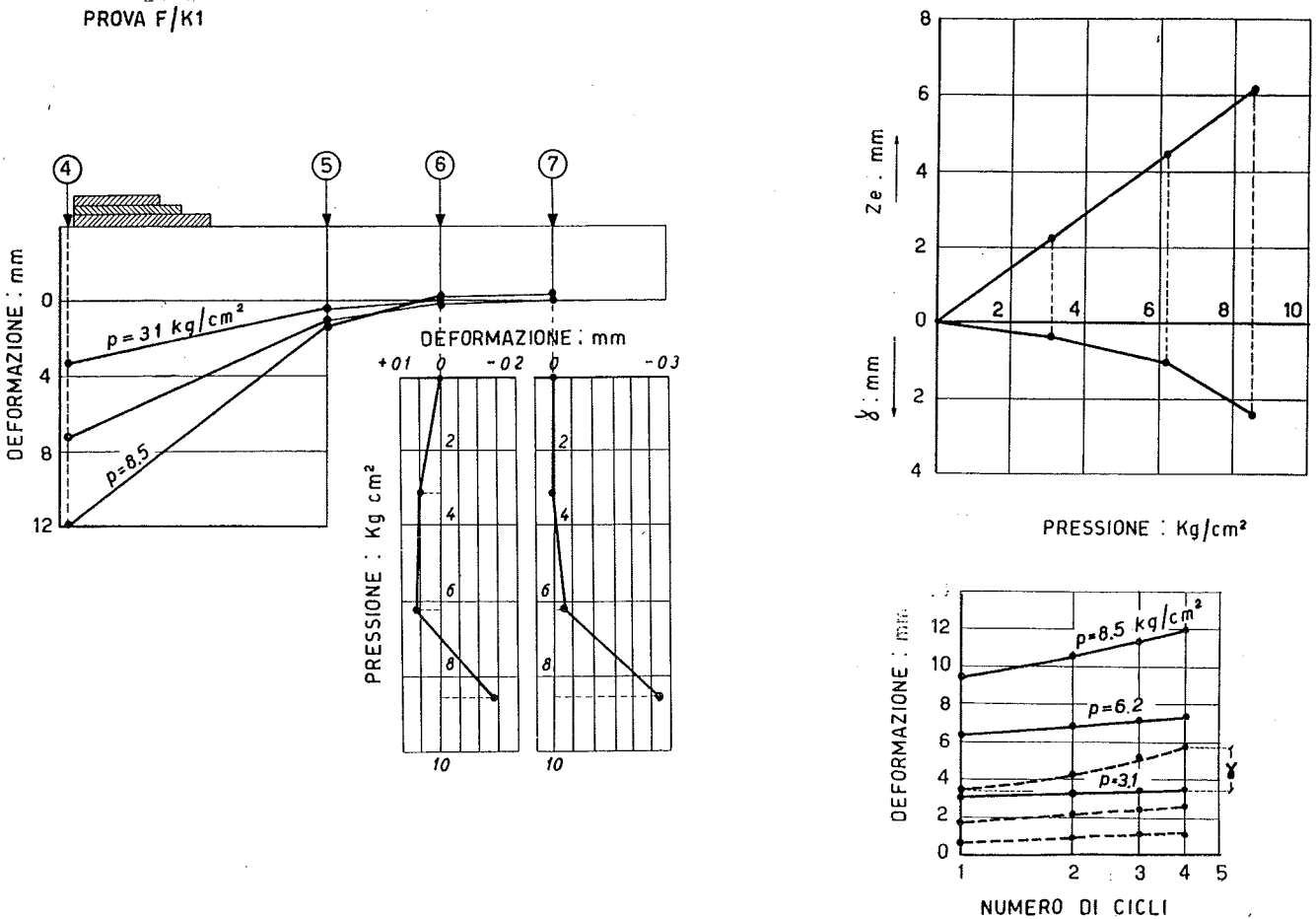


Fig. 5 - Correlazione fra il carico che produce il rifluimento, l'accrescimento anormale di  $\gamma$  e la non linearità fra deformazioni e numero di ripetizioni di carico per una pavimentazione flessibile

e complessa, si sono interpretati i risultati delle prove ripetute H.R.B. a 4 ripetizioni secondo il metodo proposto dal Prof. Maresca, il quale sino ad ora non aveva avuto conferma sperimentale che per i terreni e gli strati di fondazione in materiale granulare (2).

Si è così potuto osservare che anche nel caso in cui occorreva spingere il numero delle ripetizioni oltre 20 per mettere in evidenza la non validità della relazione (1) l'inizio dei fenomeni di instabilità era messo in evidenza dal brusco incremento della inclinazione della curva dei « $\gamma$ » a 4 ripetizioni, dispensando così dal dover eseguire un numero di ripetizioni superiore a quattro.

Nella Fig. 5 sono riportati i risultati di una prova su sovrastruttura flessibile, in cui si sono disposti dei comparatori sulla superficie della pavimentazione per porre in evidenza l'inizio di fenomeni di refluitamento.

E' inoltre significativo il fatto che la pressione di contatto in corrispondenza della quale iniziano a manifestarsi questi fenomeni di refluitamento coincide pra-

ticamente con quella che corrisponde ad un incremento anormale di « $\gamma$ » e ad una non linearità delle deformazioni espresse in funzione del numero delle ripetizioni.

La Fig. 6 inoltre è un esempio della buona corrispondenza esistente fra l'accrescimento della « $\gamma$ » e la non linearità anzidetta per le sovrastrutture rigide.

Per quest'ultime sembra inoltre che l'inizio di fenomeni di degradazione nella struttura sia accompagnato anche da un cambiamento di pendenza della retta delle deformazioni elastiche  $Z_e$  dato che con il manifestarsi di lesioni nella lastra cambiano le condizioni elastiche dell'insieme.

Queste prove mostrano quindi che il modo più efficace di porre in evidenza l'inizio di fenomeni di instabilità in una sovrastruttura, senza dover ricorrere ad un gran numero di ripetizioni del carico, è quello di rappresentare l'accrescimento delle deformazioni plastiche residue in funzione della pressione applicata.

### 6 - Proprietà elastiche delle sovrastrutture

Si è anche proceduto ad esaminare più a fondo le caratteristiche delle sovrastrutture, iniziate da Maresca e Quaranta per la parte riguardante i sottofondi e gli strati di fondazione, calcolando per le so-

(2) Nella interpretazione del Prof. MARESCA si scindono le deformazioni elastiche dalle plastiche, riportando in uno stesso diagramma, in funzione della pressione di contatto, le deformazioni elastiche e l'accrescimento « $\gamma$ » delle frecce plastiche (v. Fig. 5).

PROVA G/F1

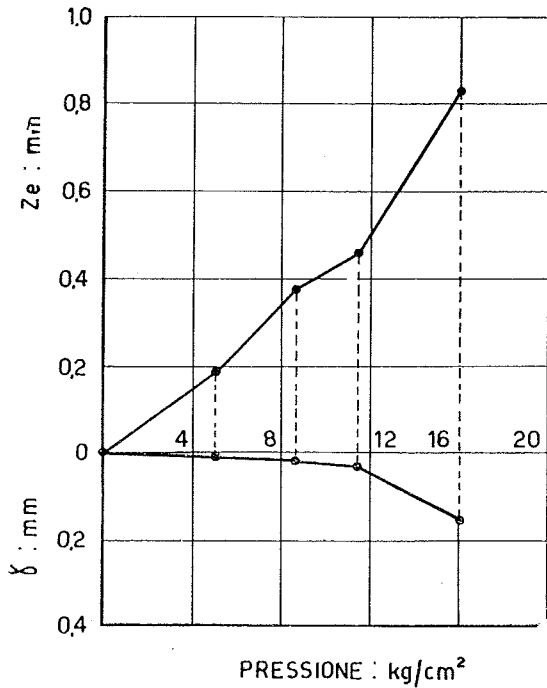


Fig. 6 - Stessa correlazione della Fig. 5, per una pavimentazione rigida

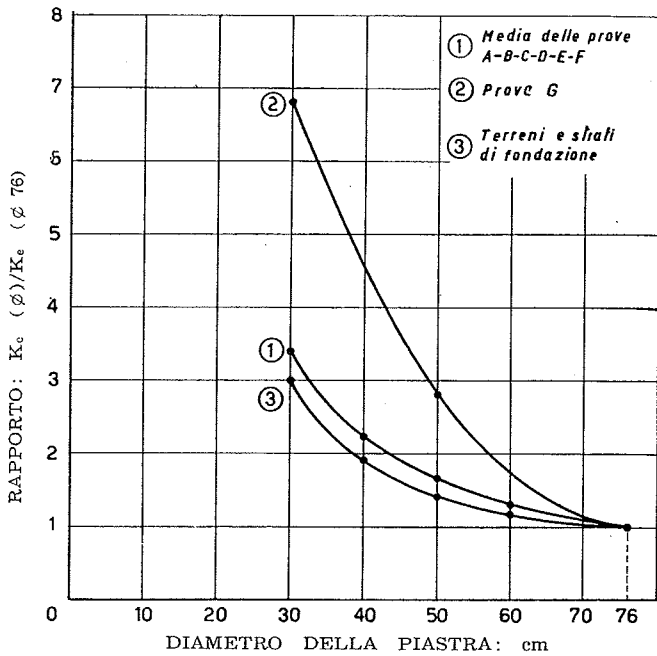
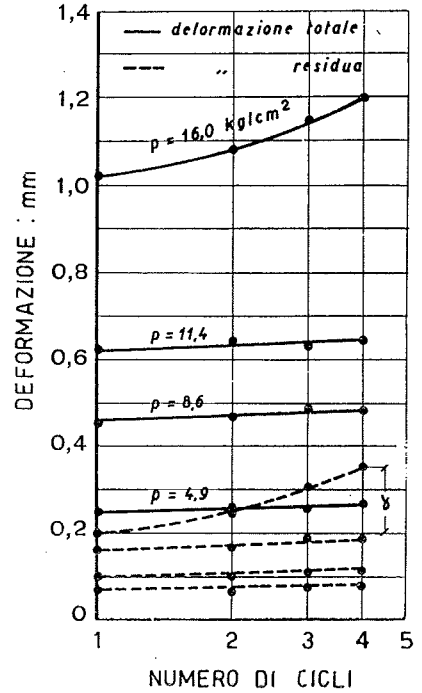


Fig. 7 - Rapporto fra il valore del modulo di elasticità  $K_e$  determinato mediante piastre di diverso diametro, ed il valore dello stesso modulo determinato mediante piastra del diametro di 76 cm, in funzione del diametro della piastra

rastrutture provate il valore del modulo elastico  $K_e$  per diversi diametri della piastra di prova (3).

(3) Questo modulo è stato calcolato a mezzo della relazione:  $K_e = \frac{p}{Z_e}$  dove  $p$  è la pressione di contatto che produce una deformazione elastica  $Z_e = 1$  mm.

Riportando in un diagramma (vedi Fig. 7) i rapporti fra i valori del modulo  $K_e$  calcolato per una determinata piastra ed il valore del modulo calcolato per la piastra da  $\varnothing 76$  cm in funzione dei diametri della piastra si osserva che per le sovrastrutture flessibili la dispersione dei punti non è molto elevata e che è possibile tracciare con una buona approssimazione la curva media (curva n. 1 della Fig. 7).

Questa curva servirebbe a caratterizzare, dal punto di vista elastico, le sovrastrutture flessibili, e permetterebbe, commettendo un errore inferiore al 9% di dedurre il valore del modulo  $K_e$  effettuando prove con una sola piastra di diametro compreso fra 76 e 30 cm.

Se ora introduciamo nello stesso diagramma i valori relativi alla sovrastruttura rigida «G» (curva n. 2) otteniamo ancora una curva avente lo stesso andamento ma molto spostata rispetto alla precedente.

E' interessante confrontare le due curve così tracciate con quella trovata dal Quaranta e che è stata riportata come curva n. 3 nello stesso diagramma: quest'ultima si avvicina notevolmente alla curva n. 1, il che conferma l'analogia esistente, dal punto di vista elastico, fra i sottofondi, gli strati di fondazione e le sovrastrutture flessibili.

Questo permetterebbe di concludere che il valore del modulo elastico  $K_e$  varia a seconda della rigidità della struttura (cioè a seconda del suo potere di ripartire i carichi) e sembrerebbe indicare che la possibilità di determinare il valore di  $K_e$  mediante prove di carico su una sola piastra di diametro ridotto è valido solamente per strutture del medesimo

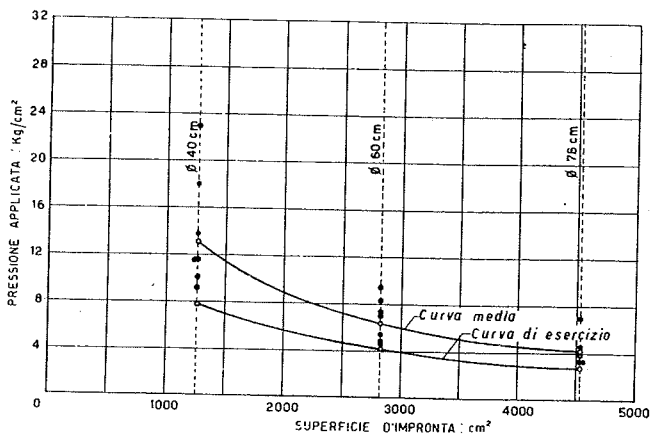


Fig. 8 - Diagramma di PALMER modificato

tipo (sottofondi, sovrastrutture flessibili, sovrastrutture rigide).

**7 - Caratteristiche di portanza di una pista**

PALMER ha proposto [6] di rappresentare la capacità portante d'insieme di una pista riportando in un diagramma, per tutti i punti provati lungo la pista, la pressione di contatto « p » in funzione della superficie della piastra di carico, di tracciare la curva passante per i valori medi (curva media di portanza) e di definire come curva di esercizio della pista una curva sensibilmente parallela alla precedente passante per i punti più bassi del diagramma.

Si è però constatato che questo metodo, data la maggior dispersione dei risultati che affettano le prove eseguite con piastre di piccolo diametro rispetto a quelle eseguite con piastre di diametro maggiore, conduce talvolta a tracciare una curva di esercizio che passa per valori troppo bassi, talora addirittura nulli, per le piastre di grande diametro.

E' parso più conforme alla realtà di far passare questa curva di esercizio per i valori minimi di portanza effettivamente misurati, anche se questo significa dover rinunciare al parallelismo con la curva media (vedi Fig. 8).

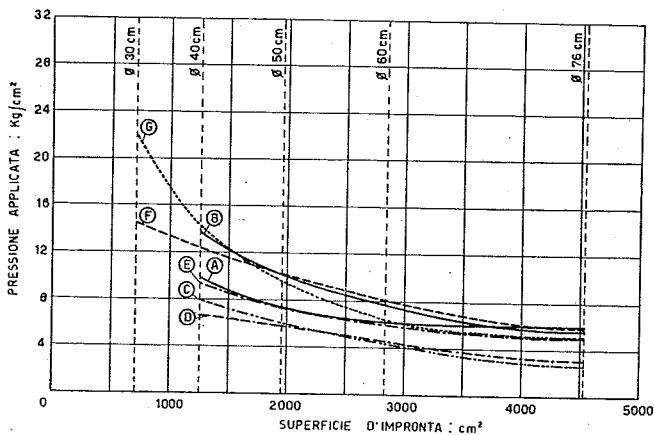


Fig. 9 - Diagramma di PALMER modificato per differenti pavimentazioni sperimentali

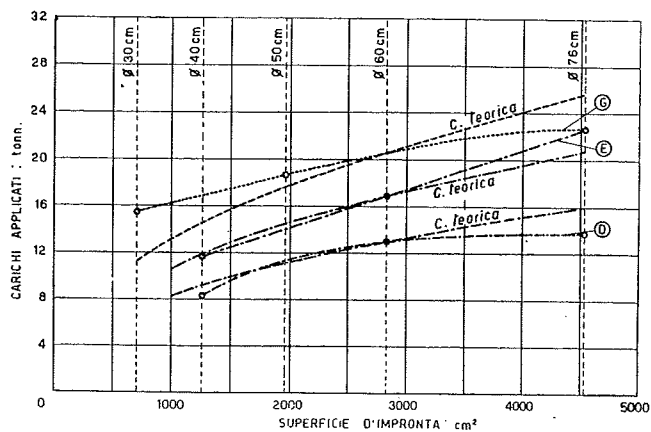


Fig. 10 - Confronto fra curve teoriche e sperimentali L.C.N.

Una giustificazione a questo modo di procedere viene data dal fatto che i rapporti fra le ordinate della curva media e quelle della curva di esercizio rimangono praticamente costanti e indipendenti dal diametro della piastra di prova (1,56 nel caso del diagramma di Fig. 8).

Il diagramma del PALMER, quantunque proposto dall'autore limitatamente alle sovrastrutture flessibili e legato ad un determinato metodo di prova, può estendersi e rivestire un significato molto più generale qualunque sia il tipo di sovrastruttura ed il metodo di prova.

Nella Fig. 9 sono state tracciate le curve di esercizio del Palmer per i diversi tipi di sovrastruttura della Tabella I.

La curva di esercizio di una pista può anche essere indicata riportando i carichi applicati (espressi ad esempio in tonn) in funzione della superficie di contatto.

Questa rappresentazione ha dato luogo a un metodo di classificazione delle piste detto « Load Classification Number o L.C.N. » [7] proposto dal Ministero dell'Aria della Gran Bretagna, il quale si basa sulla possibilità di approssimare tutte le curve di esercizio con una avente l'equazione:

$$\frac{P}{P_1} = \left( \frac{A}{A_1} \right)^{0,44} \quad (2)$$

dove P è il carico applicato ed A la superficie d'impronta della piastra generica di prova, P<sub>1</sub> e A<sub>1</sub> i valori corrispondenti ottenuti effettuando le prove con piastra da Ø 60 cm.

Nella Fig. 10 sono state riportate alcune delle curve di esercizio tratte dal diagramma di PALMER della Fig. 9 paragonandole alla curva teorica dedotta dalla relazione (2).

Gli scostamenti rilevati sono particolarmente sensibili per la sovrastruttura rigida « G » raggiungendo il 13,4% per piastra da Ø 76 cm ed il 27% per piastra da Ø 30 cm, la qual cosa porterebbe a concludere che mentre questo metodo può trovare applicazione per una classificazione grossolana di una pista aeroportuale, esso non è sufficientemente preciso per consentire l'interpretazione di prove di carico servendosi di una sola piastra.

## Bibliografia

- [1] *Atti dell'VIII Convegno Nazionale Stradale Napoli* - 1950.
- [2] G. MARESCA: *Su un metodo di interpretazione e di esecuzione delle prove di carico sui terreni e sulle sovrastrutture stradali* - L'Ingegnere 1952 - n. 7.
- [3] F. QUARANTA: *Determinazione della portanza dei terreni e delle fondazioni stradali mediante prove di carico* - Trasporti Pubblici - aprile 1956.
- [4] *Comitato per il progetto delle pavimentazioni flessibili* - Proceedings Highway Research Board - 1943.
- [5] COT P. D., BECKER E., LORIN R.: *Détermination de la force portante des pistes d'aérodromes* - Travaux 1955, n. 253, pag. 785.
- [6] PALMER L. A.: *The evaluation of Wheel Bearing Capacities* - Proceedings Highway Research Board 1947 vol. 27.
- [8] SKINNER J. A. MARTIN F. R.: *Some considerations of airfield pavement design* - Proc. Inst. Civil Engineers vol. 4 n. 1 - febbraio 1955.

SUMMARY: The results are given of some plate bearing tests performed on the pavements of different airports following various testing procedures.

In comparing the results of such tests, has been ascertained the difficulty of identifying the load causing failure in the pavement and the advantage of extending to pavements a new method of interpretation of the tests proposed recently by late Prof. MARESCA for soils and bases.

Following this method are examined the elastic properties of the pavements tested, and a conclusion is reached regarding the possibility of performing tests using a single plate diameter.

Finally the PALMER and L.C.N. pavement evaluation methods are examined, and a modification to the former is proposed.

SOMMAIRE: Cette communication expose les résultats de quelques essais de chargement exécutés sur plusieurs revêtement d'aéroports suivant différentes méthodes d'essai.

En comparant entre eux les résultats on constate la difficulté, avec les méthodes traditionnelles, de déterminer la charge limite causant des désordres dans la structure et l'avantage d'appliquer aux revêtements la nouvelle méthode proposée par le Prof. MARESCA.

On examine ensuite, suivant cette méthode, les caractéristique élastiques des revêtement et on arrive à des conclusion en ce qui concerne la possibilité d'exécuter les assais en se servant d'une seule plaque de charge.

On passe enfin à examiner la détermination de la courbe d'exploitation d'une piste selon les méthodes Palmer et L.C.N. en proposant quelques changement à la méthode PALMER.