



**UNIVERSITA' "MEDITERRANEA" DI REGGIO CALABRIA  
LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA CIVILE**

**CORSO DI  
INFRASTRUTTURE AEROPORTUALI ED ELIPORTUALI**

**LECTURE 10  
LE PAVIMENTAZIONI AEROPORTUALI – PORTANZA DEI  
SOTTOFONDI- PORTANZA DELLE PAVIMENTAZIONI**

**Docente: Prof. Ing. Marinella GIUNTA**

# LE PAVIMENTAZIONI AEROPORTUALI

## DEFINIZIONE

La pavimentazione aeroportuale è una struttura realizzata allo scopo di:

- a) consentire una circolazione rapida e sicura dei velivoli a terra;
- b) resistere alle sollecitazioni del carico verticale (peso del velivolo) e tangenziale (azioni di accelerazione e frenatura);
- c) trasferire il carico al piano di posa compatibilmente con la portanza di quest'ultimo.



***PAVIMENTAZIONI AEROPORTUALI FUNZIONALMENTE SIMILI A  
QUELLE STRADALI***

*con qualche differenza.....*

# LE PAVIMENTAZIONI AEROPORTUALI

Le differenze attengono a:

1. **ENTITA' DEL CARICO:** il carico massimo per asse singolo in campo stradale è 12 t e dunque un carico su ruota singola di 6t, un DC-10 Sr 30 ha un carico per ruota singola di 24 t;
2. **GEOMETRIA DEL CARICO:** le ruote del carrello di un aereo presentano numero e disposizione differente. In genere si assume che il carico di una gamba di forza gravi su una ruota singola fittizia di cui si determina il cosiddetto *carico equivalente su ruota singola*  $Q_{es}$ . Il  $Q_{es}$  è un carico maggiore di quello che afferisce a ciascuna ruota della gamba di forza.
3. **PRESSIONE DI GONFIAGGIO:**  $p_g$  max in campo stradale 0,8 MPa  
 $p_g$  max in campo aeroportuale 1,5 MPa



LA PAVIMENTAZIONE AEROPORTUALE DEVE ESSERE PIU'  
RESISTENTE DI QUELLA STRADALE

## IL PROBLEMA DEL DIMENSIONAMENTO

Il corretto dimensionamento della pavimentazione deve tenere conto delle seguenti peculiarità dell'ambito aeroportuale:

- A. **non omogeneità delle caratteristiche degli aerei** (diversità del peso, della disposizione delle ruote, della pressione di gonfiaggio)
- B. per uno stesso aereo, **diversità del carico in relazione alle condizioni operative** (decollo, atterraggio, limitazioni di carico)
- C. **la pista è diversamente sollecitata lungo la sua lunghezza** (la portanza alare, che cresce con la velocità, riduce progressivamente il peso che si scarica sulla pavimentazione fino ad annullarlo)
- D. **la pista è diversamente sollecitata lungo la sezione trasversale per effetto della canalizzazione del traffico**

## IL PROBLEMA DEL DIMENSIONAMENTO

Ai fini del dimensionamento è utile la distinzione tra:

A. ZONE CRITICHE: zone dell'air side nelle quali la portanza alare è nulla e il carico dell'aereo si scarica completamente sulla pavimentazione (vie di rullaggio, piazzali di sosta, aree di attesa, testate delle pista di volo)

B. ZONE NON CRITICHE: zone dell'air side nelle quali, intervenendo la portanza alare, il carico dell'aereo si scarica parzialmente sulla pavimentazione (pista di volo, via di uscita rapida)

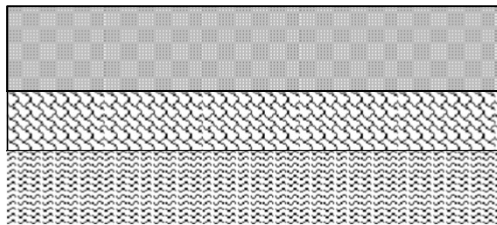
***In generale, si calcola lo spessore della pavimentazione per zone critiche e si attribuisce una aliquota di tale spessore alla pavimentazione di zone non critiche.***

## REQUISITI DI UNA PAVIMENTAZIONE AEROPORTUALE

- ✓ **CAPACITA' DI RESISTERE ALLE SOLLECITAZIONI TRASMESSE DALLE RUOTE DEI CARRELLI**
- ✓ **BUONA ADERENZA IN TUTTE LE CONDIZIONI METEOROLOGICHE**
- ✓ **ELEVATA REGOLARITA' SUPERFICIALE**
- ✓ **DURABILITA'**
- ✓ **RIDOTTI COSTI DI MANUTENZIONE**

# TIPOLOGIE DI PAVIMENTAZIONI AEROPORTUALI

## PAVIMENTAZIONE RIGIDA

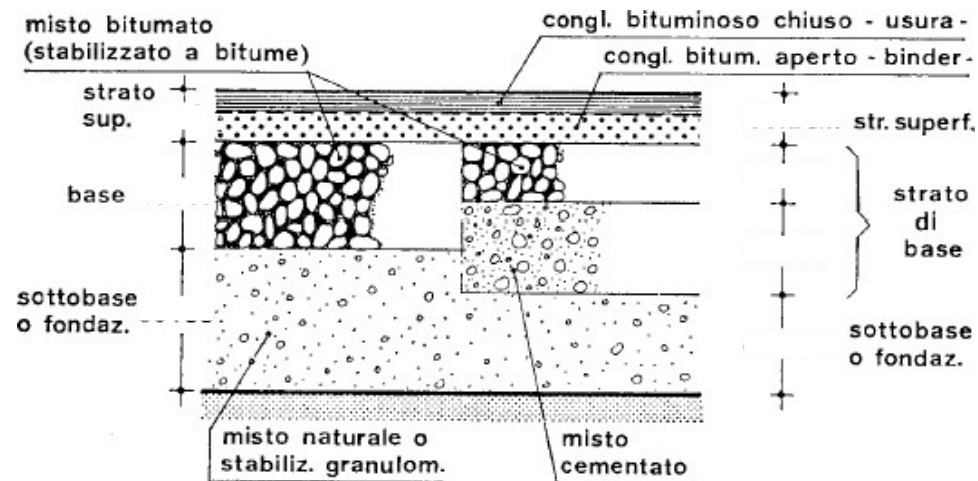


Piastra in cls

Fondazione (misto granulare o misto cementato)

Sottofondo

## PAVIMENTAZIONE FLESSIBILE



## I DATI DI INPUT DEL DIMENSIONAMENTO

- ❖ **PORTANZA DEL SOTTOFONDO**
- ❖ **CARICHI DI TAFFICO**
- ❖ **CARETTERISTICHE DEI MATERIALI**
- ❖ **CONDIZIONI AMBIENTALI**



## PORTANZA DEL SOTTOFONDO

La portanza del sottofondo è un indicatore della capacità di esso a resistere ai carichi senza eccessive deformazioni.

I principali indicatori di portanza sono:

**E [MPa]**      **modulo di deformazione**

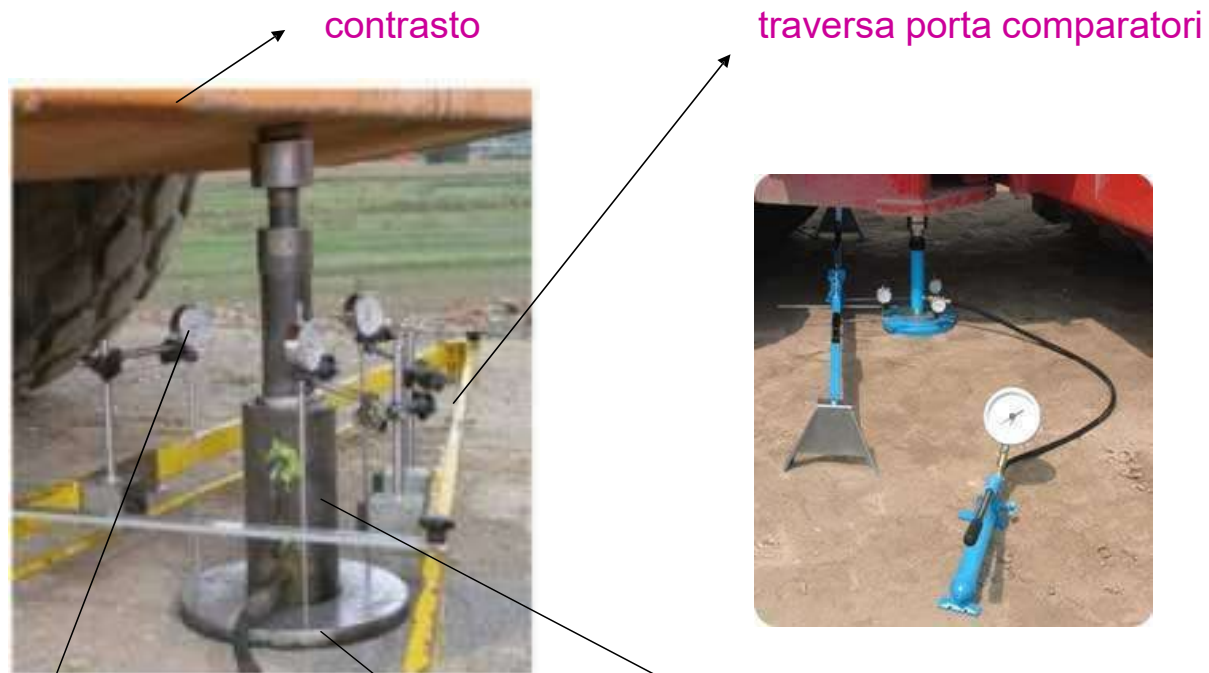
**K [MN/m<sup>3</sup>]**      **modulo di reazione**

**CBR [%]**

E e K si determinano con prove di carico con piastra

CBR si determina attraverso una opportuna a prova di laboratorio

# PORTANZA DEL SOTTOFONDO



contrasto

traversa porta comparatori

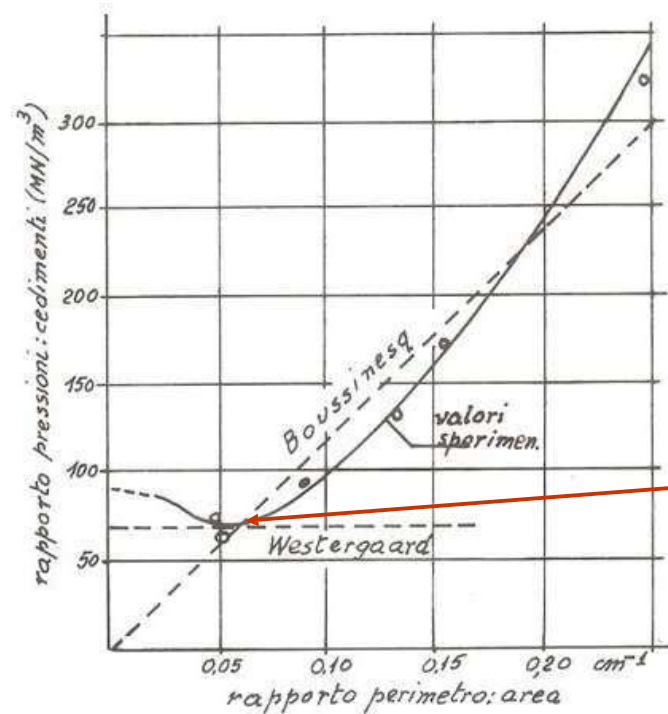
Comparatori centesimali  
disposti a 120°

Piastra circolare in acciaio

martinetto

## PORTANZA DEL SOTTOFONDO

### Influenza del diametro della piastra sul valore del rapporto pressione/cedimento



Boussinesq

$$\frac{p}{f} = \frac{2E}{\pi(1-\mu^2)} \cdot \frac{1}{r}$$

Westergaard

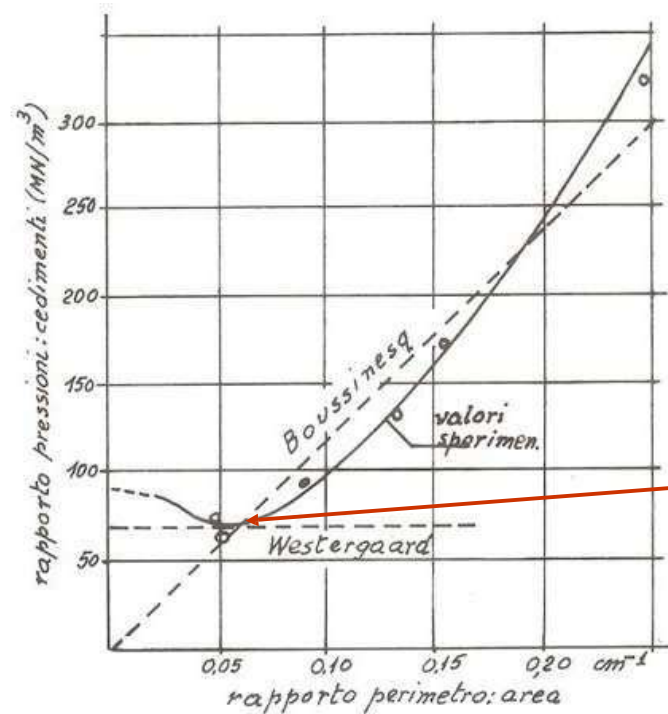
$$\frac{p}{f} = K$$

**P/A = 0,06  
corrisponde al  
diametro di 76 cm**

FIG. XII.1 - Influenza del diametro della piastra di carico (circolare) sul valore del rapporto pressione: cedimento.

## PORTANZA DEL SOTTOFONDO

### Influenza del diametro della piastra sul valore del rapporto pressione/cedimento



**P/A = 0,06  
corrisponde a  
diametro di 76 cm**

FIG. XII.1 - Influenza del diametro della piastra di carico (circolare) sul valore del rapporto pressione: cedimento.

## PORTANZA DEL SOTTOFONDO

### E - Modulo di deformazione

La determinazione del modulo si effettua o con procedimenti di laboratorio (prove edometriche, prove triassiali, ecc..) o con prove in sito, **PROVE DI CARICO SU PIASTRA.**

Poiché, tuttavia, il terreno non è linearmente elastico, isotropo ed omogeneo, è opportuno nell'esecuzione delle prove di carico con piastra adottare alcuni accorgimenti:

- Utilizzare piastre con diametro di 30 cm;
- Applicare pressioni massime dell'ordine di 2 - 3 Kg/cm<sup>2</sup>
- Determinare la freccia totale alla decima ripetizione del carico ed introdurre tale valore nell'espressione che deriva dalla teoria del Boussinesq

$$f = \frac{\pi}{2} \frac{pr}{E} (1 - \mu^2)$$

# PORTANZA DEL SOTTOFONDO

## K - Modulo di reazione

$$K = p/f$$

Westergaard propose di determinare il modulo K tramite una prova di carico con piastra circolare da 76 cm di diametro a ciclo unico e misurando la pressione che determina il cedimento di 0,05" ossia 0,125 cm:

$$K = p/0,05'' = 20 p \text{ [con } p \text{ in lb/sq in]} \quad K =$$

$$p/0,125 = 8 p \text{ [con } p \text{ in Kg/cm}^2\text{]}$$

oppure

$$K = 0,7/f \text{ [Kg/cm}^3\text{]}$$

## PORTANZA DEL SOTTOFONDO

### CBR – California Bearing Ratio

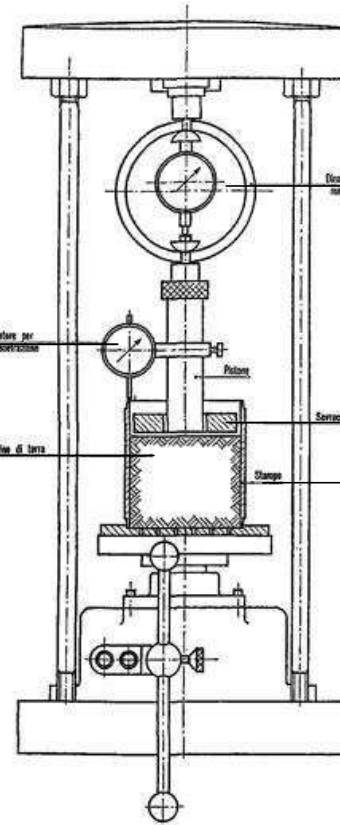
Si determina mediante prova normalizzata (AASHTO T-193), alle seguenti condizioni del campione:

1. Campioni costipati alla densità massima e all'umidità ottima della prova AASHTO mod. (**CBR standard**);
2. Campioni costipati come sopra e saturati in acqua per 4 giorni (**CBR standard a saturazione**);
3. Campioni costipati alla densità e all'umidità riscontrati in sito (**CBR di progetto**);
4. CBR su campioni indisturbati prelevati in sito;
5. CBR in sito con idonea apparecchiatura.

# PORTANZA DEL SOTTOFONDO

## CBR – California Bearing Ratio

Schema di prova



Anello dinamometrico per la misura carico

Comparatore per misura affondamento

Provino di terra

Sovraccarico

Fustella



## PORTANZA DEL SOTTOFONDO

### CORRELAZIONI TRA INDICATORI DI PORTANZA

#### E vs CBR

$$E = 3 \cdot \text{CBR} \quad \text{terreni coerenti} \quad E \text{ [MN/m}^2 = 10 \text{ Kg/cm}^2\text{]}$$

$$E = 5 \cdot \text{CBR} \quad \text{terreni incoerenti}$$

$$E = 65 \cdot \text{CBR}^{0,65} \quad \text{Jeuffroy} \quad E \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$$

#### E vs K

$$E = 0,52 K \quad \text{per } \mu = 0,35$$

$$E = 0,45 K \quad \text{per } \mu = 0,50$$

#### K vs CBR

$$K = (5,8 - 6,7) \cdot \text{CBR} \quad \text{terreni coerenti}$$

$$K = (9,6 - 11,1) \cdot \text{CBR} \quad \text{terreni incoerenti}$$

$$K = (12,5 - 14,4) \cdot \text{CBR}^{0,65} \quad \text{Jeuffroy}$$

## PORTANZA DEL SOTTOFONDO

### PORTANZA DESIDERABILE

$$E \geq 30 \text{ MN/m}^2$$

$$K_0 = 50 \text{ MN/m}^3$$

$$\text{CBR} \geq 10$$

# PROVE DI PORTANZA SULLA PAVIMENTAZIONE

## SCOPO

Si eseguono per verificare la buona esecuzione di una pavimentazione o per accertarne l'attitudine a sopportare determinate sollecitazioni.

## TIPOLOGIA DI PROVA

PROVE DI CARICO CON PIASTRA

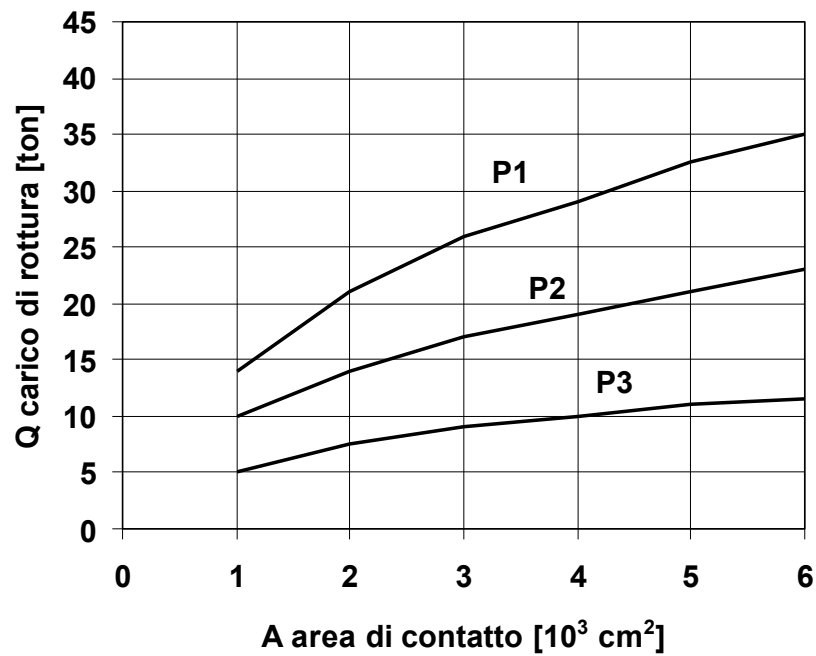
A ciclo unico

per pavimentazioni rigide

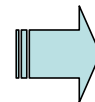
A cicli ripetuti

per pavimentazioni flessibili

# PROVE DI PORTANZA SULLA PAVIMENTAZIONE

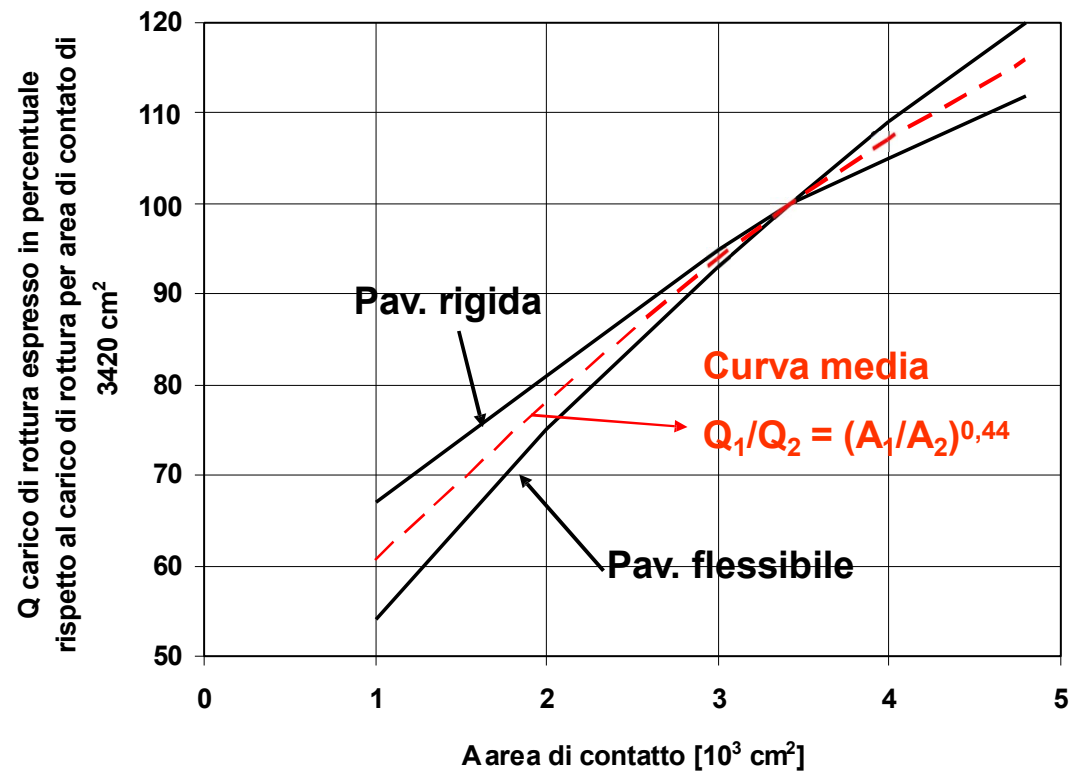


**P1 > P2 > P3**

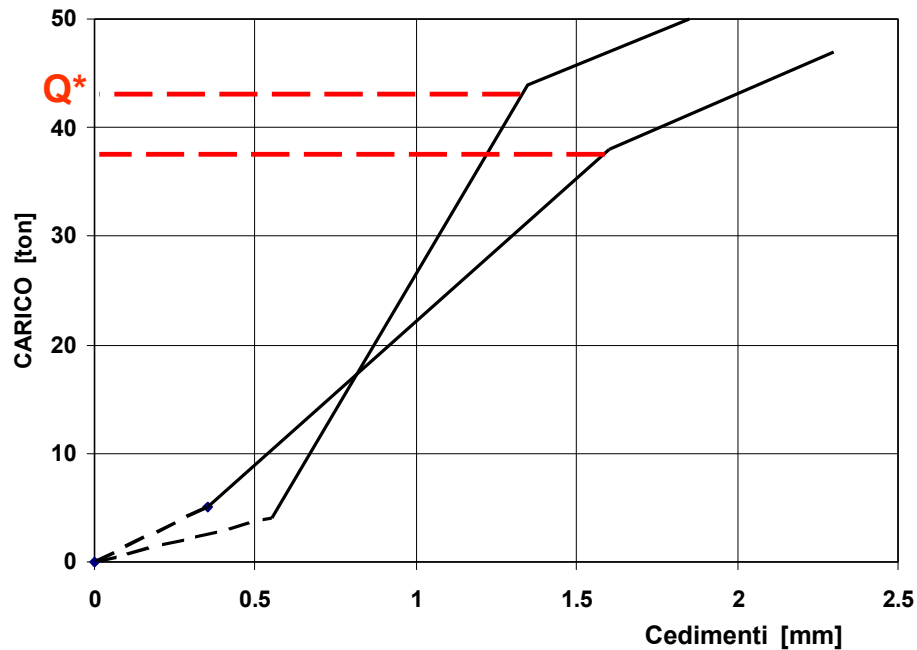


**Il carico limite è  
funzione dell'area della  
piastra**

# PROVE DI PORTANZA SULLA PAVIMENTAZIONE



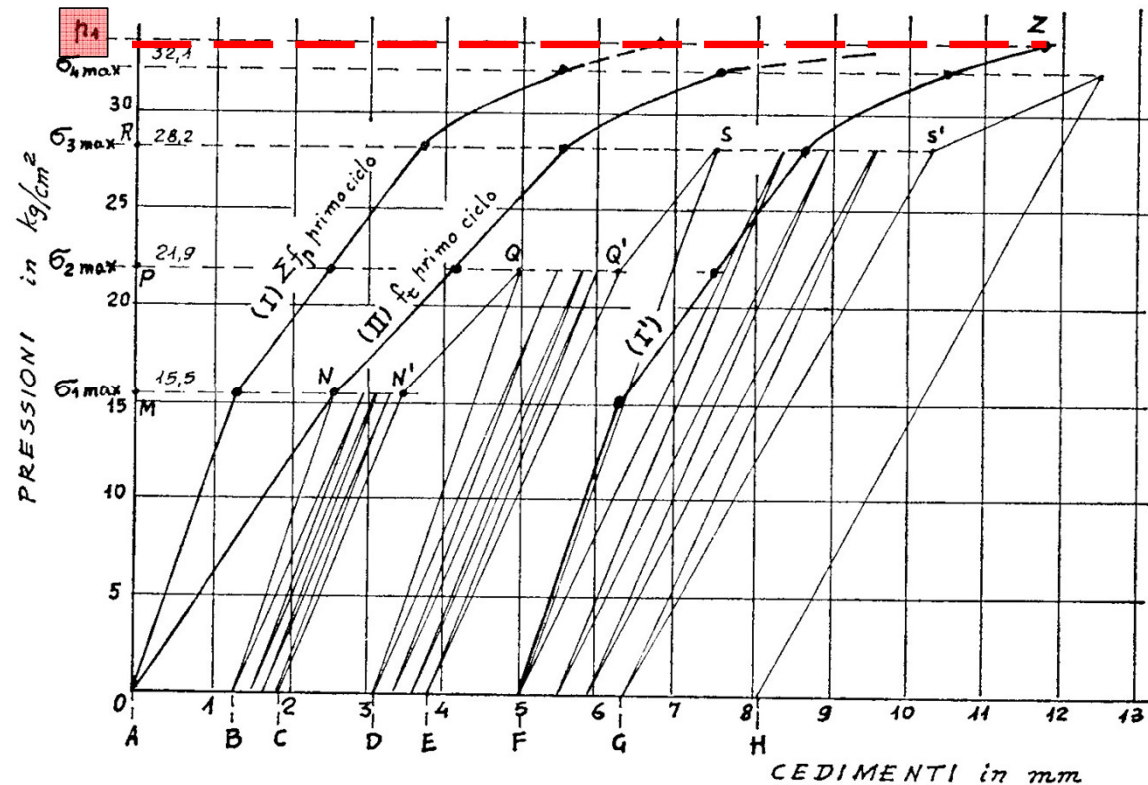
## PROVE DI PORTANZA SU PAVIMENTAZIONE RIGIDA



1. Si fornisce un precarico di 2300 Kg per l'assestamento della piastra
2. Si scarica
3. Si applica nuovamente il carico con incrementi successivi di 2300 Kg
4. Si arresta la prova quando la deflessione raggiunta è di 5 mm

$$Q_{\text{limite}} = \min [Q_{5\text{mm}}, Q^*]$$

## PROVE DI PORTANZA SU PAVIMENTAZIONE FLESSIBILE



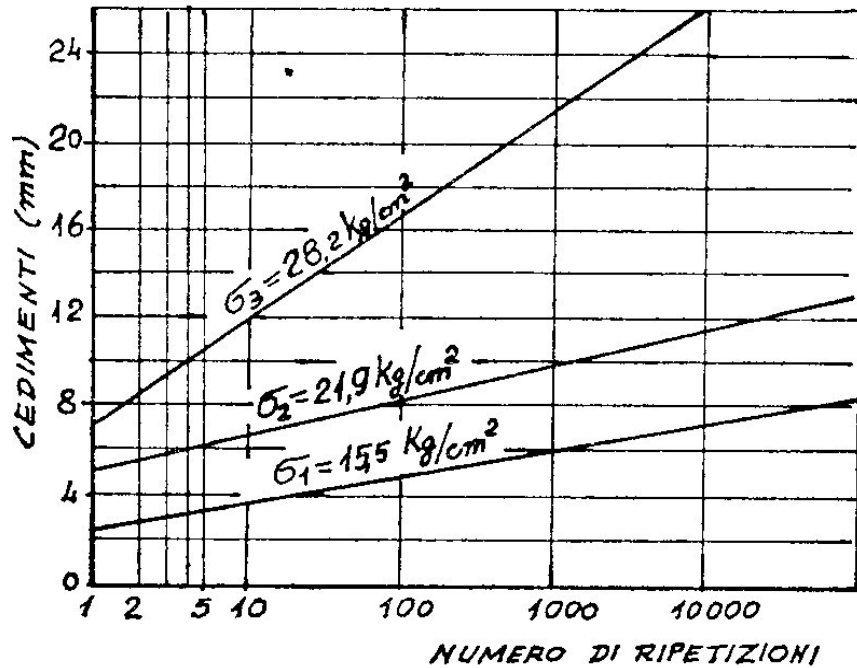
$p_1$  pressione limite, pressione che al primo ciclo di carico produce una deformazione totale pari a quella plastica aumentata di 5 mm

Curva I – deformazioni plastiche al primo ciclo di ciascuno stato tensionale (AB, AB+CD, AB+CD+EF, ...)

Curva II – deformazioni totali al 1° ciclo di ciascun livello tensionale (MN, PQ-NN', RS-NN'-QQ',.....)

Curva I' – curva I traslata di 5 mm

## PROVE DI PORTANZA SU PAVIMENTAZIONE FLESSIBILE



Curva III – accumulo di freccia plastica all'inizio di ciascuna serie di carico (AB; AD; AF..)

$p_2$  pressione critica, pressione che produce una deformazione totale di 5 mm dopo 10.000 ripetizioni del carico

$$f_t = f_e + f_p$$

Leggi di McLeod

$$f_e = \text{cost}$$

$$f_{tn} = f_{t1} + K \log n$$

