

Insegnamento di **Progetto di Infrastrutture viarie**

Opere in terra

Caratteristiche di un terreno
Compressibilità e costipamento delle terre
Portanza sottofondi e fondazioni stradali
Instabilità del corpo stradale

Soprastrutture

Materiali stradali
Soprastruttura flessibili
Cenni di calcolo delle soprastrutture

Intersezioni e Impianti stradali

Intersezioni a raso e a livelli sfalsati
Aree di sosta

Portanza dei sottofondi e della sovrastruttura

La portanza di un sottofondo o capacità portante, s'intende il carico specifico che determina un prestabilito cedimento. Tale concetto non riguarda solo i sottofondi, ma è importante perché viene ripreso nel dimensionamento delle sovrastrutture stradali come vedremo in seguito.

Le classificazioni HRB e FAA, pur fornendo un giudizio sintetico sulle caratteristiche fisiche del terreno, non permettono però di risalire alle sue condizioni vere e proprie: disposizione degli strati, presenza di falda più o meno profonda, situazione geomorfologica dei terreni sottostanti quello di sottofondo.

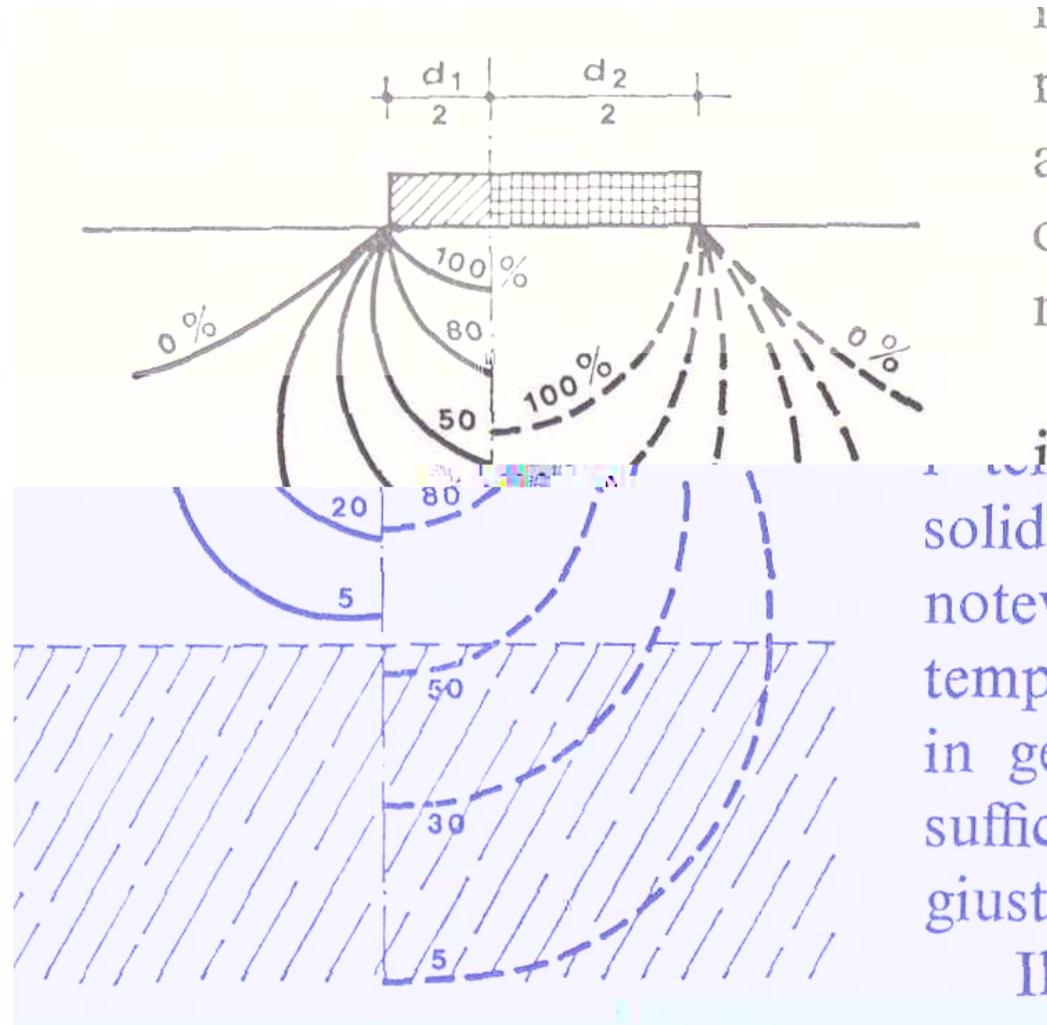
Per determinare quindi la portanza di un terreno di sottofondo si effettuano delle prove dirette per mezzo di una piastra a cui si applica un certo carico che darà luogo ad un dato cedimento.

In figura 1 è riportata l'apparecchiatura di carico con piastra; la deformazione si legge tramite *comparatori* posti tra la piastra e la traversa che appoggia, tramite porta traversa, sul terreno in una zona non influenzata dalla piastra stessa.

Apparecchiatura di carico con piastra



Esperienza “storiche” con piastra di forma quadrata



I
r
a
C
I

i
solid
notev
temp
in ge
suffic
giust
II

Prova di carico con piastre circolari ad un ciclo

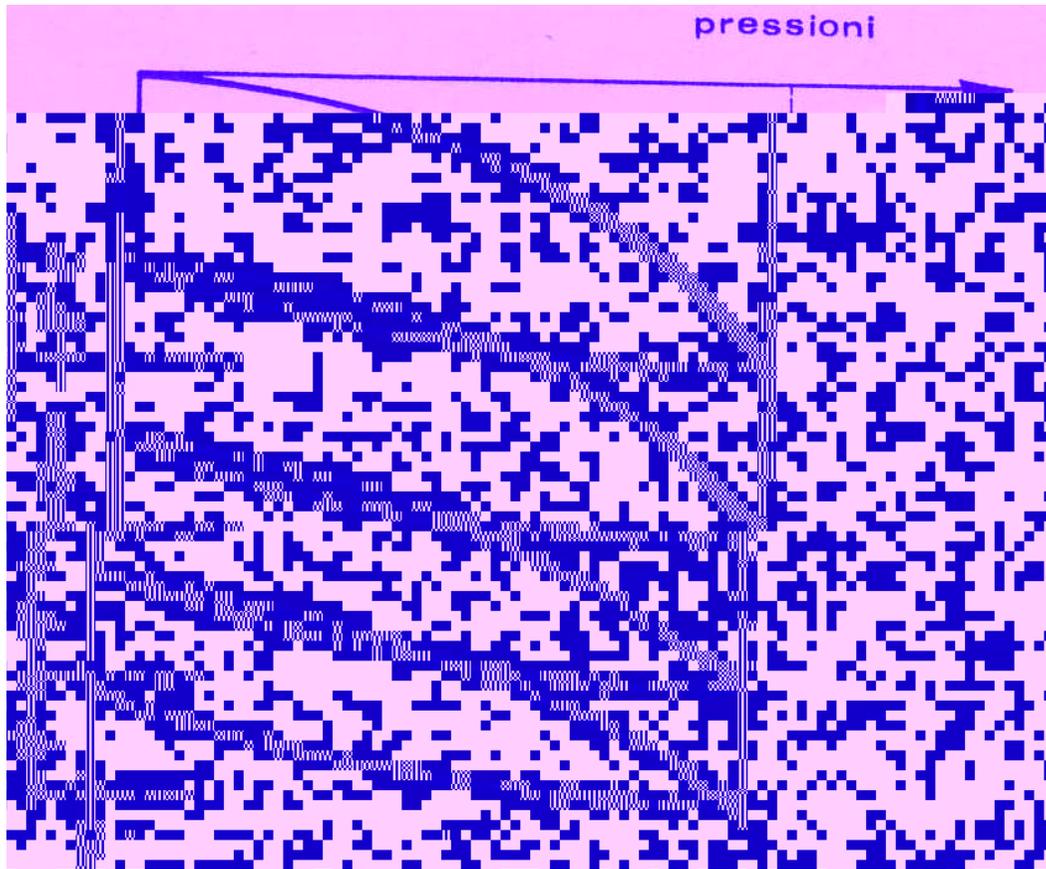
Con tale prova è possibile ottenere la curva: pressioni – cedimenti relativa ad una prova a ciclo unico in cui, applicando progressivamente la pressione, al raggiungimento del valore p_1 si ha un cedimento totale f_t (curva di carico AB). Scaricando (tratto BC) il terreno, come riportato in figura 2, otteniamo un cedimento f_p definitivo, dovuto alla deformazione plastica; il cedimento f_e , dovuto alla deformazione elastica, si annulla.



Tale prova è utilizzata (Marina USA) per valutare l'usura degli strati delle pavimentazioni aeroportuali con sovrastruttura flessibili. La deformazione ammissibile viene assunta pari a circa 0,3 cm.

Prova di carico con piastre circolari a più cicli

Nel caso di prove di carico a cicli ripetuti si effettuano le prove di carico con lo stesso valore di pressione massima ottenendo, come riportato in figura 3, le curve: pressioni - cedimenti.



Si nota che: $f_p' > f_p''$

e che: $f_e = \text{costante}$

Si osserva quindi che:

- il cedimento plastico, ad ogni ciclo, si riduce con l'aumentare del numero dei cicli;
- il cedimento elastico rimane costante.

Progetto di Infrastrutture viarie

Modalità e tipi di prove

Le modalità di prova per determinare la portanza di un terreno, riferita al piano di sottofondo, riguardano:

- forma e superficie della piastra.
- modalità d'applicazione dei carichi,
- cedimento limite ammissibile.

Per pavimentazioni stradali flessibili, i fenomeni di fessurazione nascono con deformazioni a partire da 0,5 cm; le deformazioni massime assunte quindi non devono superare i 0,25 cm.

Di solito si utilizzano piastre circolari di diametro di:

16, 30, 50 e 76 [cm]

poste su un piano orizzontale. La portanza sarà data dal carico, letto al dinamometro, che determina l'assegnato cedimento.

Tra i metodi utilizzati, ricordiamo: l'HRB (Highway Research Board), il CBR (California Bearing Ratio) e il Fattore di portanza (Peltier).

Metodo HRB (Highway Research Board) 1

Tale metodo prevede di effettuare, senza spostamento della piastra, tre prove con valori di carico p_{\max} differenti. In figura 4 è riportata la curva: pressioni - deformazioni, dove per ogni prova sono previsti quattro cicli di carico - scarico.



Metodo HRB (Highway Research Board) 2

Nell'ipotesi che valga l'espressione: $f_t = f_1 + k \log n$, è possibile ricavare, per

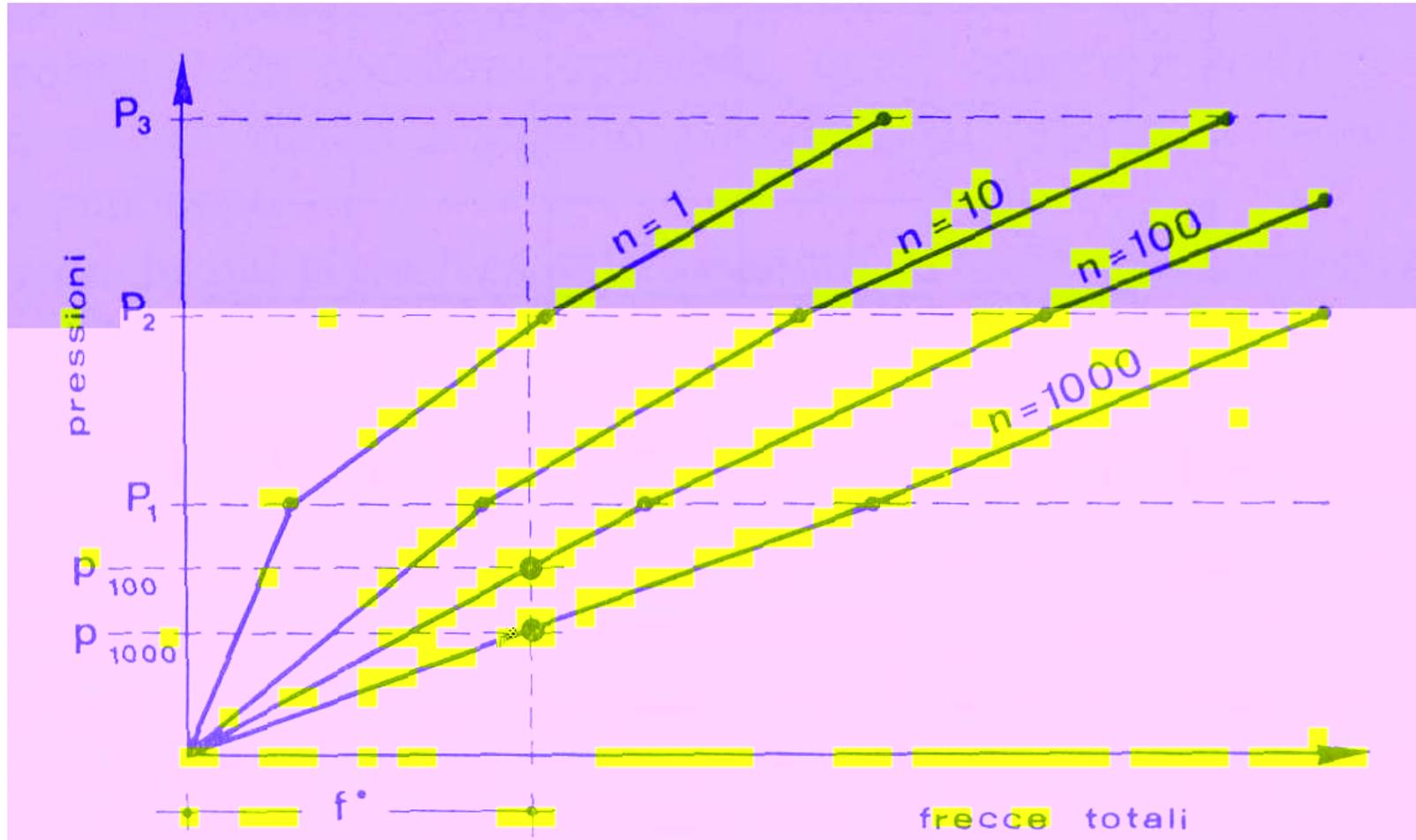
Metodo HRB (Highway Research Board) 3

E' possibile costruire quindi un diagramma: frecce totali - pressioni, come riportato in figura 6, nel quale, per un determinato valore di f_t pari a $f^* = 0,5$ cm), tracciando la verticale per f^* , questa interseca la $n =$ costante in un punto a cui corrisponde il valore della portanza del terreno cercata.

L'HRB stabilisce che:

- La prova sia a cicli ripetuti (da 4 a 6) a cadenza lenta e con piastra circolare di diametro di 76 cm,
- Il cedimento totale sia di 5 mm, depurato però del cedimento iniziale di assestamento del 1° ciclo,
- I valori di n caratterizzanti il tipo di traffico stradale sono:
 - scarso traffico: $n = 10$
 - traffico normale: $n =$ da 100 a 1.000
 - intenso traffico: $n =$ da 1.000 a 10.000

Diagramma pressioni - frecce totali



Metodo CBR (California Bearing Ratio) 1

Questo metodo è di facile applicazione e viene utilizzato per il dimensionamento sia di pavimentazioni stradali che aeroportuali.

Consiste nel sottoporre un campione del terreno da esaminare ad una prova di penetrazione, tramite un ago pistone di 5 cm di diametro e di 19,4 cm² di superficie, come riportato in figura 7, con velocità costante d'affondamento pari a 1 mm ogni 50 sec, leggendo al dinamometro i valori dei carichi unitari in corrispondenza dei seguenti affondamenti:

0,5 - 1,0 - 1,5 - 2,0 - 2,5 - 3,0 - 4,0 - 5,0 - 6,0 - 7,0 - 8,0.

Sarà quindi possibile tracciare un diagramma e si potranno ricavare i carichi unitari in corrispondenza degli affondamenti di: 0,25 e 0,50 cm.

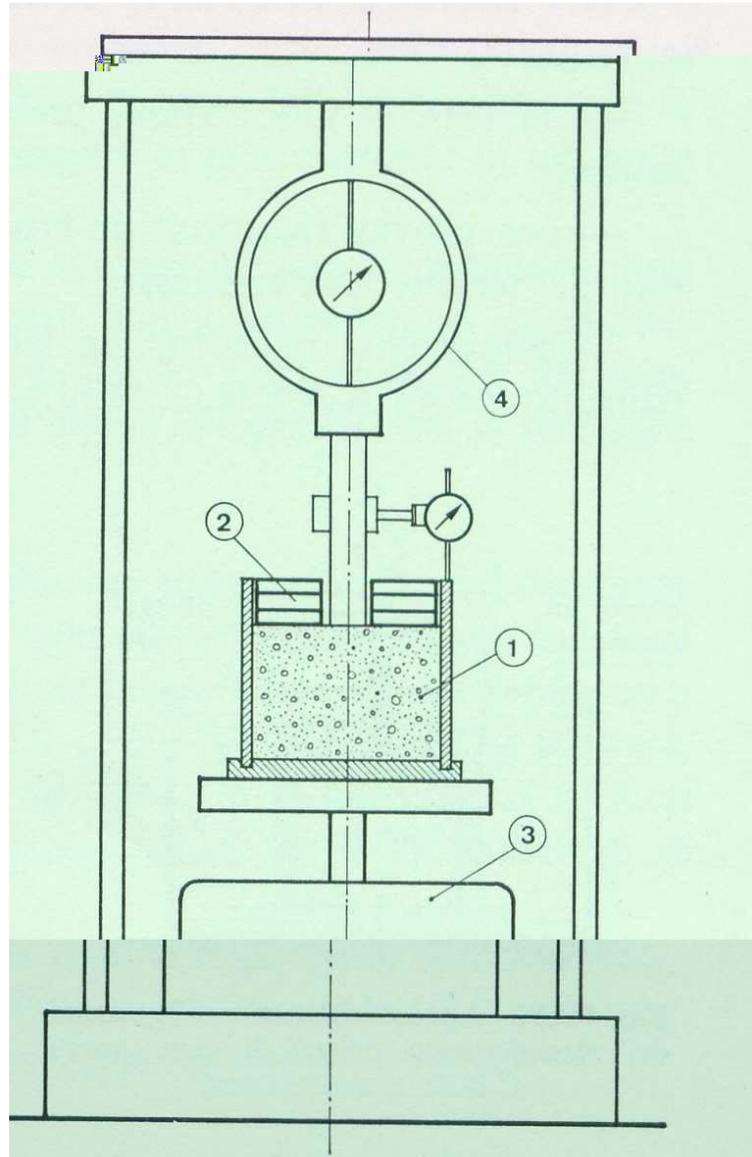
Rapportando tali carichi ad analoghi ottenuti su terreno campione, l'indice CBR viene definito dai rapporti:

$$I_{2,5} = (p_{2,5} / 70) 100$$

$$I_5 = (p_5 / 105) 100$$

Come valore di portanza del terreno si assume il maggiore dei due valori purché non differiscano molto. La prova va ripetuta se tale differenza risulta notevole.

Apparecchiatura CBR



Metodo CBR (California Bearing Ratio) 2

Qualora la curva pressioni - affondamenti presenti all'inizio un flesso, come per quella relativa al terreno B in figura 7, occorre correggere la curva stessa, spostando l'origine delle letture da O a O' . In questo caso il carico unitario relativo all'affondamento di 2,5 mm verrà letto in corrispondenza di M' e non di M.

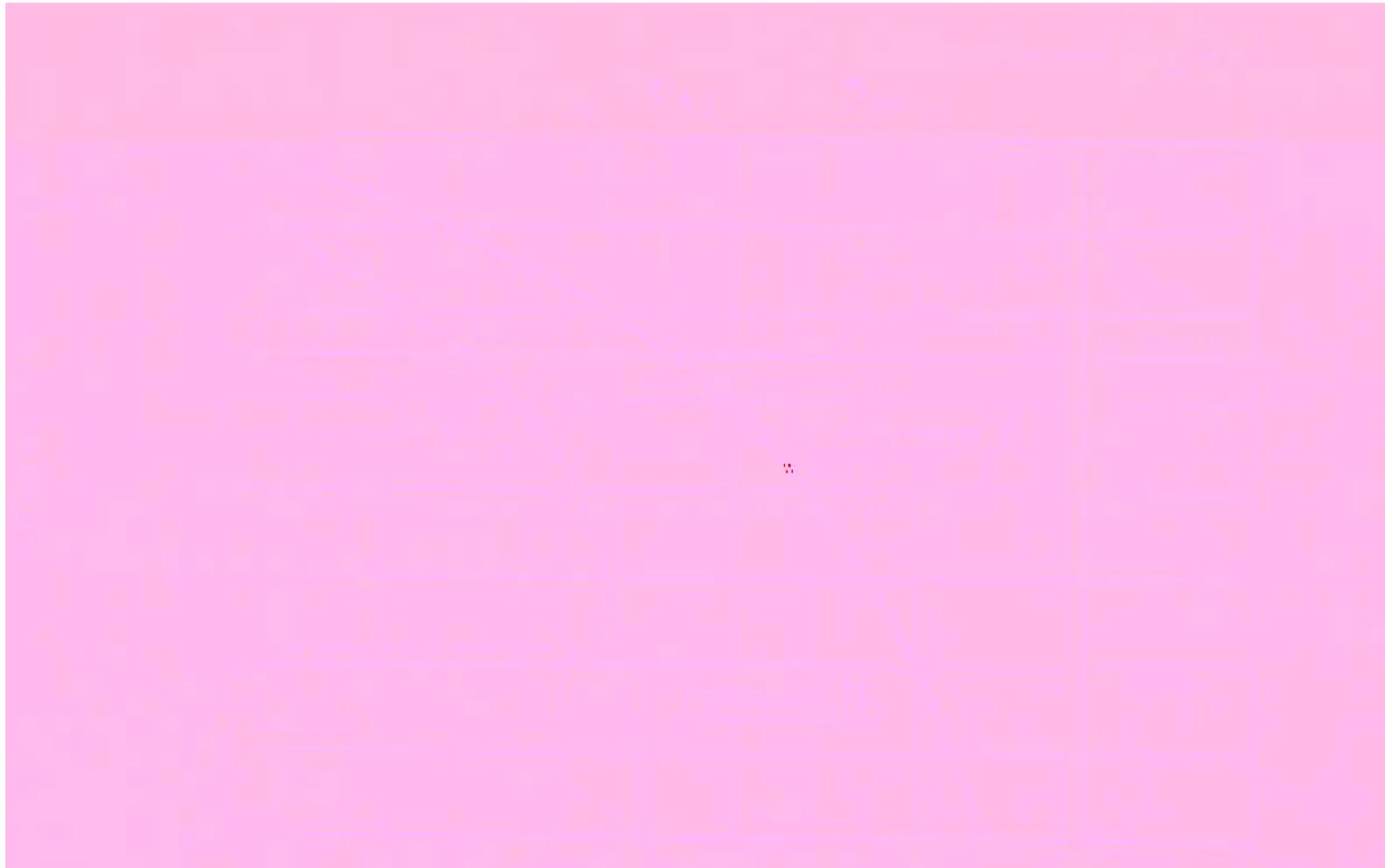
La determinazione del CBR può essere anche eseguita in sito: i risultati sono molto più dispersi di quelli ottenuti in laboratorio. E' quindi consigliabile eseguire tre determinazioni in punti vicini ed assumere come indice CBR il valore medio delle tre prove solo se i risultati non si discostano eccessivamente (15 %).

L'indice di CBR dipende altresì, a parità d'energia di costipamento, dal tenore d'acqua usato nella preparazione del provino e la legge di variazione dell'indice CBR con il contenuto d'acqua w è riportata in figura 8 e presenta un massimo per un dato w del tutto simile a quella del costipamento (Proctor).

Si osserva che il valore massimo di densità del secco ed il valore massimo dell'indice CBR non si hanno in corrispondenza dello stesso contenuto d'acqua, anche se non differiscono di molto. Come per la prova Proctor, l'aumentare dell'energia di costipamento, determina un innalzamento dei valori i cui massimi corrispondenti si discostano di poco tra loro.

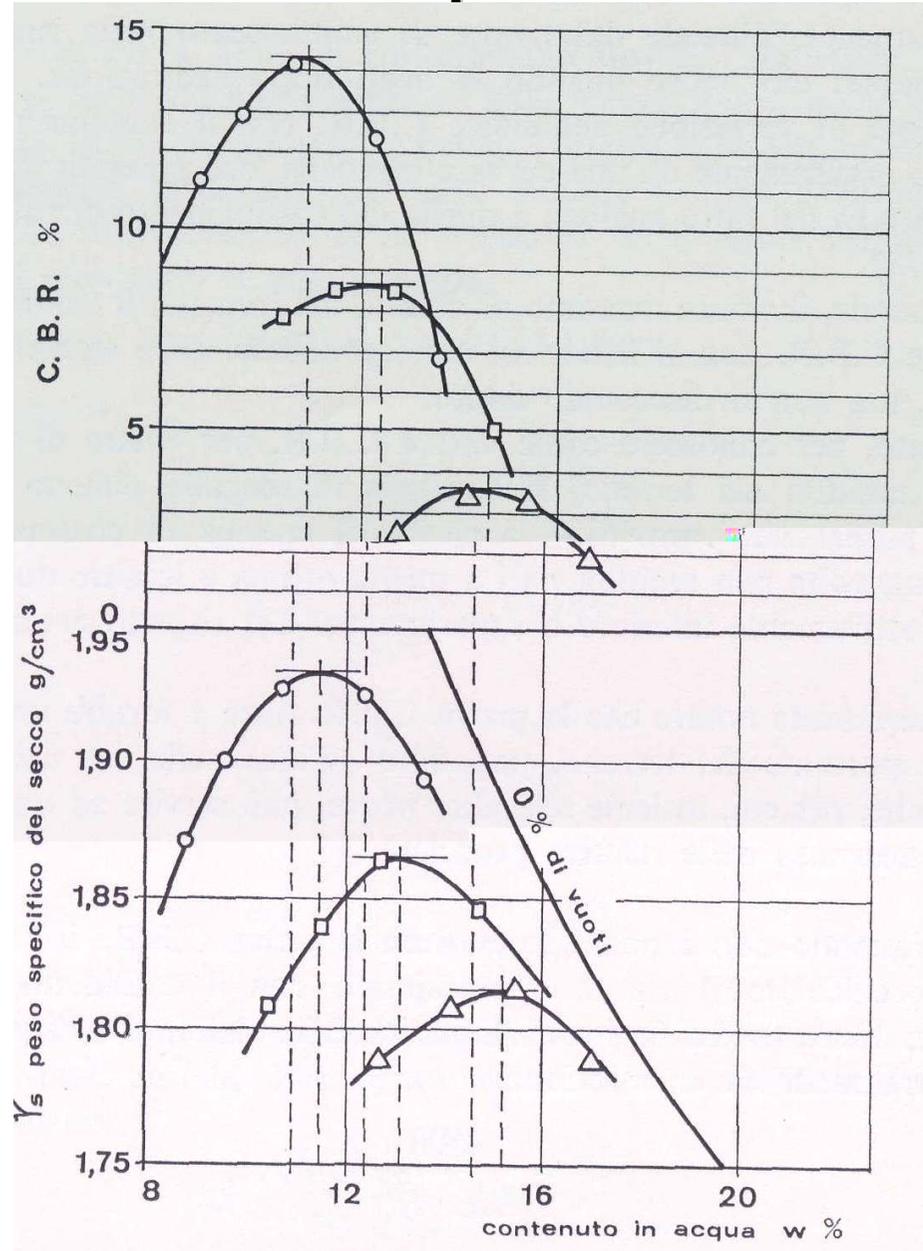
Progetto di Infrastrutture viarie

Curve pressioni - affondamenti



Progetto di Infrastrutture viarie

Curva CBR contenuto d'acqua - CBR e densità del secco



Fattore di portanza

Dove non sia possibile eseguire la prova CBR, il Peltier ne propone il calcolo approssimato attraverso il fattore di portanza:

$$F = 4500 / (LL \times IP) \cong I_{CBR}$$

Tale espressione risulta valida per terreni plastici in quanto perde di significato per $IP = 0$. Per terreni non plastici il Peltier consiglia di prendere $F = 20$

Per un terreno plastico, ad esempio, con $LL = 45 \%$ ed $IP = 27 \%$ risulta:

$$F = 4500 / (45 \times 27) = 3,7 \cong I_{CBR}$$

Per un terreno meno plastico , ad esempio, con $LL = 28 \%$ ed $IP = 12 \%$ risulta:

$$F = 4500 / (28 \times 12) = 13,4 \cong I_{CBR}$$

Questi valori di F risultano, secondo il Peltier, vicini al corrispondente valore dell'indice CBR.

Modulo di reazione

Se la portanza di un terreno é la pressione in corrispondenza di un prestabilito cedimento, il modulo di reazione di un terreno k è data da:

$$p / f \text{ [kg/cm}^3\text{]}.$$

Per $f = 0,125$ cm si ottiene il *modulo di Westergaard*: $k = 8 p$.

Più elevato risulta k migliori risultano le proprietà del terreno.

Orientativamente:

- | | |
|--|--------------|
| | k |
| • Terreni granulari: A_1 e A_3 | $9 \div 20$ |
| • Terreni granulari: A_2 | $5 \div 15$ |
| • Terreni non granulari: A_5 e A_7 | $1,5 \div 6$ |