

## DIMENSIONAMENTO DELLE PAVIMENTAZIONI FLESSIBILI STRADALI SECONDO IL METODO AASHTO

*Il metodo è applicabile, a rigore, in condizioni simili a quelle della sperimentazione (traffico, materiali, temperature, sottofondo). Certamente non è applicabile per dimensionare pavimentazioni per parcheggi e simili, per viadotti o gallerie. Per il dimensionamento empirico, invece, delle pavimentazioni aeroportuali si può utilizzare il metodo FAA.*

1. Si definiscono i dati iniziali (tipo di strada, traffico, carichi, indice di servizio, portanza sottofondo, affidabilità, etc);
2. Si determina la portanza di calcolo del sottofondo;
3. Si fissano degli spessori di tentativo degli strati (ad es. quelli di catalogo nelle condizioni più prossime al caso in esame);
4. Si verifica lo spessore complessivo della pavimentazione;
5. Nel caso non sia verificato lo spessore complessivo, si aumentano gli spessori, partendo da quelli più profondi (cercando di non variare eccessivamente i rapporti tra le dimensioni degli strati) fino a soddisfare la verifica.

## Descrizione sintetica del metodo

Il metodo è empirico-statistico, basato cioè su osservazioni sperimentali dei parametri in gioco, i quali sono opportunamente correlati da funzioni di regressione in modo che i legami funzionali siano fisicamente corretti.

Esso consiste nel determinare il numero di assi standard (l'asse standard è l'asse singolo con ruote gemelle da 18 kips = 80 kN = 8,2 t) che la pavimentazione può sopportare raggiungendo un fissato grado di ammaloramento finale ( $PSI_f$ ). Tale valore è funzione di vari parametri, quali caratteristiche meccaniche dei materiali, spessori degli strati, portanza del sottofondo, grado di ammaloramento finale che, per questioni di comfort e sicurezza, la pavimentazione può raggiungere, coefficiente di sicurezza (fissato attraverso l'affidabilità, ovvero la probabilità che la pavimentazione resista al traffico che transita durante la sua vita utile).

Tali assi devono essere confrontati con il traffico commerciale (veicoli con carico per asse o set di assi superiore a 10 kN) che si stima passerà durante la vita utile della pavimentazione sulla corsia più carica (si dimensiona la corsia più carica, non essendo il traffico pesante equiripartito tra le corsie).

Poiché il traffico commerciale che transita su strada è costituito da veicoli che si differenziano per numero di assi, carico per asse e tipologia di asse (singolo, tandem e tridem)<sup>1</sup> è necessario determinare il numero di **assi standard equivalenti**, ovvero il numero di assi standard che determinano lo stesso danno alla pavimentazione provocato dai veicoli reali<sup>2</sup>, o meglio dagli assi dei veicoli reali.

---

<sup>1</sup> Due assi si dicono singoli quando la distanza tra essi è tale che le tensioni da essi indotti nella pavimentazione non si sovrappongono, ovvero gli assi agiscono indipendentemente. Viceversa, un set di due o tre assi si dice, rispettivamente, tandem (td) o tridem (Td) quando la distanza tra gli assi (in genere dell'ordine di 1.5 m) è tale che le tensioni da essi indotti si sovrappongono. In generale, si può dire che a parità di carico per asse o set di assi (ad esempio un asse di 80 kN, rispetto ad un set tandem sempre da 80 kN. 40 kN per asse), il danno prodotto nella pavimentazione dell'asse singolo è maggiore per l'asse singolo rispetto al tandem o al tridem di eguale peso complessivo). La ragione di ciò sta nel fatto che il carico, nel caso del set di assi, viene distribuito su un'area maggiore con conseguente riduzione dello stato tensionale.

<sup>2</sup> Il danno alla pavimentazione, nel metodo empirico probabilistico AASHTO, viene identificato in termini di riduzione di comfort e sicurezza percepiti dall'utente. Tali parametri vengono misurati attraverso il PSI (tra breve ne verrà data la definizione). Altri metodi di calcolo, ad esempio, individuano l'equivalenza in termini di danno per fatica.

Per determinare il numero di assi standard che transiteranno, è necessario stabilire preliminarmente i coefficienti di equivalenza tra ciascun asse reale e quello standard.

Tali coefficienti sono funzione di alcuni parametri, quali caratteristiche meccaniche dei materiali, spessori degli strati, grado di ammaloramento finale (per quanto riguarda la pavimentazione, carico per asse e tipologia di asse (per quanto riguarda gli assi stessi).

Noti i coefficienti di equivalenza di ciascun asse dei veicoli che compongono il traffico reale, bisogna determinare il coefficiente di equivalenza medio, che è funzione della composizione del traffico sulla strada in esame (ovvero dello spettro di traffico, cioè della frequenza relativa dei vari tipi di veicoli).

Infine, per determinare il numero di assi equivalenti che transiteranno sulla corsia più carica basta moltiplicare il coefficiente di equivalenza medio per il numero di veicoli commerciali che si stima transiteranno durante la vita utile della pavimentazione sulla corsia più carica.

Per ottenere il numero di veicoli commerciali che transiteranno sulla corsia più carica della pavimentazione durante la vita utile, bisogna conoscere il TGM, la percentuale di veicoli pesanti  $P$  (%), la suddivisione del traffico pesante tra le corsie  $C$  (%), il tasso di incremento annuo del traffico  $r$  (%).

BOZZA

## TRAFFICO SOPPORTABILE

Sia  $W_{8.2}$  il n° di passaggi di assi standard (singoli da 8.2 t (80 kN o 18 kips)) sopportabile dalla pavimentazione. Esso è legato a vari parametri attraverso la funzione di regressione:

$$\text{Log} W_{8.2} = Z_R \cdot S_0 + 9.36 \cdot \text{Log} \left( \frac{SN}{2.54} + 1 \right) - 0.20 + \frac{\text{Log} \frac{PSI_i - PSI_f}{4.2 - 1.5}}{0.40 + \frac{1094}{\left( \frac{SN}{2.54} + 1 \right)^{5.19}}} + 2.32 \cdot \text{Log} M_R - 3.056$$

$Z_R \cdot S_0 \rightarrow$  affidabilità R

$PSI_i =$  (Present Serviceability Index) indice di servizio iniziale = 4.2

$PSI_f =$  (Present Serviceability Index) indice di servizio finale =  $\begin{cases} 3 & \text{per le strade di maggiore importanza} \\ 2.5 & \text{per le strade di minore importanza} \end{cases}$

$SN = \sum_i s_i \cdot a_i \cdot m_i$  indice strutturale (Structural Number) [cm]

$s_i =$  spessore dello strato i-esimo [cm]

$a_i =$  coefficiente strutturale (<1) dello strato i-esimo (funzione delle caratteristiche meccaniche del materiale)

$m_i =$  coefficiente di drenaggio ( $\leq 1$ ) dello strato i-esimo

$M_R =$  modulo resiliente effettivo del sottofondo [MPa]

Si osservi la logica variabilità di  $W_{8.2}$  con i vari parametri:  **$W_{8.2}$  cresce con  $SN$  e  $M_R$  e decresce con  $R$  e  $PSI_f$ .**

## PSI (Present Serviceability Index) INDICE DI SERVIZIO

Rappresenta una misura del grado di ammaloramento della sovrastruttura, in termini di sicurezza e comfort (in quanto è una valutazione data alla pavimentazione in funzione del comfort e della sicurezza che l'utente percepisce). È un numero che varia tra 0 e 5.

### INDICE DI SERVIZIO INIZIALE

Per tener conto delle inevitabili imperfezioni costruttive, nel caso delle pavimentazioni flessibili, si assume:

$$\mathbf{PSI}_i = 4.2$$

### INDICE DI SERVIZIO FINALE

Per le strade caratterizzate da elevate velocità di progetto, quali le autostrade, si richiedono alti valori per assicurare sempre elevati standards prestazionali:

$\mathbf{PSI}_f = 2.5$  per le strade di media importanza (strade extraurbane, urbane di scorrimento e corsie preferenziali),

$\mathbf{PSI}_f = 3$  per le strade di grande comunicazione (autostrade).

## AFFIDABILITÀ

L'affidabilità  $R$  rappresenta la probabilità che il numero di passaggi di assi singoli equivalenti ( $W_{8.2}$ ) che la pavimentazione può sopportare prima di raggiungere un prefissato grado di ammaloramento finale ( $PSI_f$ ) sia maggiore o uguale al numero di passaggi che realmente si verifica sulla corsia più carica durante la vita utile della pavimentazione  $N_t$ , comprendendo sia l'errore che si può commettere sulla valutazione del traffico sia la variabilità delle prestazioni della pavimentazione. È stato dimostrato sperimentalmente che la variabile aleatoria espressa da:

$$\delta = \text{Log}W_{18} - \text{Log}N_t$$

è una normale avente media  $\bar{\delta}_0 (\geq 0)$  e varianza  $S_0 = 0.40 \div 0.50$ .

Introducendo la normale standard<sup>3</sup> (ovvero la variabile aleatoria normale media nulla e varianza unitaria):

$$Z = \frac{\delta - \bar{\delta}_0}{S_0}$$

Si ha<sup>4</sup>:

$$R = \Pr \{ \text{Log}W_{18} \geq \text{Log}N_t \} = \Pr \{ \delta \geq 0 \} = \Pr \left\{ Z \geq -\frac{\bar{\delta}_0}{S_0} \right\}$$

<sup>3</sup> Ricordiamo che la densità di probabilità di una normale standard è:  $f(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}}$

<sup>4</sup> Ricordiamo che  $\Pr \{ z \geq z_R \} = \int_{z_R}^{\infty} f(z) dz$

I valori di  $Z_R$  in funzione dell'affidabilità R sono riportati nella tabella seguente:

R[%]	50	60	70	75	80	85	90	92	95	98	99	99.9
$Z_R$	0.000	-0.253	-0.524	-0.674	-0.841	-1.037	-1.282	-1.405	-1.645	-2.054	-2.327	-3.090

I valori dell'affidabilità da assumere dipendono dal tipo di strada e dalla sua ubicazione: i valori più alti si adottano per le autostrade urbane e per le corsie preferenziali affinché sia minimo il rischio di interventi di rafforzamento prima del termine della vita utile della pavimentazione con conseguenti gravi intralci alla circolazione. I valori più bassi si adottano per le strade extraurbane a traffico modesto.

Si possono assumere i seguenti valori consigliati dal catalogo delle pavimentazioni stradali:

80% Strade extraurbane secondarie – turistiche;

85% Strade extraurbane secondarie – ordinarie;

90% Autostrade extraurbane, Strade extraurbane principali e secondarie a forte traffico, Strade urbane di quartiere e locali;

95% Autostrade urbane e corsie preferenziali.

L'affidabilità interviene nell'espressione dell'AASHTO si esprime attraverso il prodotto dei due parametri  $Z_r$  ed  $S_0$ , essendo:

$S_0 = 0.40 \div 0.50$  per le pavimentazioni flessibili

## LA PORTANZA DEL SOTTOFONDO

viene espressa attraverso il Modulo Resiliente  $M_R$ .

È possibile, in linea generale, tenere conto della variabilità della capacità portante del sottofondo (al variare del suo contenuto d'acqua), utilizzando il modulo resiliente effettivo  $M_R$  definito come:

**quel valore del modulo resiliente del sottofondo, costante durante tutto l'anno solare, per il quale si avrebbe nella pavimentazione una variazione della funzionalità ( $\Delta PSI$ ) uguale a quella che si produce in presenza dei diversi valori assunti dal modulo resiliente nelle varie condizioni climatiche, che si hanno nell'anno.**

La portanza andrebbe valutata per ogni periodo (stagione) in cui essa si può supporre costante. In genere si possono definire almeno 4 periodi stagionali ciascuno caratterizzato da un  $M_{ri}$ .

Il modulo resiliente  $M_r$  può trovarsi, in mancanza di misure dirette, mediante la seguente correlazione:

$$M_r [MPa] = 10 \cdot CBR$$

ricordando, eventualmente, che

$$CBR = 0.2 M_d \quad \text{con } [M_d] = [MPa]$$

Non disponendo di misure sperimentali si può fare riferimento alla Classifica di Casagrande, da cui, in relazione al tipo di sottofondo, determiniamo il  $CBR_{ottimo}$ , il quale

andrebbe opportunamente ridotto in funzione del presumibile contenuto d'acqua del terreno. C'è da dire che tale contenuto d'acqua non dovrebbe mai essere pari a quello di saturazione, in quanto in presenza di falda bisogna disporre opportune trincee drenanti che abbassino il livello di falda almeno ad un metro dal piano d'appoggio della pavimentazione; inoltre è bene rimuovere il terreno vegetale e sostituirlo con 30-50 cm di terreno opportuno (classe A3, o A1, o eventualmente qualche sottoclasse dell'A2). Pertanto si può dire che il CBR del terreno può variare dal CBR ottimo (in estate) a quello ottimo saturo (in inverno), quest'ultimo è però un estremo che si ha in ipotesi di assenza di opere di difesa idraulica profonde. Poiché generalmente manca un completa caratterizzazione del sottofondo, specialmente nel caso di opere di nuova costruzione, sta alla sensibilità del progettista la scelta dei valori appropriati di portanza.

Ovviamente, il problema si sente in particolar modo nel caso di strade in trincea o a piano campagna, o per rilevati inferiori ad un metro.

Infine, c'è da osservare che quando la portanza del sottofondo è particolarmente bassa, tutti gli enti gestori o proprietari di strade impongono valori minimi pari a  $40 \text{ N/mm}^2$  per strade di minore importanza e  $50 \text{ N/mm}^2$  per le autostrade, pertanto bisogna predisporre un risanamento con materiale opportuno, che garantisca anche in inverno almeno tali valori.

Supporremo, solo per esercizio, che il CBR ottimo si ottenga in condizioni di umidità tipiche dell'estate, mentre per le altre stagioni prevediamo il seguente decremento percentuale:

$$\text{CBR}_{\text{primavera}} = 70\% \quad \text{CBR}_{\text{Casagrande}}$$

$$\text{CBR}_{\text{estate}} = 100\% \quad \text{CBR}_{\text{Casagrande}}$$

$$\text{CBR}_{\text{autunno}} = 75\% \quad \text{CBR}_{\text{Casagrande}}$$

$$\text{CBR}_{\text{inverno}} = 50\% \quad \text{CBR}_{\text{Casagrande}}$$

Utilizzando le relazioni viste prima ci ricaviamo poi il  $M_r$  del sottofondo per ogni stagione.

Da tali valori, attraverso il calcolo del danno stagionale, con il metodo di seguito descritto si ottiene il modulo resiliente effettivo. Per la dimostrazione dell'espressione di seguito riportata del danno stagionale e della stessa procedura per la determinazione del danno medio e quindi del modulo resiliente effettivo si veda l'appendice C.

## Procedura per la determinazione del modulo resiliente effettivo

1. Si valuta il “danno” apportato in ciascun periodo stagionale dal modulo resiliente:

$$U_j = 10^{-(2.32 \cdot \text{Log} M_{R_j} - 3.056)} \quad (1)$$

dove:

$M_{R_j}$  è il modulo resiliente del sottofondo per il j-esimo periodo dell'anno [MPa],

2. Noti i valori del parametro  $U_j$  si calcola il “danno” medio:

$$\bar{U} = \frac{\sum_{j=1}^n U_j}{n}$$

3. Il modulo resiliente effettivo sarà fornito infine dalla relazione (inversa della (1)) :

$$M_R = \left( \frac{10^{3.056}}{\bar{U}} \right)^{\frac{1}{2.32}}$$

## STRUCTURAL NUMBER (SN)<sup>5</sup>

$SN$  è l'indice strutturale della pavimentazione flessibile [cm]:

$$SN = \sum_i s_i \cdot a_i \cdot m_i$$

$s_i$  = spessore dello strato i-esimo [cm];

$a_i$  = coeff. strutturale dello strato i-esimo, dipende dal materiale, è funzione della Stabilità Marshall a 50 colpi<sup>6</sup> per gli strati legati (conglomerato bituminoso e misto cementato) e del CBR per gli strati non legati;

$m_i$  = coefficiente di drenaggio (=1 per gli strati legati in misto granulare, 0.98 per il misto cementato, 0.95 per il misto granulare).

Per ottenere  $a_i$ , bisogna utilizzare i nomogrammi forniti dall'AASHTO (Appendice B).

Poiché in Italia si utilizza lo strato superficiale suddiviso in usura e binder, con conseguente minore rigidezza a parità degli altri fattori (quali spessori degli strati, materiali), è consigliabile ridurre i valori ottenuti da tali nomogrammi di circa il 5-10% per gli strati in conglomerato bituminoso.

Valori di riferimento sono:

$$a_{\text{usura}} = 0.43$$

$$a_{\text{binder}} = 0.40$$

$$a_{\text{base}} = 0.28$$

$$a_{\text{mc}} = 0.18$$

$$a_{\text{mg}} = 0.11$$

$$a_{\text{usdren}} = 0.28$$

<sup>5</sup> Per maggiori informazioni sul PSI, Modulo Resiliente, Affidabilità, Coefficienti Strutturali e loro determinazione per i materiali italiani si veda Appendice B.

<sup>6</sup> Si ricordi che in Italia la Stabilità Marshall viene misurata su provini costipati a 75 colpi; si può utilizzare la seguente relazione empirica:  $SM_{75} = 1.2SM_{50}$

## VERIFICA DELLO *STRUCTURAL NUMBER* DELLA PAVIMENTAZIONE

Noto dunque il numero  $W_{8.2}$  di passaggi di assi equivalenti da 8.2 t sopportabili dalla pavimentazione di assegnate caratteristiche, si verifica che tale valore sia maggiore o uguale al numero  $N_{8.2}$  di passaggi di assi equivalenti previsti nell'arco della vita utile della pavimentazione, in relazione al tipo di strada:

$$W_{8.2} \geq N_{8.2}$$

Va dunque determinato il valore  $N_{8.2}$

Nelle tabelle seguenti sono riportati le tipologie di veicoli che costituiscono il parco veicolare commerciale in Italia, gli spettri di traffico prevedibili sulle strade italiane (ovvero la frequenza relativa di ciascun tipo di veicolo) e la ripartizione tra le corsie del traffico pesante.

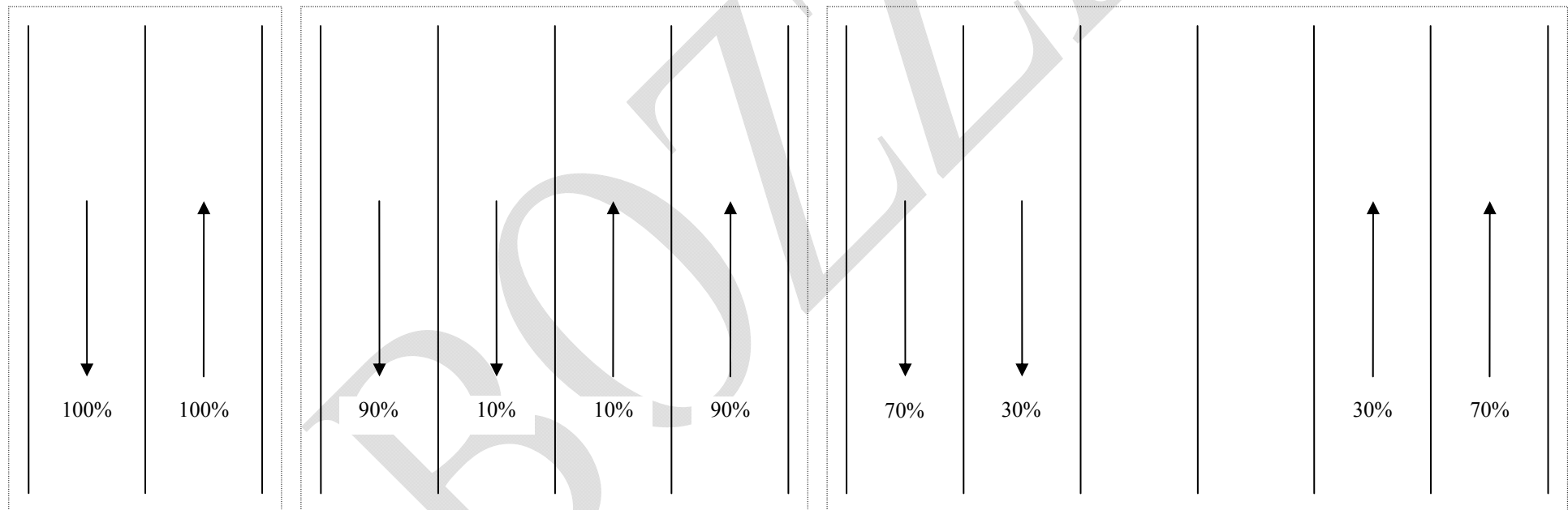
## VEICOLI COMMERCIALI

Tipo di veicolo	N° Assi			Carichi per asse o set di assi			
	S	T	Td				
1) AUTOCARRI LEGGERI	2			↓ 10	↓ 20		
2) “ “	2			↓ 15	↓ 30		
3) AUTOCARRI MEDI E PESANTI	2			↓ 40	↓ 80		
4) “ “	2			↓ 50	↓ 110		
5) AUTOCARRI PESANTI	1			↓ 40	↓ ↓ 80+80		
6) “ “	1			↓ 60	↓ ↓ 100+100		
7) AUTOTRENI E AUTOARTICOLATI	4			↓ 40	↓ 90	↓ 80	↓ 80
8) “ “	4			↓ 60	↓ 100	↓ 100	↓ 100
9) “ “	1	2		↓ 40	↓ ↓ 80+80		↓ ↓ 80+80
10) “ “	1	2		↓ 60	↓ ↓ 90+90		↓ ↓ 100+100
11) “ “	2		1	↓ 50	↓ 100		↓ ↓ ↓ 80+80+80
12) “ “	2		1	↓ 60	↓ 110		↓ ↓ ↓ 90+90+90
13) MEZZI D'OPERA	2		1	↓ 50	↓ 130		↓ ↓ ↓ 130+130+130
14) AUTOBUS	2			↓ 40	↓ 80		
15) “	2			↓ 60	↓ 100		
16) “	2			↓ 50	↓ 80		

## SPETTRO DI TRAFFICO DEI VEICOLI COMMERCIALI PER TIPO DI STRADA

TIPO DI STRADA	TIPO DI VEICOLO															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1.Autostrada extraurbana	12.2	-	24.4	14.6	2.4	12.2	2.4	4.9	2.4	4.9	2.4	4.9	0.10	-	-	12.2
2.Autostrada urbana	18.2	18.2	16.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.6	18.2	27.3	-
3.Strade extr. principali e secondarie a forte traffico	-	13.1	39.5	10.5	7.9	2.6	2.6	2.5	2.6	2.5	2.6	2.6	0.5	-	-	10.5
4.Strade extr. secondarie ordinarie	-	-	58.8	29.4	-	5.9	-	2.8	-	-	-	-	0.2	-	-	2.9
5.Strade extr. secondarie turistiche	24.5	-	40.8	16.3	-	4.15	-	2	-	-	-	-	0.05	-	-	12.2
6.Strade urbane di scorrimento	18.2	18.2	16.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.6	18.2	27.3	-
7. Strade urbane di quartiere e locali	80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	-	-
8. Corsie Preferenziali	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	47	53	-

## DISTRIBUZIONE DEI VEICOLI PESANTI TRA LE CORSIE



## EQUIVALENZA DEGLI ASSI REALI ALL'ASSE DA 80 KN

Il coefficiente di equivalenza tra il generico asse reale, caratterizzato da un peso  $P_i$  e tipologia  $T_i$ , è data da:

$$C_{SNi} = C_{SN}(P_i, T_i, PSI_f) = 10^{-\left\{4.79 \cdot [\log(18+1) - \log(0.225 \cdot P_i + T_i)] + 4.33 \cdot \log(T_i) + \frac{G}{B_i} - \frac{G}{B^*}\right\}}$$

$$G = \log \frac{4.2 - PSI_f}{2.7} \quad B_i = 0.40 + \frac{0.081 \cdot (0.225 \cdot P_i + T_i)^{3.23}}{\left(\frac{SN}{2.54} + 1\right)^{5.19} \cdot T_i^{3.23}}$$

$C_{SN}(P_i, T_i, PSI_f)$  è il coefficiente di equivalenza tra l'asse  $i$ -esimo e l'asse singolo standard da 8.2 t = 80 kN  
 $P_i$  è il peso complessivo dell'asse o set di assi (singolo, tandem o tridem) [kN],

$T_i$  indica la tipologia dell'asse e assume il valore 1 per assi singoli, 2 per assi tandem e 3 per assi tridem,

$B^*$  è il valore che assume  $B_i$  per l'asse singolo da 8.2 t = 80 kN,

$SN$  è l'indice strutturale [cm]:  $SN = \sum_i s_i \cdot a_i \cdot m_i$ .

Pertanto, detta  $n_i$  la percentuale relativa del veicolo  $i$ -esimo nello spettro considerato (ad esempio se il veicolo  $i$ -esimo ha una frequenza del 10%, sarà  $n_i=0.10$ ), il coefficiente di equivalenza (medio), di tale spettro di traffico, sarà dato da:

$$C_{SN} = \sum_i (n_i \times C_{SNi})$$

Non è superfluo sottolineare che il coefficiente di equivalenza  $C_{SN}$  è funzione oltre che di  $SN$ ,  $P_i$ ,  $T_i$ ,  $PSI_f$ , anche dello spettro di traffico.

È bene osservare caso il legame funzionale tra  $C_{SNi}$  ed i parametri in gioco.

Per meglio comprenderlo, si osservi che  $C_{SNi}$  rappresenta il numero di assi standard equivalenti al generico asse  $i$ -esimo. Pertanto, esso cresce, a parità degli altri parametri, con  $P_i$  (perché, ovviamente al crescere di  $P_i$  si ha un danneggiamento crescente della pavimentazione), e vale 1 per l'asse singolo da 80 kN, e decresce al crescere di  $T_i$  (per quanto detto in una precedente nota).

Più complesso è il legame con SN: infatti, eccetto che per l'asse standard (per il quale, qualunque sia SN si ha sempre il valore 1), ci aspettiamo che esso decresca al crescere di SN, poiché ci aspettiamo che al crescere dello spessore della pavimentazione e delle qualità dei materiali impiegati, in definitiva di SN, il danno che il generico asse provoca, alla pavimentazione, decresca (altrimenti perché aumentiamo lo spessore o miglioriamo i materiali?!). Purtroppo ciò non si verifica sempre nell'espressione di  $C_{SNi}$ , infatti si nota che per alcuni valori di  $P_i$  inferiori a 80kN esso decresce fino ad un certo punto e poi ricomincia a crescere, viceversa per i valori superiori a 80kN, fortunatamente tale variabilità è piccola<sup>7</sup>. I motivi del non corretto legame fisico di  $C_{SNi}$  con SN non è del tutto chiara, ma presumibilmente deriva dal fatto che, avendo scelto l'asse standard pari a quello singolo da 80 kN, il  $C_{SN}(80, 1)$  vale 1 qualunque sia SN, e poiché la relazione del  $C_{SNi}$  è una relazione statistica, essa risente di tale scelta.

È possibile anche utilizzare le tabelle di conversione riportate sull'AASHTO GUIDE.

<sup>7</sup> Se non si fosse verificata tale scarsa variabilità, il procedimento di verifica del metodo avrebbe potuto non convergere!!

È possibile determinare a questo punto gli assi equivalenti  $N_{8.2}$

### DETERMINAZIONE DI $N_{8.2}$

$$N_{8.2} = T^N \cdot C_{SN}$$

Essendo:

$T^N$  = n° di veicoli commerciali transitanti, nell'arco della vita utile di N anni, sulla pavimentazione (o meglio sulla corsia più carica)

$$T^N = n_{vca} \cdot \left[ \frac{(1+R)^N - 1}{R} \right] \cdot 365$$

N = vita utile della pavimentazione (in genere 20 anni)

R = tasso di incremento annuo del traffico commerciale (in genere 2.5 ÷ 5 %)

$n_{vca}$  = n° di veicoli commerciali attuali, cioè transitanti al primo anno di vita della pavimentazione sulla corsia più carica. Se è noto il TGM totale per entrambi i sensi di marcia, si ha:

$$n_{vca} = TGM_{TOT} \cdot p_{sm} \cdot p_c \cdot p_{corsia}$$

$p_{sm}$  = percentuale di traffico nel senso di marcia che stiamo calcolando (1 se il TGM non è totale ma per senso di marcia, 0.5 se il TGM è totale ed il traffico è egualmente ripartito per senso di marcia, 0.7 se eventualmente si vuol tener conto di diverse ripartizioni stagionali)

$p_c$  = percentuale di veicoli commerciali

$p_{corsia}$  = percentuale di veicoli commerciali transitanti sulla corsia di calcolo (1 se si ha una corsia per senso di marci, 0.90 se le corsie sono due e 0.70 se sono tre – vedi figura precedente).

Lo spessore degli strati deve essere variato fino a che  $W_{8.2} \geq N_{8.2}$ .

Si riporta in appendice D un esempio di foglio di calcolo che può essere utilizzato per automatizzare la procedura.

## Appendice A

## CATALOGO DELLE PAVIMENTAZIONI

Il catalogo delle pavimentazioni può essere utilizzato come vero e proprio strumento di progettazione seppur con i limiti che lo caratterizzano.

Essi derivano innanzitutto dai materiali che devono essere necessariamente quelli utilizzati e riportati nel catalogo (ad esempio non possono essere utilizzati conglomerati bituminosi drenanti o quelli realizzati con bitumi modificati con caratteristiche migliori). Ancora derivano dalla tipologia di veicoli e di strada (ciascuna caratterizzata da uno specifico spettro di traffico) che devono essere quelli riportati nel catalogo. Ancora derivano dalla portanza del sottofondo (nel caso di sottofondi con portanze diverse gli spessori possono essere ottenuti attraverso una grossolana interpolazione lineare). Infine, si è limitati dalle temperature<sup>8</sup>, relative all'Italia settentrionale per le pavimentazioni rigide e all'Italia Centrale per le pavimentazioni flessibili.

Seppur con questi limiti, una volta scelto il tipo di strada (pertanto il relativo spettro di traffico che la caratterizza) e determinato il numero di veicoli commerciali che transiteranno durante la vita utile sulla corsia più carica, nota la portanza, è possibile ottenere gli spessori degli strati della pavimentazione.

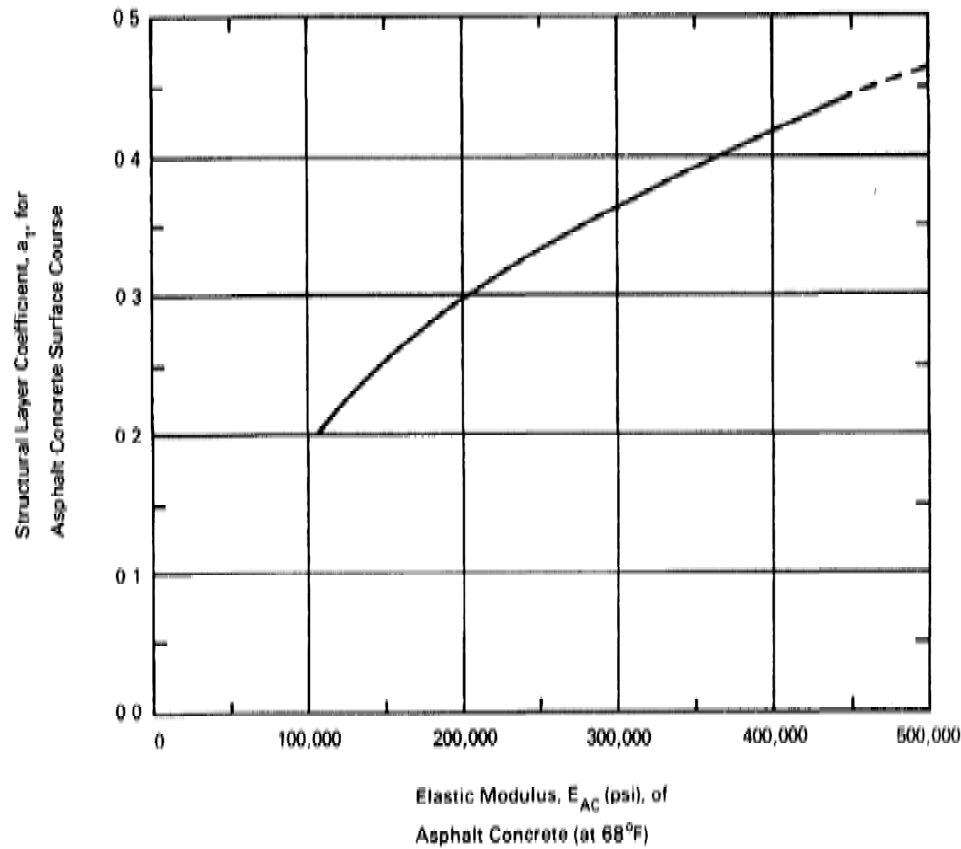
In ogni caso rappresenta, soprattutto in fase di progettazione preliminare o di predimensionamento, un utile strumento.

---

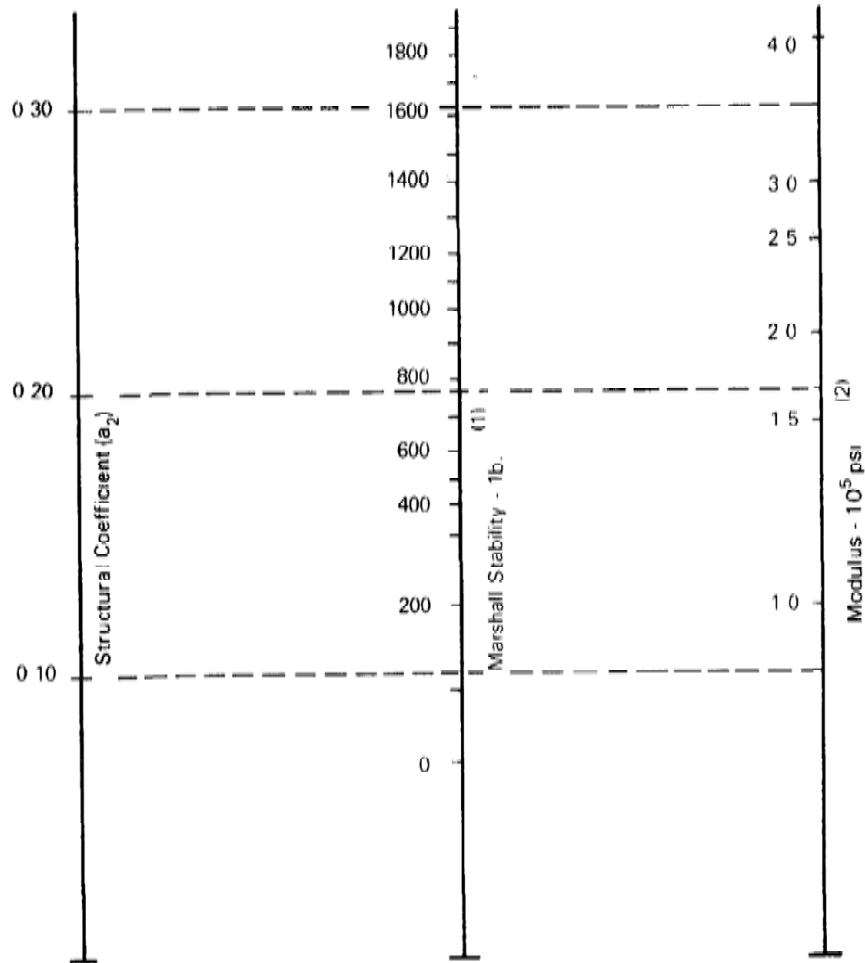
<sup>8</sup> Ben si conosce l'influenza della temperatura sul calcolo sia delle pavimentazioni flessibili che rigide. Nelle prime interviene modificando addirittura il loro comportamento meccanico a causa del carattere viscoelastico dei conglomerati bituminosi, nelle seconde rappresenta un vero e proprio carico esterno.

## Appendice B

### PARAMETRI CHE INTERVENGONO NEL METODO AASHTO PER LE PAVIMENTAZIONI FLESSIBILI

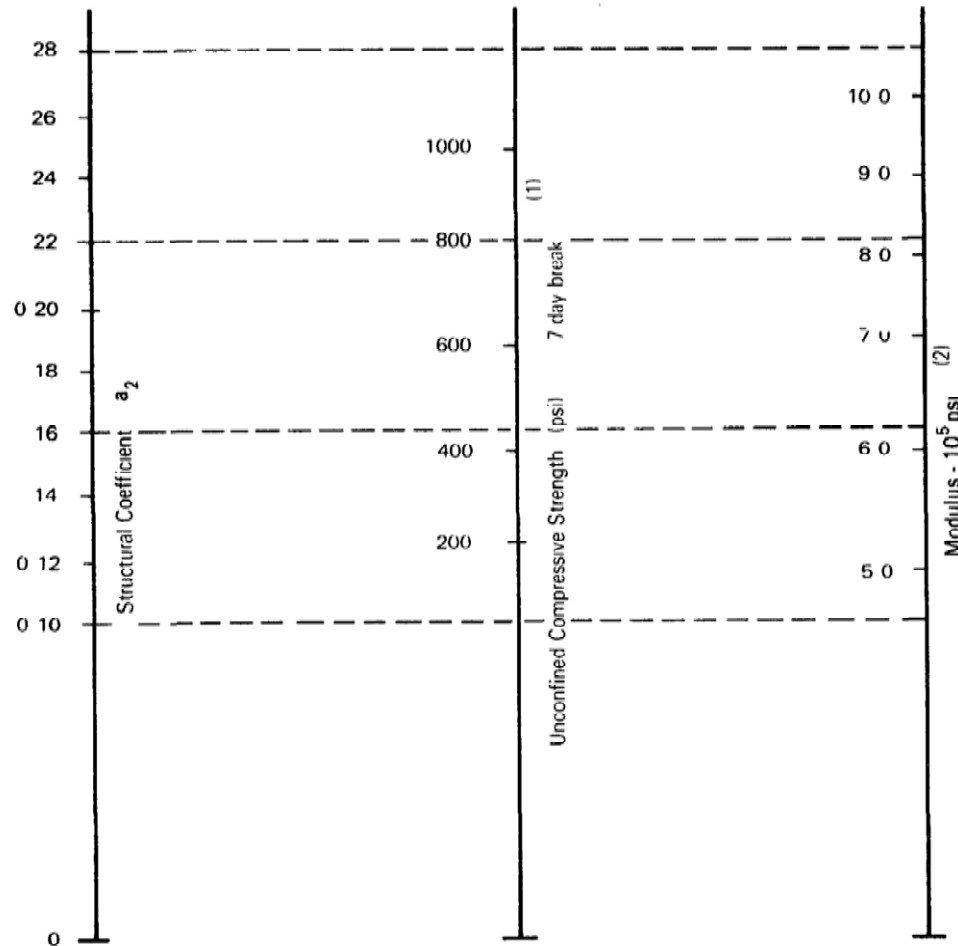


$a_1$  usura in conglomerato bituminoso



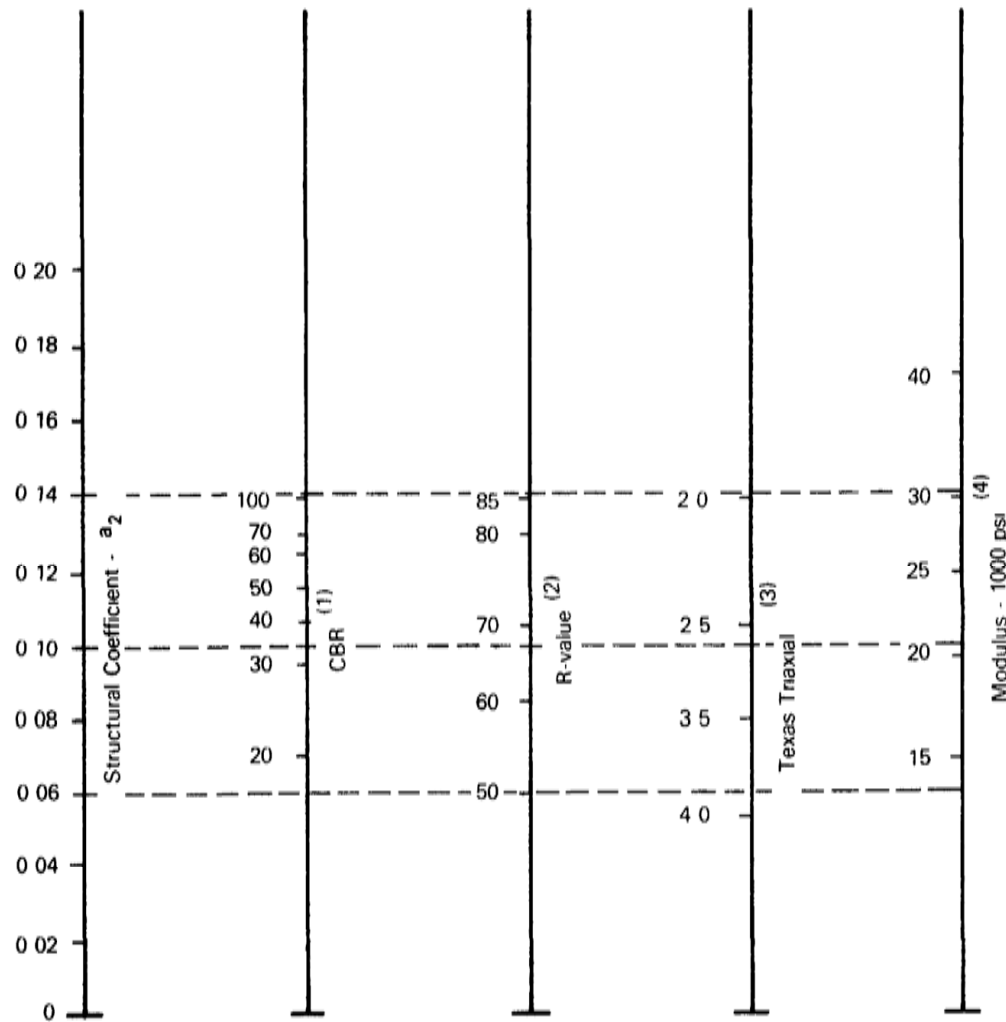
- (1) Scale derived by correlation obtained from Illinois
- (2) Scale derived on NCHRP project (3)

$a_2$  base in conglomerato bituminoso



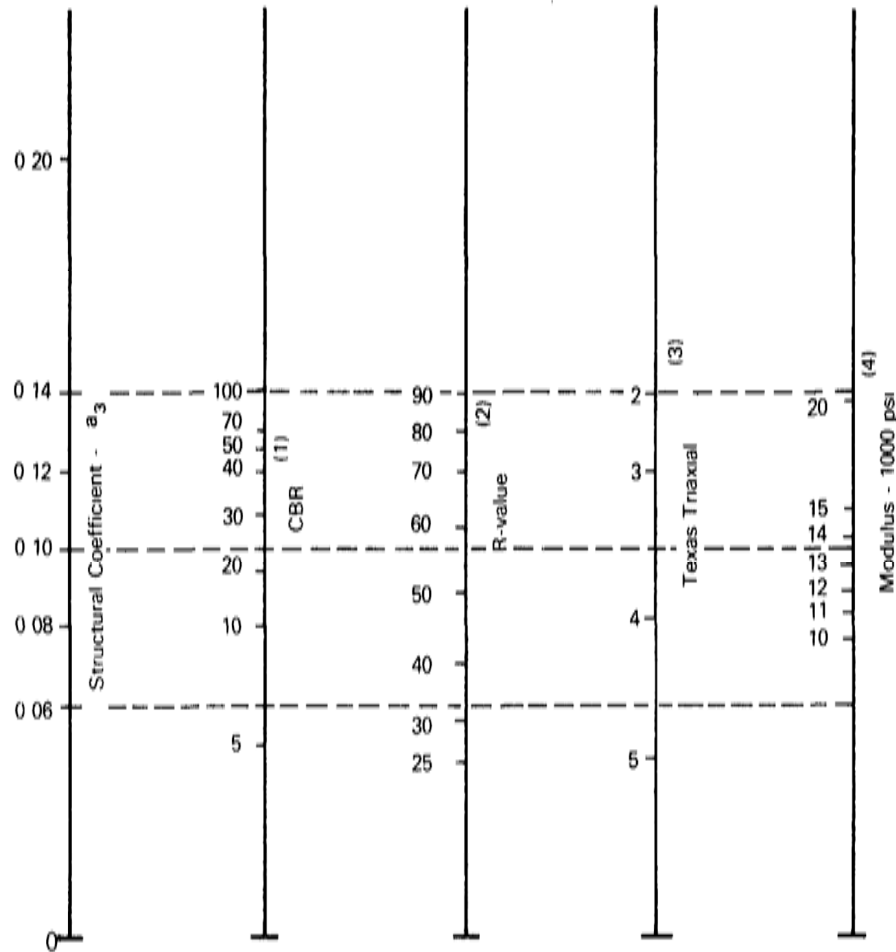
- (1) Scale derived by averaging correlations from Illinois Louisiana and Texas
- (2) Scale derived on NCHRP project (3)

$a_2$  Base in Misto cementato



- (1) Scale derived by averaging correlations obtained from Illinois
- (2) Scale derived by averaging correlations obtained from California, New Mexico and Wyoming
- (3) Scale derived by averaging correlations obtained from Texas
- (4) Scale derived on NCHRP project (3)

a<sub>2</sub> base in misto granulare



- (1) Scale derived from correlations from Illinois
- (2) Scale derived from correlations obtained from The Asphalt Institute, California, New Mexico and Wyoming
- (3) Scale derived from correlations obtained from Texas
- (4) Scale derived on NCHRP project (3)

$a_3$  per subbase (fondazione) in misto granulare

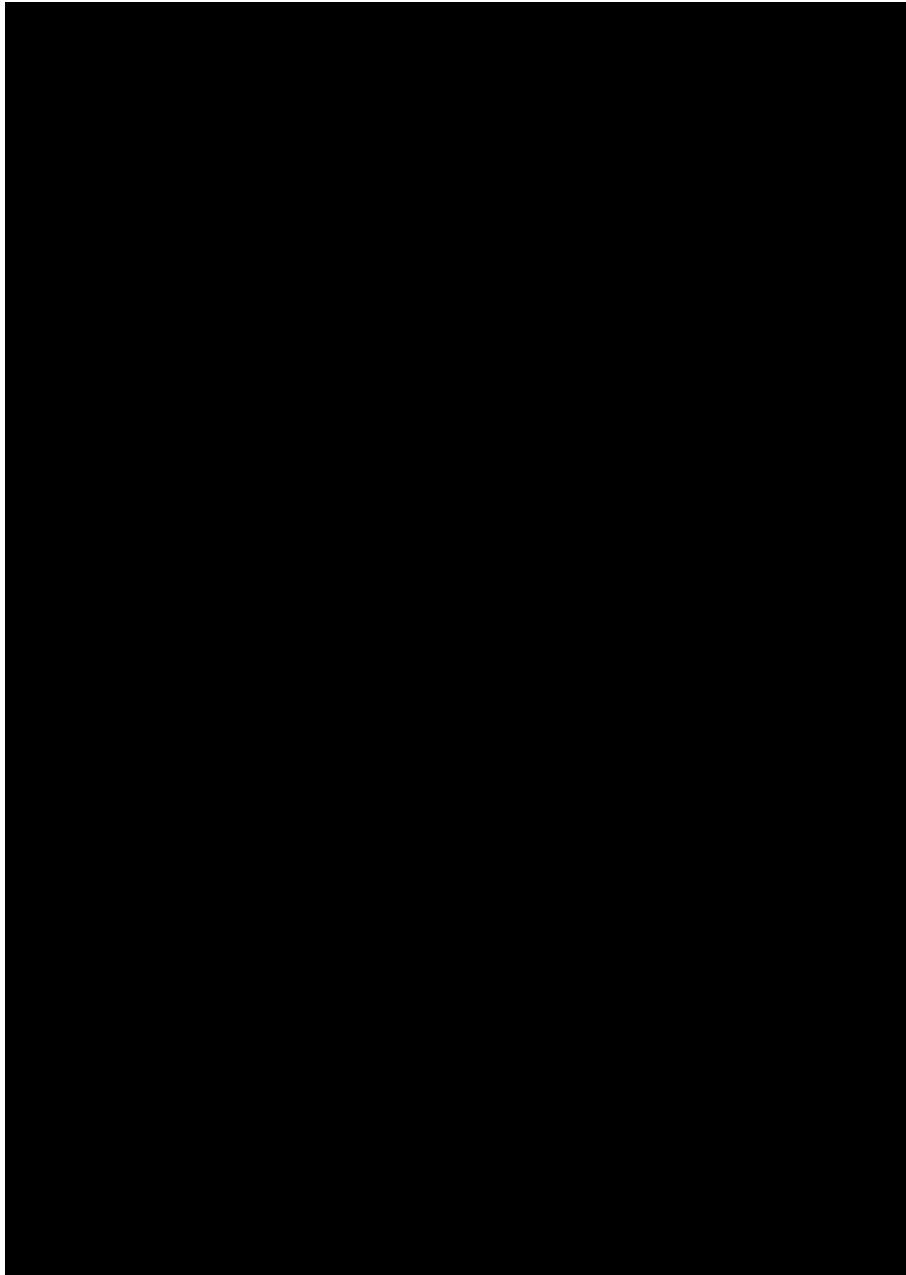
## **Appendice C**

## **IL MODULO RESILIENTE EFFETTIVO**

BOZZA

APPENDICE 2

ESEMPIO DI FOGLIO DI CALCOLO



	a	spess	s m.g.		a	spess	s m.c.
usura	0,43	5	19,5	usura	0,43	5	19,5
binder	0,4	10		binder	0,4	10	
base	0,28	30		base	0,28	25	
f. m.g.	0,11	45		f. m.c.	0,18	35	

**Appendice E****FATTORI DI CONVERSIONE**

$$1\text{kg} = 2.2 \text{ Pound}$$

$$1 \text{ kg/cm}^2 = 14.19 \text{ psi}$$

$$1 \text{ psi} = 0.0705 \text{ kg/cm}^2$$

$$1 \text{ kg/cm}^3 = 36.76 \text{ pci}$$

$$1 \text{ pci} = 0.0272 \text{ kg/cm}^3$$

$$1 \text{ MPa} = 10.22 \text{ kg/cm}^2 = 145 \text{ psi}$$

$$1\text{MPa/m} = 3.676 \text{ pci}$$