



Autorità di Sistema Portuale  
del Mar Tirreno Centro Settentrionale

PORTI DI ROMA E DEL LAZIO - CIVITAVECCHIA - FIUMICINO - GAETA

# Autorità di Sistema Portuale del Mar Tirreno Centro Settentrionale



## NUOVO PORTO COMMERCIALE DI FIUMICINO

### PROGETTO ESECUTIVO I LOTTO FUNZIONALE I STRALCIO "Darsena Pescherecci e viabilità di accesso al cantiere"

Committente:

Il presidente  
AVV. Francesco Maria Di Majo

Il responsabile del procedimento  
Dott. Ing. Maurizio Marini

Il coordinatore generale  
Dott. Ing. Giuseppe Solinas

Progettazione:

**ACQUA  
TECNO**

Ing. Renato Marconi  
Ing. Paolo Turbolente  
Ing. Barbara Doronzo

Consulenza specialistica  
geotecnica:

Ing. Giulio Galimberti



Titolo elaborato

Elaborato

A.2202.12 | PE | R

**PAV**

Scala

## RELAZIONE SULLE PAVIMENTAZIONI

Data	Preparato	Controllato	Approvato
Novembre 2020			
Revisione	Data		
01	Giugno 2021		
02	Febbraio 2022		

**Relazione sulle pavimentazioni**

---

<b>1. PREMESSA PREMESSA .....</b>	<b>1</b>
<b>2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>1</b>
<b>3. CARATTERISTICHE DI PORTANZA DEL SOTTOFONDO.....</b>	<b>1</b>
<b>4. DIMENSIONAMENTO .....</b>	<b>2</b>
<b>5. VARIABILI DI PROGETTO .....</b>	<b>2</b>
<b>6. DIMENSIONAMENTO DELLA PAVIMENTAZIONE .....</b>	<b>7</b>

## **1. PREMESSA PREMESSA**

La presente relazione di calcolo riporta le analisi relative alla pavimentazione del Nuovo Porto Commerciale di Fiumicino - I Lotto Funzionale. Le aree pavimentate interne al terminal saranno dotate di pavimentazione in conglomerati bituminosi di tipo flessibile.

La problematica principale che ha spinto verso una soluzione di pavimentazione di tipo flessibile, è stata quella di dover considerare la possibilità di cedimenti del terreno di fondazione costituito da una colmata di nuova costruzione. Questo dato è stato ulteriormente confermato dalle numerose prove in situ effettuate in sede di progetto esecutivo che hanno rilevato la presenza di argille normal consolidate al di sotto dei riempimenti dei piazzali di progetto.

Si precisa l'intervento di realizzazione della nuova Darsena Pescherecci e dello Scalo di Alaggio del Porto di Fiumicino prevede anche una viabilità di accesso al porto e denominata "viabilità di accesso al cantiere". Il progetto definitivo della strada è stato sottoposto al Parere degli Enti in Conferenza di Servizi del 21.12.2021 ed è in fase di ri-emissione dovendo recepire le prescrizioni dei suddetti. Il dimensionamento della pavimentazione della viabilità di accesso al cantiere sarà oggetto di successiva consegna unitamente agli altri elaborati del Progetto Esecutivo della strada.

## **2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

Le soluzioni adottate sono state scelte in ottemperanza alla normativa generale e speciale di settore; i riferimenti normativi utilizzati sono, a titolo esemplificativo e non esaustivo:

1. D.M. Infrastrutture e Trasporti, 5 Novembre 2001 – Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade;
2. Decreto legislativo 30 Aprile 1992 (agg. 13 Marzo 2015) – Nuovo Codice della Strada.;
3. Bollettino Ufficiale n.178 del 15 Settembre 1995.

## **3. CARATTERISTICHE DI PORTANZA DEL SOTTOFONDO**

In accordo con progetto sull'area in esame nella zona di intervento, in particolare nelle porzioni più superficiali della stratigrafia, è presente tout venant di cava rullato e compattato. Queste aree, infatti, si trovano nella zona dei piazzali del terminal oggetto di colmata. Tali riporti sono costituiti da materiali selezionati di cava con granulometria 0.2-30 cm, e sono formati da ghiaie di diversa pezzatura e da elementi lapidei di varia matrice caratterizzati da permeabilità abbastanza elevata. Nella

**Relazione sulle pavimentazioni**

---

classificazione USCS tali materiali possono essere fatti rientrare prevalentemente nelle classi GP-GM; assumendo i seguenti parametri geotecnici medi:

$$\gamma = 1.8 - 1.85 \text{ t/m}^3$$

$$\varphi = 32^\circ - 34^\circ$$

$$c' = 0$$

$$K = 1 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-5} \text{ m/s.}$$

La determinazione delle caratteristiche geotecniche dei terreni dovrà in ogni caso essere effettuata attraverso una campagna di prove S.P.T. (Standard Penetration Test). Dai valori di NSPT, tramite la correlazione di Schmertmann si prescrive il valore del modulo elastico del sottofondo:

$$B = 10$$

#### **4. DIMENSIONAMENTO**

Il calcolo della pavimentazione è stato effettuato secondo la procedura delineata dall'American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) "Guide for the Design of Pavement Structures" (1993). Essa si fonda su equazioni derivate da prove su strada condotte negli Stati Uniti tra gli anni '50 e '60 (note come AASHTO Road Test) e successivamente modificate per adattare le condizioni originali di prova (in termini di fattori climatici, metodi costruttivi e condizioni di traffico) alle realtà di altri Paesi.

La procedura si basa sulla determinazione dello Structural Number (SN), che rappresenta la richiesta complessiva di resistenza strutturale che la pavimentazione deve soddisfare per sostenere il carico derivante dal traffico di progetto, deteriorandosi, alla fine della sua vita utile, a un livello prefissato.

Dalla conoscenza dello Structural Number, delle caratteristiche di portanza del sottofondo e delle proprietà meccaniche e drenanti dei materiali da impiegare per la costruzione dei singoli strati è possibile determinare lo spessore minimo di questi ultimi.

#### **5. VARIABILI DI PROGETTO**

La progettazione secondo il metodo AASHTO è basata sulla conoscenza delle seguenti variabili progettuali:

- Arco temporale di riferimento;
- Traffico;
- Indice di servizio;
- Condizioni ambientali;
- Affidabilità;

## Relazione sulle pavimentazioni

- Portanza del sottofondo;
- Caratteristiche meccaniche degli strati della pavimentazione;
- Drenaggio.

## VITA UTILE DELLA PAVIMENTAZIONE

Il progetto della pavimentazione flessibile è stato riferito a un periodo di analisi di 20 anni.

## DATI DI TRAFFICO

Il parametro è stato ricavato basandosi su quanto riportato nel Bollettino Ufficiale n.178 de 15 Settembre 1995. In particolare si è considerato un livello di traffico tipo 2° che prevede il passaggio di 1.500.000 veicoli/anno sulla corsia più caricata. Per veicoli si intendono unicamente quelli commerciali ovvero quelli che presentano una massa complessiva maggiore o uguale a 3t.

Come spettro di traffico si è considerato il seguente spettro calibrato per tener conto della specificità delle condizioni di traffico nell'area industriale interessata dal progetto:

Tipo di veicolo	Distribuzione carichi per asse		Percentuale di traffico	Passaggi / anno
	[kN]			
Autocarri leggeri	,10	,20	45,0%	675.000
Autocarri leggeri	,15	,30	43,5%	652.500
Autocarri medi e pesanti	,40	,80	6,0%	90.000
Autocarri pesanti	,40	,80,80	2,0%	30.000
Autotreni e autoarticolati	,40	,80,80 ,80,80	2,0%	30.000
Autotreni e autoarticolati	,40	,100 ,80,80,80	1,0%	15.000
Mezzi d'opera	,50	,120 ,130,130,130	0,5%	7.500

Tabella 1- Spettro di traffico

Al fine di esprimere il traffico in termini di numero di passaggi equivalenti di assi singoli da 80 kN (Equivalent Single-Axle Load, ESAL), si moltiplica il numero di passaggi annui di ciascun asse (sia esso singolo, tandem o tridem) per il rispettivo equivalent axle load factor (EALF), che definisce il rapporto tra il danno arrecato alla pavimentazione dall'asse in questione e l'analogo danno causato dall'asse standard da 80 kN. I valori di EALF, derivati dall'apposita tabella redatta dall'Asphalt Institute, e di ESAL/anno per ciascun tipo di veicolo sono riportati nella seguente tabella:

Tabella 2- Numero passaggi equivalenti

Tipo di veicolo	Distribuzione carichi per asse		EALF	Passaggi / anno	ESAL / anno
	[kN]				
Autocarri leggeri	,10	,20	0,015	675.000	10.125

## Relazione sulle pavimentazioni

Autocarri leggeri	,15	,30	0,032	652.500	20.880	
Autocarri medi e pesanti	,40	,80	1,0562	90.000	95.058	
Autocarri pesanti	,40	,80,80	1,4362	30.000	43.086	
Autotreni e autoarticolati	,40	,80,80	,80,80	2,8162	30.000	84.486
Autotreni e autoarticolati	,40	,100	,80,80,80	3,8962	15.000	58.443
Mezzi d'opera	,50	,120	,130,130,130	9,2	7.500	69.000
			<b>Totale</b>	<b>1.500.000</b>	<b>381.078</b>	

Quello riportato in tabella rappresenta il numero complessivo dei passaggi di assi equivalenti sulla corsia più caricata nel corso del suo primo anno di vita.

Il numero complessivo di passaggi equivalenti standard da 80KN al termine della vita utile è stato calcolato dopo aver preventivamente stimato il tasso di crescita annuo del traffico pari allo 0,5%.

Il numero di ESAL complessivi dopo 20 anni è, pertanto:

$$W_{18} = 381.078 \cdot \frac{(1 + 0.005)^{20} - 1}{0.005} = 7.994.679 \text{ ESAL}$$

## INDICE DI SERVIZIO

Il metodo AASHTO definisce il Present Serviceability Index (PSI) come il livello di idoneità di una pavimentazione, in un particolare momento della sua vita, a servire il traffico, garantendo determinati livelli di sicurezza e comfort nella guida. Tale parametro è funzione della deformazione permanente in superficie, della regolarità superficiale e della presenza di fessurazioni.

Il PSI è espresso da un numero compreso tra 0 (livello molto scadente) a 5 (livello eccellente).

Si è ipotizzato che la pavimentazione, immediatamente dopo la sua realizzazione, abbia un indice di servizio molto buono, corrispondente a:

$$PSI_i = 4,5$$

Si è inoltre imposto che alla fine della sua vita utile la pavimentazione raggiunga uno stato di deterioramento tale che l'indice di servizio risulti pari a:

$$PSI_f = 1,5$$

Da questi valori si ricava la variazione dell'indice di servizio nell'arco della sua vita utile:

$$\Delta PSI = PSI_i - PSI_f = 4,5 - 1,5 = 3$$

## CONDIZIONI AMBIENTALI

**Relazione sulle pavimentazioni**

---

Le equazioni per il dimensionamento delle pavimentazioni fornite dal metodo AASHTO devono essere calibrate per tener conto di fenomeni legati a fattori ambientali e climatici che si possono sviluppare su tempi lunghi. In particolare, il PSI di una pavimentazione può essere influenzato in maniera negativa dal rigonfiamento differenziale di un eventuale sottofondo costituito da argille o dall'effetto del gelo. Come risulta dal progetto si è in presenza di terre di sottofondo non plastiche e non compressibili e dunque entrambi questi fattori non sono applicabili al caso in esame e non se ne terrà conto nel calcolo della pavimentazione.

### **AFFIDABILITÀ**

L'affidabilità  $R$  è la probabilità che una pavimentazione stradale progettata col metodo AASHTO abbia effettivamente un rendimento soddisfacente per tutta la durata della sua vita utile sotto gli effetti del carico stradale e delle condizioni climatiche. Tale termine di affidabilità consente di tener conto delle condizioni aleatorie che possono inficiare le previsioni di traffico e le prestazioni dei materiali utilizzati nella composizione dei diversi strati. L'affidabilità del processo di dimensionamento restituisce dunque la probabilità di adeguato funzionamento della pavimentazione (progettata in determinate condizioni di traffico ed ambientali) per il periodo di progetto.

L'affidabilità è espressa mediante due fattori: la deviazione normale standard  $Z_R$  e l'errore standard  $S_0$  combinato del traffico stimato e del traffico che la pavimentazione può sopportare.

Per queste due grandezze si sono adottati i valori corrispondenti ad un'affidabilità del 98%:

$$Z_R = -2,054$$

$$S_0 = 0,50$$

Affermare che  $R=98\%$  significa che in 98 casi su 100 le previsioni di progetto (traffico e prestazioni di progetto) consentono di raggiungere una prefissata vita utile. Viceversa nel 2% dei casi ciò non si verifica.

### **PORTANZA DEL SOTTOFONDO**

Nel metodo Design Guide for the Design of Pavement Structures (1993) la capacità portante del sottofondo è espresso in termini di Modulo Resiliente. La scelta di tale parametro è dettata dal fatto che esso meglio rappresenta il comportamento del sottofondo, in quanto consente di tener conto anche della componente viscosa reversibile della deformazione.

Dunque si è proceduto ad una stima del valore da attribuire a questa grandezza sulla base di altri parametri di portanza. In particolare viene prescritto da progetto che il sottofondo abbia un modulo elastico min pari a 45MPa.

## Relazione sulle pavimentazioni

In considerazione di ciò, e sulla base delle seguenti correlazioni empiriche, si ricavato un modulo resiliente pari a:

$$MR = 90N/mm^2 = 10153psi$$

ottenuto mediante:

$$E[MPa] = 5 * CBR, \text{ (Rafiroiu)}$$

$$MR[MPa] = 10 * CBR, \text{ (AASHTO Guide)}$$

## CATTERISTICHE MECCANICHE DEGLI STRATI DELLA PAVIMENTAZIONE

Per dimensionare correttamente la pavimentazione bisogna fissare le caratteristiche meccaniche dei materiali dei vari strati che la compongono.

Dalla conoscenza del modulo resiliente di ciascun materiale, è possibile ricavare, attraverso appositi grafici, i relativi coefficienti di spessore, che insieme alle caratteristiche drenanti dei materiali, contribuiscono alla determinazione degli spessori dei singoli strati

Tabella 3- Coefficienti di spessore (Ferrari, Giannini "Ingegneria Stradale" Ed. Isedi2002)

Strato	Materiale	Modulo resiliente [psi]	Coefficiente di spessore
<i>Usura</i>	Conglomerato bituminoso	550.000	0,44
<i>Binder</i>	Conglomerato bituminoso	450.000	0,38
<i>Base</i>	Conglomerato bituminoso	400.000	0,27
<i>Fondazione</i>	Misto granulare non legato	30.000	0,14

## DRENAGGIO

Per tenere conto delle diverse capacità drenanti dei materiali impiegati nella costruzione degli strati non legati della pavimentazione rispetto a quelli usati per l'AASHTO Road Test, nella definizione dello Structural Number concorrono dei coefficienti di drenaggio  $m_i$ . Tali coefficienti modificano il valore attribuito al coefficiente di spessore ai di ogni strato non legato al di sopra del sottofondo. Gli strati in conglomerato bituminoso, o realizzati con materiali legati, infatti, non sono influenzati da un'eventuale cattivo drenaggio o dall'esposizione a condizioni di saturazione e dunque in questi casi si pone  $m_i=1$ .

Per gli altri strati i coefficienti  $m_i$  sono determinati considerando la qualità del drenaggio e il tempo, in percentuale, in cui la pavimentazione è esposta a livelli di umidità vicini alla saturazione come riportato nella seguente tabella.

Tabella 4- Coefficienti di drenaggio

## Relazione sulle pavimentazioni

Qualità del drenaggio	Tempo di rimozione dell'acqua	Percentuale di tempo nel quale gli strati non legati sono in condizioni prossime alla saturazione			
		< 1%	Dall'1% al 5%	Dal 5% al 15%	> 25%
<b>Eccellente</b>	2 ore	1,40-1,35	1,35-1,30	1,30-1,20	1,20
<b>Buona</b>	1 giorno	1,35-1,25	1,25-1,15	1,15-1,00	1,00
<b>Media</b>	1 settimana	1,25-1,15	1,15-1,05	1,00-0,80	0,80
<b>Scarsa</b>	1 mese	1,15-1,05	1,05-0,80	0,80-0,60	0,60
<b>Molto scarsa</b>	Non rimossa	1,05-0,95	0,95-0,75	0,75-0,40	0,40

Il sottofondo in tout venant ha buona capacità drenante e dunque la qualità del drenaggio può classificarsi come buona. Le condizioni di falda e di piovosità permettono di affermare che la percentuale di tempo nel quale gli strati non legati sono in condizioni prossime alla saturazione è variabile tra 1% ed il 5%. Alla luce di quanto detto si è assunto per la fondazione (unico strato non legato al di sopra del sottofondo) un coefficiente di drenaggio  $m_i=1.15$ .

## 6. DIMENSIONAMENTO DELLA PAVIMENTAZIONE INTERNA AL TERMINAL

Definite tutte le variabili progettuali, è possibile utilizzare l'equazione finale proposta dal metodo AASHTO per il calcolo delle pavimentazioni flessibili:

$$\log W_{18} = Z_R S_0 + 9,36 \log(SN + 1) - 0,20 + \frac{\log \frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5}}{0,4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}} + 2,32 \log M_R - 8,07$$

Sostituendo i valori noti si ricava il valore dello Structural Number:  
**SN= 4,0473 in.**

Questo valore rappresenta la minima resistenza, espressa in numero di passaggi di assi singoli da 18 kip (80kN=8,2t) equivalenti, che la pavimentazione nel suo complesso deve offrire.

Per il calcolo della resistenza effettiva SNf della pavimentazione si considera l'equazione dello Structural Number fornita dal metodo AASHTO:

$$SN = a_1 * m_1 * H_1 + a_2 * m_2 * H_2 + a_3 * m_3 * H_3 \geq 4,0473 \text{ in}$$

In cui:

---

 Relazione sulle pavimentazioni
 

---

H1= spessore dello strato di binder;

H2= spessore dello strato di base;

H3= spessore dello strato di fondazione;

a1= 0.38 coefficiente di spessore dello strato di binder;

a2= 0.27 coefficiente di spessore dello strato di base;

a3= 0.14 coefficiente di spessore dello strato di fondazione;

m1= 1 coefficiente di drenaggio dello strato binder;

m2= 1 coefficiente di drenaggio dello strato di base;

m3= 1.15 coefficiente di drenaggio dello strato di fondazione.

È immediato notare che questa equazione non ammette una soluzione univoca e quindi sono accettabili da un punto di vista teorico un'infinita combinazione di spessori H1, H2 e H3; al fine di scegliere una terna di valori che producano una pavimentazione accettabile dal punto di vista costruttivo, funzionale ed economico, si introducono dei vincoli sugli spessori minimi dei singoli strati.

Il minimo spessore dello strato superficiale (binder) necessario per proteggere lo strato di base si determina calcolandone lo Structural Number SN1 tramite l'equazione AASHTO, sostituendo il modulo del sottofondo MR con il modulo resiliente dello strato di base MR2 e imponendo che esso debba essere assorbito dal solo strato superficiale:

$$SN_1 = 1.1972 \text{ in}$$

$$D_1 = \frac{SN_1}{a_1} = 3.15 \text{ in} = 8 \text{ cm}$$

Si è scelto pertanto uno spessore dello strato binder di 10 cm.

Analogamente si procede per lo strato di base, sostituendo il modulo resiliente del sottofondo MR con il modulo dello strato di fondazione MR3:

$$SN_2 = 3.1357 \text{ in}$$

$$D_2 = \frac{SN_2 - a_1 D_1}{a_2 m_2} = 6.07 \text{ in} = 15 \text{ cm}$$

Per lo strato di base si è deciso uno spessore di 15cm

Lo strato di fondazione deve invece avere uno spessore minimo di:

$$D_2 = \frac{SN - a_1 D_1 - a_2 D_2 m_2}{a_3 m_3} = 7.52 \text{ in} = 19.11 \text{ cm}$$

Lo spessore effettivo dello strato di fondazione è stato scelto di 25 cm.

Si veda la Figura 1.

### PAVIMENTAZIONE DI TIPO FLESSIBILE scala 1:50

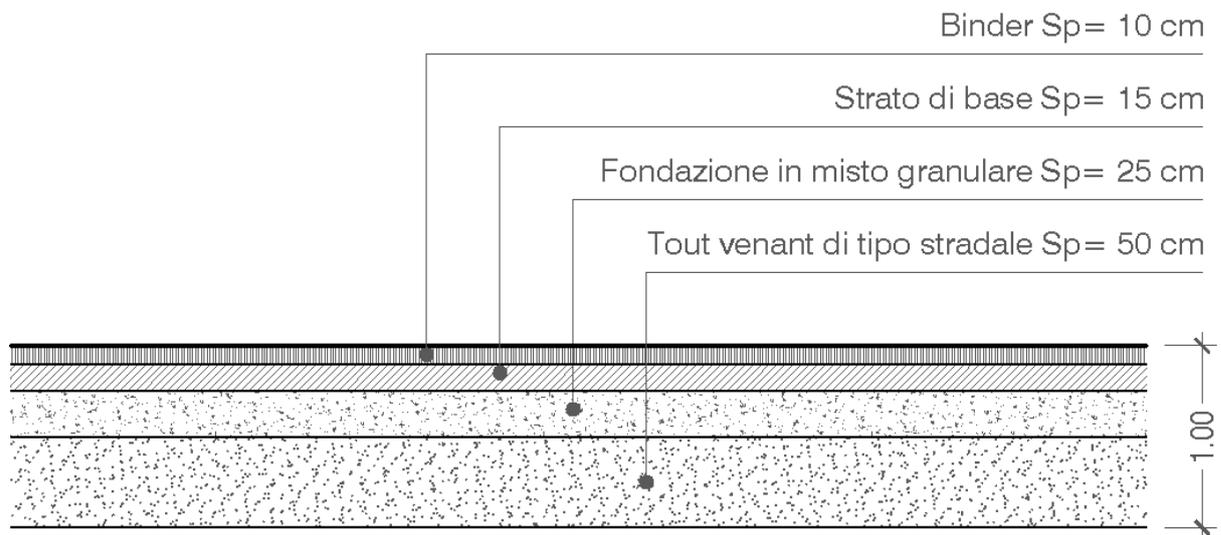


Figura 1 - Pacchetto della pavimentazione di tipo flessibile di progetto all'interno del terminal

## 7. DIMENSIONAMENTO DELLA PAVIMENTAZIONE DI ACCESSO AL TERMINAL

Si utilizza l'equazione finale proposta dal metodo AASHTO per il calcolo delle pavimentazioni flessibili, con riferimento agli stessi PSI precedentemente definiti:

$$\log W_{18} = Z_R S_0 + 9,36 \log(SN + 1) - 0,20 + \frac{\log \frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5}}{0,4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}} + 2,32 \log M_R - 8,07$$

Relazione sulle pavimentazioni

---

Sostituendo i valori noti si ricava il valore dello Structural Number:  
**SN= 4,0473 in.**

Questo valore rappresenta la minima resistenza, espressa in numero di passaggi di assi singoli da 18 kip (80kN=8,2t) equivalenti, che la pavimentazione nel suo complesso deve offrire.

Per il calcolo della resistenza effettiva SNf della pavimentazione si considera l'equazione dello Structural Number fornita dal metodo AASHTO:

$$SN=a_0*m_0*H_0+a_1*m_1*H_1+a_2*m_2*H_2+a_3*m_3*H_3 \geq 4,0473 \text{ in}$$

In cui:

H0= spessore dello strato di usura

H1= spessore dello strato di binder;

H2= spessore dello strato di base;

H3= spessore dello strato di fondazione;

a0= 0.44 coefficiente di spessore dello strato di usura

a1= 0.38 coefficiente di spessore dello strato di binder;

a2= 0.27 coefficiente di spessore dello strato di base;

a3= 0.14 coefficiente di spessore dello strato di fondazione;

m0=1 coefficiente di drenaggio dello strato usura

m1= 1 coefficiente di drenaggio dello strato di binder;

m2= 1 coefficiente di drenaggio dello strato di base;

m3= 1.15 coefficiente di drenaggio dello strato di fondazione.

È immediato notare che questa equazione non ammette una soluzione univoca e quindi sono accettabili da un punto di vista teorico un'infinita combinazione di spessori H0, H1, H2 e H3; al fine di scegliere un set di valori che producano una pavimentazione accettabile dal punto di vista costruttivo, funzionale ed economico, si introducono dei vincoli sugli spessori minimi dei singoli strati.

Il minimo spessore dello strato superficiale (usura) necessario per proteggere lo strato di binder si determina calcolandone lo Structural Number SN0 tramite l'equazione AASHTO, sostituendo il modulo del sottofondo MR con il modulo resiliente dello strato di base MR0 e imponendo che esso debba essere assorbito dal solo strato superficiale:

$$SN_0 = 0.498 \text{ in}$$

## Relazione sulle pavimentazioni

$$D_0 = \frac{SN_0}{a_0} = 1.13 \text{ in} = 3.0 \text{ cm}$$

Si è scelto pertanto uno spessore dello strato di usura di 3 cm.

Per lo strato di binder, sostituendo il modulo resiliente del sottofondo MR con il modulo dello strato di fondazione MR1:

$$SN_1 = 1.1972 \text{ in}$$

$$D_1 = \frac{SN_1 - a_0 D_0}{a_1 m_1} = 1.50 \text{ in} = 3.82 \text{ cm}$$

Per lo strato di binder si è deciso uno spessore di 8 cm

Per lo strato di base, sostituendo il modulo resiliente del sottofondo MR con il modulo dello strato di fondazione MR2:

$$SN_2 = 3.1357 \text{ in}$$

$$D_2 = \frac{SN_2 - a_0 D_0 - a_1 D_1 m_1}{a_2 m_2} = 5.63 \text{ in} = 14.31 \text{ cm}$$

Per lo strato di base si è deciso uno spessore di 15 cm

Lo strato di fondazione deve invece avere uno spessore minimo di:

$$D_3 = \frac{SN - a_0 D_0 - a_1 D_1 m_1 - a_2 D_2 m_2}{a_3 m_3} = 5.2089 \text{ in} = 13.23 \text{ cm}$$

Lo spessore effettivo dello strato di fondazione è stato scelto di 20 cm.