



REGIONE AUTONOMA DE SARDIGNA  
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



**SOGEAAL**

SOCIETÀ DI GESTIONE  
AEROPORTO ALGERO

**Aeroporto di Alghero Fertilia**

ADEGUAMENTO INFRASTRUTTURE VOLO ICAO,  
MIGLIORAMENTO ACCESSIBILITÀ AEROPORTO

“AMPLIAMENTO E RICONFIGURAZIONE VIABILITA’  
AEROPORTUALE”

## PROGETTO ESECUTIVO

IMPRESA CONCORRENTE:



Dott. Mario Ticca S.r.l.

COSTITUENDA R.T.P.  
Mandataria:



Società indicate:



Mandante:  
Dott. geol. Marco Sandrucci

## PROGETTO INFRASTRUTTURA CORPO STRADALE PRINCIPALE RELAZIONE TECNICA

CODICE ELABORATO:

19\_PR19\_ALG\_04\_03\_VIA\_01

revisione	data	redatto
A	31.05.2019	LGM

Questo documento è di proprietà esclusiva. È proibita la riproduzione anche parziale e la cessione a terzi senza la nostra autorizzazione.



**RELAZIONE DI CALCOLO DELLA PAVIMENTAZIONE STRADALE**

<b>1. INTRODUZIONE.....</b>	<b>2</b>
<b>2. DATI INIZIALI.....</b>	<b>3</b>
<b>3. OBIETTIVO.....</b>	<b>4</b>
<b>4. DESCRIZIONE DEL METODO.....</b>	<b>5</b>
<b>5. CALCOLO DELLO STRUCTURAL NUMBER (SN) SEZIONE DI PROGETTO.....</b>	<b>6</b>
<b>6. CALCOLO DEL TRAFFICO IN ASSI STANDARD EQUIVALENTI (N 8,2T).....</b>	<b>7</b>
<b>7. CALCOLO DEL TRAFFICO SOPPORTABILE (W18) DALLA SEZIONE DI PROGETTO:.....</b>	<b>10</b>
<b>8. VERIFICA.....</b>	<b>11</b>
<b>9. DESCRIZIONE DELLA VARIANTE DI PROGETTO:.....</b>	<b>12</b>
<b>10. CALCOLO DELLO STRUCTURAL NUMBER (SN) SEZIONE DI VARIANTE.....</b>	<b>13</b>
<b>11. CONFRONTO TRA LE DUE SOLUZIONI:.....</b>	<b>14</b>
<b>12. CONCLUSIONI:.....</b>	<b>14</b>

## 1. INTRODUZIONE

Lo scopo della presente relazione è il confronto prestazionale in termini di vita utile tra la pavimentazione proposta in fase di progetto per quanto riguarda l'opera e la proposta di variante di progetto.

In fase di progetto preliminare è stata proposta una soluzione che per quanto riguarda il pacchetto stradale prevede:

- Fondazione in misto granulare per uno spessore di 30 cm;
- Base in conglomerato bituminoso per uno spessore di 6 cm;
- Binder (collegamento) in conglomerato bituminoso per uno spessore di 6 cm;
- Usura tipo drenante per uno spessore di 3 cm

Si è proceduto ad una verifica della sovrastruttura stradale attraverso l'algoritmo di calcolo dell' "AASHTO GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES" basato sui risultati dell'esperimento AASHTO.

Tale metodo empirico permette di calcolare, tramite alcune relazioni, che tengono conto delle caratteristiche meccaniche dei materiali costituenti la sovrastruttura, il numero di passaggi di assi standard del peso di 8,2 t che la pavimentazione può sopportare prima di raggiungere un grado di ammaloramento, cioè un livello di funzionalità inaccettabile, in relazione all'"affidabilità" richiesta. Il numero ricavato è stato poi confrontato con il numero di passaggi di assi standard alla fine della "vita utile" calcolati attraverso lo spettro di traffico inserito nel "Catalogo delle Pavimentazioni Stradali" (CNR N.178 del 1995).

## 2. DATI INIZIALI

Il progetto posto a base di gara non prevede indicazioni di sorta per il dimensionamento della pavimentazione stradale. Sono quindi state fatte delle ipotesi basate su precedenti esperienze considerando le caratteristiche di traffico che potrebbero avere le strade interessate dal progetto.

Con riferimento ai seguenti dati di progetto, necessari per il dimensionamento della pavimentazione stradale, qui di seguito verranno illustrati i criteri seguiti per la scelta dei valori ad essi assegnati:

- Tipo di strada: Strada extraurbana principale;
- Traffico di progetto: 6.000.000 veicoli commerciali (somma di entrambe le direzioni);
- Sottofondo: CBR di progetto 6% (caratteristica desunta dalla relazione geologica sulla base di precedenti esperienze. Precedentemente all'avvio della progettazione esecutiva dovranno essere comunque effettuate delle prove in sito per verificarne la congruenza)

### 3. OBIETTIVO

L'obiettivo che ci si prefigge nella progettazione delle sovrastrutture è quello, come si è accennato, di assicurare attraverso normali operazioni di manutenzione un livello minimo di funzionalità per un prefissato lasso di tempo.

E' opportuno osservare che il rifacimento dello strato di usura dopo un certo numero di anni è da considerarsi come un intervento manutentivo ordinario e prevedibile al fine di assicurare le necessarie caratteristiche di aderenza nelle pavimentazioni flessibili e semi-rigide.

Poiché, inoltre, le caratteristiche dei materiali utilizzati non si mantengono costanti nel tempo, i carichi sono dispersi per posizione ed entità, ed infine il fenomeno stesso della rottura a fatica risulta essere un fenomeno aleatorio, l'obiettivo deve essere definito in termini probabilistici.

Nel progetto delle pavimentazioni, l'obiettivo si sostanzia, quindi, attraverso la definizione di tre elementi:

- *La vita utile*, intesa come il numero di anni durante il quale la pavimentazione deve assicurare, attraverso normali operazioni di manutenzione, condizioni di funzionalità superiori allo stato limite.
- *Lo stato limite*, cioè il limite di funzionalità della sovrastruttura ritenuto accettabile, superato il quale è necessario comunque intervenire, per il metodo empirico il parametro di riferimento è il PSI.
- *L'affidabilità*, cioè la probabilità che la sovrastruttura sia in grado di assicurare, con normali operazioni di manutenzione, condizioni di circolazione superiori allo stato limite per l'intera durata della vita utile.

## 4. DESCRIZIONE DEL METODO

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

Questo procedimento consiste nel determinare il numero di assi standard (8,2 t) che la pavimentazione può sopportare, raggiungendo un fissato grado di ammaloramento finale (PSIf). Tale valore è funzione di vari parametri, come le caratteristiche meccaniche dei materiali, gli spessori dei vari strati della pavimentazione, portanza del sottofondo etc.

Questi assi devono essere confrontati con il traffico commerciale che si stima passerà durante la vita utile della pavimentazione sulla corsia più caricata.

Poiché il traffico commerciale transitante si differenzia per il numero di assi, per il carico degli assi e per la tipologia, è necessario determinare il numero di assi standard equivalenti, ovvero il numero di assi standard che determinano lo stesso danno, alla pavimentazione, degli assi dei veicoli realmente transitanti.

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

Anche questi coefficienti sono funzione di alcuni parametri, come le caratteristiche meccaniche dei materiali, gli spessori dei vari strati della pavimentazione e della portanza del sottofondo.

Noti questi coefficienti, si calcola quello medio, che è funzione delle composizioni del traffico sulla strada in esame.

Infine per determinare il numero di assi equivalenti che transiteranno sulla corsia più caricata 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.

La verifica consiste nel controllare che il numero di assi standard che la pavimentazione può sopportare sia maggiore del numero di assi equivalenti che transitano durante la vita utile della pavimentazione.

## 5. CALCOLO DELLO STRUCTURAL NUMBER (SN) SEZIONE DI PROGETTO

Lo Structural Number SN è un parametro che tiene conto della "resistenza" strutturale della pavimentazione. Esso è funzione degli spessori  $s_i$  della "resistenza" dei materiali impiegati rappresentata, attraverso i coefficienti strutturali di stato  $a_i$ , e dalla loro sensibilità all'acqua rappresentata attraverso i coefficienti di drenaggi  $m_i$ .

L'espressione analitica dello structural number è:

$$SN = \sum_{i=1}^n a_i * m_i * s_i$$

### DETERMINAZIONE DELLO STRUCTURAL NUMBER (SN)

NOME STRATO	spessore $s_i$ (mm)	coeff di drenaggio	coeff. Sp.	$s_i * d_i * a_i$	CBR	MR	Mr (psi)
sottofondo					6,00	60,00	8.706,70
fondazione	200,00	1,00	0,14	28,00			
fondazione mg	300,00	1,00	0,14	42,00			
base bitumata	60,00	1,00	0,38	22,80			
binder	60,00	1,00	0,40	24,00			
usura	30,00	1,00	0,42	12,60			
	650,00			129,40	mm		
				SN = 5,09	inch		

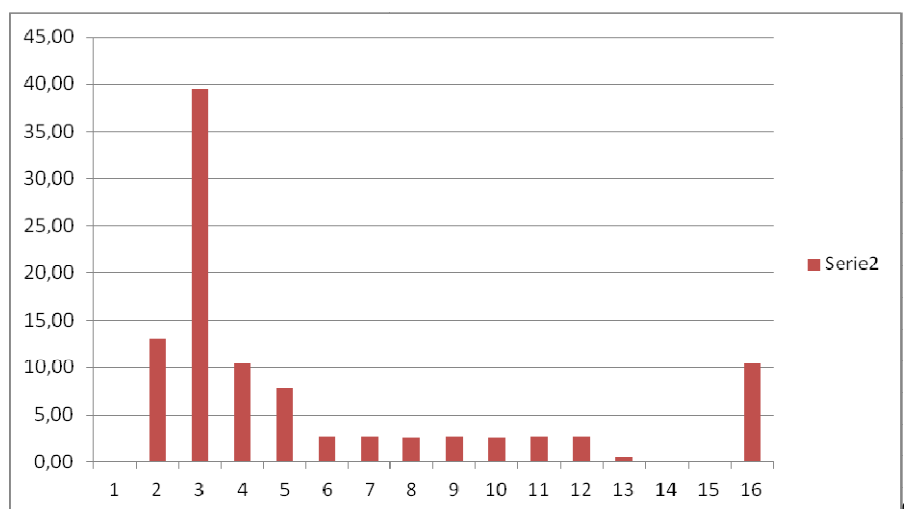


## 6. CALCOLO DEL TRAFFICO IN ASSI STANDARD EQUIVALENTI (N 8,2T)

Noto il numero di veicoli commerciali dai dati espressi nel progetto (6.000.000 somma in entrambe le direzioni) alla fine della vita utile, per calcolare il numero di assi standard equivalenti si è fatto ricorso ai coefficienti di equivalenza e allo spettro di traffico suggerito dal catalogo delle pavimentazioni

tipo veicolo commerciale	%
1	0,00
2	13,10
3	39,50
4	10,50
5	7,90
6	2,60
7	2,60
8	2,50
9	2,60
10	2,50
11	2,60
12	2,60
13	0,50
14	0,00
15	0,00
16	10,50
	100,00

### SPETTRO DEL TRAFFICO



Utilizzando il criterio definito dall'AASHTO, il traffico è stato convertito in un numero di passaggi di assi standard (80kN = 8,2 t) equivalenti tramite la relazione:

$$N_{8,2} = T^{20} * C_{SN}$$

Dove:

$T^{20}$  rappresenta il numero di veicoli commerciali transitanti durante la vita utile dell'opera;

$C_{SN}$  è un coefficiente di equivalenza tra il generico asse reale, caratterizzato da un peso  $P_i$  e tipologia  $T_i$ , e l'asse standard da 8,2 t d è definito dalla seguente relazione:

$$C_{SNi} = C_{SN}(P_i, T_i, PSI_f) = 10^{-A}$$

$$A = \left\{ 4,79 * \left[ \log(18 + 1) - \log(0,225 * P_i + T_i) \right] + 4,33 * \log(T_i) + \frac{G}{B_i} - \frac{G}{B^*} \right\}$$

Dove:

$$G = \log \frac{PSI_i - PSI_f}{2,7}$$

$$B_i = 0,40 + \frac{0,081 * (0,225 * P_i + T_i)^{3,23}}{\left( \frac{SN}{2,54} + 1 \right)^{5,19} * T_i^{3,23}}$$

$PSI_i=4,2$

$PSI_f=2,5$

$B^*$  è il valore di  $B_i$  assume per gli assi da 8,2 ton

$SN$  è l'indice strutturale

TIPO DI VEICOLO	n (%)	Pi (KN)	Ti (n° assi)	Bi	Ai	CSNi	n*CSN
autocarri leggeri	1 0,00	10	1	0,400	3,57363	0,0003	0,000000
	1 0,00	20	1	0,402	2,480933	0,0033	0,000000
	2 13,10	15	1	0,401	2,955888	0,0011	0,000145
	2 13,10	30	1	0,405	1,771727	0,0169	0,002216
	3 39,50	40	1	0,412	1,249328	0,0563	0,022247
autocarri medi e pesanti	3 39,50	80	1	0,492	-0,00592	1,0137	0,400422
	4 10,50	50	1	0,422	0,839578	0,1447	0,015192
	4 10,50	110	1	0,646	-0,54104	3,4757	0,364945
autocarri pesanti	5 7,90	40	1	0,412	1,249328	0,0563	0,004449
	5 7,90	160	2	0,492	-0,14439	1,3944	0,110159
	6 2,60	60	1	0,439	0,506352	0,3116	0,008103
	6 2,60	200	2	0,583	-0,52287	3,3333	0,086665
autotreni e articolati	7 2,60	40	1	0,412	1,249328	0,0563	0,001464
	7 2,60	90	1	0,532	-0,20794	1,6141	0,041968
	7 2,60	80	1	0,492	-0,00592	1,0137	0,026357
	7 2,60	80	1	0,492	-0,00592	1,0137	0,026357

	8	2,50	60	1	0,439	0,506352	0,3116	0,007791
	8	2,50	100	1	0,583	-0,3844	2,4232	0,060581
	8	2,50	100	1	0,583	-0,3844	2,4232	0,060581
	8	2,50	100	1	0,583	-0,3844	2,4232	0,060581
	9	2,60	40	1	0,412	1,249328	0,0563	0,001464
	9	2,60	160	2	0,492	-0,14439	1,3944	0,036255
	9	2,60	160	2	0,492	-0,14439	1,3944	0,036255
	10	2,50	60	1	0,439	0,506352	0,3116	0,007791
	10	2,50	180	2	0,532	-0,34642	2,2203	0,055508
	10	2,50	200	2	0,583	-0,52287	3,3333	0,083332
	11	2,60	40	1	0,412	1,249328	0,0563	0,001464
	11	2,60	100	1	0,583	-0,3844	2,4232	0,063004
	11	2,60	240	3	0,492	-0,2254	1,6803	0,043689
	12	2,60	60	1	0,439	0,506352	0,3116	0,008103
	12	2,60	110	1	0,646	-0,54104	3,4757	0,090367
	12	2,60	270	3	0,532	-0,42742	2,6756	0,069565
	13	0,50	50	1	0,422	0,839578	0,1447	0,000723
mezzi d'opera	13	0,50	120	1	0,723	-0,68239	4,8127	0,024063
	13	0,50	390	3	0,814	-1,03141	10,7499	0,053750
	14	0,00	40	1	0,412	1,249328	0,0563	0,000000
	14	0,00	80	1	0,492	-0,00592	1,0137	0,000000
autobus	15	0,00	60	1	0,439	0,506352	0,3116	0,000000
	15	0,00	100	1	0,583	-0,3844	2,4232	0,000000
	16	10,50	50	1	0,422	0,839578	0,1447	0,015192
	16	10,50	80	1	0,492	-0,00592	1,0137	0,106441

CSN = **1,997188**

Ottenuto tale risultato si è arrivati a calcolare il numero di assi standard equivalenti transitanti durante la vita utile:

$$N_{8,2} = T_{20} * CSN = 5.991.565$$

## 7. CALCOLO DEL TRAFFICO SOPPORTABILE (W18) DALLA SEZIONE DI PROGETTO:

L'equazione per il calcolo del traffico sopportabile in termini di assi standard equivalenti da 8,2 ton delle pavimentazioni flessibili è la seguente:

$$\log W_{18} = Z_r * S_0 + 9,36 * \log(SN + 1) - 0,20 + \frac{\log\left(\frac{PSI_i - PSI_f}{4,2 - 1,5}\right)}{0,40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5,19}}} + 2,32 * \log M_r - 8,07$$

in cui:

$W_{18}$  è il numero di passaggi di assi singoli equivalenti da 18 kpounds (8,2 t o 80 kN) sopportabile;

$Z_r$  è il valore della variabile standardizzata legata all'affidabilità R (che è la probabilità che il numero di ripetizioni di carico  $N_t(\max)$  che portano il valore  $PSI=PSI_f$  sia maggiore o uguale al numero di ripetizioni  $N_T$  realmente applicati alla sovrastruttura);

$S_0$  è la deviazione standard che tiene conto dell'errore che si commette nelle previsioni dei volumi di traffico e delle prestazioni della pavimentazione; per le pavimentazioni flessibili, assume un valore compreso tra 0,40 e 0,50 quando si tiene conto dell'errore che si commette sia sul traffico sia sulla prestazione prevista per una data pavimentazione, è stato scelto il valore pari a 0,45;

$PSI_i$  e  $PSI_f$  Il grado di efficienza della pavimentazione, noto anche come PSI (Present Serviceability Index), che esprime la misura della idoneità di questa ad assicurare la sicurezza della circolazione nelle condizioni di confort per gli utenti, assume valori numerici compresi tra 0 (strada in condizioni pessime) e 5 (strada in ottime condizioni). Il grado di efficienza ritenuto idoneo per il  $PSI_i$  è 4,2 poiché si tiene conto delle inevitabili imperfezioni costruttive;

$M_r$  è il modulo resiliente del sottofondo in psi;

SN è lo structural number [poll]

I dati relativi al dimensionamento in oggetto sono i seguenti:

### GRADO DI AFFIDABILITA'

Affidabilità	R =	<b>90,00%</b>
	$Z_r$ =	<b>-1,282</b>
	$S_0$ =	<b>0,45</b>
fatt. di correzione		<b>-0,5769</b>

**DECADIMENTO LIMITE AMMISSIBILE DELLA STRUTTURA**

PSI iniziale	<b>4,20</b>
PSI finale	<b>2,50</b>
$\Delta$ PSI	1,70

**DETERMINAZIONE DELLO STRUTURAL NUMBER (SN)**

<i>NOME STRATO</i>	<i>spessore si (mm)</i>	<i>coeff di drenaggio</i>	<i>coeff. Sp.</i>	<i>si*di*ai</i>	<i>CBR</i>	<i>MR</i>	<i>Mr (psi)</i>
sottofondo					<b>6,00</b>	60,00	8.706,70
fondazione	<b>200,00</b>	<b>1,00</b>	<b>0,14</b>	28,00			
fondazione mg	<b>300,00</b>	<b>1,00</b>	<b>0,14</b>	42,00			
base bitumata	<b>60,00</b>	<b>1,00</b>	<b>0,38</b>	22,80			
binder	<b>60,00</b>	<b>1,00</b>	<b>0,40</b>	24,00			
usura	<b>30,00</b>	<b>1,00</b>	<b>0,42</b>	12,60			
	650,00						
				129,40	mm		
				5,09	inch		

SN =

Risulta, quindi, che il numero di passaggi di assi standard sopportabili dalla pavimentazione è:

$$W_{18} = 17.078.787$$

**8. VERIFICA**

Il metodo empirico si conclude verificando che il numero di passaggi standard ( $N_{8,2}$ ) risulti inferiore rispetto al numero massimo di passaggi di assi standard sopportabili dalla pavimentazione ( $W_{18}$ )

Per cui:

$$N_{8,2} = 5.991.565 < W_{18} = 17.078.787$$

## **9. DESCRIZIONE DELLA VARIANTE DI PROGETTO:**

Nella proposta migliorativa in oggetto si è deciso di costruire la sovrastruttura stradale come segue:

- Stabilizzazione in situ a calce/cemento per uno spessore di 20 cm;
- Strato di fondazione in misto cementato per uno spessore di 20 cm;
- Base in conglomerato bituminoso per uno spessore di 5 cm;
- Binder (collegamento) in conglomerato bituminoso per uno spessore di 5 cm;
- Usura tipo drenante per uno spessore di 3 cm

## 10. CALCOLO DELLO STRUCTURAL NUMBER (SN) SEZIONE DI VARIANTE

### DETERMINAZIONE DELLO STRUCTURAL NUMBER (SN)

<i>NOME STRATO</i>	<i>spessore si (mm)</i>	<i>coeff di drenaggio</i>	<i>coeff. Sp.</i>	<i>si*di*ai</i>	<i>CBR</i>	<i>MR</i>	<i>Mr (psi)</i>
sottofondo					6,00	60,00	8.706,70
stabilizzazione	200,00	1,00	0,20	40,00			
base cementata	200,00	1,00	0,20	40,00			
base bitumata	50,00	1,00	0,38	19,00			
binder	50,00	1,00	0,40	20,00			
usura	30,00	1,00	0,42	12,60			
	530,00			131,60	mm		
				SN = 5,18	inch		

Lasciando inalterati i parametri di ingresso del metodo rispetto al dimensionamento effettuato per la sovrastruttura di progetto, si ottiene che il numero di passaggi di assi standard supportabili dalla pavimentazione è:

$$W_{18} = 19.246.217$$

## 11. CONFRONTO TRA LE DUE SOLUZIONI:

**Come si può notare dalla seguente tabella la soluzione proposta come variante è migliorativa in termini di vita utile della pavimentazione.**

Tale aspetto si traduce in un minor onere di manutenzione dell'opera con evidenti vantaggi per l'amministrazione:

TRAFFICO DI PROGETTO	ASSI STANDARD SOLUZIONE DI PROGETTO	ASSI STANDARD SOLUZIONE IN VARIANTE	INCREMENTO VITA UTILE
5.991.565	17.078.787	19.246.217	12,69%

## 12. CONCLUSIONI:

Dai dimensionamenti effettuati è possibile verificare che la soluzione di variante proposta è migliorativa rispetto a quella di progetto con un:

- Aumento vita utile della pavimentazione
- Riduzione degli interventi manutentivi
- Riduzione disagio nei confronti dell'utenza derivante dal punto precedente.
- Complessivo risparmio per l'ente gestore del parcheggio