



Comune di Vita
DIPARTIMENTO REGIONALE TECNICO
Ufficio del genio civile di Trapani

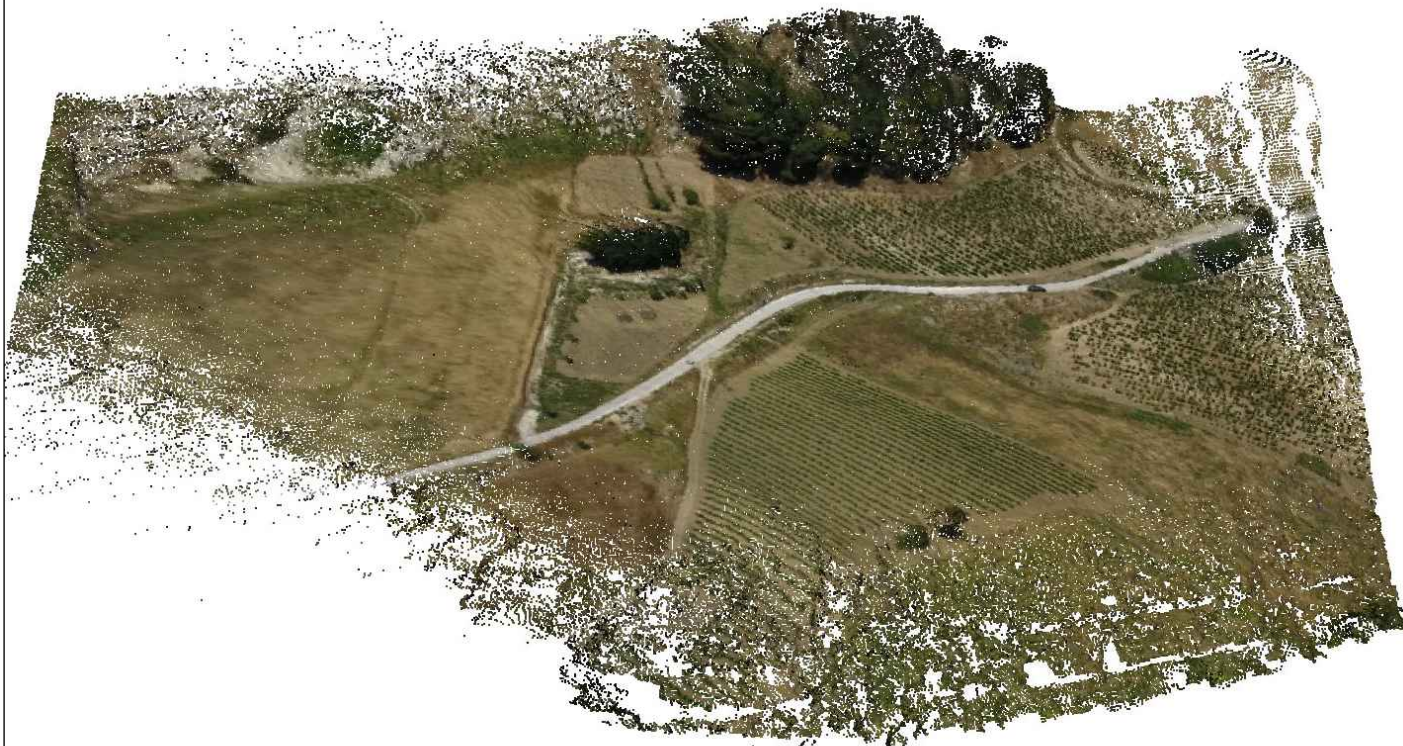


**PROGETTO RELATIVO ALLA STRADA SP 44 VITA DOMINGO TRATTO VITA
SS 113: LAVORI DI SISTEMAZIONE E CONSOLIDAMENTO TRATTI IN FRANA
ED IN DISSESTO. COMUNE DI VITA (TP)**

PROGETTO ESECUTIVO

CUP H27H15001980002

SMART CIG Z7B2B855C8



TAV. ED04 - RS
RELAZIONE TECNICA SULLA SOVRASTRUTTURA STRADALE

Il Progettista

Arch. Gaspare Giuseppe Motisi

Il Responsabile Unico del Procedimento

Geom. Diego Pulizzi

**Consulenza strutturale, geotecnica
specialistica ed idraulica**

Ing. Stefania Baudo

Collaboratori:

Ing. Damiano Aiello

Ing. Soraya Biuso

Ing. Cristiana Sanfilippo

Ingegnere capo
Ufficio Genio Civile di Trapani
Ing. Salvatore Caruso

INDICE

1 – PREMESSA

2 – METODO AASHTO DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES

2.1 – CALCOLO DEGLI ESAL DI PROGETTO

2.2 – FUNZIONALITÀ

2.3 – CARATTERISTICHE DEGLI STRATI (NUMERO DI STRUTTURA SN)

2.4 – CARATTERISTICHE DEL SOTTOFONDO

2.5 – COEFFICIENTI DI DRENAGGIO

2.6 – CONCLUSIONI

1 PREMESSA

Il progetto in oggetto relativo ai tratti 2 e 3 della strada provinciale SP N.44, prevede il consolidamento dei movimenti franosi e cedimenti rilevati ed il miglioramento della sede stradale tramite interventi atti a rimodellare l'andamento planimetrico attuale, uniformandolo, per quanto possibile, alle prescrizioni normative legate alla tipologia stradale.

Allo stato attuale le corsie hanno una larghezza alquanto variabile compresa tra 2,30 e 3,50 m, mentre le banchine hanno dimensioni assai ridotte, anche inferiori ai 50 cm. L'intervento prevede di adeguare la piattaforma stradale passando a una sezione con corsie di larghezza pari a 3,50 m e banchine laterali di larghezza pari a 1,25 m, per una larghezza complessiva di 9,50 m, secondo le norme fissate dal D.M. Infrastrutture 5/11/2001 n. 5 e s.m.i. La piattaforma di riferimento per la progettazione è quella di categoria C2 corrispondente a "strada extraurbana secondaria". Come previsto all'art. 2 del D.M. Infrastrutture 5/11/2001 n. 5, modificato dal D.M. 22/04/2004, trattandosi di adeguamento di strade esistenti le norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade costituiscono un riferimento per la progettazione, ma non sono cogenti. Tuttavia l'adeguamento della carreggiata laddove possibile migliora la percorribilità del tracciato aumentando sensibilmente il livello di sicurezza in funzione della velocità di percorrenza.

Gli interventi previsti non modificano l'andamento plano-altimetrico del tracciato, così da mantenere inalterati i muri di contenimento e le opere d'arte esistenti in buono stato di conservazione

Al fine di verificare l'idoneità statica e funzionale della sovrastruttura stradale prevista per i tratti di intervento 2 e 3 che si sviluppano rispettivamente per una lunghezza di 264 m e 572 m, viene redatta la presente relazione di calcolo, da cui è stata individuata la soluzioni di pavimentazione ottimanle costituita da i seguenti strati:

- strato di usura in conglomerato bituminoso chiuso dello spessore di 3 cm;
- strato di collegamento in conglomerato bituminoso aperto dello spessore di 5 cm;
- strato di base in misto bitumato dello spessore di 8 cm;
- strato di fondazione in misto granulare 50 cm

2 METODO AASHTO DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES

Il dimensionamento del pacchetto della pavimentazione è stato effettuato mediante il "Metodo AASHTO Design of Pavement Structures" per la progettazione delle pavimentazioni flessibili e semirigide.

Questo è un metodo empirico che ipotizza un unico carico di progetto, ovvero un passaggio di un qualsiasi asse per un singolo veicolo che viene trasformato in un numero di passaggi equivalenti dell'asse di riferimento. Le linee guida ci forniscono un'espressione attraverso cui si arriva a quantificare il numero di passaggi di assi equivalenti da 8.16 t (ESAL Equal Standard Axl Load) che la pavimentazione può sopportare nel corso della vita utile di progetto :

$$\log W_{18} = Z_R \cdot S_0 + 9.36 \log(SN+1) - 0.20 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \log M_R - 8.07$$

Se il numero di assi standard che la pavimentazione può sopportare è maggiore del numero di assi equivalenti che transitano durante la sua vita utile la verifica sarà soddisfatta.

2.1 CALCOLO DEGLI ESAL DI PROGETTO

Le procedure di progettazione sono basate sul calcolo del traffico equivalente espresso in numero di passaggi dell'asse da 80 KN (18kip) calcolati nell'intero periodo di vita utile (ESAL). Ciò consente di semplificare i calcoli, in quanto le diverse tipologie di assi transitanti sulla strada vengono ricondotte ad un asse di riferimento tramite opportuni coefficienti di equivalenza. L'asse equivalente è l'asse da 18 chilolibbre (80 kN).

Per la corretta determinazione degli ESAL è necessario valutare i volumi di traffico del tracciato stradale;

In particolare Traffico Giornaliero Medio: definito come 1/365 esimo del traffico annuo che transita in una determinata strada. Tale dato viene ricavato sulla base di osservazioni annuali, in determinate ore e giorni dell'anno.

Per la strada di progetto sono stati reperiti i dati di traffico rilevati da **ANAS s.p.a.(2019)** questi si riferiscono nello specifico alla postazione:

- n°797 posizionata al km 343.032 della S.S.113;

Dai dati ricavati si evince come nella postazione n° 797 vi sia un TGM pari a 1632.33 veic/gg.



Postazione	Strada	Km	Comune	Pr	Consistenza gg	Leggeri	Pesanti
796	SS113	311,009	Partinico	PA	353	10.702	309
797	SS113	343,032	Calatafimi-Segesta	TP	360	1.455	49
798	SS113	366,393	Erice	TP	281	1.863	56
19099	SS113DIR	18,502	Messina	ME	362	3.521	80
19101	SS114	41,816	Letojanni	ME	339	5.264	117
19104	SS114	83,843	Acireale	CT	360	11.649	83

Figura 2: Dati di traffico postazione 797 della S.S.113

I dati di traffico individuati fanno riferimento alla sezione stradale prossima alla S.P.44, per tale motivo è stato necessario eseguire un'ulteriore stima. L'ipotesi fatta è stata quella di supporre che circa il 10% dei veicoli transitanti nelle strade analizzate passi dalla strada di progetto.

Sulla base di tali considerazioni si è ottenuto un TGM pari a **163.23** veicoli/giorno.

Stazione	TGM	10% su SP84
Calatafimi-Segesta	1632.33	163.23

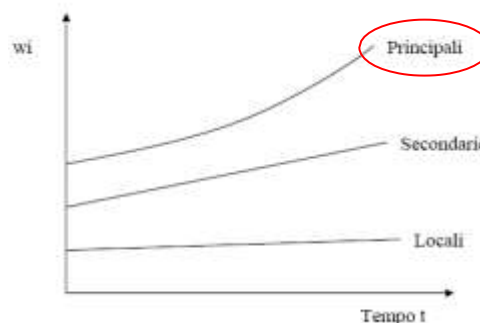
Mediante l'analisi del TGM delle sezioni analizzate è stato possibile individuare il **Traffico Medio Giornaliero** paria a **163.23 veicoli giorno**. Dato il TGM, e definita la percentuale di veicoli commerciali (20%), possiamo avere il TGM relativo ai veicoli commerciali e quello annuale

TGM Veicoli comm	32.65
TGM Annuale	11916.02

Per tener conto della crescita del

A questo punto interessa conoscere il traffico nel periodo di vita utile prevista per il dimensionamento della struttura. Ipotizzando questo periodo a 20 anni il valore dovrà considerare il tasso e la legge di crescita del traffico (lineare o esponenziale) in funzione del tipo di strada.

Considerando la tipologia di strada di progetto è possibile valutare un tasso di crescita dal 2,0% annuo ed un andamento della legge di crescita del traffico di tipo esponenziale. Sviluppiamo i passaggi ora introdotti.



$$T_A(N) = T_A(N = 1) \cdot \left[\frac{(1 + r)^N - 1}{r} \right]$$

Dove:

- $T_A(N)$ = traffico nel periodo di vita utile
- $T_A(1)$ = traffico l'anno 1
- $N = 20$ anni

In tale formula, $T_A(1)$ rappresenta il traffico che transita o si presume transiterà nell'infrastruttura nel primo anno di vita utile e lo si ottiene partendo dal **TGMA traffico giornaliero medio annuo** corretto con i seguenti coefficienti affinché si tenga conto:

1. **L'evoluzione del traffico nel corso degli anni (r).** È evidente che è estremamente difficile poter prevedere l'esatta evoluzione, ma in genere si assiste ad tassi di crescita maggiori nei primi anni che si riducono nel tempo. In mancanza di dati più precisi si può assumere un tasso compreso tra il 2 - 3% nel primo periodo di vita utile, 1-2% nel medio periodo di vita utile e 1% nell'ultima parte;
2. **La distribuzione del traffico per senso di marcia (pd).** In genere si può assumere che il TGM si suddivida equamente nelle due direzioni. In particolari situazioni, legate a fenomeni di pendolarismo si può verificare una diversa suddivisione (70% in un senso, 30% nell'altro);
3. **La percentuale di veicoli commerciali (p).** Questa varia da valori nulli se il transito è interdetto a questa categoria di mezzi, fino ad assumere valori del 30-40%. Valori medi sono compresi intorno tra 10-15%;
4. **Percentuale di traffico commerciale che transita nella corsia lenta (pl).** Non tutti i veicoli definiti commerciali transitano nella corsia lenta; parte di questi, soprattutto quelli con minori carichi per asse, raggiungono velocità tali da impegnare anche le altre corsie. Di ciò si tiene conto ipotizzando che generalmente il 95% di tutti i veicoli commerciali transiti sulla corsia lenta;
5. **La dispersione delle traiettorie (dt).** La traiettoria seguita dalle ruote, come già accennato, non è sempre la stessa, ma si disperde nell'intorno di un valore medio. Si tiene conto di ciò riducendo, in genere del 20%, il TGM;
6. **Coefficiente di equivalenza e la distribuzione dei carichi del traffico commerciale.** I veicoli che compongono la corrente veicolare non hanno gli stessi carichi per asse e, quindi, determinano livelli di sollecitazione differenti. Per poter rendere uniforme i risultati spesso si ricorre al concetto di asse equivalente a cui riferire tutti gli altri. Il legame di equivalenza è espresso in termini di danno o di deflessione prodotta e la progressione al crescere del carico non è semplicemente lineare ma di tipo esponenziale. Yoder ha proposto un'espressione del tipo $C_{eq} = 20.78(x-y)$ dove x è il peso dell'asse in esame ed y il peso dell'asse equivalente standard. Altra espressione molto diffusa è la cosiddetta legge della 4a potenza $C_{eq} = (x/y)^4$

7. **Il numero medio di assi di un generico veicolo commerciale.** Questo è compreso tra 2 e 5. Se si tiene conto della distribuzione delle differenti classi di veicoli commerciali, si può assumere un valore compreso tra 2.25 e 2.7.

$$TA(1) = 365 \cdot TGM \cdot p_d \cdot p \cdot p_l \cdot d \cdot C_{eq} \cdot n_a$$

Assumendo i seguenti valori per i coefficienti:

$$r=0.02 \quad p_d=50\% \quad p=10\% \quad p_l=95\% \quad d=80\% \quad C_{eq}=0.252 \quad n_a=2.7$$

Da cui $Ta(1) = 308.09$

$$T(20) = 308.09 \cdot \left[(1 + 0.02)^{20-1} \right] / 0.02 = 22441.52$$

I carichi trasmessi alle sovrastrutture dai veicoli delle varie categorie sono molto diversi, sia per entità che per il modo di applicazione. Gli assi di un veicolo possono essere distinti fra loro di una lunghezza tale che non si verifichi mai la sovrapposizione delle rispettive deformate: in questo caso gli assi sono detti singoli e possono essere a due ruote (asse S), ovvero a quattro ruote (asse G) accoppiate a due a due (ruote gemelle). Se invece la distanza fra due assi è tale che le rispettive deformate si sovrappongono, la coppia di assi prende il nome di asse tandem. Nel caso di tre assi ravvicinati si parla di asse tandem a tre assi o semplicemente asse tridem.

L'ESAL dipende quindi anche dal carico, dal tipo di asse (se singolo, tandem, tridem) e dalla pavimentazione. Ricordiamo che l'ESAL esprime il carico che produce un danno equivalente rispetto l'asse standard. Il danno è legato allo stato tensionale e deformativo che si genera nella pavimentazione e quindi anche dal tipo della pavimentazione e dallo spessore della stessa.

Utilizzando **gli spettri di traffico** riportati nelle tabelle di riferimento tratte dal Catalogo delle Pavimentazioni Italiano si recepiscono le percentuali delle diverse tipologie di assi presenti sulla strada.

TIPO DI STRADA	TIPO DI VEICOLO															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Autostrada extraurbana	12,2	0	24,4	14,6	2,4	12,2	2,4	4,9	2,4	4,9	2,4	4,9	0,1	0	0	12,2
Autostrada urbana	18,2	18,2	16,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,6	18,2	27,3	0
Strada extraurb. Princ. e second. a forte traffico	0	13,1	39,5	10,5	7,9	2,6	2,6	2,5	2,6	2,5	2,6	2,6	0,5	0	0	10,5
<i>Strada extraurbana secondaria ordinaria</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>58,8</i>	<i>29,4</i>	<i>0</i>	<i>5,9</i>	<i>0</i>	<i>2,8</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0,2</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>2,9</i>
Strada extraurbana secondaria-turistica	24,5	0	40,8	16,3	0	4,1	0	2	0	0	0	0	0,0	5	0	12,2
Strada urbana di scorrimento	18,2	18,2	16,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,6	18,2	27,3	0
Strade urbane di quartiere e locali	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0
Corsie preferenziali	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	47	53	0

Considerando che l'intervento ricade all'interno della quarta categoria, possiamo risalire al numero di ripetizioni di ogni tipologia di asse durante il periodo di vita utile previsto nel progetto.

	%	DISTRIBUZIONE PER TIPO
Tipo 3	58,8	13195,62
Tipo 4	29,4	6597,81
Tipo 6	5,9	1324,05

Tipo 8	2,8	628,36
Tipo13	0,2	44,88
Tipo 16	2,9	650,80
	100	22441,52

A questo punto è necessario convertire i passaggi degli assi ottenuti in passaggi dell'asse standard da 80 kN tramite l'applicazione di coefficienti di equivalenza

Per quest' ultimi si è fatto riferimento alle seguenti formule:

$$\log_{10} \left(\frac{w_x}{w_{18}} \right) = 4,79 \log_{10} (18 + 1) - 4,79 \log_{10} (L_x + L_2) + 4,33 \log_{10} (L_2) + \frac{G}{\beta_x} - \frac{G}{\beta_{18}}$$

$$G = \log_{10} \left(\frac{4,2 - P_t}{4,2 - 1,5} \right)$$

$$\beta_x = 0,40 + \frac{0,081 \cdot (L_x + L_2)^{3,23}}{(SN + 1)^{5,19} \cdot L_2^{3,23}}$$

$$\beta_{18} = 0,40 + \frac{0,081 \cdot (L_x + L_2)^{3,23}}{(SN + 1)^{5,19} \cdot L_2^{3,23}} \quad (L_2 = 1 \text{ (asse singolo)}; L_x = 18 \text{ kips})$$

da cui si è ottenuto il valore ESAL:

type vehicles	type axel	KN	Kips	G	β_x	β_{18}	FE _{AXEL}	FE _{TYPE}	ESAL
3	S	40	9	-0,201	0,413	0,5	0,038	1,038	13697,04991
	S	80	18	-0,201	0,5	0,5	1		
4	S	50	11,25	-0,201	0,424	0,5	0,1035	5,5111	36361,181
	S	110	24,75	-0,201	0,667	0,5	5,4076		
6	S	60	13,5	-0,201	0,442	0,5	0,2425	3,5114	4649,269006
	T	200	45	-0,201	0,599	0,5	3,2689		
8	S	60	13,5	-0,201	0,442	0,5	0,2425	9,9156	6230,593085
	S	100	22,5	-0,201	0,599	0,5	3,2243		
	S	100	22,5	-0,201	0,599	0,5	3,2243		
	S	100	22,5	-0,201	0,599	0,5	3,2243		
13	S	50	11,25	-0,201	0,424	0,5	0,1035	19,3369	867,8990352
	S	120	27	-0,201	0,75	0,5	8,7215		
	TR	390	87,75	-0,201	0,849	0,5	10,5118		
16	S	50	11,25	-0,201	0,424	0,5	0,1035	1,1035	718,1624504
	S	80	18	-0,201	0,5	0,5	1		
TOTALE									62.524,15

Infini sono state necessarie esaminare altri due parametri D_1 e D_d che derivano dalle seguenti considerazioni:

- D_d è funzione della distribuzione del traffico nelle due direzioni. Il valore del fattore D_d per strade ad unica carreggiata è compreso tra 0,3 e 0,7 . Nel caso del progetto si è scelto il valore medio dell'intervallo pari a $D_d = 0,5$ poiché si sta ipotizzando la condizione di equipartizione del traffico nelle due corsie.
- D_1 è funzione della distribuzione del traffico nelle due corsie. Indubbiamente la condizione di traffico più gravosa si manifesterà nella corsia più lenta, adibita al transito dei veicoli commerciali, di

conseguenza tale distribuzione varierà a secondo del numero di corsie come descritto dalla seguente tabella realizzata dall' AASHTO:

NUMERO DI CORSIE NELLE DUE DIREZIONI	D_L
1	1
2	0,8 - 1,0
3	0,6 - 0,8
4 o PIU'	0,5 - 0,75

Poiché la strada in progetto è a due corsie per senso di marcia, si sceglierà il valore minimo dell'intervallo di interesse; **per cui D_L sarà uguale a 0,8.**

In conclusione l'ESAL di progetto ottenuto:

$$ESAL_{PROGETTO} = ESAL_{TOT} \cdot D_D \cdot D_L = 31.262.08 \text{ passaggi asse standard}$$

2.1. AFFIDABILITÀ

L'affidabilità di un processo di dimensionamento della pavimentazione è la probabilità che la sezione dimensionata possa mantenersi in condizioni accettabili durante il periodo di analisi previsto.

Nel metodo dell'AASHTO l'affidabilità R (reliability) viene introdotta attraverso i coefficienti S_0 e Z_R . S_0 rappresenta la deviazione standard nella predizione del traffico e della prestazione attribuita alla pavimentazione mentre Z_R è l'ascissa della distribuzione standard ridotta.

Per ciascun valore di R esiste un ben determinato valore di deviazione standard ridotta Z_R , desumibile dalla tabella sotto riportata. Il valore di R rappresenta l'area sottesa dalla curva di distribuzione normale ridotta tra Z_R e $+\infty$.

Le indagini condotte dall'AASHTO raccomandano per pavimentazioni di tipo flessibile e semirigido un valore di S_0 compreso tra 0.40 e 0.50. Per i calcoli descritti nel seguito, si assume $S_0 = 0.45$

Il valore di affidabilità R è desumibile dal Catalogo Italiano delle Pavimentazioni Stradali, in funzione dell'importanza dell'infrastruttura stradale. Per le strade extraurbane secondarie ordinarie si assume un valore di affidabilità pari al 85%.

Table EE.9. Evaluation of reliability design factor for specified reliability and overall variance levels.

Lower Limit of S_o^2 Range $(S_o - .005)^2$	Est. Std. Dev. S_o	Reliability Level (R) & Corresponding Normal Curve Abscissa (Z_R)							
		R=50%	R=60%	R=70%	R=80%	R=90%	R=95%	R=99%	R=99.9%
		$Z_R = .000$	$Z_R = .253$	$Z_R = .524$	$Z_R = .841$	$Z_R = 1.28$	$Z_R = 1.64$	$Z_R = 2.32$	$Z_R = 3.09$
.0600	.25	1.00	1.16	1.35	1.62	2.09	2.58	3.82	5.92
.0650	.26	1.00	1.16	1.37	1.65	2.15	2.68	4.03	6.36
.0702	.27	1.00	1.17	1.39	1.69	2.22	2.78	4.25	6.83
.0756	.28	1.00	1.18	1.40	1.72	2.29	2.89	4.48	7.33
.0812	.29	1.00	1.18	1.42	1.75	2.35	3.00	4.73	7.87
.0870	.30	1.00	1.19	1.44	1.79	2.42	3.12	4.99	8.45
.0930	.31	1.00	1.20	1.45	1.82	2.50	3.24	5.26	9.08
.0992	.32	1.00	1.20	1.47	1.86	2.57	3.36	5.55	9.75
.1056	.33	1.00	1.21	1.49	1.89	2.65	3.49	5.86	10.5
.1122	.34	1.00	1.22	1.51	1.93	2.73	3.62	6.18	11.2
.1190	.35	1.00	1.23	1.53	1.97	2.81	3.76	6.52	12.1
.1260	.36	1.00	1.23	1.54	2.01	2.89	3.91	6.88	13.0
.1332	.37	1.00	1.24	1.56	2.05	2.98	4.06	7.26	13.9
.1406	.38	1.00	1.25	1.58	2.09	3.07	4.22	7.66	14.9
.1482	.39	1.00	1.26	1.60	2.13	3.16	4.38	8.08	16.0
.1560	.40	1.00	1.26	1.62	2.17	3.26	4.55	8.53	17.2
.1640	.41	1.00	1.27	1.64	2.21	3.35	4.73	9.00	18.5
.1722	.42	1.00	1.28	1.66	2.26	3.45	4.91	9.49	19.9
.1806	.43	1.00	1.28	1.68	2.30	3.56	5.10	10.0	21.3
.1892	.44	1.00	1.29	1.70	2.34	3.66	5.29	10.6	22.9
.1980	.45	1.00	1.30	1.72	2.39	3.77	5.50	11.1	24.6
.2070	.46	1.00	1.31	1.74	2.44	3.89	5.71	11.8	26.4
.2162	.47	1.00	1.31	1.76	2.48	4.00	5.93	12.4	28.3
.2256	.48	1.00	1.32	1.78	2.53	4.12	61.6	13.1	30.4
.2352	.49	1.00	1.33	1.81	2.58	4.25	6.40	13.8	32.7
.2450	.50	1.00	1.34	1.83	2.63	4.38	6.65	14.6	35.1
.2550	.51	1.00	1.35	1.85	2.68	4.51	6.90	15.4	37.7
.2652	.52	1.00	1.35	1.87	2.74	4.64	7.17	16.2	40.4
.2756	.53	1.00	1.36	1.90	2.79	4.78	7.44	17.1	43.4
.2916	.54	1.00	1.37	1.92	2.84	4.92	7.73	18.1	46.6
.2970	.55	1.00	1.38	1.94	2.90	5.07	8.03	19.0	50.1
.3080	.56	1.00	1.39	1.97	2.96	5.22	8.34	20.1	53.8
.3192	.57	1.00	1.39	1.99	3.02	5.38	8.66	21.2	57.7
.3306	.58	1.00	1.40	2.01	3.07	5.54	9.00	22.4	62.0
.3422	.59	1.00	1.41	2.04	3.13	5.71	9.34	23.6	66.5
.3540	.60	1.00	1.42	2.06	3.20	5.88	9.71	24.9	71.4

R %	Z_R
50	-0
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674

R %	Z_R
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.340

R %	Z_R
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645

R %	Z_R
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327

R %	Z_R
99.9	-3.090
99.99	-3.750

Z_R (%) = -1,037 R(85%)

2.2 FUNZIONALITÀ

L'indice assunto dall'AASHTO per valutare il grado di ammaloramento di una pavimentazione stradale è il **PSI Present Serviceability Index**. I valori variano da valori ottimi pari a 5 all'inizio della vita utile a valori limite di 0 quando l'efficienza della pavimentazione è nulla. Tuttavia livelli inferiori a $1 \div 1.5$ non sono in genere accettabili poiché sarebbero compromessi i livelli di servizio e la sicurezza della strada. I valori limite ammissibili dipendono dall'importanza del collegamento stradale: quanto questo sarà maggiore tanto più alto deve essere il limite ammissibile di PSI.

Tipo di strada	Affidabilità (%)	PSI
1) Autostrade extraurbane	90	3
2) Autostrade urbane	95	3
3) Strade extraurbane principali e secondarie a forte traffico	90	2.5
4) Strade extraurbane secondarie – ordinarie	85	2.5
5) Strade extraurbane secondarie – turistiche	80	2.5
6) Strade urbane di scorrimento	95	2.5
7) Strade urbane di quartiere e locali	90	2
8) Corsie preferenziali	95	2.5

Facendo riferimento alla tabella tratta dal Catalogo Italiano delle Pavimentazioni Stradali, di cui sopra, condiderato un PSI finale di 2,5 ed ipotizzando un PSI iniziale pari a 4,2 si è ottenuto un **ΔPSI pari a 1,7**.

2.3 CARATTERISTICHE DEGLI STRATI (NUMERO DI STRUTTURA SN)

Per ottenere l' **indicatore strutturale SN** dipende da diversi elementi quali gli spessore H_i degli strati i coefficienti di struttura che rappresentano il contributo dello strato alla prestazione complessiva della pavimentazione e il coefficiente di drenaggio dei diversi strati. La formula usata è stata dunque:

$$SN_i = a_i H_i d_i$$

SN_i = numero di struttura dell'i-esimo strato [inch];

a_i = coefficiente di strato dell'i-esimo strato [adimensionale];

H_i = spessore dell'i-esimo strato [inch].

D_i = coefficiente di drenaggio dell'i-esimo strato.

I coefficienti di spessore a_i possono essere ricavati, tramite le seguenti tabelle:

Traffico	Granulometria	Bitume	Stabilità Marshall (75 colpi)		Rigidezza Marshall	Vuoti residui Marshall
			(Kg)	(daN)		
(1)	(2)	(%)			(Kg/mm)	(%)
PP	fig. 1.10	4.5÷6	≥1100	≥ 1080	300÷450	4÷6
P	fig. 1.10	4.5÷6	≥1100	≥ 1080	300÷450	4÷6
M	fig. 1.10	4.5÷6	≥1000	≥ 980	>300	3÷6
L	fig. 1.10	4.5÷6	≥1000	≥ 980	>300	3÷6
Densità in opera (rispetto alla densità Marshall) ≥ 97%						

Tabella 8a - Conglomerato bituminoso per strato di usura

Traffico	Granulometria	Bitume	Stabilità Marshall (75 colpi)		Rigidezza Marshall	Vuoti residui Marshall
			(Kg)	(daN)		
(1)	(2)	(%)			(Kg/mm)	(%)
PP	fig. 1.11	4.5÷5.5	≥1000	≥ 980	300÷450	3÷6
P	fig. 1.11	4.5÷5.5	≥1000	≥ 980	300÷450	3÷6
M	fig. 1.11	4÷5.5	≥900	≥ 880	>300	3÷7
L	fig. 1.11	4÷5.5	≥900	≥ 880	>300	3÷7
Densità in opera (rispetto alla densità Marshall) ≥ 98%						

Tabella 8b - Conglomerato bituminoso per strato di collegamento

Traffico	Granulometria	Bitume	Stabilità Marshall (75 colpi)		Rigidezza Marshall (Kg/mm)	Vuoti residui Marshall (%)
			(Kg)	(daN)		
(1)	(2)	(%)	(Kg)	(daN)	(Kg/mm)	(%)
PP	fig. 1.12	4÷5	≥800	≥ 780	>250	4÷7
P	fig. 1.12	4÷5	≥800	≥ 780	>250	4÷7
M	fig. 1.12	3.5÷4.5	≥700	≥ 690	>250	4÷7
L	fig. 1.12	3.5÷4.5	≥700	≥ 690	>250	4÷7

Densità in opera (rispetto alla densità Marshall) ≥ 98%

Tabella 8c - Conglomerato bituminoso per strato di base

Coefficients di equivalenza e caratteristiche dei materiali per pavimentazioni flessibili				
	Stabilità Marshall, kg	Carico a Rottura dopo 7gg, kg	C.B.R., %	Coeff. Strato
USURA				
Strato di Usura Modificato	1200			0,48
Strato di Usura	1000			0,45
Strato di Usura	950			0,44
Strato di Usura	770			0,40
Strato di Usura	650			0,37
Strato di Usura	410			0,30
COLLEGAMENTO				
Strato di Collegamento Fibrorinforzato	1200			0,48
Strato di Collegamento	1000			0,45
Strato di Collegamento	950			0,44
Strato di Collegamento	770			0,40
Strato di Collegamento	650			0,37
Strato di Collegamento	410			0,30
BASE				
Stato di Base - Modificato	900			0,36
Stato di Base	770			0,33
Stato di Base	650			0,30
Stato di Base	410			0,27
Stabilizzato a Bitume	270			0,20
Stabilizzato a Bitume	180			0,18
Stabilizzato a Bitume	140			0,16
Misto Cementato		46		0,23
Misto Cementato		32		0,20
Stabilizzato a Cemento		21		0,15
Stabilizzato a Calce		13		0,12
Aggregato Misto Frantumato			110	0,14
Aggregato Misto Frantumato			90	0,13
Aggregato Misto Granulare			70	0,12
Aggregato Misto Granulare			50	0,10
FONDAZIONE				
Aggregato Misto Frantumato			90	0,14
Aggregato Misto Granulare			70	0,13
Aggregato Misto Granulare			50	0,12
Aggregato Misto Granulare			30	0,11
Stabilizzato Naturale			20	0,10

$$a_1=0.45 ; a_2=0.40 ; a_3=0.30 ; a_4=0.12$$

Il valore di SN viene, infine, valutato con la seguente espressione :

$$SN = \sum_{i=1}^{n_{strut}} a_i H_i d_i + SNSG$$

$$SNSG = 3.51 \lg(CBR) - 0.85 [\lg(CBR)]^2 - 1.43$$

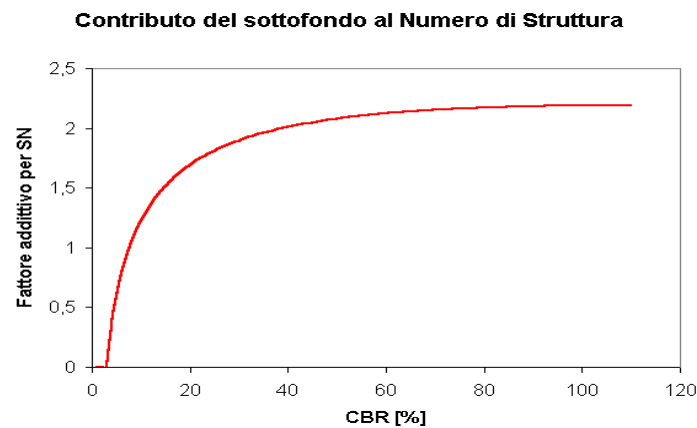
2.4 CARATTERISTICHE DEL SOTTOFONDO

Le caratteristiche del sottofondo vengono considerate nella formula di dimensionamento proposta dall'AASHTO attraverso il modulo resiliente MR espresso in psi (pound square inch).

Il contributo del sottofondo viene introdotto attraverso la sua capacità portante CRB:

$$SNSG = 3.51 \log_{10} CBR - 0.85 (\log_{10} CBR)^2 - 1.43 \quad \text{per } CBR \geq 3$$

$$SNSG = 0 \quad \text{per } CBR < 3$$



CBR = indice di portanza CBR (California Bearing Ratio) [%].

La valutazione di SN può essere condotta indirettamente attraverso le correlazioni con altri parametri che descrivono le caratteristiche strutturali delle sovrastrutture. Tra questi un legame particolarmente utile risulta quello tra SN e il modulo resiliente del sottofondo MR.

$$CBR = \frac{M_R}{10}$$

MR = modulo resiliente del sottofondo in MPa

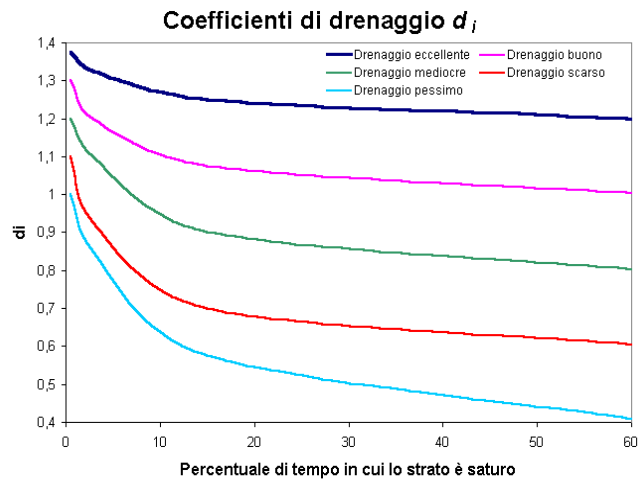
CBR = indice di portanza CBR [%]

Sfruttando la relazione che $M_d = CBR/0.2$

E visto che per garantire la stabilità del rilevato e delle sovrastruttura stradale in trincea o in rilevato, il modulo di deformazione dovrà risultare non inferiore a 50 MPa sul piano di posa della fondazione della pavimentazione stradale (sottofondo) sia in rilevato sia in trincea $CBR = 0.2 \times 50 = 10$ ne segue che ai fini delle nostre calcolazioni, mantenendo un margine di sicurezza, **è stato fissato un CBR = 5 %**

2.5 COEFFICIENTI DI DRENAGGIO

Nella AASHTO (Design Guide versione 1986 e1993) i coefficienti di drenaggio sono utilizzati per modificare il valore del coefficiente di spessore di ogni strato non stabilizzato al di sopra del sottofondo in una pavimentazione flessibile. Gli strati in conglomerato bituminoso (in materiali legati) non sono influenzati da un eventuale cattivo drenaggio dello strato o dal tempo in cui si trova in condizioni di saturazione. In questi casi il coefficiente di drenaggio vale comunque 1 (ipotesi di progetto assunta). Per gli altri strati i coefficienti di drenaggio sono determinati considerando la qualità del drenaggio ed il tempo, in percentuale, che la pavimentazione è esposta a livelli di umidità vicino alla saturazione. L'effetto di un efficiente drenaggio è quello di fornire valori elevati di SN e, pertanto, si traduce in una riduzione delle fessurazioni, delle ormaie e delle irregolarità della superficie stradale.



2.6 CONCLUSIONI

Sulla base di tutti i parametri sinora descritti si calcola il valore W_{18}

$$\log W_{18} = Z_R \cdot S_0 + 9.36 \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log M_R - 8.07$$

Strati	Spessore	Coeff.drenaggio	Coeff.Spessore	s*d*a	CBR	Mr psi
Sottofondo					5	7006,00
Fondazione	500	1	0,12	60		
Base	80	1	0,33	26,4		
Binder	50	1	0,4	20		
Usura	30	1	0,45	13,5		
Tot.	660			119,9		

$$Z_R = -1,037$$

$$\Delta PSI = 1.7$$

$$M_R = 7006 \text{ pi}$$

$$SNSG = 0.608$$

$$SN = SNSG + 0,0394 \sum s_i \cdot d_i \cdot a_i = 5.33$$

Dai valori calcolati si ottiene un valore di W18 pari a 20.741.737,65 superiore al valore ESAL del numero di passaggi di assi standard 31.262,08.

La pavimentazione che si intende realizzare riesce, pertanto, a sopportare i cicli di carico. Il pacchetto di pavimentazione che costituisce la sovrastruttura stradale sarà quindi costituito da:

- **Strato di usura** **3 cm;**
- **Strato binder** **5 cm;**
- **Strato di base** **8 cm;**
- **Fondazione in misto granulare** **50 cm**

per un totale di 66 cm.

Il Consulente
Ing. Stefania Baudo