



Città
metropolitana
di Milano

Westfield

WESTFIELD MILAN S.p.a.
C.so Giacomo Matteotti, 10
20121 Milano

ACCORDO DI PROGRAMMA
(APPROVATO CON D.P.G.R. DEL 22.05.2009 N.5095)
PRIMO ATTO INTEGRATIVO
(APPROVATO CON D.P.G.R. DEL 29.03.2010 N.3148)

POTENZIAMENTO DELLA S.P. N.103
"ANTICA DI CASSANO"
1° LOTTO - 2° STRALCIO
TRATTA B

PROGETTO ESECUTIVO

TITOLO elaborato : PARTE GENERALE Calcolo della pavimentazione				Cod. Elaborato: A.10
CODICE WM : WM-ERR-TB-00-RP-C-01016				Scala:
	Redatto	Controllato	Approvato	Data:
	VISCHIONI	VISCHIONI	RINALDI	Maggio 2015

Revisioni	Redatto	Controllato	Approvato	DATA:
A	VISCHIONI	VISCHIONI	RINALDI	VERIFICA - SETT. 2015
B				
C				
D				

Progettazione :



Il Direttore Tecnico
Dott. Ing. Alberto RINALDI

Visto

WESTFIELD MILAN S.p.a.
C.so Giacomo Matteotti, 10
20121 Milano

Visto

.....

CALCOLO DELLA PAVIMENTAZIONE STRADALE

1. DESCRIZIONE GENERALE	2
1.1. PAVIMENTAZIONE ANALIZZATA E SEZIONE STRADALE	2
2. TRAFFICO VEICOLARE.....	3
2.1. TGM DI RIFERIMENTO E COMPOSIZIONE VEICOLARE.....	3
3. METODO DI CALCOLO DEGLI INDICI DI SPESSORE.....	6
3.1. DECADIMENTO LIMITE DELLA PAVIMENTAZIONE	6
3.2. CARATTERISTICHE DELLA STRUTTURA	6
3.3. AFFIDABILITÀ.....	9
4. VERIFICA PAVIMENTAZIONE TRACCIATO PRINCIPALE	10
4.1. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEGLI STRATI	10
4.2. PERDITA DI EFFICIENZA Δ PSI=2,0 VITA UTILE 20 ANNI	11
4.3. PERDITA DI EFFICIENZA Δ PSI=1,0 VITA UTILE 5 ANNI	11
5. CONCLUSIONI.....	12

1. DESCRIZIONE GENERALE

La relazione ha come oggetto la verifica della pavimentazione prevista nel progetto esecutivo per il potenziamento della S.P.n.103 "Antica di Cassano", in particolare della tratta B appartenente al 1° Lotto 2° Stralcio.

Tra i metodi di verifica più confacenti alla natura del problema in esame si ritiene corretto scegliere il criterio basato sulle sperimentazioni A.A.S.H.T.O. e correntemente denominato "degli indici di spessore".

Tale metodo è basato su una serie di relazioni fra un numero indicato come indice di spessore e la quantità di ripetizioni di carico da parte di assi, singoli o binati, diversamente carichi dei veicoli che si presume transiteranno sull'opera nella sua vita utile.

Pertanto si dovrà determinare il numero cumulato di assi standard equivalenti (l'asse standard è l'asse singolo con ruote gemelle da 18 kips=80 kN=8,2 t) che la pavimentazione può sopportare prima di raggiungere il fissato grado di ammaloramento finale provocato dal passaggio degli assi dei veicoli reali.

Tali valori sono funzione di vari parametri quali: per **W8.0** le caratteristiche meccaniche dei materiali, lo spessore degli strati, la portanza del sottofondo, il grado di ammaloramento finale che la pavimentazione può raggiungere, il coefficiente di sicurezza (fissato attraverso l'affidabilità, ovvero la probabilità che la pavimentazione resista al traffico cumulato che transiterà durante la sua vita utile); per **N8.0** il tipo di veicoli commerciali del parco veicolare italiano, il numero medio di assi di un generico veicolo commerciale, lo spettro di traffico prevedibile, la ripartizione dello stesso tra le corsie di marcia, la dispersione delle traiettorie, ecc.

In questo modo si potrà verificare il conseguimento di un indice di efficienza (Δ PSI) caratteristico dell'infrastruttura considerata come 'perdita di efficienza'.

Sebbene in linea teorica il metodo preveda un intervallo di valori dell'indice di efficienza da 0 a 5, tenendo conto realisticamente di eventuali imperfezioni si considera nei calcoli che seguono un valore di PSI iniziale pari a 4,5. Al fine di mantenere un valore di PSI minimo (indice di servizio finale) pari a 2,5 come previsto si ottengono i seguenti parametri:

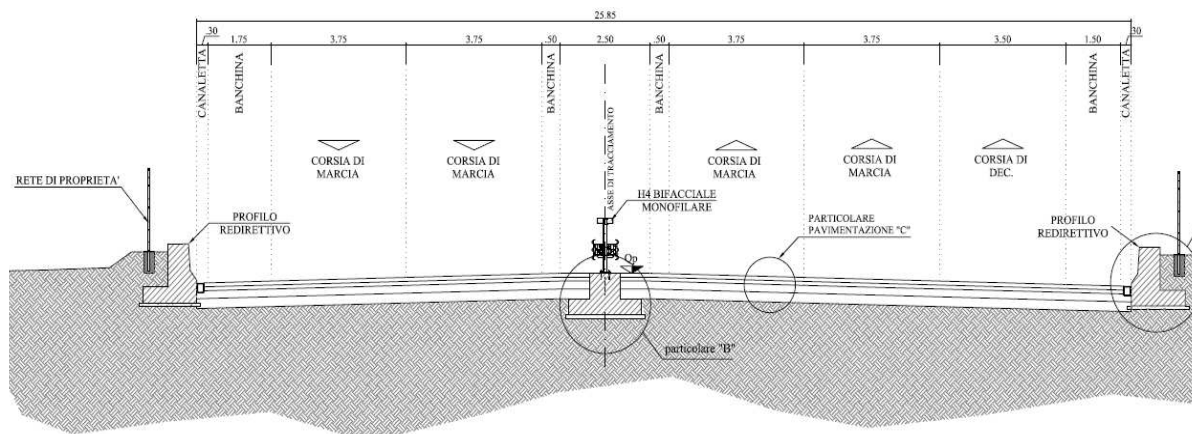
- Rifacimento superficiale della pavimentazione: Δ PSI = 1,0 dopo 5 anni
- Rifacimento completo della pavimentazione: Δ PSI = 2,0 dopo 20 anni

1.1. PAVIMENTAZIONE ANALIZZATA E SEZIONE STRADALE

In fase progettuale si prevede un pacchetto di spessore complessivo di 65 cm suddiviso come segue:

- 25 cm di strato di misto granulare
- 20 cm di strato di misto cementato
- 10 cm di strato di base bitumata
- 5 cm di strato di collegamento (binder)
- 5 cm di strato di usura drenante

La sezione stradale del tracciato principale corrisponde ad una strada Extraurbana Principale tipo B1 (secondo il D.M 5/11/2001), composta da doppia carreggiata con due corsie per senso di marcia.



2. TRAFFICO VEICOLARE

Il dimensionamento di una qualsiasi struttura richiede la previsione dei carichi che questa dovrà sopportare durante la sua vita utile.

Nel caso stradale, è necessario determinare un parametro in evoluzione, quale è il traffico veicolare, ed in particolare, il traffico pesante che maggiormente grava sulla struttura.

Per rendere omogenee le molteplici categorie di veicoli, il metodo proposto dall' "AASHTO Interim guide" equipara i carichi di differente entità dei vari assi ad un unico asse di riferimento (ESA, Equivalent Standard Axle) mediante l'utilizzo di opportuni fattori di equivalenza (EF Equivalent Factor) e rapportando gli effetti prodotti dai vari veicoli ad un'unica tipologia di carico.

Ricavato il numero di totale di assi standard (N_{ESAL}), tale valore deve essere confrontato con il numero massimo di assi che la pavimentazione di progetto è in grado di sopportare nell'arco dell'intera vita utile (N_{MAX}).

2.1. TGM DI RIFERIMENTO E COMPOSIZIONE VEICOLARE

Per quanto riguarda la valutazione del traffico che interessa e interesserà in futuro l'infrastruttura oggetto del progetto, si utilizzano i dati derivanti dallo studio di traffico allegato alla Valutazione di Impatto Ambientale, da cui si evince un TGM complessivo pari a 31'000 veic/giorno, con una percentuale di veicoli pesanti pari al 10 %.

Per la valutazione degli assi equivalenti si considerano le seguenti categorie tratte dal catalogo italiano dei veicoli commerciali:

- autocarri pesanti di categoria n. 6.
- autotreni e autoarticolati di categoria n. 10.

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		

Figura 3.4 - Suddivisione carichi su assi dei veicoli commerciali

Per il calcolo degli assi equivalenti si utilizza la formula:

$$N_{ESAL}(W_{80}) = TGM_0 \cdot p_{carr} \cdot p_{corsia} \cdot ((1+r)^n - 1) / r \cdot 365 \cdot EF \cdot (1-p) \cdot q_1$$

$$+ TGM_0 \cdot p_{carr} \cdot p_{corsia} \cdot ((1+r)^n - 1) / r \cdot 365 \cdot EF \cdot p \cdot q_2 \cdot C_{carico/scarico}$$

dove:

TGM_0 = traffico giornaliero medio allo stato di fatto

p_{carr} = percentuale carico della carreggiata (pari a 1 nel caso di carr. unica)

p_{corsia} = quota parte di carico della corsia (0,5 in caso di carico equamente diviso)

$C_{carico/scarico}$ = coefficiente carico/scarico mezzi pesanti

r = tasso di crescita del flusso veicolare

n = n° anni di vita utile della struttura

EF = fattore di equivalenza dei mezzi pesanti

p = percentuale di veicoli pesanti rispetto al totale

q_1 = coeff. di equivalenza per veicoli leggeri (45 kN)

q_2 = coeff. di equivalenza per veicoli pesanti (80 kN)

Si riassumono di seguito le ipotesi di calcolo degli assi equivalenti.

Potenziamento S.P. n.103 "Antica di Cassano"						
N. Veicoli giornalieri TGM	31.000					
% Carico Pesante	10,0%					
Coefficiente di Carreggiata	0,80					
Coeff di corsia	1,00					
Coeff. Carico/Scarico Mezzi Pesanti	0,460					
Tasso di Crescita	2,5%	1,28				
Anni	20	25,54				
	TGM ₁	TGM X 365	TGM tot	Coeff.		
Traffico Leggero 45 kN	10267,2	3.747.528	95.729.320	0,005	51	478.647
Traffico Pesante 80 kN	1140,8	416.392	10.636.591	2,33	2.658	24.783.257
N. di Veicoli Commerciali corsia + caricata						25.261.904
Totale Assi Equivalenti 80 kN	ESAL(W_{80}) =					25.261.904

Si considera un tasso di incremento pari al 2,5% annuo per la durata di vita utile della pavimentazione di 20 anni. A favore di sicurezza si ipotizza che il coefficiente di carreggiata sia pari a 0,80 (80% del traffico su una carreggiata) e il coefficiente di corsia pari a 1,00, ovvero che tutto il traffico in una direzione di marcia utilizzi soltanto una delle due corsie a disposizione.

Per il calcolo del coefficiente di carico/scarico dei mezzi pesanti si ipotizza che il traffico pesante (10%) sia ripartito in categoria 6 (autocarri pesanti) per il 5% e categoria 10 (autotreni e autoarticolati) per il restante 5%.

Si ipotizza inoltre che l'80% dei mezzi sia a pieno carico, il 20% a mezzo carico.

Si riassumono i risultati nella tabella sottostante:

Distribuzione dei carichi sugli assi					
Tipologia veicoli	Carico su ciascun asse (kN)				
	1	2	3	4	5
<i>autocarri pesanti (categ. 6)</i>					
a pieno carico	60	100	100		
a mezzo carico	47	63	63		
<i>autotreni e autoarticolati (categ. 10)</i>					
a pieno carico	60	90	90	100	100
a mezzo carico	47	57	57	63	63

Fattori di equivalenza							
Tipologia veicoli	Fattore di equivalenza su ciascun asse (kN)					E.F. totale per veicolo (e)	E.F. per categoria
	1	2	3	4	5		
<i>autocarri pesanti (categ. 6)</i>							
a pieno carico	0,30	2,40				2,70	0,108
a mezzo carico	0,10	0,30				0,40	0,004
<i>autotreni e autoarticolati (categ. 10)</i>							
a pieno carico	0,30	1,65	1,65	2,40	2,40	8,40	0,336
a mezzo carico	0,10	0,23	0,23	0,30	0,30	1,16	0,012
FATTORE DI EQUIVALENZA VEICOLI PESANTI							0,460

3. METODO DI CALCOLO DEGLI INDICI DI SPESSORE

Il metodo di dimensionamento (AASHTO Guide Design of Pavement Structures) si fonda sul contributo di alcuni fattori che considerano i seguenti aspetti:

- decadimento limite ammissibile della sovrastruttura (PSI)
- caratteristiche degli strati (numero di struttura SN)
- grado di affidabilità del procedimento di dimensionamento

3.1. DECADIMENTO LIMITE DELLA PAVIMENTAZIONE

L'indice assunto per valutare il decadimento delle sovrastrutture è il Present Serviceability Index "**PSI**" (oppure la sua variazione "**ΔPSI**"), funzione della profondità delle ormaie, della superficie delle buche e dei rattoppi, o di lesioni di determinate caratteristiche riferite all'unità di superficie.

I valori variano da valori ottimi pari a 5 all'inizio delle vita utile a valori di 0 quando l'efficienza della pavimentazione è nulla. Tuttavia livelli inferiori a 1 o 1,5 non sono in genere accettabili poiché sarebbero compromessi i livelli di servizio e la sicurezza della strada.

Valori più realistici di PSI iniziale variano tra 4,5 e 4,8 in modo da tenere conto di eventuali imperfezioni nella realizzazione dell'opera. Nelle successive fasi di calcolo si prevede una perdita di efficienza nell'arco di 20 anni pari a $4,5 - 2,5 = 2,0$, mentre per il deterioramento degli strati superficiali si prevede una perdita di efficienza di 1,0 dopo i primi 5 anni.

3.2. CARATTERISTICHE DELLA STRUTTURA

Il parametro di riferimento è il numero di struttura "**SN**" valutato come somma dei contributi che i singoli strati e il sottofondo forniscono alla prestazione complessiva della struttura. In particolare il contributo del singolo strato dipende in modo lineare dalle caratteristiche meccaniche, dallo spessore e dagli effetti del drenaggio:

$$SN_i = a_i \cdot H_i \cdot d_i$$

dove:

a_i = coefficiente di strato

H_i = spessore dello strato

d_i = coefficiente di drenaggio

I coefficienti " a_i " sono funzione della natura dei materiali componenti e delle modalità di lavorazione; le variazioni nei campi di validità dei coefficienti si spiegano in ragione della stabilità Marshall di progetto per i conglomerati bituminosi, del carico a rottura dopo 7gg per il misto cementato e del CBR per il misto granulare. Si riporta di seguito una tabella standard tratta da 'AASHTO INTERIM GUIDE' reperibile facilmente in letteratura ed comunemente accettata come base di calcolo per questo metodo.

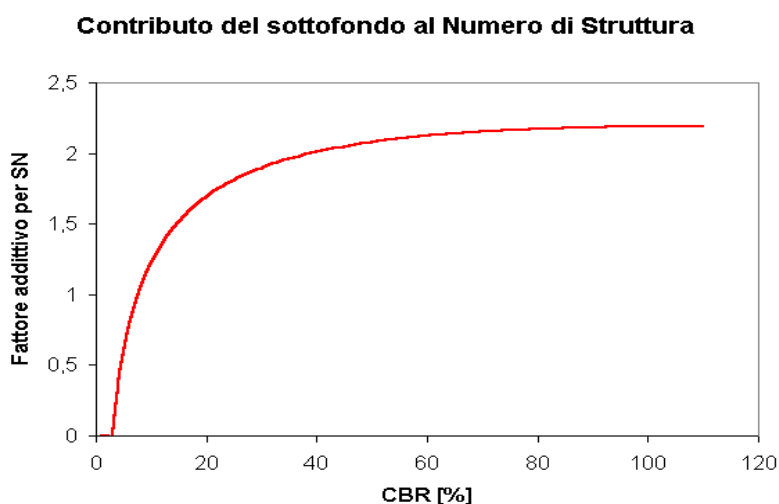
Coefficienti di equivalenza e caratteristiche dei materiali per pavimentazioni flessibili				
	Stabilità Marshall, kg	Carico a Rottura dopo 7gg, kg	C.B.R., %	Coeff. Strato
SUPERFICIE				
PAVIMENTAZIONI SPECIALI				
SPLITTMASTIK - SMA	1000			0,48
DRENANTE	500			0,25
ANTISKID	700			0,30
USURA				
Strato 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
Strato di Collegamento Fibrorinforzato				
Strato di Collegamento	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

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 quanto lo strato di usura drenante è predisposto per coesistere con la presenza di acqua mentre gli strati di binder e base si considerano impermeabili in quanto di tipo "chiuso".

Il coefficiente di drenaggio assegnato a tali strati è pari a 1.

Al fine di tener conto dell'eventuale risalita capillare dell'acqua per gli strati più profondi del pacchetto di pavimentazione, si assegnano coefficienti di drenaggio pari a 0,98 e 0,95 rispettivamente per misto cementato e misto granulare.

L'influenza del sottofondo è valutata in funzione del modulo resiliente M_R valutato in funzione dell'indice di portanza CBR espresso in %.



Facendo riferimento alla composizione granulometrica del terreno in situ, dotato di buone caratteristiche in termini di portanza, si ritiene congruo assumere un valore di CBR pari a 9 (ovvero Modulo Resiliente del sottofondo pari a 93'113 kPa).

- a) U. Perinetti, A. Crespo, G. Fabbri "Esperimento sul comportamento di diversi tipi di sottobase in una sovrastruttura stradale", 16° Convegno Nazionale Stradale, 1974;
- b) R. Bucchi: "Metodo di progettazione delle pavimentazioni stradali flessibili", da Strade e traffico n. 252, marzo-aprile 1976.

3.3. AFFIDABILITÀ

Questo fattore di dimensionamento considera le condizioni aleatorie che possono inficiare le previsioni di traffico e le prestazioni delle pavimentazioni. L'affidabilità di un processo di dimensionamento della pavimentazione è la probabilità che la sezione dimensionata possa mantenersi in condizioni accettabili durante tutta la vita utile.

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

In particolare in funzione di "R" si assumono per " Z_R " i seguenti valori:

R %	80	85	90	92
Z_R	-0.841	-1.037	-1.282	-1.405

Nei calcoli viene utilizzato il valore R=90% sopra evidenziato, come indicato nella tabella sottostante per la categoria di strada in progetto.

Tabella 9 - Affidabilità e PSI

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

4. VERIFICA PAVIMENTAZIONE TRACCIATO PRINCIPALE

Lungo il tracciato principale il progetto prevede un pacchetto complessivo di 65 cm (denominato "pavimentazione tipo C") composto da misto stabilizzato, misto cementato, base (tout-venant), binder e usura drenante.

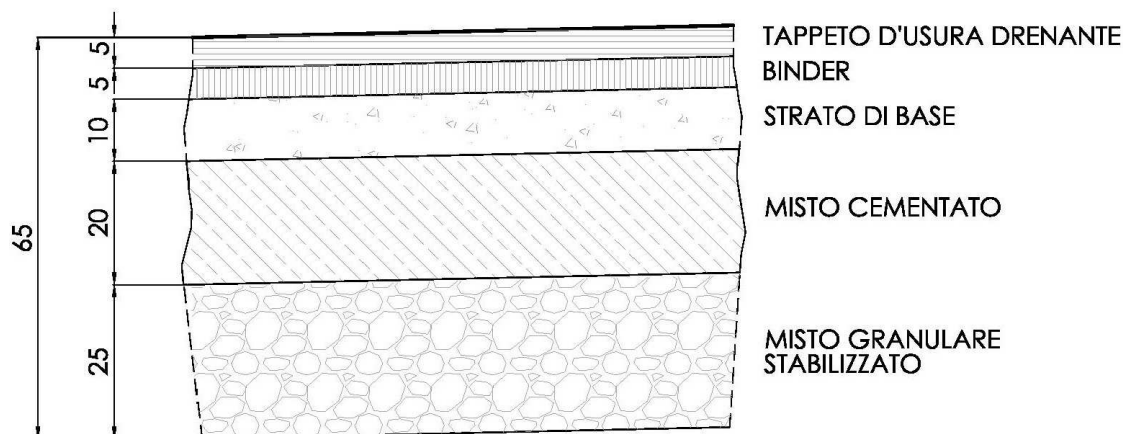
Si riportano di seguito le ipotesi e i risultati della verifica della pavimentazione.

4.1. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEGLI STRATI

La stratigrafia della pavimentazione analizzata presenta le caratteristiche indicate nella tabella seguente.

DESCRIZIONE STRATO (DAL PIANO DI APPOGGIO ALLA SUPERFICIE VIABILE)	SPESORE cm
STRATO 1 - Misto granulare stabilizzato	25
STRATO 2 - Misto cementato	20
STRATO 3 - Strato di Base (tout-venant)	10
STRATO 4 - Strato di Collegamento (binder)	5
STRATO 5 - Strato di Usura drenante	5
TOTALE	65

PARTICOLARE PAVIMENTAZIONE



Si riportano di seguito i valori di portanza del terreno su cui poggia la pavimentazione:

Portanza del Sottofondo:	CBR =	9,0
Modulo Resiliente del Sottofondo:	M_R(kPa) =	93.113
Affidabilità:	R [%] =	90
Deviazione Standard:	S_o =	0,40

4.2. PERDITA DI EFFICIENZA Δ PSI=2,0 VITA UTILE 20 ANNI

La tabella seguente evidenzia il confronto tra il numero di assi equivalenti previsti per una vita utile di 20 anni (in relazione al traffico) e il numero di assi equivalenti che il pacchetto di pavimentazione previsto in progetto è in grado di sopportare.

Si considera una perdita di efficienza pari a 2,0 in modo da garantire un coefficiente di efficienza minimo PSI pari a 2,5 (PSI iniz. pari a 4,5).

Tracciato principale - 20 anni	Coefficiente di strato	Coefficiente di drenaggio	Spessore strato [cm]	Numero strutturale SN
Strato di Usura con bitume modificato	0,25	1,00	5,00	0,49
Strato di Collegamento	0,40	1,00	5,00	0,79
Strato di Base	0,30	1,00	10,00	1,18
Strato di Misto Cementato	0,20	0,98	20,00	1,54
Fondazione Granulare Stabilizzata	0,10	0,95	25,00	0,94
Spessore totale strato			65,00	
Numero strutturale SN richiesto/calcolato:	4,36		4,94	
Numero Assi Equivalenti 80 kN ESAL (W80):	25.261.904,00		68.392.737,00	

Dal pacchetto di progetto si ottiene un numero strutturale SN pari a 4,94 rispetto al numero richiesto 4,36.

4.3. PERDITA DI EFFICIENZA Δ PSI=1,0 VITA UTILE 5 ANNI

La tabella seguente evidenzia il confronto tra il numero di assi equivalenti previsti per una vita utile di 5 anni (in relazione al traffico) e il numero di assi equivalenti che il pacchetto di pavimentazione previsto in progetto è in grado di sopportare.

Si considera una perdita di efficienza pari a 1,0.

Tracciato principale - 5 anni	Coefficiente di strato	Coefficiente di drenaggio	Spessore strato [cm]	Numero strutturale SN
Strato di Usura con bitume modificato	0,25	1,00	5,00	0,49
Strato di Collegamento	0,40	1,00	5,00	0,79
Strato di Base	0,30	1,00	10,00	1,18
Strato di Misto Cementato	0,20	0,98	20,00	1,54
Fondazione Granulare Stabilizzata	0,10	0,95	25,00	0,94
Spessore totale strato			65,00	
Numero strutturale SN richiesto/calcolato:	4,05		4,94	
Numero Assi Equivalenti 80 kN ESAL (W80):	5.198.146,00		15.435.064,00	

Dal pacchetto di progetto si ottiene un numero strutturale SN pari a 4,94 rispetto al numero richiesto 4,05.

5. CONCLUSIONI

Dai calcoli e dalle considerazioni sopra espresse si evince che il pacchetto di pavimentazione previsto in progetto soddisfa pienamente i requisiti dovuti al traffico che interessa e interesserà in futuro l'intervento oggetto del progetto.

Si riporta di seguito un riepilogo dei risultati.

	$\Delta\text{PSI} = 2,0$ (vita utile 20 anni)	$\Delta\text{PSI} = 1,0$ (vita utile 5 anni)
SN richiesto	4.36	4.05
SN calcolato	4.94	4.94
N° assi equivalenti richiesti	25'261'904	5'198'146
N° assi equivalenti calcolati	68'392'737	15'435'064