



COMUNE DI PIGNOLA

PROVINCIA DI POTENZA

"INTERVENTI DI MESSA IN SICUREZZA DELLE STRADE DEL CENTRO ABITATO"

PNRR: MISS. 2 - COMP. 4 - INV. 2.2



Sindaco

Dott. Antonio De Luca

R.U.P.

Responsabile dell'Area 3
Ambiente - Urbanistica - Edilizia

Ing. Donato Rosa

PROGETTO DEFINITIVO/ESECUTIVO

Cod. elaborato:

AR01

RELAZIONE SPECIALISTICA DI INTERVENTO
MANUTENZIONE VIABILITÀ'

Scala: -

Rev. 01

Data: Gennaio 2025

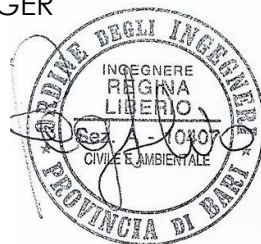
Progettista:

Ing. Michele VERDEROSA
Ordine Ingegneri Prov. di Potenza n°3000
mail: michele.verderosa@outlook.it
tel. 3400082924

Collaboratori:

Ing. Gaetano BERLINGERIO
Ing. Elisabetta BRANDONISIO
Ing. Regina LIBERIO
Ing. Vincenzo ORANGER

Gaetano Berlingerio



SOMMARIO

1	PREMESSA.....	2
2	AZIONE DEL CARICO E MECCANISMI DI RINFORZO	2
2.1	L'AREA DI AZIONE DEL SISTEMA	3
2.2	SVILUPPO DELLA COESIONE APPARENTE	4
3	VANTAGGI DELL'USO DEL SISTEMA DI STABILIZZAZIONE	4
4	INTERVENTO DI REALIZZAZIONE DI NUOVA PAVIMENTAZIONE CARRABILE IN BASOLI.....	6
5	STABILIZZAZIONE DELLA FONDAZIONE STRADALE	6
5.1	CRITERI DI DIMENSIONAMENTO STABILIZZAZIONE.....	6
6	CRITERI DI DIMENSIONAMENTO E VERIFICA DELLA PAVIMENTAZIONE FLESSIBILE.....	8
6.1.1	Traffico di progetto.....	9
6.1.2	Affidabilità	10
6.1.3	Structural Number	11
6.1.4	Traffico transitante	12
6.1.5	Calcolo di C_{eq}	13
7	VERIFICA.....	14

1 PREMESSA

La presente relazione illustra i criteri di dimensionamento e calcolo della pavimentazione stradale in basoli, da realizzare lungo la via Dante, il corso Umberto I, il corso Garibaldi e la piazza Vittorio Emanuele II nel Comune di Pignola.

2 AZIONE DEL CARICO E MECCANISMI DI RINFORZO

L'applicazione del carico limite su una superficie non rinforzata comporta l'innescio di un meccanismo di rottura caratterizzato da tre zone ben definite: la zona 1 (zona attiva), la zona 2 (di sviluppo delle superfici logaritmiche e caratterizzato da tensioni di taglio) e la zona 3 (zona passiva). Il raggiungimento del carico limite comporta un collasso della superficie.

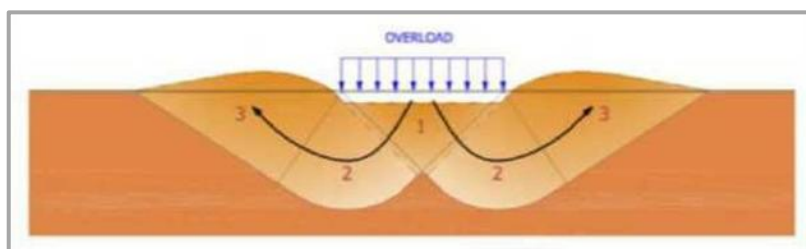


Figura 1 – Meccanismo di rottura della superficie non rinforzata

Grazie al confinamento del sistema di stabilizzazione tridimensionale (fig.2), il medesimo carico agirà su un'area, o meglio su un volume (dato dall'area per l'altezza del sistema) a prestazioni meccaniche migliorate, creando un effetto piastra che permette la redistribuzione delle tensioni con conseguente incremento della portanza e riduzione della tensione verticale agente nel piano sottostante e dei cedimenti differenziali associati.

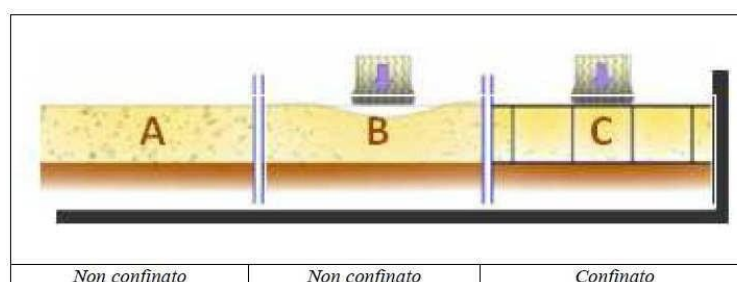


Figura 2 – Dettaglio dell'azione di confinamento

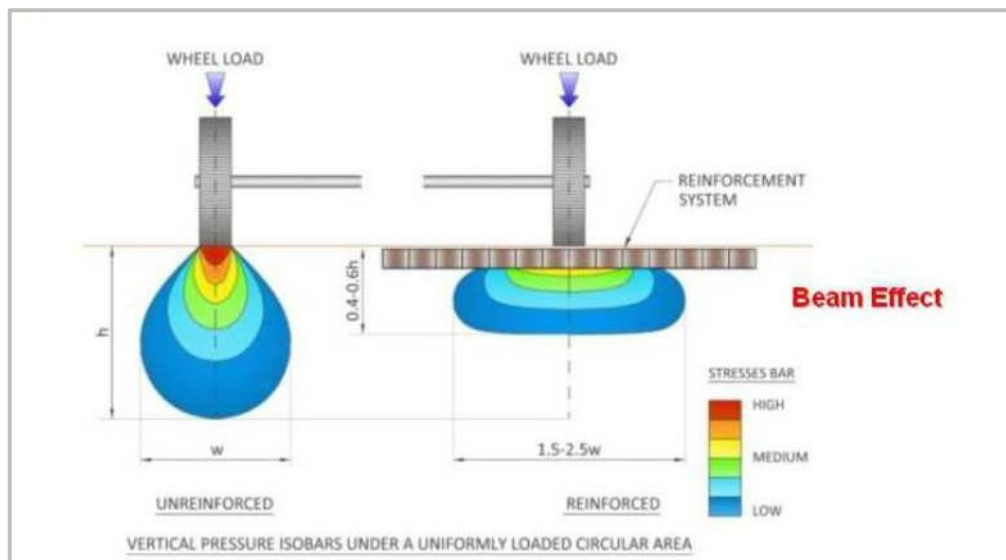


Figura 3 – Effetto piastra sviluppato dal sistema di rinforzo

Come si può osservare in fig.3, la presenza del sistema di rinforzo determina una riduzione dei picchi di stress (colore rosso) e la diffusione del carico su un'area più ampia (1,5 – 2,5 volte maggiore).

2.1 L'AREA DI AZIONE DEL SISTEMA

Il sistema, una volta posato sul terreno e riempito con il materiale granulare, svolgerà la sua azione nei modi indicati nello schema di seguito riportato.

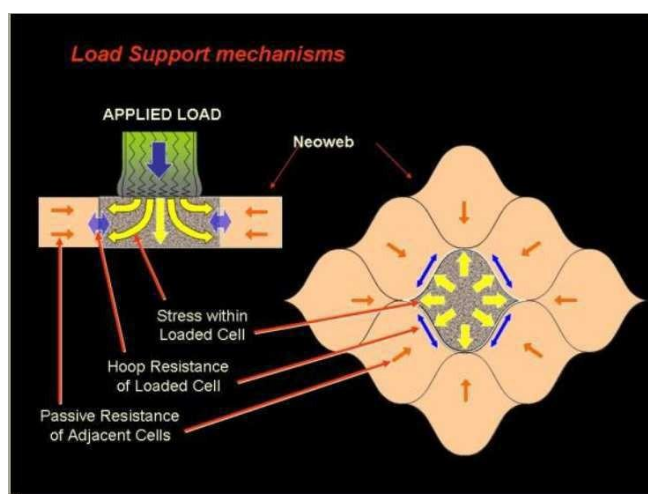


Figura 4 – Schema di funzionamento del sistema di rinforzo

Il carico, costituito dal peso esercitato dalla ruota, trasmette una pressione al materiale granulare confinato nella cella che tenderà ad espandersi radialmente. Il sistema impedisce l'espansione radiale del materiale confinato tramite lo sviluppo di sollecitazioni di parete sulla cella interessata (colore blu delle frecce) che porteranno ad un incremento delle caratteristiche di resistenza del materiale confinato con la formazione di una matrice (cella + riempimento) di elevata rigidità in grado di distribuire il carico su un'area più ampia, riducendo inoltre i picchi tensionali.

Qualora vi siano delle sovra-sollecitazioni di carico (dovute alle azioni dinamiche) non compensate totalmente dalla rigidità della parete della cella, vi sarà lo sviluppo della resistenza passiva (freccie di colore rosso) delle celle adiacenti. In tal modo è possibile compensare anche eventuali picchi di carico non previsti in origine.

2.2 SVILUPPO DELLA COESIONE APPARENTE

L'azione di confinamento del materiale racchiuso, che si viene a creare con l'applicazione di un carico superficiale, si traduce nella formazione di una coesione apparente del materiale. Questa resistenza aggiuntiva è valutabile con prove triassiali. Grazie alla formazione della coesione apparente la matrice di terreno confinato presenta una maggiore resistenza (si veda il cerchio di Mohr).

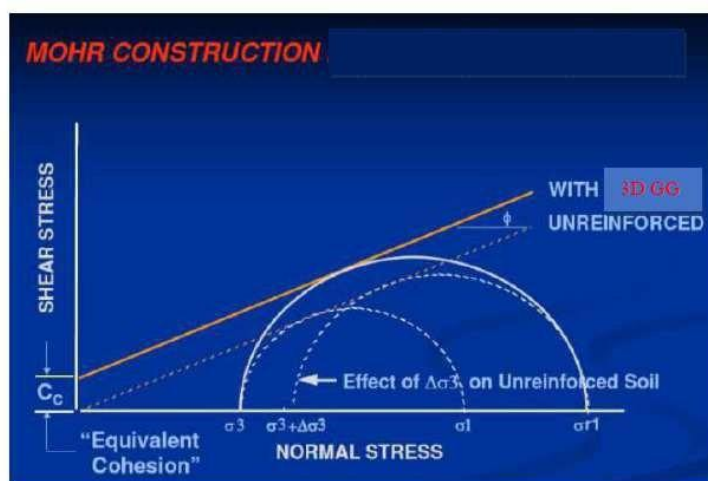


Figura 5 – Incremento di resistenza per effetto della coesione apparente sul Cerchio di Mohr

3 VANTAGGI DELL'USO DEL SISTEMA DI STABILIZZAZIONE

L'utilizzo del sistema di rinforzo a celle comporta numerosi vantaggi che vengono di seguito riportati:

1. l'elevata resistenza anulare delle celle, la rigidità delle pareti e la resistenza passiva delle celle limitrofe consentono una riduzione dello spessore della sovrastruttura, sia sulla parte di inerte che sulla parte legata (cemento, bitume, pavimentazione in blocchi, ecc.); l'azione di confinamento a lungo termine previene la degradazione degli inerti (abrasione) e ne preserva le caratteristiche;
2. la stabilità dimensionale, la resistenza a fatica sotto carico, le tensioni e condizioni ambientali estreme sono allineate con la durabilità richiesta nella progettazione di opere stradali;
3. il sistema consente addirittura di poter utilizzare il materiale non coesivo esistente in sito oppure ottenuto da materiale riciclato, laddove quest'ultimi risultassero idonei, con riduzione dei costi ambientali e di trasporto per l'approvvigionamento di idoneo inerte;
4. il sistema viene consegnato in cantiere in sezioni facili ed economiche da installare, l'installazione può essere eseguita da manovalanza anche non esperta e può essere condotta in qualunque condizione atmosferica;

5. l'installazione del sistema permette di operare una riduzione degli spessori di materiale inerte richiesto, con conseguente risparmio in termini di tempo, equipaggiamento, manodopera e costi durante le fasi di costruzione.

L'evoluzione della sovrastruttura stradale può essere rappresentata dalla seguente figura:

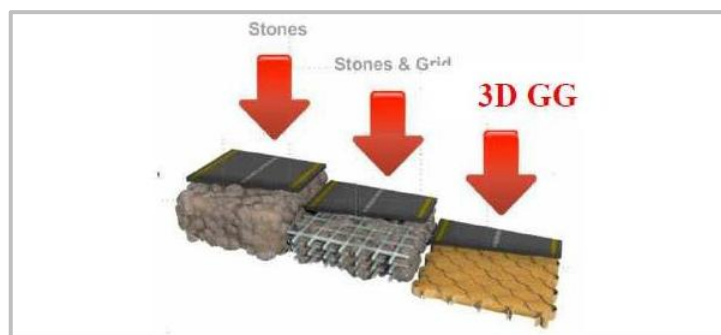


Figura 6 – Tecnologie a confronto

Dall'originaria sovrastruttura con fondazione in misto granulare naturale si è passati, con riduzione dello spessore, alla sovrastruttura in misto granulare rinforzata con una o più geogriglie di rinforzo.

Utilizzando il sistema tridimensionale (3D) si è ottenuta un'ulteriore riduzione dello spessore a seguito del diverso meccanismo strutturale di funzionamento. Le geogriglie, i geotessili e i non tessuti sono in grado di attivare un meccanismo di rinforzo bidimensionale (2D), mentre il sistema 3D è in grado di sviluppare un meccanismo di rinforzo di contenimento cilindrico tridimensionale (3D).

Il sistema, rispetto alle geogriglie, ai tessuti e ai non tessuti, è in grado di esercitare l'ulteriore meccanismo di confinamento laterale del materiale di riempimento su qualunque tipo di riempimento incoerente utilizzato; dalle sabbie fini (da cui originariamente nacque) al materiale riciclato (conglomerato cementizio o bituminoso) al granulare con spigoli tondeggianti. Il grande beneficio derivante dal sistema è dato proprio dalla possibilità di utilizzare materiali di riempimento di classe inferiore, usualmente non idonei all'impiego come materiale da costruzione stradale. L'azione di confinamento è resa possibile dalle dimensioni della cella e dalla rigidità della stessa.

Nella figura sottostante è rilevabile come l'azione di confinamento si mantenga inalterata nell'intera altezza della struttura più un'ulteriore altezza pari a 1 - 2 volte il diametro massimo dell'inerte usato per il riempimento per poi decadere in una zona di transizione.

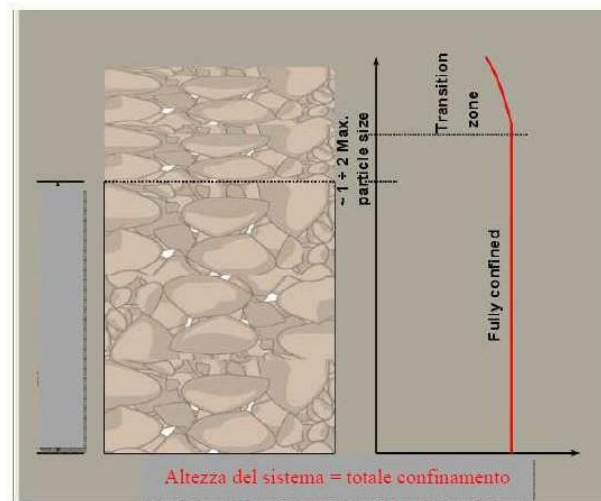


Figura 7 – Effetto del confinamento

Inoltre, utilizzando le geogriglie, è noto come esse possano svolgere correttamente la loro funzione di rinforzo qualora si utilizzi uno specifico fuso granulometrico di riempimento, funzione dell’apertura della maglia della geogriglia utilizzata.

4 INTERVENTO DI REALIZZAZIONE DI NUOVA PAVIMENTAZIONE CARRABILE IN BASOLI

In riferimento al progetto per la realizzazione di diverse aree pedonali e carrabili nel centro storico di Pignola, si riportano di seguito le verifiche effettuate per la pavimentazione carrabile in basoli di spessore pari a 10 cm.

L’intervento previsto comprende la realizzazione della seguente stratigrafia:

- Posa di geogriglia in polipropilene;
- Rilevato stradale di altezza pari a 10 cm;
- Posa della geostruttura tridimensionale di stabilizzazione h. 100 mm;
- Riempimento della geostruttura mediante materiale granulare assortito, con extra ricoprimento di 5 cm, adeguatamente compattato;
- Posa del massetto di sabbia e cemento, spessore pari a ca. 5 cm;
- Posa dei basoli di spessore pari a 10 cm.

Le verifiche sono state effettuate sulle sezioni carrabili aventi pavimentazione carrabile.

5 STABILIZZAZIONE DELLA FONDAZIONE STRADALE

5.1 CRITERI DI DIMENSIONAMENTO STABILIZZAZIONE

Per tenere in considerazione il contributo fornito dal sistema di stabilizzazione meccanica generato dalla struttura tridimensionale, si applicano le teorie descritte nelle pubblicazioni di seguito elencate:

1. **“DESIGN OF GEOCELL REINFORCED BASES”** inerenti alle ricerche condotte da: Prof. Jie Han, Xiaoming Yang e Robert L. Parson, Department of Civil Enviromental and Architectural Engineering

the University of Kansas USA; Prof. Dov Leshchinsky Department of Civil and Environmental Engineering The University of Delaware USA.

2. **“Subgrade Improvement Factors (SIF) Utilizing Reinforcement System”** condotto da: Prof. Karpurapu Rajagopal Professor & Head of department of Civil Engineering Indian Institute of Technology Madras, Chennai, India.

Il sistema di stabilizzazione meccanica consente, in sintesi, un incremento di portanza del sottofondo e, tramite l'utilizzo di un coefficiente **SIF** (Subgrade Improvement Factor), il calcolo viene eseguito tenendo conto di un valore incrementato del CBR del sottofondo.

Categorie del traffico	Classe	Numero di assi standard passanti (18.000 libbre ~ 8,2 ton) in accordo con AASHTO
Sporadico	1	0 – 3,8x10 ⁴
Molto Leggero	2	3,8x10 ⁴ – 1,0x10 ⁵
Leggero	3	1,0x10 ⁵ – 3,6x10 ⁵
Medio leggero	4	3,6x10 ⁵ – 1,2x10 ⁶
Medio pesante	5	1,2x10 ⁶ – 5,5x10 ⁶
Pesante	6	5,5x10 ⁶ – 1,5x10 ⁷
Molto pesante	7	1,5x10 ⁷ – 8,0x10 ⁷

Figura 8 – Categorie e classi di traffico

	Intensità del traffico AASHTO 1 – sporadico 0.0 – 3.8x10 ⁴ 7 – molto pesante 1.5x10 ⁷ – 8.0x10 ⁷						
	1	2	3	4	5	6	7
CBR in sito (%)	Neoweb® SIF						
≤ 1.0	3.1	3.1	3.1	3.0	3.0	3.0	2.8
2.0	3.0	3.0	3.0	2.9	2.9	2.8	2.7
3.0	2.8	2.8	2.9	2.7	2.7	2.6	2.5
4.0	2.6	2.6	2.6	2.5	2.5	2.4	2.3
5.0	2.2	2.3	2.3	2.1	2.1	2.1	2.0
6.0	2.0						
7.0	1.7						
8.0	1.5						

Figura 9 – Valori del SIF

Nel caso in esame, tenuto conto che per il sottofondo si assume cautelativamente un valore di indice di portanza CBR pari a 3% (non considerando, a vantaggio di sicurezza, uno strato di rilevato in misto cava ben compattato di spessore non inferiore a 10 cm) e che per le strade oggetto di intervento le categorie di traffico considerate appartengono alle classi 3 e 4 (da leggero a medio leggero), si può assumere un SIF pari a 2.85.

La presenza della geostruttura tridimensionale di stabilizzazione implica che il valore di CBR migliorato assume un valore pari a pari a 8,5%.

Il materiale granulare di riempimento delle geostrutture dovrà soddisfare le indicazioni di fuso granulometrico di seguito riportate.

	h.150	h.100
Serie crivelli e setacci UNI	Passante	Passante
40	100	-
30	80-100	100
25	72-90	-
15	53-70	70-100
10	40-55	50-85
5	28-40	35-65
2	18-30	25-50
0,4	8-18	15-30
0,18	6-14	5-15
0,075	5-10	-

6 CRITERI DI DIMENSIONAMENTO E VERIFICA DELLA PAVIMENTAZIONE FLESSIBILE

Le verifiche sono state condotte in accordo al metodo empirico proposto dal documento **AASHTO Guide for Design of Pavement Structures**.

Il metodo si basa su considerazioni derivanti da test sperimentali eseguiti. Il principio generale del metodo è quello di misurare l'adeguatezza della pavimentazione stradale in termini di numero di veicoli (assi standard da 82 kN) che una pavimentazione stradale può sopportare, mantenendo la funzionalità desiderata, per un certo numero di anni (fissato come dato di progetto e pari, nella maggior parte dei casi, alla vita utile della strada).

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) 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, o meglio dagli assi dei veicoli reali.

$$FS = \frac{N_{8.2,lim}}{N_{8.2,calc}} \quad (1)$$

dove

$N_{8.2,lim}$ è il numero di assi standard (da 82 kN) che la strada è in grado di sopportare nella vita sua utile

$N_{8.2,calc}$ è il numero di assi standard (da 82 kN) che transitano effettivamente sulla strada di progetto.

Per determinare il numero di assi standard che transiteranno, nel metodo AASHTO, 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 (Traffico Medio Giornaliero);
- la percentuale di veicoli pesanti (%);
- la suddivisione del traffico pesante tra le corsie (%);
- il tasso di incremento annuo del traffico (%).

Molto utili in fase di predimensionamento risultano essere i cataloghi delle pavimentazioni, che propongono una serie di soluzioni preordinate in funzione dell'entità del traffico, dei sottofondi, della tipologia di sovrastruttura e strada. In Italia è stato redatto dal CNR il *"Catalogo Italiano delle Pavimentazioni Stradali"* BU 168/95.

6.1.1 TRAFFICO DI PROGETTO

Il calcolo di $N_{8.2,lim}$ avviene secondo la seguente formula:

$$\text{Log}(N_{8.2,lim}) = a + b + 2.32 \cdot \text{Log}(Mr) - 8.07 \quad (2)$$

dove:

$$a = Z_r \cdot S_0 + 9.36 \cdot (\text{Log}(SN) + 1) \quad (3)$$

$$b = -0.20 + \frac{\text{Log}\left(\frac{PSI_{Fin} - PSI_{In}}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} \quad (4)$$

Nelle formule (2), (3) e (4) il significato dei vari simboli è il seguente:

- Z_r : è un termine collegato all'affidabilità R in funzione della quale si desidera condurre la verifica (o la progettazione) di adeguatezza;
- S_0 : è un termine statistico che misura la deviazione standard che tiene conto dell'errore che si commette nelle previsioni dei volumi di traffico e delle prestazioni della pavimentazione. S_0 assume valori compresi

tra 0.4 e 0.5. Valori maggiori indicano maggiori probabili errori nella stima dei volumi di traffico e delle prestazioni della pavimentazione;

- **SN**: è lo Structural Number (indice di spessore) in inch (pollici);
- **PSI_{Fin}** è l'indice di prestazione della strada alla fine della vita utile (variabile normalmente da 2 a 2,5)
- **PSI_{In}** è l'indice di prestazione della strada all'inizio della vita utile (variabile normalmente da 4 a 5);
- **Mr** è il modulo resiliente del sottofondo stradale, espresso in psi (pound square inch);

6.1.2 AFFIDABILITÀ

Nel metodo dell'AASHTO l'affidabilità R (reliability) viene introdotta attraverso i coefficienti S_0 e Z_r .

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, ed 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. Z_r invece è il valore della variabile standardizzata legata all'affidabilità R (che è la probabilità che il numero di ripetizioni di carico NT(max) che portano il valore $PSI = PSI_{FIN}$ sia maggiore o uguale al numero di ripetizioni NT realmente applicati alla sovrastruttura). Affermare che $R=95\%$ significa che in 95 casi su cento le previsioni di progetto (traffico, prestazione pavimentazione) consentono di raggiungere la prefissata vita utile. Viceversa nel 5% dei casi ciò non si verifica.

Per ciascun valore di R esiste un ben determinato valore di deviazione standard ridotta Z_R secondo la seguente tabella:

R (%)	Z_r (-)
50	0.000
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.340
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.090
99.99	-3.750

Tabella 1 – Correlazione tra z_r ed R

Assegnata quindi l'affidabilità R è possibile ricavare, dalla tabella precedente, il valore del coefficiente Z_r associato. Nel caso in cui il valore di R di progetto sia compreso tra due valori noti in tabella allora si deve procedere mediante interpolazione tra i suddetti valori.

6.1.3 STRUCTURAL NUMBER

Nel metodo AASHTO lo “structural number” SN è un parametro che tiene conto della “resistenza strutturale” della pavimentazione. Esso è funzione:

- degli spessori degli strati s_i ;
- della “resistenza” dei materiali impiegati rappresentata, attraverso i “coefficienti strutturali di strato” a_i , e della loro sensibilità all’acqua rappresentata attraverso i “coefficienti di drenaggio” m_i .

$$SN = \sum_{i=1}^{n_s} a_i \cdot m_i \cdot s_i \quad (5)$$

L'espressione analitica dello structural number è: ad ogni strato della pavimentazione di progetto, di spessore s_i ed espresso in pollici [inch], viene assegnato un coefficiente di struttura (a_i) espresso in [inch-1], che rappresenta il contributo dello strato alla prestazione complessiva della pavimentazione, ed un fattore per considerare gli effetti del drenaggio (m_i) adimensionale.

I coefficienti di drenaggio m_i sono usati per modificare il valore del coefficiente di struttura a_i di ogni strato non stabilizzato al di sopra del sottofondo in una pavimentazione flessibile.

Gli strati in conglomerato bituminoso 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.

Per gli altri strati i coefficienti di drenaggio sono determinati considerando la qualità del drenaggio e 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 più elevati di SN e, pertanto, si traduce in una riduzione delle fessurazioni, delle ormaie e delle irregolarità della superficie stradale.

I coefficienti di struttura a_i esprimono la capacità relativa dei materiali impiegati nei vari strati della pavimentazione a contribuire come componenti strutturali alla funzionalità della sovrastruttura. Tali coefficienti sono funzione del tipo e proprietà del materiale e si ricavano direttamente dai nomogrammi presenti sull'AASHTO GUIDE in funzione della stabilità Marshall scelta per i rispettivi strati e in funzione del CBR della fondazione.

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 CBR e il modulo resiliente del sottofondo M_r . Il parametro M_r può essere definito direttamente come parametro di input per i calcoli. Lo stesso coefficiente può anche essere calcolato al partire dal CBR del sottofondo a partire dalla seguente relazione:

$$M_r = 100 \cdot CBR \quad (6)$$

dove:

M_r = modulo resiliente del sottofondo in MPa

CBR = indice di portanza CBR (California Bearing Ratio) [%] - Rappresenta una misura della capacità portante del sottofondo.

6.1.4 TRAFFICO TRANSITANTE

Il dato di partenza per il dimensionamento è il traffico giornaliero medio TGM, che transita o si presume transiterà nell'infrastruttura nel primo anno di vita utile. Questo dovrà essere corretto considerando i seguenti fattori:

- l'evoluzione del traffico nel corso degli anni (r). È alquanto difficile poter prevederne l'esatta evoluzione, in genere si assiste a tassi di crescita maggiori nei primi anni di vita tassi che poi 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;
- la distribuzione del traffico per senso di marcia (p_d). In genere si può assumere che il TGM si suddivida equamente nelle due direzioni;
- La percentuale di veicoli commerciali (p);
- La percentuale di traffico commerciale che transita nella corsia lenta (p_l);
- La dispersione delle traiettorie (d). 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;
- La distribuzione dei carichi del traffico commerciale. I veicoli che lo compongono non hanno gli stessi carichi per asse determinando livelli di sollecitazione differenti. Per omogeneizzare i risultati si ricorre al concetto di asse equivalente considerando che la progressione del danno prodotto varia in modo esponenziale con il carico stesso. Nella fattispecie è prassi assumere come coefficiente di equivalenza l'espressione $C_{eq} = (x/y)^4$ dove x è il peso dell'asse in esame ed y il peso dell'asse equivalente standard (8,2 ton);
- Il numero medio degli assi di un generico veicolo commerciale (n_a). 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.

Il numero $N_{8.2,Calc}$ di assi cumulati equivalenti alla fine della vita utile della pavimentazione potrà determinarsi moltiplicando il TGM per i parametri suddetti:

$$N_{8.2,Calc} = vgpa \cdot C_{eq} \cdot \frac{(1+r)^n - 1}{r} \quad (7)$$

dove:

$$vgpa = TGM \cdot p_c \cdot p_{sm} \cdot p_{cor} \cdot 365 \quad (8)$$

Nelle precedenti formule i simboli assumono il seguente significato:

- $vgpa$: Numero totale di veicoli transitanti sulla corsia di progetto nel primo anno di vita della strada;
- TGM: è il traffico giornaliero medio sulla strada oggetto di progetto (espresso in veicoli per giorno);

- p_c : percentuale di veicoli commerciali transitanti sulla strada;
- p_{sm} : percentuale di veicoli transitanti sulla strada di progetto nel senso di marcia della corsia oggetto di progetto;
- p_{cor} : percentuali di veicoli transitanti sulla corsia di progetto;
- C_{eq} : Coefficiente che consente di convertire i veicoli totali transitanti sulla corsia di progetto in assi standard da 82 kN;
- r : tasso annuale di crescita del traffico sulla strada oggetto di progetto.

6.1.5 CALCOLO DI C_{eq}

Il coefficiente C_{eq} tiene conto del fatto che non tutti i veicoli commerciali che transitano sulla strada hanno asse standard pari a 82 kN. La normativa infatti individua le tipologie di veicoli commerciali previste nel catalogo delle pavimentazioni.

Come è possibile osservare dalla fig. 8 gli assi dei veicoli commerciali razionalmente prevedibili per un calcolo di progetto e/o di verifica di una pavimentazione stradale hanno valore sensibilmente diverso da 82 kN (circa pari a 8,2 tonnellate).

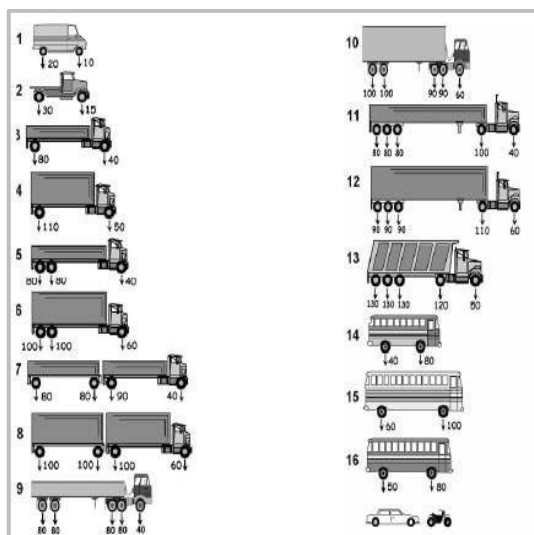


Figura 10 – Caratteristiche dei veicoli commerciali

Il coefficiente C_{eq} tiene altresì conto di come il numero totale di veicoli viene distribuito tra i veicoli afferenti alle diverse tipologie (in generale 16) di veicoli che possono transitare sulla strada di progetto.

Quest'ultimo passaggio è possibile attraverso lo spettro di traffico che associa ad ogni tipologia di strada la percentuale di veicoli transitanti ed appartenenti alle diverse tipologie di veicoli. Lo spettro di traffico è rappresentato nella tabella sotto riportata.

Tipo Strada	1	2	3	4	5	6	7	8	Tipo Strada	9	10	11	12	13	14	15	16
1	12.2	0	24.4	14.6	2.4	12.2	2.4	4.9	1	2.4	4.9	2.4	4.9	0.1	0	0	12.2
2	18.2	18.2	16.5	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	1.6	18.2	27.3	0
3	0	13.10	39.5	10.5	7.9	2.6	2.6	2.5	3	2.6	2.5	2.6	2.6	0.5	0	0	10.5
4	0	0	58.8	29.4	0	5.9	0	2.8	4	0	0	0	0	0.2	0	0	2.9
5	24.5	0	40.8	16.3	0	4.15	0	2	5	0	0	0	0	0.05	0	0	12.2
6	18.2	18.2	16.5	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	1.6	18.2	27.3	0
7	80	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	20	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	47	53	0

Tabella 2 – Spettro di traffico per tipologie di veicoli (Tabelle II e III)

I valori riportati nelle tabelle precedenti sono in %. Il calcolo di C_{eq} avviene applicando la seguente formula:

$$C_{eq} = \sum_{i=1}^{ntv} \sum_{j=1}^{nav(i)} \left(\frac{V_{aj}}{82kN} \right)^4 \cdot \frac{ST_i^{ts}}{100}$$

Nella precedente equazione i simboli assumono il seguente significato:

- ntv : è il numero di tipologie di veicoli commerciali (16 in questo caso);
- $nav(i)$: è il numero di assi che compone la tipologia di veicolo i -simo
- ST_i^{TS} : è la percentuale associata al veicolo i -simo desunta dallo spettro di traffico (cfr. Tabella II e Tabella III).

7 VERIFICA

Il metodo empirico di AASHTO si conclude verificando che il numero di passaggi di assi standard $N_{8.2,Calc}$ risulti inferiore al numero massimo di passaggi di assi standard supportabili dalla pavimentazione $N_{8.2,Lim}$.

Sono stati assunti i dati iniziali di seguito riportati, ipotizzando un traffico medio-leggero, con una percentuale di veicoli commerciali pari al 15%, una vita utile pari a 30 anni.

DATI GENERALI

Tipologia

Strada urbana di quartiere e locale

Vita utile 30 anni

Indice di servizio iniziale 4,2

Indice di servizio finale 2,5

Affidabilità 90

TRAFFICO DI PROGETTO

Numero medio giornaliero di veicoli transitanti sulla strada 2800 nr/gg

Tasso di crescita annuale	2	
Veicoli commerciali	15	%
Traffico afferente al senso di marcia	50	%
Veicoli commerciali su corsia di progetto	60	%
Coefficiente dispersione traiettorie	0,8	
Deviazione standard	0,45	
Caratteristiche del sottofondo California Bearing Ratio	8,5	%
Costante di sottofondo	10	kg/cm ³

SOLLECITAZIONI MECCANICHE

Diametro impronta di calcolo pneumatici (supposta circolare)	15	cm
Pressione di gonfiaggio pneumatici	8	kg/cm ²

METODO DI CALCOLO:

Empirico (AASHTO)

STRATIGRAFIA

Strato di finitura Basolo (equiparato ad uno strato di usura)

Spessore	10 cm
Coeff. strutturale	0,38
Coeff. di drenaggio	1

Collegamento

Spessore	5 cm
Coeff. strutturale	0,22
Coeff. di drenaggio	1

Base

Spessore	5 cm
Coeff. strutturale	0,13
Coeff. di drenaggio	1

Fondazione

Spessore	10 cm
Coeff. strutturale	0,13
Coeff. di drenaggio	1

VERIFICA DI ADEGUATEZZA

Numero di assi standard da 8.2 ton transitanti	291833,2
Numero di assi standard da 8.2 ton limite	656044,06
Coefficiente di equivalenza	0,2
Parametro di distribuzione statistica	-1,28
Structural number	2,7
Differenza tra gli indici di prestazione allo stato finale ed iniziale	1,7
Modulo resiliente espresso in PSI	12096,2

Fattore di sicurezza FS 2,25 – Pavimentazione verificata

Le presenti verifiche sono state effettuate sulla base dei dati in possesso, oppure ipotizzati laddove specificato. Qualora la situazione reale risultasse diversa da quella qui considerata, sarà necessario procedere ad un aggiornamento e revisione della verifica.

Bari, gennaio 2025

Il progettista