Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti

FSC Fondo per lo Sviluppo e la Coesione

REGIONE CAMPANIA

PIANO OPERATIVO INFRASTRUTTURE FSC 2014-2020
PROGETTO FINANZIATO CON LA DELIBERAZIONE CIPE N.54/2016

Accordo Quadro triennale per l'Affidamento di Servizi di Ingegneria ed Architettura:

Progetto di fattibilità tecnica ed economica e/o progettaz. Definitiva e/o esecutiva e/o attività di supporto per l'esecuzione nella Regione Campania di interventi sui sistemi di mobilità ex Delib. G.R. 104/2018 -109/2018 e ss.mm.ii

Lotto n. 2 - CUP B49J18002160001 - CIG 7518817412

CONTRATTO ATTUATIVO: COMUNE DI CASTELFRANCO IN MISCANO (BN)
TITOLO INTERVENTO: RIQUALIFICAZIONE DELLA VIABILITÀ COMUNALE: VIA SOTTO LE CUPE - LA ZAZZERA
CUP H77H17001490002
Responsabile del procedimento: Arch. Michele De Iura

PROGETTO ESECUTIVO

PROGETTAZIONE A CURA DEL RTI:

MANDATARIA:

ING. D. BONADIES
Via Strada del colle, 1A
06132 Perugia (PG)
P.Iva 02776790541

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI PERUGIA
Sezione A N° A829
DOTTORE INGEGNERE
DINO BONADIES
SETTORE CIVILE E AMBIENTALE
SETTORE INDUSTRIALE
SETTORE DELL'INFORMAZIONE

MANDANTI:

ING. N. SARACA
Via A. Gramsci,34
00197 Roma (RM)
P.Iva 00987261005

ING. D. ROMANO
Via Masone, 5
24121 Bergamo (BG)
P.Iva 02141540167

Responsabile delle integrazioni fra le diverse prestazioni specialistiche: **ING. D. BONADIES**

Elaborato:		data: MAGGIO 2022
R.03	**Relazione progetto pavimentazione stradale**	scala: N.A.

Codice Commessa: 19025

REV.	data	verificato	approvato
00	MAGGIO 2022		D. Bonadies

R.U.P. Arch. Paolo Freschi

Direttore dell'esecuzione del contratto: Ing. Umberto Pisapia

IL PRESENTE DOCUMENTO NON PUO' ESSERE RIPRODOTTO O COMUNICATO A TERZI SENZA PREVENTIVA AUTORIZZAZIONE SCRITTA

Indice

1. Premessa 2
2. Dati iniziali 3
3. Traffico commerciale previsto 4
3.1 Portanza del Sottofondo 5
3.1.1 Modulo Resiliente 6
4. Pre-dimensionamento attraverso il Catalogo Italiano delle Pavimentazioni Stradali 7
4.1 Metodo Empirico dell'AASHTO Guide 8
4.1.1 Affidabilità 9
4.1.2 Indice di Servizio 10
4.1.3 Resistenza Strutturale 11
4.2 Traffico reale e coefficienti di equivalenza dei carichi 13
4.3 Verifica 15
5. Allegato 1 (Tabulato di calcolo) 15

Tabella 2 - Pavimentazioni flessibili previsti dal Catalogo Italiano delle sovrastrutture stradali per le strade secondarie extraurbane 8
Tabella 3 - Affidabilità e corrispondente Z_R 10
Tabella 4 - Affidabilità e PSI_{fin} 10
Tabella 5 - Valori indicativi dei coefficienti strutturali a_i 12
Tabella 6 - Valori indicativi dei coefficienti di drenaggio m_4 dei materiali non legati 12
Tabella 7 - Coefficienti di equivalenza tra l'asse standard da 82kN e veicolo commerciale 14

Relazione sul dimensionamento della pavimentazione stradale

OGGETTO: *"DIMENSONAMENTO DELLA PAVIMENTAZIONE FLESSIBILE: METODO EMPIRICO AASHTO GUIDE"*

1. Premessa

Il dimensionamento di una sovrastruttura stradale oltre che dalla portanza del piano di posa del sottofondo e dalla resistenza meccanica dei singoli strati, dipende dalla composizione e dalla entità del traffico, valutato tra l'entrata in esercizio e il termine della vita utile dell'infrastruttura. L'analisi completa del traffico terrà conto oltre che del numero ed entità dei cicli di carico, anche delle fluttuazioni giornaliere e stagionali, della composizione degli assi dei differenti veicoli, delle variazioni di velocità.

Tale operazione rappresenta un impegno non indifferente se condotta su un'arteria esistente e diviene molto complessa ed incerta se occorre proiettarla nel futuro. L'applicazione di modelli verificati attraverso approfondite ed estese indagini può risultare di grande aiuto mantenendo però larghi margini di approssimazione, in particolare per quanto riguarda la composizione del traffico pesante. Infatti al fine del dimensionamento risultano fondamentali le sollecitazioni dovute al passaggio degli autocarri rispetto alle quali possono essere ritenute trascurabili quelle dovute al traffico leggero (autovetture) anche se questo è di gran lunga più elevato come entità numerica. Occorre anche tener presente che i mezzi pesanti esercitano la propria azione in modo diverso a seconda del carico massimo raggiungibile ed in relazione alla distribuzione di tale carico sui differenti assi e ruote. Le sollecitazioni risultano più gravose quando sono ripetute, quando le ruote scorrono sempre sullo stesso punto; nella realtà ciò non si verifica esattamente, ma in genere si riscontrano dispersioni rispetto alla traiettoria media che dipendono oltre che da fattori soggettivi, dalla larghezza dell'area di impronta, dalla larghezza delle corsie, dai volumi di traffico, etc.

Il predimensionamento della pavimentazione è stato eseguito mediante l'utilizzo del "**Catalogo delle Pavimentazioni Stradali**" redatto dal Consiglio Nazionale delle Ricerche. Tale operazione è stata necessaria in quanto i metodi di calcolo adottati in seguito richiedono come dati di

ingresso gli spessori dei vari strati della pavimentazione. Si è proceduto ad una prima verifica della sovrastruttura stradale attraverso l'algoritmo di calcolo della "**AASHTO GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES**" basato sui risultati dell'esperimento **AASHTO** (**American Association of State Highway and Transportation Officials**).

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 tonnellate che la pavimentazione può sopportare prima di raggiungere un grado di ammaloramento, cioè un livello di funzionalità inaccettabile, in relazione alla "**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**".

2. Dati iniziali

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:

- Traffico (TGM): ***350 veicoli/giorno***;
- Incremento annuo del traffico commerciale: ***5%***;
- Veicoli commerciali: ***70%***;
- Vita utile: ***50 anni;***
- Condizioni climatiche: ***Italia Meridionale***.

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.

È 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 per 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. Per il progetto in esame è stata posta pari a **50 anni**;
- Lo stato limite, cioè il livello minimo di funzionalità della sovrastruttura ritenuto accettabile, superato il quale è necessario comunque intervenire. Per il metodo empirico il parametro di riferimento è il ***"PSI"*** (***grado di efficienza della sovrastruttura***).

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. Per il progetto in esame è stata posta pari al **90%**.

3. Traffico commerciale previsto

Il volume di traffico, di veicoli commerciali, che, si prevede, transiterà durante il primo anno di vita utile (50 anni) della sovrastruttura è definito da:

$$n_{vca} = TGM \cdot p_{vc} \cdot p_{sm} \cdot p_{corsia} \cdot 365$$

dove:

- **TGM (Traffico giornaliero medio)**: ***350 veicoli/giorno***;
- **p_{vc} (Percentuale veicoli commerciali)**: *70%*;
- **p_{sm} (Percentuale di traffico nel senso di marcia)**: *5%*;
- **p_{corsia} (Percentuale dei veicoli commerciali transitanti sulla corsia di calcolo)**:*50%*.

Passando ai numeri si ha:

$$n_{vca} = 350 \cdot 0{,}70 \cdot 0{,}05 \cdot 0{,}5 \cdot 365 = 2.235{,}625\ veicoli$$

Si può, quindi, calcolare il numero di veicoli commerciali transitanti, nell'arco della vita utile (50 anni) sulla pavimentazione (o meglio sulla corsia più caricata):

$$T^N = n_{vca} \cdot \frac{(1+R)^N - 1}{R}$$

dove:

- **N (vita utile della pavimentazione): *50 anni*;**
- **R (Tasso di incremento annuo del traffico commerciali): *5%*.**

Passando ai numeri si ha:

$$T^N = 2.235{,}625 \cdot \frac{(1+0{,}05)^{50} - 1}{0{,}05} = 468.023{,}61\ veicoli$$

3.1 Portanza del Sottofondo

La "**portanza**" di un terreno è la sua capacità di sopportare i carichi senza che si verifichino eccessive deformazioni, che risultano essere di tipo *elasto-plastico-viscoso*. Infatti la necessità di avere contenute deformazioni nel sottofondo, al fine di garantire le regolarità del piano viabile e consentire un'accettabile vita utile della sovrastruttura, condiziona decisamente lo spessore complessivo della pavimentazione e quindi il relativo costo di costruzione a carico del committente.

La portanza dipende da una serie di fattori:

- ***Natura, porosità e contenuto d'acqua del terreno*;**
- ***Entità, area di impronta e velocità di applicazione e numero di applicazioni del carico*.**

La capacità portante può essere rappresentata con più parametri, tra i vari si è scelto di utilizzare il modulo resiliente *"M_r"*. Tale parametro dovrebbe essere ricavato dai risultati di opportune prove sperimentali.

In mancanza di tali prove si sono utilizzate delle relazioni tra i vari parametri.

3.1.1 Modulo Resiliente

Il modulo resiliente ***"M_r"*** esprime la capacità portante del terreno di sottofondo. Per tener conto della variabilità nel tempo della capacità portante del sottofondo per effetto delle condizioni climatiche nella suddetta formula analitica proposta dall'AASHTO Guide va introdotto il cosiddetto ***modulo resiliente effettivo***. Esso viene definito come quel valore del modulo, considerato costante durante l'anno solare, per il quale si ha nella pavimentazione una variazione tra ***"PSI"*** uguale a quella che si avrebbe considerando i valori assunti dei moduli resilienti nei vari periodi climatici considerati.

La procedura per la determinazione di tale parametro è comunque complessa per cui in genere la valutazione della capacità portante del terreno di sottofondo è effettuata con l'indice di portanza ***"CBR"*** o il modulo di deformazione ***"M_d"***. Pertanto ai fini dell'utilizzo del metodo AASHTO Guide è necessario ricorrere a delle correlazioni approssimate quali:

$$M_r = 10 \cdot CBR \quad [N/mm^2]$$

$$CBR = 0.2 \cdot M_d \quad [N/mm^2]$$

4. Pre-dimensionamento attraverso il Catalogo Italiano delle Pavimentazioni Stradali

Il catalogo delle pavimentazioni stradali suggerisce al progettista un ventaglio di soluzioni di sovrastrutture stradali di varie tipologie per le condizioni di traffico e ambientali tipiche dell'Italia.

Le tipologie di pavimentazioni che vengono considerate sono: flessibile, semirigida e rigida. Per ciascuna di esse, il catalogo, fornisce soluzioni che, per un determinato tipo di strada, portanza del sottofondo e condizioni di traffico, sono equivalenti tra loro sotto l'aspetto della durata strutturale, ma differenti per i materiali impiegati, per gli spessori degli strati e per i costi.

In definitiva in funzione del numero totale di veicoli commerciali transitanti al cinquantesimo anno (T^N= **468.023,61 veicoli**) ed in funzione del modulo resiliente del sottofondo (**M_r=50MPa**) è stata scelta la pavimentazione flessibile con i seguenti parametri V_k=400.000 ed M_r=50MPa.

Il catalogo fornisce i seguenti spessori (cfr. Tabella 1):

- *Usura: **4 cm***;
- *Binder*: ***5 cm***;
- *Base*: ***10 cm***;
- *Fondazione: **15 cm.***



Tabella 1 - Pavimentazioni flessibili previsti dal Catalogo Italiano delle sovrastrutture stradali per le strade secondarie extraurbane

4.1 Metodo Empirico dell'AASHTO Guide

Il metodo dell'AASHTO Guide 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.

Esso consente di calcolare il *numero sopportabile di passaggi di assi da 82 kN (8.2t), indicato con "N_{82kN}", che la pavimentazione riesce a sopportare prima di decadere ad un livello di funzionalità inaccettabile.*

La relazione è:

$$\log_{10} N_{82kN} = Z_R \cdot S_0 + 9{,}36 \cdot \log_{10}(0{,}3937 \cdot SN + 1) - 0{,}20 + \frac{\left[\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4{,}2 - 1{,}5}\right)\right]}{0{,}4 + \frac{1094}{(0{,}3937 \cdot SN + 1)^{5{,}19}}}$$

$$+ 2{,}32 \cdot \log_{10}(145{,}14 \cdot M_r) - 8{,}07$$

Quest'ultima relazione lega appunto il *"N_{82kN}"* ai parametri *"S_o"* e *"Z_R"*. Quest'ultimi sono, a loro volta, funzione dell'affidabilità *"**R**"*, della resistenza strutturale della pavimentazione *"**SN**"*, del grado di efficienza della sovrastruttura *"**PSI**"* e dal modulo resiliente del terreno di sottofondo *"M_r"*.

4.1.1 Affidabilità

L'affidabilità *"**R**"* esprime la probabilità, in percentuale, che il numero di passaggi di assi equivalenti *"N_{82kN}"* che una sovrastruttura riesce a sopportare sia maggiore o uguale al traffico *"N^*_{82kN}"* che realmente circola sulla sovrastruttura durante la sua vita utile:

$$R = 100 \cdot Prob(N_{82kN} \geq N^*_{82kN})$$

In altre parole, l'affidabilità *"**R**"* rappresenta la cosiddetta probabilità di sopravvivenza della sovrastruttura.

Nella formula proposta dalla metodologia di calcolo tale parametro non compare direttamente, ma attraverso due grandezze, *"Z_R"* ed *"S_o"*, con:

- *"S_o" deviazione standard della variabile aleatoria δ_0, e che per le pavimentazioni flessibili e semirigide ha un valore compreso tra 0,40 e 0,50. Per il progetto in esame, si assume un valore pari a 0,45;*
- *"Z_R" valore della variabile standardizzata di z al quale corrisponde la probabilità R (%) che si abbiano valori ad esso superiori ed i cui valori riferiti alla nostra pavimentazione sono tabellati in funzione di una prefissata affidabilità.*

A ciascun valore di *"**R**"* corrisponde un determinato valore della variabile standardizzata *"Z_R"* come riportato in (cfr. Tabella 2).

Per la strada in esame si utilizzano i seguenti valori:

- *Affidabilità "**R**": **90%**;*
- *Deviazione standard "S_o": **0,45**;*
- *Valore della variabile standardizzata "Z_R": **-1,037**.*

Fattore di Affidabilità Zr				
R_1	80%	85%	90%	95%
Z_r	-0.841	-1.037	-1.282	-1.645

Tabella 2 - Affidabilità e corrispondente Z_R

4.1.2 Indice di Servizio

L'indice di servizio *"PSI"* esprime il grado di ammaloramento della pavimentazione. Assume valori compresi nell'intervallo [0;5] con il valore massimo corrispondente a pavimentazioni in ottime condizioni, ed il valore minimo corrispondente a quelle in pessime condizioni. All'inizio della vita utile la pavimentazione ha un *"PSI_{iniz}"* pari a 4.2, tenendo in conto anche i possibili difetti di esecuzione, mentre al termine della vita utile tale valore dipende dal tipo di strada.

Per le strade di grande importanza si richiede un *"PSI_{fin}"* più alto al fine di continuare a garantire anche al termine della vita della sovrastruttura adeguati standard di sicurezza e confort in rapporto alla elevata velocità di percorrenza dei veicoli.

In (cfr. Tabella 3) sono riportati i valori *"PSI_{fin}"* e dell'affidabilità *"R"*, differenziati secondo il tipo di strada, che sono stati assunti nel Catalogo Italiano delle pavimentazioni stradali redatto a cura del CNR:

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

Tabella 3 - Affidabilità e PSI_{fin}

In definitiva, si ha:

$$\Delta PSI = PSI_{iniz} - PSI_{fin}$$

4.1.3 Resistenza Strutturale

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.

L'espressione analitica dello *structural number* è:

$$SN = \sum_{I=1}^{n} a_i \cdot s_i \cdot m_i$$

dove:

- ***I**: numero degli strati costituenti la sovrastruttura stradale;*
- a_i*: coefficiente che esprime 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.

Con riferimento alle **pavimentazioni flessibili**, la relazione analitica assume la forma seguente:

$$SN = a_1 \cdot s_1 + a_2 \cdot s_2 + a_3 \cdot s_3 + a_4 \cdot s_4 \cdot m_4$$

dove:

- s_1, s_2, s_3: sono gli spessori degli strati di usura, binder e base in conglomerato bituminoso;
- a_1, a_2, a_3: sono i rispettivi coefficienti strutturali che a loro volta sono funzioni delle caratteristiche dei materiali espresse attraverso la stabilità Marshall oppure il modulo resiliente dei conglomerati bituminosi;

- **a_4, m_4**: sono rispettivamente il coefficiente strutturale e quello di drenaggio del materiale non legato dello strato di fondazione, con a_4 che si valuta in funzione dell'indice di portanza *CBR* ed m_4 in funzione della qualità di drenaggio del materiale e della percentuale del tempo durante il quale si è in presenza di condizioni prossime alla saturazione del materiale.

Di seguito sono riportati i valori indicativi dei coefficienti strutturali a_i (cfr. Tabella 4) per le caratteristiche dei materiali che generalmente si riscontrano in Italia, i coefficienti strutturali dello strato di usura e del binder sono stati modificati in funzione allo strato di geogriglia; e successivamente i valori indicativi del coefficiente di drenaggio m_4 (cfr. Tabella 5) per gli strati di materiale non legato delle sovrastrutture stradali.

Strato	Materiale	Stab. Marshall (daN)	Resistenza a compr. (7gg) N/mm²	Indice di portanza CBR%	Coefficienti Strutturali a_i
Usura	congl. bit	980÷1080			0.43÷0.45
Collegamento	congl. bit	880÷980			0.40÷0.43
Base	congl. bit	690÷780			0.28÷0.30
Sottobase	misto cementato		2.5÷4.5		0.15÷0.20
Fondazione	misto granulare			30÷60	0.11÷0.13

Tabella 4 - Valori indicativi dei coefficienti strutturali a_i

	Percentuale di tempo nel quale gli strati non legati sono in condizioni prossime alla saturazione			
Qualità del drenaggio	< 1%	Da 1% a 5%	Da 5% a 25%	> 25%
Eccellente	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.20
Buona	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	1.00
Media	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.80
Scarsa	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.60
Molto scarsa	1.05-0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.40

Tabella 5 - Valori indicativi dei coefficienti di drenaggio m_4 dei materiali non legati

Per la strada in esame si utilizzano i seguenti valori:

- *Coefficiente strutturale usura "a_1"*: ***0,48***;
- *Coefficiente strutturale binder "a_2"*: ***0,48***;

- *Coefficiente strutturale base "a_3"*: ***0,29***;
- *Coefficiente strutturale fondazione "a_4"*: ***0,13***;
- *Spessore usura "s_1"*: ***3 cm***;
- *Spessore binder "s_2"*: ***4 cm***;
- *Spessore base "s_3"*: ***0 cm***;
- *Spessore fondazione "s_4"*: ***30 cm***;
- *Coefficiente di drenaggio "m_4"*: ***0,9***.

In definitiva, sostituendo la parte numerica si ricava il numero di passaggi di assi da 8,2 tonnellate che la corsia di marcia riesce a sopportare prima di raggiungere il prefissato *"PSI_{fin}"*, cioè sia giunta al termine della vita utile.

La valutazione del numero di passaggi di assi equivalenti fornisce:

$$\log_{10} N_{82kN} = 5{,}689 \qquad \rightarrow \qquad N_{82kN} = 239.211$$

Per maggiori dettagli si rimanda all'**Allegato 1**.

4.2 Traffico reale e coefficienti di equivalenza dei carichi

L'applicazione del metodo di calcolo dell'AASHTO Guide, così come quella di altri metodi di calcoli empirici, richiede la conoscenza dei coefficienti di equivalenza fra l'asse standard (82kN) e gli assi effettivi che circolano su strada. A tal proposito lo stesso metodo dell'AASHTO Guide fornisce i relativi coefficienti i quali sono espressi in funzione della resistenza strutturale *"SN"*, del *"PSI_{fin}"* e del tipo di asse reale (singolo, tandem o tridem). In verità, nel dimensionamento sono soprattutto di interesse i coefficienti di equivalenza tra il suddetto asse e il traffico commerciale (veicoli di peso complessivo ≥ 30kN).

Quest'ultimo è a sua volta differente per entità e composizione a seconda del tipo di strada che si considera. Con riferimento ai coefficienti di equivalenza tra gli assi proposti dall'AASHTO Guide

e agli spettri di traffico dei veicoli commerciali previsti nel Catalogo Italiano delle pavimentazioni stradali per ciascun tipo di strada, si sono ricavati i coefficienti di equivalenza tra l'asse standard da 82 kN e il veicolo commerciale così come riportato in (cfr. Tabella 6).

Aut. extr.	Aut. urb.	Str. extr. princ. e second. a forte traffico	Str. extr. sec. ord.	Str. extr. sec. tur.	Str. urb. scorr.	Str. urb. di quartiere e locali	Corsie preferenz.
2.2÷2.4	1.2÷1.3	1.8÷1.9	1.7÷1.8	1.3÷1.4	1.3÷1.4	0.20	1.8÷1.9

Tabella 6 - Coefficienti di equivalenza tra l'asse standard da 82kN e veicolo commerciale

Per le considerazioni svolte, una stima presunta del numero totale di passaggi di assi equivalenti da 82kN (N^*_{82kN}) che interessano la sovrastruttura durante la sua vita utile è data da:

$$N^*_{82kN} = \left[\sum_{J=1}^{n}(1+G)^{J-1}\right] \cdot \left(\frac{P}{100}\right) \cdot TGM \cdot D \cdot E \cdot C \cdot 365$$

dove:

- ***n**: vita utile della sovrastruttura espressa in anni;*
- **G**: *prevedibile tasso di incremento medio annuo del traffico*;
- **P**: *percentuale dei veicoli pesanti*;
- **TGM**: *traffico medio giornaliero complessivo nelle due direzioni*;
- **D**: *fattore di distribuzione direzionale del traffico*;
- **E**: *fattore di distribuzione per corsia del traffico commerciale*;
- **C**: *coefficiente di equivalenza tra asse standard da 82 kN e veicolo commerciale.*

Per la strada in esame si utilizzano i seguenti valori:

- **n=50 anni**;
- **G=1%**;
- **P=70%**;
- **TGM=350 veicoli/giorno** (traffico distribuito al 50% su ogni corsia);
- **D=0,5**;
- **E=1**;

- C=0.2.

Sostituendo la parte numerica si ricava il numero totale di passaggi di assi equivalenti da 82kN (N^*_{82kN}) che interessano la sovrastruttura durante la sua vita utile:

$$N^*_{82kN} = 230.585$$

Per maggiori dettagli si rimanda all'**Allegato 1**.

4.3 Verifica

Il metodo empirico si conclude verificando che il numero sopportabile di passaggi di assi da 82 kN (8.2t), indicato con "N_{82kN}", che la pavimentazione riesce a sopportare prima di decadere ad un livello di funzionalità inaccettabile deve essere non inferiore al numero totale di passaggi di assi equivalenti da 82kN (N^*_{82kN}) che interessano la sovrastruttura durante la sua vita utile:

$$N_{82kN} \geq N^*_{82kN}$$

Ovviamente, nel caso in cui la verifica non è soddisfatta, si considera una sovrastruttura con strati di maggiore spessore e si ripete il procedimento. Viceversa, se "N_{82kN}", è molto più grande di "N^*_{82kN}" si riducono gli spessori.

Passando ai numeri si ha che:

$$239.211 > 230.585$$

per cui la verifica risulta soddisfatta e quindi la sezione adottata per il corpo stradale è dunque idonea.

5. Allegato 1 (Tabulato di calcolo)

Si riporta di seguito un riepilogo dei risultati.

PROGETTO SPESSORI SOVRASTRUTTURA STRADALE

STRADA: *CATEGORIA F*

R=	90	*[%]*	*affidabilità*	→	**Z_R=**	-1,282	*[-]*
					S_0=	0,450	*[-]*

variabile standardizzata

deviazione standard

1) Determinazione "Indice di servizio" (ΔPSI)

PSI_{INIZ}=	4,200
PSI_{FIN}=	2,000
ΔPSI=	2,200

2) Determinazione "Modulo Resiliente" (M_r)

STRADA DI MEDIA PORTANZA: **CBR=** 5 *[%]* *indice di portanza* → **M_r=** 50 *[N/mm^2]*

3) Determinazione "Resistenza strutturale della pavimentazione" (SN)

Pavimentazione FLESSIBILE:

	a_i	s_i(cm)	m_i
USURA	0,48	3	--
BINDER	0,48	4	--
BASE	0,29	0	--
FONDAZIONE	0,13	30	0,9

SN= 6,87

4) Determinazione "Numero di passaggi di assi sopportabili" (N_{82kN})

$\log_{10}N_{82kN}$= 5,379 → **N_{82kN}=** 239211

5) Determinazione "Traffico reale" (N^*_{82kN})

n=	50	*[-]*	*vita utile della sovrastruttura*
G=	1,00	*[%]*	*tasso di incremento medio annuo del traffico*
P=	70,00	*[%]*	*traffico pesante*
TGM=	350	*[veicoli/giorno]*	*traffico medio giornaliero* → **TGM=** 175 *[veicoli/giorno]* *traffico distribuito al 50% su ogni corsia*
D=	0,5	*[-]*	*distribuzione direzionale del traffico*
E=	0,8	*[-]*	*distribuzione per corsia del traffico commerciale*
C=	0,2	*[-]*	*coeff. di equivalenza tra asse standard e veicolo commerciale*

N^*_{82kN}= 230585

In definitiva:

N_{82kN} > **N^*_{82kN}** → **IPOTESI CORRETTA**

j	$(1+G)^{j-1}$
1	1,000
2	1,010
3	1,020
4	1,030
5	1,041
6	1,051
7	1,062
8	1,072
9	1,083
10	1,094
11	1,105
12	1,116
13	1,127
14	1,138
15	1,149
16	1,161
17	1,173
18	1,184
19	1,196
20	1,208
21	1,220
22	1,232
23	1,245
24	1,257
25	1,270
26	1,282
27	1,295
28	1,308
29	1,321
30	1,335
31	1,348
32	1,361
33	1,375
34	1,389
35	1,403
36	1,417
37	1,431
38	1,445
39	1,460
40	1,474
41	1,489
42	1,504
43	1,519
44	1,534
45	1,549
46	1,565
47	1,580
48	1,596
49	1,612
50	1,628
∑=	64,463