



REGIONE SICILIANA



LIBERO CONSORZIO COMUNALE DI RAGUSA

già Provincia regionale di Ragusa

**POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. 115,
IL NUOVO AUTOPORTO DI VITTORIA, L'AEROPORTO DI COMISO E LA
S.S. 514 RAGUSA – CATANIA**

PRIMA FASE

**LOTTO 3 - OPERE STRADALI DALLA ROTATORIA SULLA S.P. N.4 "COMISO – GRAMMICHELE",
PROGR. KM 6+186.5, ALL'INCROCIO CON LA S.P. N.5 "VITTORIA – CANNAMELLITO – PANTALEO",
PROGR. KM 8+080.5, E ROTATORIA DI ACCESSO ALL'AEROPORTO DI COMISO**

**LOTTO 6 - OPERE IDRAULICHE DI ADEGUAMENTO DELLA CANALIZZAZIONE SUL CONFINE
DELL'AEROPORTO DI COMISO LUNGO LA S.P. N.5 "VITTORIA - CANNAMELLITO - PANTALEO"**

GRUPPO DI PROGETTAZIONE (RTP):

TECHNITAL S.p.A. (Mandataria)

I.R. Ingegneri Riuniti - Studio Tecnico Associato

TECNASS - Studio Tecnico Associato

S.A.P. Società Archeologia S.r.l.

IL PROGETTISTA

Dott. Ing. Andrea Renso

**IL RESPONSABILE DELLA INTEGRAZIONE
TRA LE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE**

Dott. Ing. Massimo Raccosta

UFFICIO DEL R.U.P.

Assistenti

Il responsabile del procedimento

Visti:

PROGETTO ESECUTIVO - LOTTO 3

**PROGETTO STRADALE ASSE PRINCIPALE
GENERALI
RELAZIONE DI CALCOLO DELLA PAVIMENTAZIONE**

CODICE: SI093I-CE-PE- PS01-TRA-RE-002-01



SCALA: -

DATA: FEBBRAIO 2016

NOME FILE:



SI093I-CE-PE-PS01-TRA-RE-002-01.doc

Rev.	Data	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato
01	FEBBRAIO 2016	EMISSIONE	V. REALE	A. RENSO	V.REALE

 Regione Siciliana  Libero Consorzio Comunale di Ragusa già Provincia Regionale di Ragusa	<p>POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA</p> <p>PRIMA FASE PROGETTO ESECUTIVO – LOTTO 3</p> <p>Relazione di calcolo della pavimentazione</p>
---	---

INDICE

1. PREMESSA	3
2. CALCOLO PAVIMENTAZIONE ASSE PRINCIPALE E VIABILITÀ INTERFERITE	4
2.1 Normativa di riferimento	5
2.2 Verifica della pavimentazione dell'asse principale	5
Descrizione sovrastruttura	5
Analisi del traffico	6
Metodo di calcolo	10
Calcolo vita utile sovrastruttura a base di gara	11
Conclusioni	13
2.3 Verifica della pavimentazione delle viabilità interferite	13
Descrizione sovrastruttura	13
Analisi del traffico	14
Metodo di calcolo	18
Calcolo vita utile sovrastruttura a base di gara	19
Conclusioni	21

 Regione Siciliana  Libero Consorzio Comunale di Ragusa già Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA PRIMA FASE PROGETTO ESECUTIVO – LOTTO 3 Relazione di calcolo della pavimentazione
---	--

1. Premessa

Il potenziamento dei collegamenti stradali fra la S.S. 115 tratto Comiso – Vittoria, il nuovo aeroporto di Comiso e la S.S. n. 514 Ragusa – Catania, è stato progettato e presentato per stralci funzionali secondo il documento preliminare della progettazione. Dopo la consegna, a causa di esigenze dell'Amministrazione di contenere il costo, è stato necessario rivedere i lotti prioritari inserendo solo le parti di opera essenziali al fine di migliorare l'attuale sistema viario e risolvere il problema dei periodici allagamenti in prossimità dell'aeroporto causati dal torrente Cava del Bosco.

Lo stralcio parte dalla progressiva 6+186,500 con una rotatoria che collega la S.P. n. 4 con il tracciato di progetto. A partire dalla progr. 6+825 circa fino a progr. 7+182, il tracciato presenta uno sviluppo di 357 m lungo il quale si prevede il graduale passaggio della sezione di tipo C1 a tipo B. Dalla progr. 7+182 il tracciato si sviluppa per con sezione tipo B per poi raccordarsi con un breve tratto a sezione variabile alla sezione tipo C1 alla progr. 8+080,50 (fine stralcio) dove è posizionata la rotatoria facente parte del lotto il cui progetto esecutivo è stato già approvato.

La tratta in esame si svolge prevalentemente in nuova sede a nord del nuovo Aeroporto di Comiso. Il collegamento con la strada in progetto e l'Aeroporto è garantito dalle due rotatorie, una posta sull'asse principale e l'altra in prossimità all'Aeroporto.



Tutti gli accessi privati sono stati convogliati su strade complanari all'asse principale che convergono nei nodi di svincolo.

Per risolvere l'interferenza con la S.P. n. 5 sono state redatte diverse ipotesi progettuali che sono state oggetto di riesame da parte della Committenza, sentiti anche alcuni Enti interferenti. L'obiettivo è stato quello di migliorare la funzionalità del canale, limitare l'occupazione di suolo e infine mantenere la funzionalità della strada esistente.

Il progetto esecutivo conformemente al progetto definitivo è stato redatto in ottemperanza del D.M. 5/11/2001 n. 6792 e al successivo D.M. 22/04/2004 n. 67/s (adeguamento di strade esistenti), oltre che alle normative riportate nel paragrafo successivo.

Le principali caratteristiche del collegamento sono riportate di seguito:

Sezioni tipologiche	tipo C1 e tipo B
Intervallo velocità di progetto	60 - 100 Km/h
Pendenza longitudinale max asse principale	2.2 %
Raggio di curvatura orizzontale min. asse princ.	1.000 m
Raggio di curvatura vert. concavo min. asse princ.	15.000 m

 Regione Siciliana  Libero Consorzio Comunale di Ragusa già Provincia Regionale di Ragusa	<p>POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA</p> <p>PRIMA FASE PROGETTO ESECUTIVO – LOTTO 3 Relazione di calcolo della pavimentazione</p>
---	--

Raggio di curvatura verticale convesso min. asse princ. 11.000 m

Lunghezza complessiva del tracciato asse princ. 1894 m

Rotatorie di nuova costruzione 2



L'opera più importante è la sistemazione del canale adiacente l'aeroporto che dovrà essere adeguato per contenere la portata di massima piena del torrente.

2. Calcolo pavimentazione asse principale e viabilità interferite

La presente relazione riporta le verifiche condotte al fine di garantire l'adozione di una sovrastruttura stradale caratterizzata da un'elevata resistenza alle sollecitazioni indotte dal traffico e quindi alla fatica, ed un'elevata vita utile, intesa come il periodo di tempo oltre il quale il degrado subito dalla stessa ne presuppone il rifacimento.

Il fenomeno della fatica è una delle principali cause di deterioramento della sovrastruttura stradale. Si manifesta in un primo momento nella degradazione degli strati legati del pacchetto e, conseguentemente, nel danneggiamento dell'intera struttura della pavimentazione soggetta a carichi ripetitivi corrispondenti al continuo passaggio dei veicoli. Tali carichi, se sufficientemente elevati, determinano la perdita di rigidità dei materiali costituenti il pacchetto e possono, attraverso l'accumulo delle sollecitazioni nel lungo periodo, portare alla fessurazione ed alla rottura.



 Regione Siciliana  Libero Consorzio Comunale di Ragusa già Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA PRIMA FASE PROGETTO ESECUTIVO – LOTTO 3 Relazione di calcolo della pavimentazione
---	--

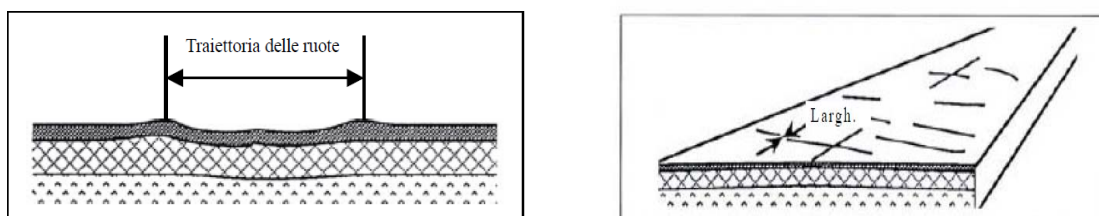


Figura 1 – principali difetti dovuti a mancanza di portanza: ormaie e fessurazioni

2.1 Normativa di riferimento

Nel redigere il presente elaborato si é tenuto conto delle normative e raccomandazioni tecniche riportate di seguito.



- D.M. 11 Marzo 1988 “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l’esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione” (G.U. 1.6.1988 n. 127 supplemento);
- CNR B.U. 178/95 “Catalogo delle Pavimentazioni stradali”;
- D. Lgs. 30 Aprile 1992, n.285 “Nuovo Codice della Strada”;
- DM 5/11/2001 “Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade”.

2.2 Verifica della pavimentazione dell’asse principale

Descrizione sovrastruttura

La pavimentazione prevista per l’asse principale ha uno spessore di 67 cm, costituita come descritto di seguito:

Usura in conglomerato bituminoso antiskid	cm 4
Binder in conglomerato bituminoso	cm 5
Base in conglomerato bituminoso	cm 8
Fondazione in misto cementato	cm 20
Sottofondo in misto granulare	cm 30

 <p>Regione Siciliana</p>  <p>Libero Consorzio Comunale di Ragusa già Provincia Regionale di Ragusa</p>	<p>POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA</p> <p>PRIMA FASE PROGETTO ESECUTIVO – LOTTO 3</p> <p>Relazione di calcolo della pavimentazione</p>
--	---

La scelta del conglomerato bituminoso antiskid è legata alla necessità di garantire elevati prestazioni in termini di aderenza anche in condizioni di bagnato; infatti il conglomerato bituminoso antiskid, grazie all'alto contenuto di graniglia, presenta una macro rugosità superficiale che gli conferisce un elevato attrito radente, oltre a garantire un migliore smaltimento dell'acqua superficiale e quindi una migliore aderenza in condizioni di bagnato.

Il conglomerato bituminoso di tipo antiskid si compone di uno scheletro litico di pezzatura grossolana autoportante e riempito nei suoi numerosi vuoti da un mastice di elevata consistenza, costituito da bitume, filler e agenti stabilizzanti. L'aspetto caratterizzante di questo prodotto è l'elevato spessore della pellicola del mastice che avvolge gli aggregati grossi e la macrorugosità superficiale conferendo al prodotto proprietà di:

- elevato attrito radente
- stabilità e resistenza alla deformazione;
- rugosità superficiale;
- durabilità;
- azione anti spray;
- riduzione del rumore,
- riduce l'azione nebulizzante dell'acqua.



Analisi del traffico

Dati disponibili

Il dimensionamento di una qualsiasi struttura richiede la previsione dei carichi che questa dovrà sopportare durante la sua vita utile. Nel caso stradale, questa previsione richiede la determinazione di un parametro in evoluzione qual è il traffico veicolare, ed in particolare modo il traffico veicolare pesante. I dati di traffico utilizzati sono quelli tratti dalla Relazione sul progetto stradale relativa al progetto esecutivo del primo stralcio in cui vengono considerati per l'asse principale i valori riportati nella tabella seguente.

Tabella 1 - dati di traffico dedotti dalla Relazione stradale del progetto esecutivo primo stralcio

ANNO	ARCO	TGM	TGMI (veicoli leggeri)	TGMvp (veicoli pesanti)	Traffico ora di punta	Traffico ora di punta (veicoli leggeri)	Traffico ora di punta (veicoli pesanti)
2010	1831	5647	3003	2644	452	240	211

 <p>Regione Siciliana</p>  <p>Libero Consorzio Comunale di Ragusa già Provincia Regionale di Ragusa</p>	<p>POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA</p> <p>PRIMA FASE PROGETTO ESECUTIVO – LOTTO 3 Relazione di calcolo della pavimentazione</p>
---	--

2015		5834	3761	2072	467	301	166
2040		8852	5262	3590	708	421	287

Per la determinazione del numero di passaggi di assi standard da 8.2 t che interesserà la pavimentazione durante la sua vita utile si utilizza la seguente espressione:

$$N_{des} = 365 \cdot TGM_{tot} \cdot EF \cdot p_d \cdot p_l \cdot d \cdot \frac{(1+r)^n - 1}{r}$$

essendo:

N_{des} numero di assi equivalenti da 8,2 t (ESALS) che si prevede transitino durante la vita utile della pavimentazione;

TGM_{tot} traffico giornaliero medio che transita nell'arco della vita utile;

EF Equivalent Factor – coefficiente di equivalenza totale (definito nel punto seguente);

p_d coefficiente che tiene in conto della distribuzione del traffico per senso di marcia; analizzando la tipologia di traffico nelle diverse proiezioni temporali riportate nella tabella 1 si ricava un rapporto medio di distribuzione del traffico pesante avente il seguente valore 58/42. Si utilizza dunque un valore di “ $p_d=0,58$ ”;

p_l coefficiente che tiene in conto della distribuzione dei veicoli pesanti tra le corsie per direzione di marcia, assunto pari a 1 in quanto la piattaforma presenta una corsia per senso di marcia;

d coefficiente che tiene in conto della dispersione delle traiettorie per tenere in considerazione che la traiettoria seguita dalle ruote non è sempre la stessa, ma si disperde nell'intorno di un valore medio assunto pari a 0,8;

r tasso di crescita annuo del traffico; per il calcolo ci si riferisce alla formula del tasso di crescita composto come di seguito riportata e contestualizzata:



$$TGM_{2040} = TGM_{2010} \cdot (1+r)^t$$

Dove:

TGM_{2040} Traffico giornaliero medio all'anno 2040;

TGM_{2010} Traffico giornaliero medio all'anno 2010;

r tasso di crescita annuo del traffico;

 Regione Siciliana  Libero Consorzio Comunale di Ragusa già Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA PRIMA FASE PROGETTO ESECUTIVO – LOTTO 3 Relazione di calcolo della pavimentazione
---	--

t Intervallo di tempo considerato (2040-2010=30 anni)

Dalla quale si ricava il tasso di crescita r dalla seguente formula:

$$r = \left(\frac{TGM_{2040}}{TGM_{2010}} \right)^{\frac{1}{t}} - 1$$

Sostituendo i valori nella precedente formula si ricava il tasso di crescita annuo pari a $r=0,0151$.

n anni di vita utile della pavimentazione assunti pari a 20.

Calcolo EF

L'eterogeneità del traffico veicolare pesante richiede di rapportare gli effetti prodotti dai differenti carichi ad una sola tipologia. Attraverso il calcolo del numero di assi standard equivalenti (E.S.A.: Equivalent Standard Axle) è possibile omogeneizzare, rispetto ad un asse di riferimento pari a 8,2 t, i carichi che agiscono su una determinata pavimentazione stradale, in modo da potere poi confrontare il numero di tali assi standard (NESA) con quelli che la pavimentazione è in grado di sopportare nell'arco dell'intera vita utile (NMAX).



Per calcolare la struttura in funzione di un unico carico di riferimento è necessario la determinazione del coefficiente di equivalenza totale rispetto ad un certo carico (EFTOT), attraverso la determinazione di:

- percentuali delle singole tipologie di veicoli p_j ;
- coefficiente di equivalenza del singolo veicolo (EF_j), per i soli veicoli commerciali (tara >15 kN), determinato come somma dei coefficienti di equivalenza dei singoli assi dello stesso (o coppia di assi nel caso di assi tandem ovvero terna di assi nel caso di tre assi affiancati);
- coefficiente di equivalenza totale (EF) riferito alle m tipologie di veicoli commerciali transitanti sulla sovrastruttura dato dalla sommatoria:

$$EF_{TOT} = \sum_{j=1,m} p_j \cdot EF_j$$

da cui è possibile calcolare $N_{ESA} = EF_{TOT} \cdot TGM$

Le percentuali delle singole tipologie di veicoli sono state calcolate sulla base delle tabelle del “Catalogo delle pavimentazioni - CNR B.U. 178/95”, riportate di seguito, che indicano rispettivamente

 <p>Regione Siciliana</p>  <p>Libero Consorzio Comunale di Ragusa già Provincia Regionale di Ragusa</p>	<p>POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA</p> <p>PRIMA FASE PROGETTO ESECUTIVO – LOTTO 3</p> <p>Relazione di calcolo della pavimentazione</p>
---	---



- le tipologie dei veicoli previsti, il numero di asse e la distribuzione di carichi per asse (tabella 2);
- gli spettri tipici dei veicoli commerciali la frequenza espressa in percentuale (tabella 3).

Tabella 2

TIPI DI VEICOLI organizzati ai fini della progettazione stradale di pavimentazioni									
CNR - B.U. 178/95 "Catalogo delle pavimentazioni stradali"									
Tipo di veicoli	N. assi	Distribuzione dei carichi per asse (KN)							
1) autocarri leggeri	2	↓ 10			↓ 20				
2) " " " "	"	↓ 15			↓ 30				
3) autocarri medi e pesanti	"	↓ 40			↓ 80				
4) " " " " " "	"	↓ 50			↓ 110				
5) autocarri pesanti	3	↓ 40			↓ 80	↓ 80			
6) " " " "	"	↓ 60			↓ 100	↓ 100			
7) autotreni e autoarticolati	4	↓ 40			↓ 90		↓ 80		↓ 80
8) " " " "	"	↓ 60			↓ 100		↓ 100		↓ 100
9) " " " "	5	↓ 40	↓ 80	↓ 80				↓ 80	↓ 80
10) " " " "	"	↓ 60	↓ 90	↓ 90				↓ 100	↓ 100
11) " " " "	"	↓ 40	↓ 100				↓ 80	↓ 80	↓ 80
12) " " " "	"	↓ 60	↓ 110				↓ 90	↓ 90	↓ 90
13) mezzi d'opera	"	↓ 50	↓ 120				↓ 130	↓ 130	↓ 130
14) autobus	2	↓ 40			↓ 80				
15) " " " "	2	↓ 60			↓ 100				
16) " " " "	2	↓ 50			↓ 80				

Tabella 3

SPETTRI DI TRAFFICO																
CNR - B.U. 178/95 "Catalogo delle pavimentazioni stradali"																
Tipo di strada	Tipo di veicolo															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1. autostrade extraurbane	12	---	24,4	14,6	2,4	12,2	2,4	4,9	2,4	4,9	2,4	4,9	0,10	---	---	12,2
2. autostrade urbane	18,2	18,2	18,5	---	---	---	---	---	---	---	---	---	1,6	18,2	27,3	---
3. strade extraurbane principali e secondarie a forte traffico	---	13,1	39,5	10,5	7,9	2,6	2,6	2,5	2,6	2,5	2,6	2,6	6,5	---	---	10,5
4. strade extraurbane secondarie ordinarie	---	---	58,8	29,4	---	5,9	---	2,8	---	---	---	---	6,2	---	---	2,9
5. strade secondarie turistiche	24,5	---	40,8	16,3	---	4,15	---	2	---	---	---	---	0,05	---	---	12,2
6. strade urbane di scorrimento	18,2	18,2	18,5	---	---	---	---	---	---	---	---	---	1,6	18,2	27,3	---
7. strade di quartiere e locali	80	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	20	---	---
8. corsie preferenziali	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	47	53	---

 Regione Siciliana  Libero Consorzio Comunale di Ragusa già Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA PRIMA FASE PROGETTO ESECUTIVO – LOTTO 3 Relazione di calcolo della pavimentazione
---	--

Sapendo che l' Equivalent Factor totale è pari a:

$$EF_{TOT} = \sum_{j=1,m} p_j \cdot EF_j$$

Pertanto sulla base dei dati sopra riportati si ottiene il seguente numero di assi equivalenti da 8,2t (ESALS) che si prevede transitino durante la vita utile della pavimentazione:

$$N_{des} \sim 22.160.000$$

Metodo di calcolo

Il dimensionamento della pavimentazione stradale in conglomerato bituminoso è stato eseguito con il metodo empirico dell'*AASHTO Guide for Design of Pavement Structure - 1993*. Tale metodo permette di ricavare il numero totale di passaggi di assi equivalenti da 8,2 t (ESALS) che la pavimentazione riesce a sopportare prima di raggiungere il valore di PSI finale (PSI = Present Serviceability Index) in corrispondenza del quale si ritiene che la pavimentazione sia giunta al termine della sua vita utile e, quindi, necessiti di manutenzione.

Note le caratteristiche dei materiali (degli strati legati a bitume, di quelli in misto granulare o stabilizzato, della portanza del sottofondo), ed avendo assegnato spessori di primo tentativo ai vari strati, è possibile avviare un procedimento iterativo che permette di convergere verso la soluzione finale.



La convergenza del metodo prevede che il numero massimo di assi che la pavimentazione può sopportare sia superiore, o al limite uguale, al traffico previsto sulla sovrastruttura in esame durante l'intera vita utile, espresso sempre in numero di assi di veicoli commerciali equivalenti e derivante da analisi di traffico.

Le variabili su cui agire per portare a convergenza il metodo sono, quindi, proprio gli spessori dei vari strati e le caratteristiche dei materiali. La formula utilizzata è la seguente:

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

essendo:

W_{18} numero massimo di assi equivalenti da 8,2 t (ESALS) che portano la pavimentazione al valore PSI finale;

 Regione Siciliana  Libero Consorzio Comunale di Ragusa già Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA PRIMA FASE PROGETTO ESECUTIVO – LOTTO 3 Relazione di calcolo della pavimentazione
---	--

ΔPSI differenza tra l'indice di funzionalità (PSI) della pavimentazione all'inizio (assunto di solito pari a 4.2 per pavimentazioni flessibili) e al termine della vita utile; il valore di PSI finale (assunto pari a 2.5) è dedotto dalla tabella 9 del Catalogo delle Pavimentazioni CNR in funzione dell'importanza dell'infrastruttura stradale;

SO deviazione standard relativa alle variazioni dalle previsioni di traffico e dalle prestazioni della pavimentazione, valore assunto mediamente pari a 0,45;

Z_r fattore di affidabilità, dedotto dall'interpolazione dei valori di tabella del Catalogo della Pavimentazioni CNR (di seguito riportata), in funzione dell'affidabilità percentuale R_1 :

Fattore di Affidabilità Z_r				
R_1	80%	85%	90%	95%
Z_r	-0,841	-1,037	-1,282	-1,645

EQ coefficiente di equivalenza, tra l'asse standard (da 8,2 t) e gli assi effettivamente transitanti sulla strada, che permette di ricavare il numero di assi standard che produce nella pavimentazione il medesimo danno a fatica del numero di assi effettivamente transitanti;

M_r Il parametro scelto per caratterizzare la portanza del sottofondo è il modulo resiliente M_r (modulo elastico che consente di tener conto anche della componente viscosa reversibile della deformazione che viene ricavato mediante prove dinamiche a bassa frequenza 0.5÷1 Hz). In tale formula il Modulo Resiliente è misurato in psi;



SN indice strutturale, che tiene conto degli spessori degli strati (s_i), delle caratteristiche dei materiali dei vari strati (a_i), del drenaggio assicurato dagli strati non legati a bitume (m_i):

$$SN = \sum_i a_i \cdot s_i \cdot m_i$$

Occorre infine considerare la correzione relativa alla temperatura, per tener conto del diverso comportamento dei materiali che si trovano in zone differenti da quelle in cui è stato validato il modello AASHTO. Nei calcoli il fattore di correzione viene indicato con "R".

Calcolo vita utile sovrastruttura a base di gara

La pavimentazione prevista ha uno spessore di 67 cm.

 Regione Siciliana  Libero Consorzio Comunale di Ragusa già Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA PRIMA FASE PROGETTO ESECUTIVO – LOTTO 3 Relazione di calcolo della pavimentazione
---	--

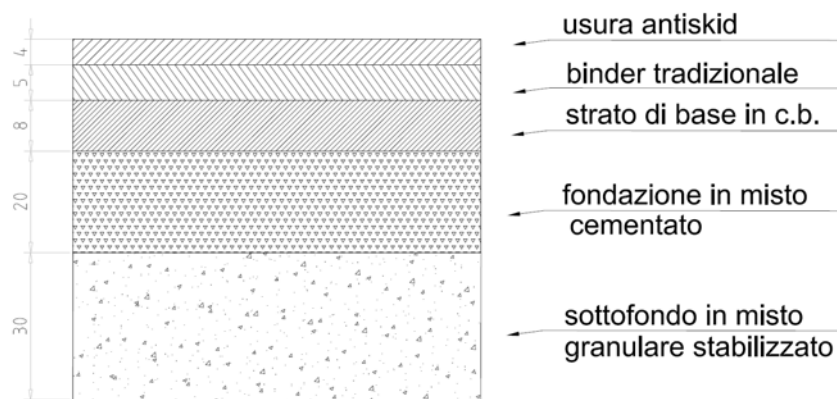




Figura 2 - Sovrastruttura stradale asse principale

Si fa riferimento ad una strada con una portanza del sottofondo pari a 50 N/mm^2 (modulo resiliente M_r) assunto, a favore di sicurezza, ed in analogia a quanto assunto nel progetto esecutivo 1 stralcio. Si considerano poi le condizioni climatiche dell'Italia Meridionale, il livello di affidabilità pari al 85%, l'indice di funzionalità finale $PSI = 2.5$ ed il numero complessivo di passaggi di autoveicoli commerciali sulla corsia più caricata di tipo "pesante", nell'arco della vita utile, pari a circa 22.160.000 ESALS.

Si riporta di seguito la tabella di calcolo del parametro SN; il valore ottenuto deve essere espresso in pollici, per cui lo si divide per il fattore di conversione 2,54.

asse principale	SUCCESSIONE STRATIGRAFICA DEL PACCHETTO STRADALE					
	Strato	Descrizione	ai	mi	si [cm]	ai*si*mi
	1	Usura cb antiskid	0,41		4	1,6
	2	Binder cb	0,38	1	5	1,9
	3	Base cb	0,30	1	8	2,4
	4	Fondaz. misto cementato	0,23	1	20	4,6
	4	Sottof misto granulare	0,13	1	30	3,9
SN = $\Sigma (ai*si*mi)/2.54$						5,69

 Regione Siciliana  Libero Consorzio Comunale di Ragusa già Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA PRIMA FASE PROGETTO ESECUTIVO – LOTTO 3 Relazione di calcolo della pavimentazione
---	--

Gli altri parametri utilizzati nel calcolo risultano essere i seguenti:

DATI TRAFFICO	
W _{81,6 kN}	2,22E+07
Affidab.	100%
Zr	-1,037
S ₀	0,45

INDICI DI FUNZIONALITÀ		
PSI _i	PSI _f	A
4,2	2,5	1,7

Il numero di assi standard che portano al PSI finale (pari a 2.5) la pavimentazione è pari a:

$$W_{18 \max} \quad 3,91E+07 \quad NESAs \text{ da } 8,2 t > N_{des} \quad = 22.154.401,35$$

Conclusioni



Dal confronto fra il passaggio di assi equivalenti che può sopportare la pavimentazione nell'arco della sua vita utile appare evidente come il pacchetto proposto garantisca livello di resistenza nei confronti sia dei carichi distribuiti e concentrati, dinamici e statici, sia nei confronti dell'aggressività ambientale e, quindi, assicuri la vita utile richiesta.

2.3 Verifica della pavimentazione delle viabilità interferite

Descrizione sovrastruttura

La pavimentazione prevista per le viabilità interferite ha uno spessore di 52 cm, costituita come descritto di seguito:

Usura in conglomerato bituminoso	cm 4
Binder in conglomerato bituminoso	cm 5
Base in conglomerato bituminoso	cm 8
Sottofondo in misto granulare non legato	cm 35

 <p>Regione Siciliana</p>  <p>Libero Consorzio Comunale di Ragusa già Provincia Regionale di Ragusa</p>	<p>POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA</p> <p>PRIMA FASE PROGETTO ESECUTIVO – LOTTO 3 Relazione di calcolo della pavimentazione</p>
---	--

Analisi del traffico

Dati disponibili



Il dimensionamento di una qualsiasi struttura richiede la previsione dei carichi che questa dovrà sopportare durante la sua vita utile. Nel caso stradale, questa previsione richiede la determinazione di un parametro in evoluzione qual è il traffico veicolare ed in particolare modo, il traffico veicolare pesante. I dati di traffico utilizzati sono quelli tratti da documenti a disposizione relativi agli studi trasportistici del progetto preliminare e definitivo, non avendo dati disponibili nel progetto esecutivo.

In particolare dai dati di traffico analizzati sulle strade interferite, in entrambe le soluzioni alternative per le quali è disponibile una qualche analisi, si è potuta ricavare la seguente tabella (tabella 4), assumendo che i traffici illustrati nelle tavole dello studio disponibile siano riferiti alla giornata (TGM), ancorché non indicato.

Tabella 4 – dati di traffico assunti (in rosso i valori non espressamente indicati, ma desumibili per via grafica dai documenti disponibili)

Alternativa	anno	strada interferita	mezzi pesanti	Veicoli leggeri
Stato di fatto	2008	SP 91	1183	1406
Alternativa 2	2010	SP 91	1699	2043
	2015	SP 91	246	0
	2015	VAR SS115	1848	1856
	2040	SP 91	451	1000
Alternativa 3	2010	SP 91	0	1463
	2015	SP 91	0	1258
	2015	VAR SS115	1605	2977
	2040	SP 91	328	0
	2040	VAR SS115	627	2016

A favore di sicurezza si assumono, per la verifica della pavimentazione, i valori più alti fra le due alternative relative alla SP91.

 Regione Siciliana  Libero Consorzio Comunale di Ragusa già Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA PRIMA FASE PROGETTO ESECUTIVO – LOTTO 3 Relazione di calcolo della pavimentazione
---	--

Per la determinazione del numero di passaggi di assi standard da 8.2 t che interesserà la pavimentazione durante la sua vita utile si utilizza la seguente espressione:

$$N_{des} = 365 \cdot TGM_{tot} \cdot EF \cdot p_d \cdot p_l \cdot d \cdot \frac{(1+r)^n - 1}{r}$$

essendo:

N_{des} numero di assi equivalenti da 8,2 t (ESALS) che si prevede transitino durante la vita utile della pavimentazione;

TGM_{tot} traffico giornaliero medio che transita nell'arco della vita utile;

EF Equivalent Factor – coefficiente di equivalenza totale (calcolato al punto seguente)

p_d coefficiente che tiene in conto della distribuzione del traffico per senso di marcia; analizzando la tipologia di traffico nelle diverse proiezioni temporali riportate nella tabella precedente si ricava un rapporto medio di distribuzione del traffico pesante almeno per i primi anni avente il seguente valore 45/55. Si utilizza dunque a favore di sicurezza un valore di “ $p_d=0,45$ ”.

p_l coefficiente che tiene in conto della distribuzione dei veicoli pesanti tra le corsie per direzione di marcia assunto pari a 1;

d coefficiente che tiene in conto della dispersione delle traiettorie per tenere in considerazione che la traiettoria seguita dalle ruote non è sempre la stessa ma si disperde nell'intorno di un valore medio assunto pari a 0,8;

r tasso di crescita annuo del traffico; per il calcolo ci si riferisce alla formula del tasso di crescita composto, come di seguito riportata e contestualizzata:

$$TGM_{2040} = TGM_{2008} \cdot (1 + r)^t$$

Dove:



TGM_{2040} Traffico giornaliero medio all'anno 2040;

TGM_{2008} Traffico giornaliero medio all'anno 2008;

r tasso di crescita annuo del traffico;

t Intervallo di tempo considerato (2040-2010=30 anni)

Dalla quale si ricava il tasso di crescita r dalla seguente formula:

 Regione Siciliana  Libero Consorzio Comunale di Ragusa già Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA PRIMA FASE PROGETTO ESECUTIVO – LOTTO 3 Relazione di calcolo della pavimentazione
---	--

$$r = \left(\frac{TGM_{2040}}{TGM_{2008}} \right)^{\frac{1}{t}} - 1$$

Sostituendo i valori nella precedente formula si ricava il tasso di crescita annuo pari a
 $r = -2,85$.

n anni di vita utile della pavimentazione assunti pari a 20.

Calcolo EF

L'eterogeneità del traffico veicolare pesante richiede di rapportare gli effetti prodotti dai differenti carichi ad una sola tipologia di carico. Attraverso il calcolo del numero di assi standard equivalenti (E.S.A.: Equivalent Standard Axle) è possibile omogeneizzare, rispetto ad un asse di riferimento pari a 8,2 t, i carichi che agiscono su una determinata pavimentazione stradale, in modo da potere poi confrontare il numero di tali assi standard (NESA) con quelli che la pavimentazione è in grado di sopportare nell'arco dell'intera vita utile (NMAX).



Per calcolare la struttura in funzione di un unico carico di riferimento è necessario la determinazione del coefficiente di equivalenza totale rispetto ad un certo carico (EFTOT), attraverso la determinazione di:

- percentuali delle singole tipologie di veicoli p_j ;
- coefficiente di equivalenza del singolo veicolo (EF_j), per i soli veicoli commerciali (tara >15 kN), determinato come somma dei coefficienti di equivalenza dei singoli assi dello stesso (o coppia di assi nel caso di assi tandem ovvero terna di assi nel caso di tre assi affiancati);
- coefficiente di equivalenza totale (EF) riferito alle m tipologie di veicoli commerciali transitanti sulla sovrastruttura dato dalla sommatoria:

$$EF_{TOT} = \sum_{j=1,m} p_j \cdot EF_j$$

da cui è possibile calcolare $N_{ESA} = EF_{TOT} \cdot TGM$

Le percentuali delle singole tipologie di veicoli sono state calcolate sulla base delle tabelle del “Catalogo delle pavimentazioni - CNR B.U. 178/95”, riportate di seguito, che indicano rispettivamente:

 Regione Siciliana  Libero Consorzio Comunale di Ragusa già Provincia Regionale di Ragusa	<p>POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA</p> <p>PRIMA FASE PROGETTO ESECUTIVO – LOTTO 3 Relazione di calcolo della pavimentazione</p>
---	--



- le tipologie dei veicoli previsti, il numero di asse e la distribuzione di carichi per asse (tabella 5);
- gli spettri tipici dei veicoli commerciali la frequenza espressa in percentuale (tabella 6);

Tabella 5

TIPI DI VEICOLI organizzati ai fini della progettazione stradale di pavimentazioni CNR - B.U. 178/95 "Catalogo delle pavimentazioni stradali"									
Tipo di veicoli	N. assi	Distribuzione dei carichi per asse (KN)							
1) autocarri leggeri	2	↓ 10			↓ 20				
2) " " "	"	↓ 15			↓ 30				
3) autocarri medi e pesanti	"	↓ 40			↓ 80				
4) " " " " "	"	↓ 50			↓ 110				
5) autocarri pesanti	3	↓ 40			↓ 80	↓ 80			
6) " " "	"	↓ 60			↓ 100	↓ 100			
7) autotreni e autoarticolati	4	↓ 40			↓ 90		↓ 80		↓ 80
8) " " "	"	↓ 60			↓ 100		↓ 100		↓ 100
9) " " "	5	↓ 40	↓ 80	↓ 80				↓ 80	↓ 80
10) " " "	"	↓ 60	↓ 90	↓ 90				↓ 100	↓ 100
11) " " "	"	↓ 40	↓ 100				↓ 80	↓ 80	↓ 80
12) " " "	"	↓ 60	↓ 110				↓ 90	↓ 90	↓ 90
13) mezzi d'opera	"	↓ 50	↓ 120				↓ 130	↓ 130	↓ 130
14) autobus	2	↓ 40			↓ 80				
15) " "	2	↓ 60			↓ 100				
16) " "	2	↓ 50			↓ 80				

Tabella 6

SPETTRI DI TRAFFICO CNR - B.U. 178/95 "Catalogo delle pavimentazioni stradali"																
Tipo di strada	Tipo di veicolo															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1. autostrade extraurbane	12	—	24,4	14,6	2,4	12,2	2,4	4,9	2,4	4,9	2,4	4,9	0,19	—	—	12,2
2. autostrade urbane	18,2	18,2	18,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,6	18,2	17,3	—
3. strade extraurbane principali e secondarie a forte traffico	—	13,1	39,5	10,5	7,9	2,6	2,6	2,5	2,6	2,5	2,6	2,6	6,5	—	—	10,5
4. strade extraurbane secondarie ordinarie	—	—	58,8	29,4	—	5,9	—	2,8	—	—	—	—	6,2	—	—	2,9
5. strade secondarie turistiche	24,5	—	40,8	16,3	—	4,15	—	2	—	—	—	—	0,05	—	—	12,2
6. strade urbane di scorrimento	18,2	18,2	18,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,6	18,2	17,3	—
7. strade di quartiere e locali	30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	20	—	—
8. corsie preferenziali	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	47	53	—

 Regione Siciliana  Libero Consorzio Comunale di Ragusa già Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA PRIMA FASE PROGETTO ESECUTIVO – LOTTO 3 Relazione di calcolo della pavimentazione
---	--

Sapendo che l'Equivalent Factor totale è pari a:

$$EF_{TOT} = \sum_{j=1,m} p_j \cdot EF_j$$

sulla base dei dati sopra riportati si ottiene il seguente numero di assi equivalenti da 8,2 t (ESALS) che si prevede transitino durante la vita utile della pavimentazione:

$$N_{des} \sim 1.230.000$$

Metodo di calcolo

Il dimensionamento della pavimentazione stradale in conglomerato bituminoso è stato eseguito con il metodo empirico dell'*AASHTO Guide for Design of Pavement Structure - 1993*. Tale metodo permette di ricavare il numero totale di passaggi di assi equivalenti da 8,2 t (ESALS) che la pavimentazione riesce a sopportare prima di raggiungere il valore di PSI finale (PSI = Present Serviceability Index), in corrispondenza del quale si ritiene che la pavimentazione sia giunta al termine della sua vita utile e, quindi, necessiti di manutenzione.

Note le caratteristiche dei materiali (degli strati legati a bitume, di quelli in misto granulare o stabilizzato, della portanza del sottofondo), ed avendo assegnato spessori di primo tentativo ai vari strati, è possibile avviare un procedimento iterativo che permette di convergere verso la soluzione finale.



La convergenza del metodo prevede che il numero massimo di assi che la pavimentazione può sopportare sia superiore o al limite uguale al traffico previsto sulla sovrastruttura in esame durante l'intera vita utile, espresso sempre in numero di assi di veicoli commerciali equivalenti e derivante da analisi di traffico.

Le variabili su cui agire per portare a convergenza il metodo sono, quindi, proprio gli spessori dei vari strati e le caratteristiche dei materiali. La formula utilizzata è la seguente:

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

essendo:

W_{18} numero massimo di assi equivalenti da 8,2 t (ESALS) che portano la pavimentazione al valore PSI finale;

 Regione Siciliana  Libero Consorzio Comunale di Ragusa già Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA PRIMA FASE PROGETTO ESECUTIVO – LOTTO 3 Relazione di calcolo della pavimentazione
---	--

ΔPSI differenza tra l'indice di funzionalità (PSI) della pavimentazione all'inizio (assunto di solito pari a 4.2 per pavimentazioni flessibili) e al termine della vita utile; il valore di PSI finale (assunto pari a 2.5) è dedotto dalla tabella 9 del Catalogo delle Pavimentazioni CNR in funzione dell'importanza dell'infrastruttura stradale;

SO deviazione standard relativa alle variazioni dalle previsioni di traffico e dalle prestazioni della pavimentazione, valore assunto mediamente pari a 0,45;

Z_r fattore di affidabilità, dedotto dall'interpolazione dei valori di tabella del Catalogo della Pavimentazioni CNR (di seguito riportata), in funzione dell'affidabilità percentuale R_1 :

Fattore di Affidabilità Z_r				
R_1	80%	85%	90%	95%
Z_r	-0,841	-1,037	-1,282	-1,645

EQ coefficiente di equivalenza tra l'asse standard (da 8,2 t) e gli assi effettivamente transitanti sulla strada, che permette di ricavare il numero di assi standard che produce nella pavimentazione il medesimo danno a fatica del numero di assi effettivamente transitanti;

M_r Il parametro scelto per caratterizzare la portanza del sottofondo è il modulo resiliente M_r (modulo elastico che consente di tener conto anche della componente viscosa reversibile della deformazione che viene ricavato mediante prove dinamiche a bassa frequenza 0.5÷1 Hz). In tale formula il Modulo Resiliente è misurato in psi;



SN indice strutturale, che tiene conto degli spessori degli strati (s_i), delle caratteristiche dei materiali dei vari strati (a_i), del drenaggio assicurato dagli strati non legati a bitume (m_i):

$$SN = \sum_i a_i \cdot s_i \cdot m_i$$

Occorre infine considerare la correzione relativa alla temperatura, per tener conto del diverso comportamento dei materiali che si trovano in zone differenti da quelle in cui è stato validato il modello AASHTO. Nei calcoli il fattore di correzione viene indicato con "R".

Calcolo vita utile sovrastruttura a base di gara

La pavimentazione prevista ha uno spessore di 52 cm.

 Regione Siciliana  Libero Consorzio Comunale di Ragusa già Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA PRIMA FASE PROGETTO ESECUTIVO – LOTTO 3 Relazione di calcolo della pavimentazione
---	--

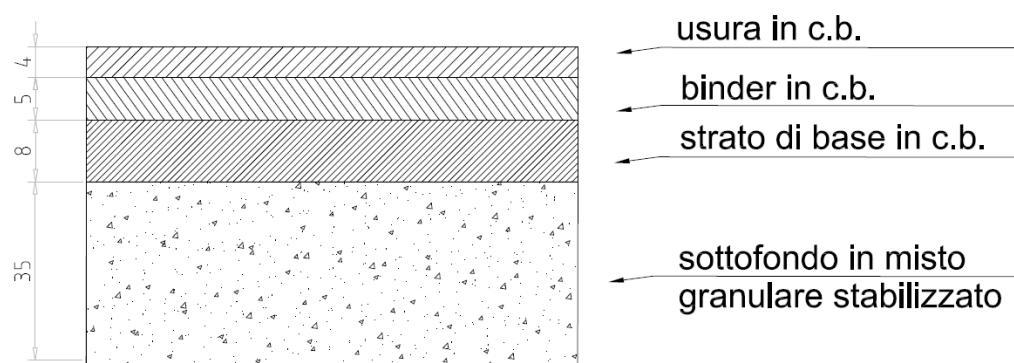


Figura 3 - Sovrastruttura stradale viabilità interferita



Si fa riferimento ad una strada con una portanza del sottofondo pari a 50 N/mm^2 (modulo resiliente M_r) assunto a favore di sicurezza. Si considerano poi le condizioni climatiche dell'Italia Meridionale, il livello di affidabilità pari al 85%, l'indice di funzionalità finale $\text{PSI} = 2.5$ ed il numero complessivo di passaggi di autoveicoli commerciali sulla corsia più caricata di tipo "pesante" nell'arco della vita utile pari a circa 1.230.000 ESALS.

Si riporta di seguito la tabella di calcolo del parametro SN; il valore ottenuto deve essere espresso in pollici, per cui lo si divide per il fattore di conversione 2,54.

viabilità interferita	SUCCESSIONE STRATIGRAFICA DEL PACCHETTO STRADALE					
	Strato	Descrizione	ai	mi	si [cm]	ai*si*mi
	1	Usura cb	0,41		4	1,6
	2	Binder cb	0,38	1	5	1,9
	3	Base cb	0,30	1	8	2,4
	4	Sottof misto granulare	0,13	1	35	4,6
SN = $\Sigma (ai*si*mi)/2.54$						4,13

Gli altri parametri utilizzati nel calcolo risultano essere i seguenti:

DATI TRAFFICO	
W81,6 kN	1,23E+06
Affidab.	100%
Zr	-1,037
S0	0,45

 Regione Siciliana  Libero Consorzio Comunale di Ragusa già Provincia Regionale di Ragusa	POTENZIAMENTO DEI COLLEGAMENTI STRADALI FRA LA S.S. N. 115 TRATTO COMISO-VITTORIA, IL NUOVO AEROPORTO DI COMISO E LA S.S. N. 514 RAGUSA-CATANIA PRIMA FASE PROGETTO ESECUTIVO – LOTTO 3 Relazione di calcolo della pavimentazione
---	--

INDICI DI FUNZIONALITÀ		
PSIi	PSIf	A
4,2	2,5	1,7

Il numero di assi standard che portano al PSI finale (pari a 2.5) la pavimentazione è pari a:

$$W_{18\max} \quad \mathbf{3,51E+06} \quad NESA \text{ da } 8,2 \text{ t} > Ndes \quad \sim 1.230.000$$

Conclusioni

Dal confronto fra il passaggio di assi equivalenti che può sopportare la pavimentazione nell'arco della sua vita utile appare evidente come il pacchetto proposto garantisca livello di resistenza nei confronti sia dei carichi distribuiti e concentrati, dinamici e statici, sia nei confronti dell'aggressività ambientale e, quindi, assicuri la vita utile richiesta.