

S.S.195 "SULCITANA"

COMPLETAMENTO ITINERARIO CAGLIARI - PULA LOTTO 2
COLLEGAMENTO CON LA S.S 130 E AEROPORTO CAGLIARI ELMAS
DAL Km 21+488,70 AL Km 23+900,00
RELAZIONE ARCHEOLOGICA E PROGETTAZIONE DEFINITIVA

PROGETTO DEFINITIVO

COD. CA12

PROGETTAZIONE: ANAS – DIREZIONE PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE LAVORI

PROGETTISTA E RESPONSABILE INTEGRATORE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

Ing. M. RASIMELLI
 Ordine Ingegneri Provincia di Perugia n. A632

GRUPPO DI PROGETTAZIONE

Ing. D. BONADIES Ing. M. TANZINI
 Ing. P. LOSPENNATO Ing. A. LUCIA
 Ing. S. PELLEGRINI
 Ing. A. POLLI
 Ing. C. CASTELLANO
 Ing. G.N. GUERRINI

IL GEOLOGO

Dott. S. PIAZZOLI

COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

Ing. L. IOVINE

VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO

Ing. M. COGHE

PROTOCOLLO

DATA:

IL GRUPPO DI PROGETTAZIONE:



MANDATARIA



PINI SWISS ENGINEERS SA
 SWISS
 Via Besso 7 - 6900 Lugano - Svizzera

MANDANTE



PINI SWISS ENGINEERS Srl
 ITALIA
 Via Cavour 2 - 22074 Lomazzo (CO) - Italia

MANDANTE

PROGETTO STRADALE

SEZIONI TIPO E PARTICOLARI COSTRUTTIVI

Relazione di calcolo della sovrastruttura

CODICE PROGETTO

NOME FILE
 P00PS00TRARE02A.doc

REVISIONE

PAG.

PROGETTO

LIV. PROG.

N. PROG.

D P C A 1 2 D 2 0 0 1

CODICE ELAB.

P 0 0 P S 0 0 T R A R E 0 2

A

1 di 25

D					
C					
B					
A	PRIMA EMISSIONE	Giugno 2020	C. CASTELLANO	A. POLLI	RASIMELLI
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>P00PS00TRARE02A</p> <p>Relazione di calcolo della sovrastruttura</p>	<p>File: P00PS00TRARE02A.doc</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 2 di 25</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------

INDICE

1	PREMESSA	3
2	CRITERI ASSUNTI NELLE VERIFICHE DELLE PAVIMENTAZIONI	4
2.1	RIFERIMENTI NORMATIVI	4
2.2	MODELLO DI CALCOLO ADOTTATO: METODO M-E PDG	4
3	PAVIMENTAZIONE STRADA CATEGORIA B - TIPO 1-2	8
3.1	PERIODO DI ANALISI	8
3.2	DATI DI TRAFFICO	8
3.3	PORTANZA DEL TERRENO DI SOTTOFONDO	9
3.4	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI DELLA PAVIMENTAZIONE	9
3.5	AFFIDABILITÀ DI RIFERIMENTO PER LE VERIFICHE	13
3.6	CRITERI DI VERIFICA DELLE PRESTAZIONI	14
3.6.1.	Indicatori prestazionali	14
3.6.2.	Limiti di ammissibilità assunti nelle verifiche	14
3.7	VERIFICA DELLE PRESTAZIONI DELLA PAVIMENTAZIONE	15
4	VIABILITA' SECONDARIA - PAVIMENTAZIONE TIPO 3	17
4.1	PERIODO DI ANALISI	17
4.2	DATI DI TRAFFICO	17
4.3	PORTANZA DEL TERRENO DI SOTTOFONDO	18
4.4	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI DELLA PAVIMENTAZIONE	18
4.5	AFFIDABILITÀ DI RIFERIMENTO PER LE VERIFICHE	22
4.6	CRITERI DI VERIFICA DELLE PRESTAZIONI	22
4.6.1.	Indicatori prestazionali	22
4.6.2.	Limiti di ammissibilità assunti nelle verifiche	22
4.7	VERIFICA DELLE PRESTAZIONI DELLE PAVIMENTAZIONI	23
5	CONCLUSIONI	25

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>P00PS00TRARE02A</p> <p>Relazione di calcolo della sovrastruttura</p>	<p>File: P00PS00TRARE02A.doc</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 3 di 25</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------

1 PREMESSA

La presente relazione di calcolo è relativa al dimensionamento ed alla verifica funzionale della pavimentazione di nuova realizzazione relativa al progetto esecutivo.....

I dati di traffico presi come riferimento sono quelli utilizzati per la verifica delle pavimentazioni del progetto definitivo dello stesso tratto.

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>P00PS00TRARE02A</p> <p>Relazione di calcolo della sovrastruttura</p>	<p>File: P00PS00TRARE02A.doc</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 4 di 25</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------

2 CRITERI ASSUNTI NELLE VERIFICHE DELLE PAVIMENTAZIONI

2.1 Riferimenti normativi

NCHRP "Guide for mechanistic-empirical design of new and rehabilitated pavement structures" ed. 2004 (metodo M-E PDG)

CNR 178/95 "Catalogo delle pavimentazioni stradali".

2.2 Modello di calcolo adottato: metodo M-E PDG

Le pavimentazioni del progetto definitivo sono state verificate valutando le prestazioni che la sovrastruttura potrà offrire nel tempo quando soggetta alle condizioni di traffico previste in progetto e nelle condizioni climatiche della zona. Utilizzando la procedura di analisi basata sull'impiego di metodi empirico-razionale prodotta dal NCHRP per l'AASHTO (Metodo M-E PDG).

Il metodo M-E PDG consente di passare dalla tradizionale valutazione del comportamento nel tempo della pavimentazione per mezzo di correlazioni empiriche e di indici sintetici di stato ad una valutazione del progredire nel tempo delle diverse tipologie di ammaloramento (fessurazione, deformazione permanente dei diversi strati costituenti la pavimentazione, irregolarità longitudinale). Infine è possibile giungere al danno complessivo per fatica valutato nell'arco della vita utile della pavimentazione.

Tra i principali elementi di innovazione del metodo di calcolo adottato si registrano:

- la possibilità di caratterizzare i diversi strati costituenti la pavimentazione in funzione delle reali caratteristiche compositive delle miscele;
- la possibilità di tener conto delle specifiche condizioni ambientali in cui la pavimentazione andrà ad operare (con particolare riguardo all'andamento delle temperature, delle condizioni di pioggia e di irraggiamento nel tempo);
- la possibilità di analizzare separatamente l'andamento del tempo dei diversi tipi di degrado e di comprendere quindi ove si concentrano eventuali deficienze strutturali, potendo di conseguenza pianificare in modo ottimizzato gli interventi di manutenzione ai fini di risolvere lo specifico problema (cosa non possibile quando si ragiona solo in termini di danno per fatica o di indicatori sintetici di stato);
- la possibilità di schematizzare un qualunque combinazione di traffico, sia essa costituita da un asse standard equivalente (di qualunque peso) o da complessa combinazione di veicoli pesanti e di tener conto degli effetti di crescita del traffico nel tempo. Il modello, nel calcolare il numero di ripetizioni di carico che transita effettivamente in un dato punto della pavimentazione, tiene inoltre conto del naturale effetto di dispersione delle traiettorie all'interno della corsia;
- la possibilità di progettare tenendo conto dei diversi livelli di affidabilità per tipologia di strada.

In questa fase di progetto si è fatto riferimento, per la definizione dei dati di input, al livello III.

I dati di input necessari per il livello LIII sono riportati in Tabella.

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>P00PS00TRARE02A</p> <p>Relazione di calcolo della sovrastruttura</p>	<p>File: P00PS00TRARE02A.doc</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 5 di 25</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------

PARAMETRO	SIGNIFICATO
Dati caratterizzanti i materiali legati a bitume	
p3/4	Trattenuto cumulativo al setaccio ASTM 3/4 (diametro 19.1 mm)
p3/8	Trattenuto cumulativo al setaccio ASTM 3/8 (diametro 9.52 mm)
p4	Trattenuto cumulativo al setaccio ASTM 4 (diametro 4.76 mm)
p200	Passante al setaccio ASTM 200 (diametro 0.075 mm)
Va	Volume di vuoti residui (%)
Vb	Volume effettivo di bitume (%)
A, VTS	Parametri caratterizzanti il comportamento del legante
H	Spessore dello strato (cm)
Dati caratterizzanti i misti cementati	
H	Spessore dello strato (cm)
Ein	Modulo elastico dello strato integro (MPa)
Ef	Modulo elastico dello strato fessurato (MPa)
F	Resistenza a trazione per flessione (MPa)
Dati caratterizzanti i misti granulari non legati	
MAT	Tipo di materiale (secondo classificazione AASHTO/UNI EN 11531-1 o in base al tipo di materiale – frantumato, naturale alluvionale, da riciclaggio di conglomerato bituminoso etc.)
H	Spessore dello strato (cm)
E	Modulo elastico dello strato (MPa)
Dati caratterizzanti il sottofondo (per ciascuno strato caratterizzante il sottofondo)	
MAT	Tipo di materiale (secondo classificazione AASHTO/UNI EN 11531-1 o secondo classificazione Unified Soil Classification)
H	Spessore dello strato, se non si tratta dell'ultimo (cm)
Dati caratterizzanti il traffico	
TGM	Traffico Giornaliero Medio di mezzi pesanti per carreggiata
CMIX	Composizione del mix (% per ogni tipo di mezzo)
-	Descrizione dei mezzi che compongono il mix (percentuale e tipologia degli assi)
CC	Percentuale di mezzi transitanti sulla corsia più caricata
Dati caratterizzanti le condizioni climatiche	
Ta	Temperatura dell'aria
V	Velocità del vento
P	Pioggia
S	% di sole
U	% di umidità
PF	Profondità della falda dalla quota della pavimentazione (m)

PROGETTO DEFINITIVO

P00PS00TRARE02A

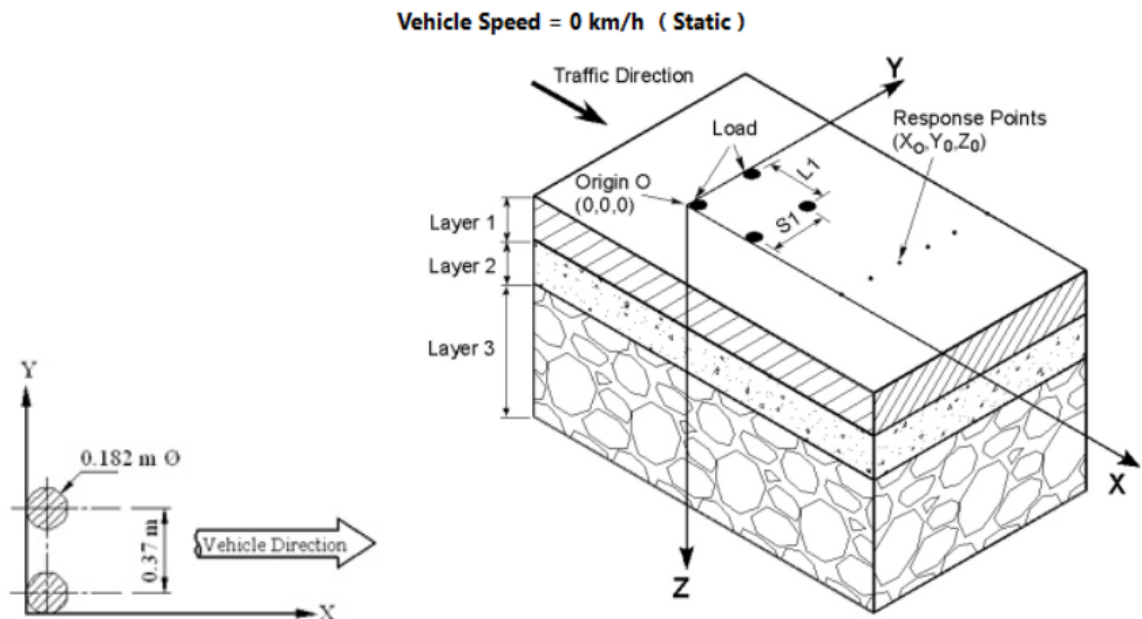
Relazione di calcolo della sovrastruttura

I parametri A, VTS (caratterizzanti il comportamento del legante) devono essere determinati a partire dalle prove di caratterizzazione meccanica delle miscele con particolare riguardo al valore assunto dal modulo elastico della miscela alle diverse temperature.

Nella fase di studio finale delle miscele in fase costruttiva dovranno essere comunque seguite le prove di laboratorio di livello (prove per la determinazione del modulo dinamico E^* a diverse temperature e con diverse condizioni di carico) al fine di consentire la caratterizzazione di dettaglio delle specifiche miscele adottate.

Il modello di applicazione del carico è definito su appoggio circolare con la seguente convenzione per la direzione del moto e degli assi di riferimento:

- asse gemellato statico
- area di contatto circolare
- pressione di gonfiaggio 862 kP
- carico per singola ruota 22,5 kN



<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>P00PS00TRARE02A</p> <p>Relazione di calcolo della sovrastruttura</p>	<p>File: P00PS00TRARE02A.doc</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 7 di 25</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------

Condizioni climatiche

Per le verifiche delle pavimentazioni sono state considerate condizioni climatiche specifiche della zona in esame.

La stazione climatica assunta a riferimento è quella di Cagliari.

Nelle verifiche svolte le condizioni meteo sono caratterizzate mediante i valori orari delle seguenti entità:

- temperatura
- velocità del vento
- umidità relativa dell'aria
- altezza di pioggia
- percentuale di insolazione.

I valori richiamati sono riferiti ad un arco temporale minimo di 2 anni.

I dati relativi ai parametri climatici sopra citati sono stati estratti dal sito internet dell'ARPA.

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>P00PS00TRARE02A</p> <p>Relazione di calcolo della sovrastruttura</p>	<p>File: P00PS00TRARE02A.doc</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 8 di 25</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------

3 PAVIMENTAZIONE STRADA CATEGORIA B - TIPO 1-2

3.1 Periodo di analisi

Le pavimentazioni sono state verificate con riferimento ad un periodo di analisi di 20 anni.

3.2 Dati di traffico

Il traffico adottato è stato desunto con riferimento agli orizzonti temporali di 20 anni

I flussi di traffico sono espressi tramite il Traffico Giornaliero Medio TGM annuo e la percentuale dei veicoli pesanti transitanti. I volumi di traffico sono cumulativi di entrambe le direzioni di marcia.

Il Tabella sono riportati i dati di traffico.

Tratta	TGM Leggeri	TGM Pesanti	Densità veicolare	Livello di Servizio	ANNO
Lotto 2	15.765	660	5,7	A	2026
Lotto 2	18.769	804	6,8	B	2036

Ipotizzando una distribuzione nelle due direzioni 65% e 35% si ottengono 12199 leggeri e 522 pesanti (ovvero commerciali) che al 90% percorrono la corsia di marcia lenta con un incremento del tasso medio annuo medio dell'1.03%.

TGM di punta	TASSO CRESCITA	ANNI
522	1.03%	20

Il TGM sulla corsia di marcia, è preso pari al 90% del TGM monodirezionale ripartito in 66% veicoli commerciali pesanti e 34% in veicoli commerciali leggeri.

	24h
TGM	522
Percentuale veicoli commerciali leggeri	34.00%
Percentuale veicoli commerciali pesanti	66.00%
Percentuale veicoli commerciali	100.00%

Evoluzione del traffico negli anni [%]

Distribuzione del traffico per senso di marcia [%]

Percentuale di veicoli commerciali

Percentuale di traffico commerciale che transita nella corsia lenta

Dispersione delle traiettorie [%]

Numero di anni di vita utile

r	1
pd	1
p	1
pl	0.9
dt	0.9
n	20

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>P00PS00TRARE02A</p> <p>Relazione di calcolo della sovrastruttura</p>	<p>File: P00PS00TRARE02A.doc</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 9 di 25</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------

Per il calcolo degli assi equivalenti totali accumulati si impiegano le seguenti formule di calcolo

Assi cumulati al termine della vita utile N_c :

$$N_c = 365 \cdot TGM \cdot p_d \cdot p \cdot p_i \cdot d \cdot C_{eq} \cdot n_a \cdot \frac{(1+r)^n - 1}{r}$$

Assi transitati in un giorno all'inizio della vita utile:

$$N_g = TGM \cdot p_d \cdot p \cdot p_i \cdot d \cdot C_{eq} \cdot n_a$$

Assi transitati in un giorno dell'ultimo anno di vita utile:

$$N_g = TGM \cdot p_d \cdot p \cdot p_i \cdot d \cdot C_{eq} \cdot n_a \cdot (1+r)^n$$

Numero di veicoli commerciali cumulato durante la vita utile:

$$N_g = TGM \cdot p_d \cdot p \cdot p_i \cdot d \cdot C_{eq} \cdot n_a \cdot (1+r)^n$$

Considerando un asse equivalente ESAL di 80 kN si ottiene:

$N_{esal\ 80kN} = 12445353 = 1,24\ E7$ assi equivalenti in transito

3.3 Portanza del terreno di sottofondo

Al di sotto della pacchetto della sovrastruttura è posto un rilevato di altezza variabile da un minimo di 100 cm che poggia su terreno con moderata plasticità riferibile a un limo argilloso (CL).

Come sottofondo si è assunto un materiale tipo A1a avente $E = 120\ MPa$, a cui può essere associato un valore di modulo di deformazione minimo M_d di 50 MPa in fase di controllo.

Come sottofondo si è assunto un terreno avente $CBR = 10\%$, a cui può essere associato un valore di modulo di deformazione M_d di 25 MPa in fase di controllo.

Trattandosi di una struttura stratificata non omogenea occorrerà comunque valutare in fase di esecuzione mediante prove in sito i valori di portanza del piano di posa della fondazione.

3.4 Caratteristiche dei materiali della pavimentazione

Nelle tabelle seguenti sono rappresentate le principali caratteristiche fisico-meccaniche necessarie alla schematizzazione dei materiali costituenti la stratigrafia delle pavimentazioni all'interno del software di calcolo utilizzato.

PROGETTO DEFINITIVO

P00PS00TRARE02A

Relazione di calcolo della sovrastruttura

STRATO DRENANTE LAYER 1: CRITERIO PER FESSURE TOP DOWN

Layer 1 - Asphalt

Layer 2 - Asphalt

Layer 3 - Asphalt

Layer 4 - Base

Layer 5 - Subbase

Layer 6 - Subbase

Layer 7 - Subgrade

AC Top Down Cracking AC Bottom Up Cracking AC Rutting Transfer Functions

$$N_f = 0.00432CC_H k_{f1} \beta_{f1} \left(\frac{1}{\epsilon_t}\right)^{k_{f2} \beta_{f2}} \left(\frac{1}{E}\right)^{k_{f3} \beta_{f3}}$$

$$C = 10^{4.84 \left[\frac{V_{be}}{V_a + V_{be}} - 0.69 \right]}$$

$$C_H = \frac{1}{0.01 + \frac{12.00}{1 + e^{(15.676 - 2.8186H_{ac})}}}$$

N_f - Number of repetitions to fatigue cracking

ϵ_t - Tensile strain at the critical location (mm/mm)

E - Stiffness of the material (kPa)

H_{ac} - Thickness of AC layer (mm)

Analysis Types

Nationally Calibrated Model

User Defined Model

Volumetric Properties

Air Voids (Va) (%)

Effective Binder Content (Vbe) (% By Volume)

Regression Coefficients

k_{f1}	<input type="text" value="0.007566"/>	β_{f1}	<input type="text" value="1"/>
k_{f2}	<input type="text" value="3.9492"/>	β_{f2}	<input type="text" value="1"/>
k_{f3}	<input type="text" value="1.281"/>	β_{f3}	<input type="text" value="1"/>

STRATO BINDER LAYER 2: CRITERIO PER FESSURE BOTTOM UP

Layer 1 - Asphalt

Layer 2 - Asphalt

Layer 3 - Asphalt

Layer 4 - Base

Layer 5 - Subbase

Layer 6 - Subbase

Layer 7 - Subgrade

AC Top Down Cracking AC Bottom Up Cracking AC Rutting Transfer Functions

$$N_f = 0.00432CC_H k_{f1} \beta_{f1} \left(\frac{1}{\epsilon_t}\right)^{k_{f2} \beta_{f2}} \left(\frac{1}{E}\right)^{k_{f3} \beta_{f3}}$$

$$C = 10^{4.84 \left[\frac{V_{be}}{V_a + V_{be}} - 0.69 \right]}$$

$$C_H = \frac{1}{0.000398 + \frac{0.003602}{1 + e^{(11.02 - 3.49H_{ac})}}}$$

N_f - Number of repetitions to fatigue cracking

ϵ_t - Tensile strain at the critical location (mm/mm)

E - Stiffness of the material (kPa)

H_{ac} - Thickness of AC layer (mm)

Analysis Types

Nationally Calibrated Model

User Defined Model

Volumetric Properties

Air Voids (Va) (%)

Effective Binder Content (Vbe) (% By Volume)

Regression Coefficients

k_{f1}	<input type="text" value="1"/>	β_{f1}	<input type="text" value="1"/>
k_{f2}	<input type="text" value="3.9492"/>	β_{f2}	<input type="text" value="1"/>
k_{f3}	<input type="text" value="1.281"/>	β_{f3}	<input type="text" value="1"/>

PROGETTO DEFINITIVO

P00PS00TRARE02A

Relazione di calcolo della sovrastruttura

STRATO BINDER LAYER 2: CRITERIO PER ORMAIAMENTO

Pavement Layers

Layer 1 - Asphalt
 Layer 2 - Asphalt
 Layer 3 - Asphalt
 Layer 4 - Base
 Layer 5 - Subbase
 Layer 6 - Subbase
 Layer 7 - Subgrade

AC Top Down Cracking AC Bottom Up Cracking AC Rutting Transfer Functions

NCHRP (1-37A) Models Info

$$\frac{\epsilon_p}{\epsilon_r} = k_z \beta_{r1} 10^{k_{r1}} (33.8T)^{\beta_{r2} k_{r2}} N^{\beta_{r3} k_{r3}}$$

$$k_z = (C_1 + 39.3701 C_2 D) 0.328196^{39.3701 D}$$

$$C_1 = -161.0453 H_{ac}^2 + 97.9055 H_{ac} - 17.342$$

$$C_2 = 26.6601 H_{ac}^2 - 68.2323 H_{ac} + 27.428$$

N - Number of load repetitions
 T - Layer temperature (°C)
 ϵ_p - Accumulated vertical permanent strain (mm/mm)
 ϵ_r - Vertical resilient strain imposed in laboratory test to obtain material properties (mm/mm)
 k_z - Depth confinement factor
 D - Depth below the surface (mm)

Analysis Types

Nationally Calibrated Model
 User Defined Model

Regression Coefficients

k_{r1}	-3.35412	β_{r1}	1
k_{r2}	1.5606	β_{r2}	1
k_{r3}	0.4791	β_{r3}	1

STRATO BASE LAYER 3: CRITERIO PER FESSURE BOTTOM UP

Layer 1 - Asphalt
 Layer 2 - Asphalt
 Layer 3 - Asphalt
 Layer 4 - Base
 Layer 5 - Subbase
 Layer 6 - Subbase
 Layer 7 - Subgrade

AC Top Down Cracking AC Bottom Up Cracking AC Rutting Transfer Functions

$$N_f = 0.00432 C C_H k_{f1} \beta_{f1} \left(\frac{1}{\epsilon_t}\right)^{k_{f2} \beta_{f2}} \left(\frac{1}{E}\right)^{k_{f3} \beta_{f3}}$$

$$C = 10^{4.84 \left[\frac{V_{be}}{V_a + V_{be}} - 0.69 \right]}$$

$$C_H = \frac{1}{0.000398 + \frac{0.003602}{1 + e^{(11.02 - 3.49 H_{ac})}}}$$

N_f - Number of repetitions to fatigue cracking
 ϵ_t - Tensile strain at the critical location (mm/mm)
 E - Stiffness of the material (kPa)
 H_{ac} - Thickness of AC layer (mm)

Volumetric Properties

Air Voids (V_a) (%)
 Effective Binder Content (V_{be}) (% By Volume)

Analysis Types

Nationally Calibrated Model
 User Defined Model

Regression Coefficients

k_{f1}	1	β_{f1}	1
k_{f2}	3.9492	β_{f2}	1
k_{f3}	1.281	β_{f3}	1

PROGETTO DEFINITIVO

P00PS00TRARE02A

Relazione di calcolo della sovrastruttura

STRATO BASE LAYER 3: CRITERIO PER ORMAIAMENTO

AC Top Down Cracking
AC Bottom Up Cracking
AC Rutting
Transfer Functions

Layer 1 - Asphalt
Layer 2 - Asphalt
Layer 3 - Asphalt
Layer 4 - Base
Layer 5 - Subbase
Layer 6 - Subbase
Layer 7 - Subgrade

$$\frac{\epsilon_p}{\epsilon_r} = k_z \beta_{r1} 10^{k_{r1}} (33.8T)^{\beta_{r2} k_{r2}} N^{\beta_{r3} k_{r3}}$$

$$k_z = (C_1 + 39.3701 C_2 D) 0.328196^{39.3701 D}$$

$$C_1 = -161.0453 H_{ac}^2 + 97.9055 H_{ac} - 17.342$$

$$C_2 = 26.6601 H_{ac}^2 - 68.2323 H_{ac} + 27.428$$

N - Number of load repetitions
T - Layer temperature (°C)
ε_p - Accumulated vertical permanent strain (mm/mm)
ε_r - Vertical resilient strain imposed in laboratory test to obtain material properties (mm/mm)
k_z - Depth confinement factor
D - Depth below the surface (mm)

Analysis Types

Nationally Calibrated Model

User Defined Model

Regression Coefficients

k _{r1}	-3.35412	β _{r1}	1
k _{r2}	1.5606	β _{r2}	1
k _{r3}	0.4791	β _{r3}	1

STRATO MISTO CEMENTATO LAYER 4: CRITERIO PER ORMAIAMENTO

Base Rutting

Layer 1 - Asphalt
Layer 2 - Asphalt
Layer 3 - Asphalt
Layer 4 - Base
Layer 5 - Subbase
Layer 6 - Subbase
Layer 7 - Subgrade

$$\delta_a(N) = \beta_{s1} k_{s1} \left(\frac{\epsilon_0}{\epsilon_r}\right) e^{-\left(\frac{\rho}{N}\right)^\beta} \epsilon_v h$$

δ_a - Permanent deformation for the layer/sub-layer (mm)
N - Number of load repetitions
ε_v - Average vertical strain (mm/mm)
ε_r - Vertical resilient strain imposed in laboratory test to obtain material properties (mm/mm)
ε₀, β, ρ - Material properties
h - Thickness of the layer/sub-layer (mm)

Analysis Types

Nationally Calibrated Model

User Defined Model

Regression Coefficients

Base Material Type - A-1-a

Granular		Fine-Grain	
k _{s1}	1.35	k _{s1}	1.35
β _{s1}	1	β _{s1}	1

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>P00PS00TRARE02A</p> <p>Relazione di calcolo della sovrastruttura</p>	<p>File: P00PS00TRARE02A.doc</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 13 di 25</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------

STRATO MISTO GRANULARE E RILEVATO LAYER 5-6: CRITERIO PER ORMAIAMENTO

Pavement Layers

- Layer 1 - Asphalt
- Layer 2 - Asphalt
- Layer 3 - Asphalt
- Layer 4 - Base
- Layer 5 - Subbase
- Layer 6 - Subbase
- Layer 7 - Subgrade

Subgrade Rutting

$$\delta_a(N) = \beta_{s1} k_{s1} \left(\frac{\epsilon_0}{\epsilon_r} \right) e^{-\left(\frac{\rho}{N} \right)^\beta} \epsilon_v h$$

δ_a - Permanent deformation for the layer/sub-layer (mm)

N - Number of load repetitions

ϵ_v - Average vertical strain (mm/mm)

ϵ_r - Vertical resilient strain imposed in laboratory test to obtain material properties (mm/mm)

ϵ_0, β, ρ - Material properties

h - Thickness of the layer/sub-layer (mm)

Regression Coefficients [Info](#)

Subgrade Material Type - A-1-a

	Granular	Fine-Grain
k_{s1}	1.673	1.35
β_{s1}	1	1

Analysis Types

Nationally Calibrated Model

User Defined Model

Lo strato di usura è previsto in conglomerato bituminoso di tipo Hard (UNI EN 14023) tipo pen 45/80. Per gli strati di binder e base sono previsti conglomerato bituminoso con bitume tal quale pen 50/70 (UNI EN 12591). La fondazione è realizzata con misto cementato.

Tutte i parametri utilizzati nel calcolo sono coerenti con il CSA.

3.5 Affidabilità di riferimento per le verifiche

Il metodo empirico-razionale utilizzato per il dimensionamento della pavimentazione consente di tener conto dell'affidabilità delle soluzioni, definita come la probabilità che le prestazioni offerte dalle pavimentazioni siano superiori a quelle calcolate. Il codice di calcolo permette di effettuare un'analisi dimensionale 3D

Il valore di affidabilità previsto dal Catalogo delle pavimentazioni del CNR per strade extraurbane tipo B e adottato nelle verifiche effettuate è pari al 90%, che si traduce nella probabilità di dover intervenire con interventi manutentivi prima di quanto restituito dalle verifiche pari al solo 10%.

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>P00PS00TRARE02A</p> <p>Relazione di calcolo della sovrastruttura</p>	<p>File: P00PS00TRARE02A.doc</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 14 di 25</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------

3.6 Criteri di verifica delle prestazioni

3.6.1. Indicatori prestazionali

Le prestazioni delle pavimentazioni sono state valutate per mezzo dei seguenti indicatori:

- estensione della fessurazione in superficie dovuta a lesioni che si propagano dal basso verso l'alto (fessure di tipo bottom-up) al termine del periodo di analisi;
- fessurazione superficiale dovuta a lesioni che si propagano dall'alto verso il basso (fessure di tipo top-down) al termine del periodo di analisi;
- danno cumulato a fatica al termine del periodo di analisi;
- profondità delle ormaie al termine del periodo di analisi;
- regolarità longitudinale, rappresentato mediante l'indice IRI misurato su una base di almeno 100 m di sviluppo longitudinale, al termine del periodo di analisi.

3.6.2. Limiti di ammissibilità assunti nelle verifiche

In Tabella sono riportati i valori limite assunti per ciascun indice prestazionale considerato nella verifica delle sovrastrutture al di sopra del quale si ritiene necessario un intervento di riqualifica delle stesse.

INDICATORE PRESTAZIONALE	UNITÀ DI MISURA	LIMITE MASSIMO	NOTE
Fessurazione bottom-up	%	25	A
Fessurazione top-down	m/km	300	B
Danno a fatica	-	0.5	C
Profondità delle ormaie	mm	11	D
IRI	mm/m	2.1	E

Note:

- A. il valore è riferito alla % di superficie di pavimentazione interessata da fessurazione. Il limite del 25% rappresenta il raggiungimento di un ammaloramento tale da provocare la perdita di funzionalità per la sovrastruttura rilevata in base al comfort di marcia;
- B. il valore rappresenta lo sviluppo complessivo di fessure longitudinali in un km di strada. Il valore limite di 300 m/km rappresenta il raggiungimento del livello di fessurazione superficiale che provoca un grave decadimento delle caratteristiche di portanza della pavimentazione nel suo complesso a causa di eccessive infiltrazioni di acqua all'interno della struttura;
- C. il valore rappresenta il danno cumulato per fessurazioni di tipo bottom-up calcolato secondo la legge di Miner. Il limite di Miner teorico di rottura per fatica di tipo bottom-up è rappresentato dal valore 1.0. Nell'applicazione del criterio al dimensionamento delle pavimentazioni l'esperienza evidenzia che al di sopra di valori del rapporto di Miner di 0.1-0.5 la progressione del tempo delle rotture per fatica aumenta in modo esponenziale;
- D. il valore limite rappresenta la massima profondità delle ormaie accettabile per cui, con riferimento ad una pendenza trasversale del 2,5%, è possibile evitare ristagni di acqua in carreggiata;

ANAS S.p.A. S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2 PROGETTO DEFINITIVO <i>P00PS00TRARE02A</i> <i>Relazione di calcolo della sovrastruttura</i>	File: P00PS00TRARE02A.doc Data: Giugno 2020 Pag. 15 di 25
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------

E. il valore 2.1 rappresenta la soglia di irregolarità superficiale corrispondente al valore di PSI=2,5 previsto da Catalogo delle pavimentazioni del CNR al termine della vita utile di strade di tipo B.

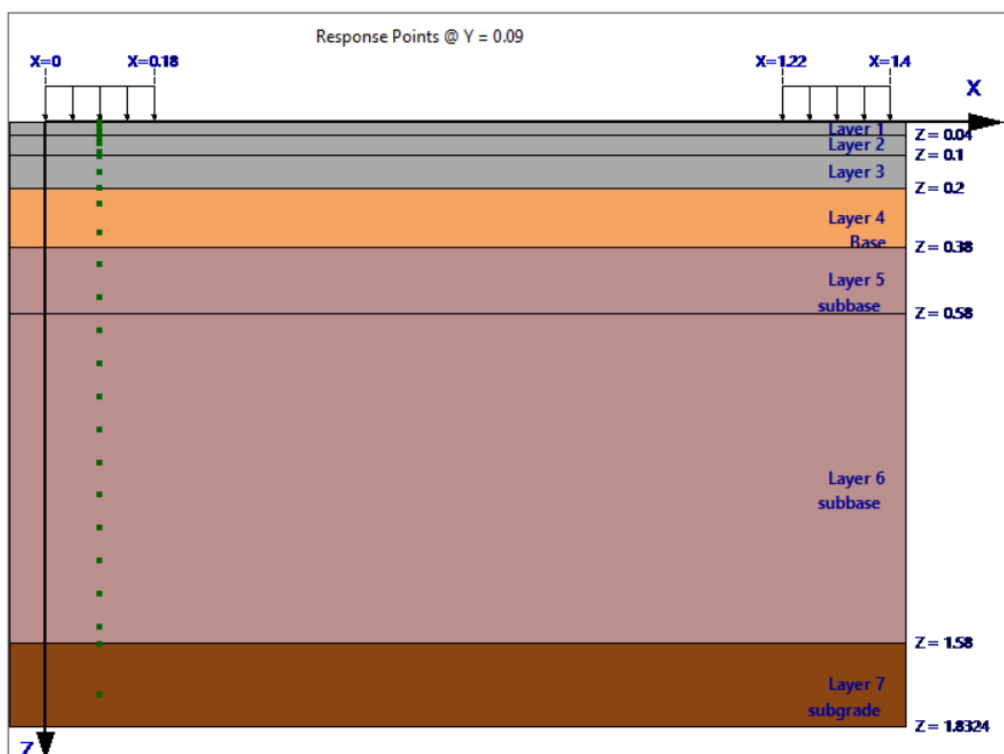
Gli indicatori che regolano il comportamento a fatica della pavimentazione sono la fessurazione bottom-up, la fessurazione top-down e il danno a fatica di tipo bottom-up; mentre gli indicatori relativi alla formazione delle ormaie e delle irregolarità longitudinali caratterizzano il comportamento delle pavimentazioni in termini deformativi.

3.7 Verifica delle prestazioni della pavimentazione

La stratigrafia della pavimentazione è rappresentata in Tabella.

STRATO	SPESSORE
Usura in conglomerato bituminoso drenante	4 cm
Binder in conglomerato bituminoso	6 cm
Base in conglomerato bituminoso	10 cm
Misto cementato	18 cm
Misto granulare	20 cm
Rilevato	100 cm
Terreno semispazio infinito	-

All'interno del pacchetto stradale si sono definiti punti di verifica per la distribuzione delle tensioni e delle deformazioni riportati nella seguente rappresentazione:



<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>P00PS00TRARE02A</p> <p>Relazione di calcolo della sovrastruttura</p>	<p>File: P00PS00TRARE02A.doc</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 16 di 25</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------

La verificata mediante il metodo M-E PD con i dati di progetto sopra esplicitati ha fornito i risultati riportati in Tabella seguente, da cui si osserva che nessuno degli indicatori di fatica super ai limiti.

TRAFFICO DI PROGETTO		STATO VERIFICA
Affidabilità	90%	
INDICATORI DI PRESTAZIONE		
Fessurazione bottom-up	0%	VERIFICATO
Fessurazione top-down	0 m/km	VERIFICATO
Profondità delle ormaie misto granulare/rilevato	1.28	VERIFICATO
Profondità delle ormaie sottofondo	0.41	VERIFICATO
IRI	2.1	VERIFICATO

Si intende che la pavimentazione è verificata nell'ambito della normale manutenzione ordinaria che prevede anche il rifacimento dello strato di usura con cadenza periodica di 8 anni o più ampia sulla base dell'effettivo stato del materiale che dovrà essere costantemente sottoposto a indagine visiva.

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>P00PS00TRARE02A</p> <p>Relazione di calcolo della sovrastruttura</p>	<p>File: P00PS00TRARE02A.doc</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 17 di 25</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------

4 VIABILITA' SECONDARIA - PAVIMENTAZIONE TIPO 3

4.1 periodo di analisi

Le pavimentazioni sono state verificate con riferimento ad un periodo di analisi di 20 anni.

4.2 Dati di traffico

Il traffico adottato è stato desunto con riferimento agli orizzonti temporali di 20 anni

I flussi di traffico sono espressi tramite il Traffico Giornaliero Medio TGM annuo e la percentuale dei veicoli pesanti transitanti. I volumi di traffico sono cumulativi di entrambe le direzioni di marcia.

Il Tabella sono riportati i dati di traffico.

	24h	1h
TGM	360	3004.2
Percentuale veicoli commerciali leggeri	34.00%	
Percentuale veicoli commerciali pesanti	66.00%	
Percentuale veicoli commerciali	100.00%	

Evoluzione del traffico negli anni [%]

Distribuzione del traffico per senso di marcia [%]

Percentuale di veicoli commerciali

Percentuale di traffico commerciale che transita nella corsia lenta

Dispersione delle traiettorie [%]

Numero di anni di vita utile

r	0.1
pd	1
p	1
pl	1
dt	0.9
n	20

Per il calcolo degli assi equivalenti totali accumulati si impiegano le seguenti formule di calcolo

Assi cumulati al termine della vita utile N_c :

$$N_c = 365 \cdot TGM \cdot p_d \cdot p \cdot p_i \cdot d \cdot C_{eq} \cdot n_a \cdot \frac{(1+r)^n - 1}{r}$$

Assi transitati in un giorno all'inizio della vita utile:

$$N_g = TGM \cdot p_d \cdot p \cdot p_i \cdot d \cdot C_{eq} \cdot n_a$$

Assi transitati in un giorno dell'ultimo anno di vita utile:

$$N_g = TGM \cdot p_d \cdot p \cdot p_i \cdot d \cdot C_{eq} \cdot n_a \cdot (1+r)^n$$

Numero di veicoli commerciali cumulato durante la vita utile:

PROGETTO DEFINITIVO

P00PS00TRARE02A

Relazione di calcolo della sovrastruttura

$$N_g = TGM \cdot p_d \cdot p \cdot p_i \cdot d \cdot C_{eq} \cdot n_a \cdot (1+r)^n$$

Considerando un asse equivalente ESAL di 80 kN si ottiene:

$$N_{\text{esal } 80\text{kN}} = 6998400 = 6,99 \text{ E6 assi equivalenti in transito}$$

4.3 Portanza del terreno di sottofondo

Al di sotto della pacchetto della sovrastruttura, il terreno ha moderata plasticità riferibile a un limo argilloso (CL). Per tale terreno si è assunto un terreno avente CBR= 10%, a cui può essere associato un valore di modulo di deformazione Md di 25 MPa in fase di controllo.

Trattandosi di una struttura stratificata non omogenea occorrerà comunque valutare in fase di esecuzione mediante prove in sito i valori di portanza del piano di posa della fondazione.

4.4 Caratteristiche dei materiali della pavimentazione

Nelle tabelle seguenti sono rappresentate le principali caratteristiche fisico-meccaniche necessarie alla schematizzazione dei materiali costituenti la stratigrafia delle pavimentazioni all'interno del software di calcolo utilizzato.

STRATO USURA LAYER 1: CRITERIO PER FESSURE TOP DOWN

Pavement Layers

NCHRP (1-37A) Models Info

Layer 1 - Asphalt

Layer 2 - Asphalt

Layer 3 - Asphalt

Layer 4 - Base

Layer 5 - Subgrade

AC Top Down Cracking

AC Bottom Up Cracking

AC Rutting

Transfer Functions

$$N_f = 0.00432 C C_H k_{f1} \beta_{f1} \left(\frac{1}{\epsilon_t}\right)^{k_{f2} \beta_{f2}} \left(\frac{1}{E}\right)^{k_{f3} \beta_{f3}}$$

$$C = 10^{4.84 \left[\frac{V_{be}}{V_a + V_{be}} - 0.69 \right]}$$

$$C_H = \frac{1}{0.01 + \frac{12.00}{1 + e^{(15.676 - 2.8186 H_{ac})}}}$$

N_f - Number of repetitions to fatigue cracking

ϵ_t - Tensile strain at the critical location (mm/mm)

E - Stiffness of the material (kPa)

H_{ac} - Thickness of AC layer (mm)

Analysis Types

Nationally Calibrated Model

User Defined Model

Volumetric Properties

Air Voids (V_a) (%)

Effective Binder Content (V_{be}) (% By Volume)

Regression Coefficients

k_{f1}	<input style="width: 50px;" type="text" value="0.007566"/>	β_{f1}	<input style="width: 50px;" type="text" value="1"/>
k_{f2}	<input style="width: 50px;" type="text" value="3.9492"/>	β_{f2}	<input style="width: 50px;" type="text" value="1"/>
k_{f3}	<input style="width: 50px;" type="text" value="1.281"/>	β_{f3}	<input style="width: 50px;" type="text" value="1"/>

PROGETTO DEFINITIVO

P00PS00TRARE02A

Relazione di calcolo della sovrastruttura

STRATO USURA LAYER 1: CRITERIO PER FESSURE BOTTOM UP

<p>Layer 1 - Asphalt Layer 2 - Asphalt Layer 3 - Asphalt Layer 4 - Base Layer 5 - Subgrade</p>	<p>AC Top Down Cracking AC Bottom Up Cracking AC Rutting Transfer Functions</p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------

$$N_f = 0.00432CC_H k_{f1} \beta_{f1} \left(\frac{1}{\epsilon_t}\right)^{k_{f2} \beta_{f2}} \left(\frac{1}{E}\right)^{k_{f3} \beta_{f3}}$$

$$C = 10^{4.84 \left[\frac{V_{be}}{V_a + V_{be}} - 0.69 \right]}$$

$$C_H = \frac{1}{0.000398 + \frac{0.003602}{1 + e^{(11.02 - 3.49H_{ac})}}}$$

N_f - Number of repetitions to fatigue cracking

ϵ_t - Tensile strain at the critical location (mm/mm)

E - Stiffness of the material (kPa)

H_{ac} - Thickness of AC layer (mm)

Analysis Types

Nationally Calibrated Model

User Defined Model

Volumetric Properties

Air Voids (V_a) (%)

Effective Binder Content (V_{be}) (% By Volume)

Regression Coefficients

k_{f1}	<input type="text" value="1"/>	β_{f1}	<input type="text" value="1"/>
k_{f2}	<input type="text" value="3.9492"/>	β_{f2}	<input type="text" value="1"/>
k_{f3}	<input type="text" value="1.281"/>	β_{f3}	<input type="text" value="1"/>

STRATO BINDER LAYER 2: CRITERIO PER FESSURE BOTTOM UP

<p>Layer 1 - Asphalt Layer 2 - Asphalt Layer 3 - Asphalt Layer 4 - Base Layer 5 - Subbase Layer 6 - Subbase Layer 7 - Subgrade</p>	<p>AC Top Down Cracking AC Bottom Up Cracking AC Rutting Transfer Functions</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------

$$N_f = 0.00432CC_H k_{f1} \beta_{f1} \left(\frac{1}{\epsilon_t}\right)^{k_{f2} \beta_{f2}} \left(\frac{1}{E}\right)^{k_{f3} \beta_{f3}}$$

$$C = 10^{4.84 \left[\frac{V_{be}}{V_a + V_{be}} - 0.69 \right]}$$

$$C_H = \frac{1}{0.000398 + \frac{0.003602}{1 + e^{(11.02 - 3.49H_{ac})}}}$$

N_f - Number of repetitions to fatigue cracking

ϵ_t - Tensile strain at the critical location (mm/mm)

E - Stiffness of the material (kPa)

H_{ac} - Thickness of AC layer (mm)

Analysis Types

Nationally Calibrated Model

User Defined Model

Volumetric Properties

Air Voids (V_a) (%)

Effective Binder Content (V_{be}) (% By Volume)

Regression Coefficients

k_{f1}	<input type="text" value="1"/>	β_{f1}	<input type="text" value="1"/>
k_{f2}	<input type="text" value="3.9492"/>	β_{f2}	<input type="text" value="1"/>
k_{f3}	<input type="text" value="1.281"/>	β_{f3}	<input type="text" value="1"/>

PROGETTO DEFINITIVO

P00PS00TRARE02A

Relazione di calcolo della sovrastruttura

STRATO BINDER LAYER 2: CRITERIO PER ORMAIAMENTO

Pavement Layers

- Layer 1 - Asphalt
- Layer 2 - Asphalt**
- Layer 3 - Asphalt
- Layer 4 - Base
- Layer 5 - Subbase
- Layer 6 - Subbase
- Layer 7 - Subgrade

AC Top Down Cracking | AC Bottom Up Cracking | AC Rutting | Transfer Functions

NCHRP (1-37A) Models Info

$$\frac{\epsilon_p}{\epsilon_r} = k_z \beta_{r1} 10^{k_{r1}} (33.8T)^{\beta_{r2} k_{r2}} N^{\beta_{r3} k_{r3}}$$

$$k_z = (C_1 + 39.3701 C_2 D) 0.328196^{39.3701 D}$$

$$C_1 = -161.0453 H_{ac}^2 + 97.9055 H_{ac} - 17.342$$

$$C_2 = 26.6601 H_{ac}^2 - 68.2323 H_{ac} + 27.428$$

N - Number of load repetitions
 T - Layer temperature (°C)
 ε_p - Accumulated vertical permanent strain (mm/mm)
 ε_r - Vertical resilient strain imposed in laboratory test to obtain material properties (mm/mm)
 k_z - Depth confinement factor
 D - Depth below the surface (mm)

Analysis Types

Nationally Calibrated Model
 User Defined Model

Regression Coefficients

k _{r1}	-3.35412	β _{r1}	1
k _{r2}	1.5606	β _{r2}	1
k _{r3}	0.4791	β _{r3}	1

STRATO BASE LAYER 3: CRITERIO PER FESSURE BOTTOM UP

Layer 1 - Asphalt
 Layer 2 - Asphalt
Layer 3 - Asphalt
 Layer 4 - Base
 Layer 5 - Subbase
 Layer 6 - Subbase
 Layer 7 - Subgrade

AC Top Down Cracking | AC Bottom Up Cracking | AC Rutting | Transfer Functions

$$N_f = 0.00432 C C_H k_{f1} \beta_{f1} \left(\frac{1}{\epsilon_t}\right)^{k_{f2} \beta_{f2}} \left(\frac{1}{E}\right)^{k_{f3} \beta_{f3}}$$

$$C = 10^{4.84 \left[\frac{V_{be}}{V_a + V_{be}} - 0.69 \right]}$$

$$C_H = \frac{1}{0.000398 + \frac{0.003602}{1 + e^{(11.02 - 3.49 H_{ac})}}}$$

N_f - Number of repetitions to fatigue cracking
 ε_t - Tensile strain at the critical location (mm/mm)
 E - Stiffness of the material (kPa)
 H_{ac} - Thickness of AC layer (mm)

Volumetric Properties

Air Voids (V_a) (%)
 Effective Binder Content (V_{be}) (% By Volume)

Analysis Types

Nationally Calibrated Model
 User Defined Model

Regression Coefficients

k _{f1}	1	β _{f1}	1
k _{f2}	3.9492	β _{f2}	1
k _{f3}	1.281	β _{f3}	1

PROGETTO DEFINITIVO

P00PS00TRARE02A

Relazione di calcolo della sovrastruttura

STRATO BASE LAYER 3: CRITERIO PER ORMAIAMENTO

Pavement Layers

- Layer 1 - Asphalt
- Layer 2 - Asphalt
- Layer 3 - Asphalt**
- Layer 4 - Base
- Layer 5 - Subbase
- Layer 6 - Subbase
- Layer 7 - Subgrade

AC Top Down Cracking | AC Bottom Up Cracking | AC Rutting | Transfer Functions

$$\frac{\epsilon_p}{\epsilon_r} = k_z \beta_{r1} 10^{k_{r1}} (33.8T)^{\beta_{r2} k_{r2}} N^{\beta_{r3} k_{r3}}$$

$$k_z = (C_1 + 39.3701 C_2 D) 0.328196^{39.3701 D}$$

$$C_1 = -161.0453 H_{ac}^2 + 97.9055 H_{ac} - 17.342$$

$$C_2 = 26.6601 H_{ac}^2 - 68.2323 H_{ac} + 27.428$$

N - Number of load repetitions
 T - Layer temperature (°C)
 ε_p - Accumulated vertical permanent strain (mm/mm)
 ε_r - Vertical resilient strain imposed in laboratory test to obtain material properties (mm/mm)
 k_z - Depth confinement factor
 D - Depth below the surface (mm)

Analysis Types

Nationally Calibrated Model
 User Defined Model

Regression Coefficients

k _{r1}	-3.35412	β _{r1}	1
k _{r2}	1.5606	β _{r2}	1
k _{r3}	0.4791	β _{r3}	1

STRATO MISTO GRANULARE E RILEVATO LAYER 5-6: CRITERIO PER ORMAIAMENTO

Subgrade Rutting

- Layer 1 - Asphalt
- Layer 2 - Asphalt
- Layer 3 - Asphalt
- Layer 4 - Base
- Layer 5 - Subbase
- Layer 6 - Subbase
- Layer 7 - Subgrade**

$$\delta_a(N) = \beta_{s1} k_{s1} \left(\frac{\epsilon_0}{\epsilon_r}\right) e^{-\left(\frac{\rho}{N}\right)^\beta} \epsilon_v h$$

δ_a - Permanent deformation for the layer/sub-layer (mm)
 N - Number of load repetitions
 ε_v - Average vertical strain (mm/mm)
 ε_r - Vertical resilient strain imposed in laboratory test to obtain material properties (mm/mm)
 ε₀, β, ρ - Material properties
 h - Thickness of the layer/sub-layer (mm)

Analysis Types

Nationally Calibrated Model
 User Defined Model

Regression Coefficients

Subgrade Material Type - A-1-a

Granular	Fine-Grain
k _{s1} 1.673	k _{s1} 1.35
β _{s1} 1	β _{s1} 1

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>P00PS00TRARE02A</p> <p>Relazione di calcolo della sovrastruttura</p>	<p>File: P00PS00TRARE02A.doc</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 22 di 25</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------

Lo strato di usura, di binder e base è previsto in conglomerato bituminoso tal quale (UNI EN 12591) tipo pen 50/70. La fondazione è realizzata con misto granulare

Tutte i parametri utilizzati nel calcolo sono coerenti con il CSA.

4.5 Affidabilità di riferimento per le verifiche

Il metodo empirico-razionale utilizzato per il dimensionamento della pavimentazione consente di tener conto dell'affidabilità delle soluzioni, definita come la probabilità che le prestazioni offerte dalle pavimentazioni siano superiori a quelle calcolate. Il codice di calcolo permette di effettuare un'analisi dimensionale 3D

Il valore di affidabilità previsto dal Catalogo delle pavimentazioni del CNR per strade extraurbane secondarie tipo C1 e adottato nelle verifiche effettuate è pari al 90%, che si traduce nella probabilità di dover intervenire con interventi manutentivi prima di quanto restituito dalle verifiche pari al solo 10%.

4.6 Criteri di verifica delle prestazioni

4.6.1. Indicatori prestazionali

Le prestazioni delle pavimentazioni sono state valutate per mezzo dei seguenti indicatori:

- estensione della fessurazione in superficie dovuta a lesioni che si propagano dal basso verso l'alto (fessure di tipo bottom-up) al termine del periodo di analisi;
- fessurazione superficiale dovuta a lesioni che si propagano dall'alto verso il basso (fessure di tipo top-down) al termine del periodo di analisi;
- danno cumulato a fatica al termine del periodo di analisi;
- profondità delle ormaie al termine del periodo di analisi;
- regolarità longitudinale, rappresentato mediante l'indice IRI misurato su una base di almeno 100 m di sviluppo longitudinale, al termine del periodo di analisi.

4.6.2. Limiti di ammissibilità assunti nelle verifiche

In Tabella sono riportati i valori limite assunti per ciascun indice prestazionale considerato nella verifica delle sovrastrutture al di sopra del quale si ritiene necessario un intervento di riqualifica delle stesse.

INDICATORE PRESTAZIONALE	UNITÀ DI MISURA	LIMITE MASSIMO	NOTE
Fessurazione bottom-up	%	25	A
Fessurazione top-down	m/km	300	B
Danno a fatica	-	0.5	C
Profondità delle ormaie	mm	11	D
IRI	mm/m	2.1	E

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>P00PS00TRARE02A</p> <p>Relazione di calcolo della sovrastruttura</p>	<p>File: P00PS00TRARE02A.doc</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 23 di 25</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------

Note:

- A. il valore è riferito alla % di superficie di pavimentazione interessata da fessurazione. Il limite del 25% rappresenta il raggiungimento di un ammaloramento tale da provocare la perdita di funzionalità per la sovrastruttura rilevata in base al comfort di marcia;
- B. il valore rappresenta lo sviluppo complessivo di fessure longitudinali in un km di strada. Il valore limite di 379 m/km rappresenta il raggiungimento del livello di fessurazione superficiale che provoca un grave decadimento delle caratteristiche di portanza della pavimentazione nel suo complesso a causa di eccessive infiltrazioni di acqua all'interno della struttura;
- C. il valore rappresenta il danno cumulato per fessurazioni di tipo bottom-up calcolato secondo la legge di Miner. Il limite di Miner teorico di rottura per fatica di tipo bottom-up è rappresentato dal valore 1.0. Nell'applicazione del criterio al dimensionamento delle pavimentazioni l'esperienza evidenzia che al di sopra di valori del rapporto di Miner di 0.1-0.5 la progressione del tempo delle rotture per fatica aumenta in modo esponenziale;
- D. il valore limite rappresenta la massima profondità delle ormaie accettabile per cui, con riferimento ad una pendenza trasversale del 2,5%, è possibile evitare ristagni di acqua in carreggiata;
- E. il valore 2.1 rappresenta la soglia di irregolarità superficiale corrispondente al valore di PSI=3 previsto da Catalogo delle pavimentazioni del CNR al termine della vita utile di strade di tipo C1.

Gli indicatori che regolano il comportamento a fatica della pavimentazione sono la fessurazione bottom-up, la fessurazione top-down e il danno a fatica di tipo bottom-up; mentre gli indicatori relativi alla formazione delle ormaie e delle irregolarità longitudinali caratterizzano il comportamento delle pavimentazioni in termini deformativi.

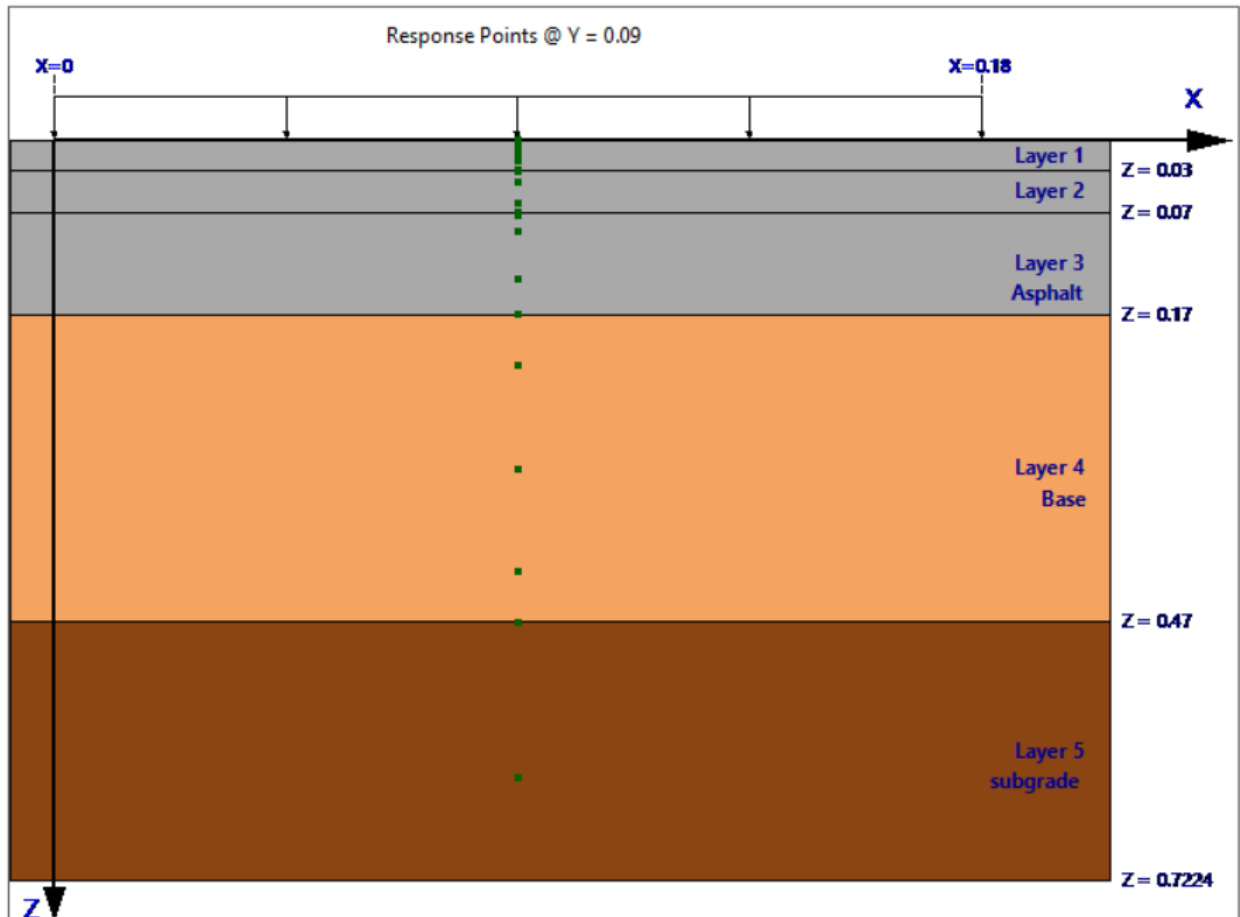
4.7 VERIFICA DELLE PRESTAZIONI DELLE PAVIMENTAZIONI

La stratigrafia della pavimentazione è rappresentata in Tabella.

STRATO	SPESSORE
Usura in conglomerato bituminoso usura	3 cm
Binder in conglomerato bituminoso	4 cm
Base in conglomerato bituminoso	10 cm
Misto granulare	30 cm
Terreno semispazio infinito	-

All'interno del pacchetto stradale si sono definiti punti di verifica per la distribuzione delle tensioni e delle deformazioni riportati nella seguente rappresentazione:

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas - Lotto 2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>P00PS00TRARE02A</p> <p>Relazione di calcolo della sovrastruttura</p>	<p>File: P00PS00TRARE02A.doc</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 24 di 25</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------



La verificata mediante il metodo M-E PDG con i dati di progetto sopra esplicitati ha fornito i risultati riportati in Tabella seguente, da cui si osserva che nessuno degli indicatori di fatica super ai limiti.

TRAFFICO DI PROGETTO		STATO VERIFICA
Affidabilità	90%	
INDICATORI DI PRESTAZIONE		
Fessurazione bottom-up	0%	VERIFICATO
Fessurazione top-down	24 m/km	VERIFICATO
Profondità delle ormaie misto granulare/rilevato	1.44	VERIFICATO
Profondità delle ormaie sottofondo	1.74	VERIFICATO
IRI	2.1	VERIFICATO

Si intende che la pavimentazione è verificata nell'ambito della normale manutenzione ordinaria che prevede anche il rifacimento dello strato di usura con cadenza periodica di 8 anni o più ampia sulla base dell'effettivo stato del materiale che dovrà essere costantemente sottoposto a indagine visiva.

<p style="text-align: center;">ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p style="text-align: center;">PROGETTO DEFINITIVO</p> <p style="text-align: center;">P00PS00TRARE02A</p> <p style="text-align: center;"><i>Relazione di calcolo della sovrastruttura</i></p>	<p>File: P00PS00TRARE02A.doc</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 25 di 25</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------

5 CONCLUSIONI

Considerando un periodo di analisi di 20 anni, le pavimentazioni risultano ampiamente verificate per quanto riguarda le fessurazioni longitudinali e la regolarità superficiale.