

# COMUNE DI OSIMO

PROVINCIA DI ANCONA

## COLLEGAMENTO VIARIO TRA VIA MONTEFANESE E SS361 - PONTE SUL FIUME MUSONE VARIANTE NORD PADIGLIONE I° STRALCIO

PROGETTO ESECUTIVO



Tavola:

**25**

Oggetto:

**DIMENSIONAMENTO STRUTTURALE  
DELLA PAVIMENTAZIONE STRADALE**

Scala:

Data:

AGOSTO 2017

PROGETTISTA  
Dott. Ing. Marcello Sasso

COORDINATORE PER LA SICUREZZA  
IN FASE DI ESECUZIONE  
Geom. Gino Cola

Per il Comune:

Il Responsabile del  
Procedimento

**COMUNE DI OSIMO**

**DIMENSIONAMENTO STRUTTURALE  
DELLA PAVIMENTAZIONE**

## ***Indice***

1. Introduzione.....	3
2. Il progetto delle sovrastrutture stradali flessibili .....	4
3. Il dimensionamento sovrastrutturale con metodo razionale .....	5
4. Pavimentazione di Progetto .....	7
5. Il software SPDM 3.0 .....	8
6. Indagine di traffico .....	13
7. Parametri di calcolo assunti.....	14
8. Analisi dei risultati .....	16
9. Conclusioni.....	19

## **1. Introduzione**

Il calcolo della pavimentazione della strada di bordo è stato eseguito con metodo razionale mediante l'impiego del software BISAR sviluppato dalla Shell Research, noto e ampiamente utilizzato in Italia.

La sovrastruttura ipotizzata prevede, oltre agli strati di conglomerato bituminoso per complessivi 15 cm, uno strato di fondazione molto ridotto (10 cm) potendo contare su sottofondi di elevata portanza ottenuti sia in rilevato, sia in trincea, con la tecnica della stabilizzazione a calce. Come è noto il trattamento delle argille con calce consente di raggiungere facilmente valori del modulo di deformazione  $M_d$  superiori a  $75\text{N/mm}^2$ , valori normalmente previsti per gli strati di fondazione.

I carichi di traffico sono stati ipotizzati facendo riferimento ai flussi rilevati su via Montefanese in un generico giorno feriale del mese di gennaio 2007.

Una quota di questo traffico, quello destinato al centro di Osimo, resterà sul tratto urbano della ex SS361 anche dopo la realizzazione (completa) della strada di bordo. Per tenere conto degli incrementi futuri dei flussi di traffico si è ritenuto di assumere comunque per la nuova strada il TGM rilevato su via Montefanese.

Sulla base delle verifiche a fatica riportate nell'elaborato di calcolo, sulla base delle condizioni climatiche della zona di intervento e delle caratteristiche meccaniche dei materiali, la pavimentazione di progetto risulta avere una vita utile di 20 anni .

## ***2. Il progetto delle sovrastrutture stradali flessibili***

Le pavimentazioni stradali svolgono la funzione di ripartire sul terreno i carichi trasmessi dai veicoli, in particolare da quelli pesanti.

In linea di principio il metodo di progetto di una pavimentazione stradale non differisce sostanzialmente da quello di una qualsiasi altra struttura dell'ingegneria civile: note le caratteristiche meccaniche dei materiali da impiegare ed i carichi trasmessi dai veicoli, la sovrastruttura deve garantire un certo livello di integrità entro la così detta vita utile.

In pratica però la grande variabilità dei materiali che possono essere impiegati, la difficoltà di definire compiutamente il danno subito e i livelli di carico, rendono il problema estremamente complesso.

Due sono i punti fondamentali che distinguono il progetto di una pavimentazione stradale da quello di una qualsiasi altra struttura civile:

1. la difficoltà di individuare la natura e le caratteristiche intrinseche dei materiali impiegati, estremamente variabili con le condizioni climatiche e con la modalità di applicazione dei carichi;
2. il trascurare gli effetti prodotti dal peso proprio, in quanto la loro incidenza sullo stato tenso-deformativo è minimo rispetto a quella dei carichi accidentali (veicoli) e delle condizioni ambientali (temperatura ed umidità);

Le moderne tecniche numeriche, basate sull'applicazione della teoria degli elementi finiti, consentono di ricostruire al calcolatore un modello teorico della pavimentazione, costituita dalla sovrapposizione di differenti strati di conglomerato bituminoso, approssimando in modo più fedele possibile il suo comportamento reale. Tale algoritmo rientra tra i "metodi razionali" per il calcolo delle pavimentazioni flessibili che negli ultimi anni hanno sostituito i "metodi empirici" basati invece sull'osservazione diretta di tronchi stradali sperimentali.

I metodi fondati su una valutazione "razionale", cioè "per via di calcolo", si basano sullo studio del comportamento tenso-deformativo dei vari strati della pavimentazione attraverso cui si procede:

1. alla verifica del danno da fatica accumulato nei vari strati durante la vita utile della pavimentazione (legge di Miner);
2. alla verifica della profondità delle ormaie prodotte al termine della vita utile, le quali non devono superare il limite di tollerabilità per la funzionalità e la sicurezza del piano viabile.

Si comprende, quindi, che è inevitabile associare ad ogni pavimentazione stradale, sottoposta ad un certo traffico, il concetto di vita utile, cioè di quel periodo di tempo al di là del quale la degradazione da essa subita ne rende necessario il rifacimento.

Si evidenzia che la vita utile della pavimentazione non esclude la necessità di interventi manutentivi non strutturali relativi al ripristino delle condizioni superficiali di regolarità ed aderenza.

### **3. Il dimensionamento sovrastrutturale con metodo razionale**

Il processo progettuale per il dimensionamento strutturale di una pavimentazione stradale si basa principalmente su cinque passaggi:

- la definizione preliminare degli spessori di ogni singolo strato;
- la scelta dei materiali di impiego;
- la conoscenza dei dati di traffico e delle condizioni climatiche di esercizio;
- il calcolo delle tensioni indotte dall'applicazione dei carichi;
- l'applicazione degli appropriati criteri di verifica.

In particolare la durata di una pavimentazione viene correlata al numero massimo di passaggi dell'asse standard che è in grado di sopportare prima di raggiungere il collasso strutturale.

Nota pertanto la classe di traffico assunta come riferimento, si determinerà il relativo stato tenso-deformativo indotto risolvendo la sovrastruttura tramite modelli di calcolo. Il massimo valore della deformazione orizzontale di trazione alla base degli strati legati sarà quindi utilizzato come dato di input per determinare, dalle curve di fatica, il numero massimo di cicli sopportabili dalla pavimentazione.

Sperimentalmente è stato dimostrato che tale operazione risulta cautelativa in quanto le curve di fatica determinate in laboratorio, o gli eventuali fattori di traslazione laboratorio-sito, sottovalutano il fenomeno del recupero (autoriparazione).

Tenuto conto che le proprietà meccaniche dei conglomerati bituminosi si modificano sensibilmente al variare della temperatura, tale operazione deve essere ripetuta per ciascun periodo dell'anno (stagione, mese, ecc.) a cui si associa una stessa temperatura media dell'aria.

In particolare, sulla base delle temperature medie mensili dell'aria ricavate dalla stazione meteo più vicina alla zona interessata dal progetto, si può risalire alla temperatura del conglomerato bituminoso...

La legge di Miner può essere enunciata nel modo seguente:

“Se  $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_k$  sono le ampiezze delle deformazioni corrispondenti rispettivamente ad  $n_1, n_2, \dots, n_k$  cicli di carico applicati ad un materiale senza alcun ordine particolare, si produce la rottura per fatica quando la seguente disequazione è verificata con il segno di uguaglianza:

$$\sum_{i=1}^k \frac{n_i}{N_i} \leq 1$$

dove  $N_i$  è il numero di cicli di deformazione che porterebbe a rottura il materiale qualora l'ampiezza di deformazione fosse mantenuta costante pari a  $\varepsilon_i$ .

Supposto di aver risolto la struttura per un numero di periodi dell'anno pari a  $k$  determinando altrettante coppie di valori  $(\varepsilon_i, N_i)$ , l'equazione che consentirà di determinare il numero  $N_x$  di passaggi dell'asse standard che porta al collasso per fatica la pavimentazione sarà la seguente:

$$\sum_{i=1}^k \frac{\left( \frac{N_x}{k} \right)}{N_i} = 1$$

Una volta individuato il numero totale  $N_x$  dei passaggi riferiti all'asse standard che la pavimentazione può sopportare, la determinazione della vita utile espressa in anni è calcolata dividendo tale valore  $N_x$  per la popolazione dei veicoli annui in assi standard equivalenti.

Nel caso si decida di suddividere l'anno in quattro periodi corrispondenti alle quattro stagioni, la determinazione del numero massimo di passaggi dell'asse standard assume la seguente espressione:

$$N_{tot} = \frac{4N_{tot1} \cdot N_{tot2} \cdot N_{tot3} \cdot N_{tot4}}{N_{tot2}N_{tot3}N_{tot4} + N_{tot1}N_{tot3}N_{tot4} + N_{tot1}N_{tot2}N_{tot4} + N_{tot1}N_{tot2}N_{tot3}}$$

Oltre alla fatica, un altro principale dissesto delle pavimentazioni flessibili è la formazione di ormaie ovvero l'accumulo di deformazioni vico-plastiche lungo le traiettorie percorse dai veicoli con manifestazione quindi di depressione longitudinali canalizzate.

Tale dissesto, una volta verificata la portanza degli strati di fondazione e sottofondo, è dovuto alla riduzione di volume di vuoti nel conglomerato bituminoso nei primi periodi di apertura al traffico e a scorrimenti trasversali dovuti a tensioni tangenziali.

Le ormaie quindi provocano disagio rendendo irregolare la pavimentazione e accumulando acqua nei periodi di pioggia riducendo l'aderenza nella zona interessata fino a generare il fenomeno dell'acquaplaning.

In generale si può affermare che la deformazione permanente totale dello strato viene calcolata dalla somma di tutti i contributi dei singoli strati lungo la verticale di applicazione del carico.

La verifica ad ormaimento per strade ordinarie risulta soddisfatta se alla fine della vita utile l'accumulo di deformazioni permanenti risulta inferiore ai 20 mm.

#### **4. Pavimentazione di Progetto**

Sulla base di esperienze consolidate, con particolare riferimento ai sottofondi stabilizzati a calce, è stata ipotizzata una sovrastruttura (fig. 6.1) composta da :

- 3 cm di tappeto di usura normale chiuso
- 4 cm di conglomerato bituminoso binder
- 8 cm di conglomerato bituminoso base
- 10 cm di strato in misto cementato

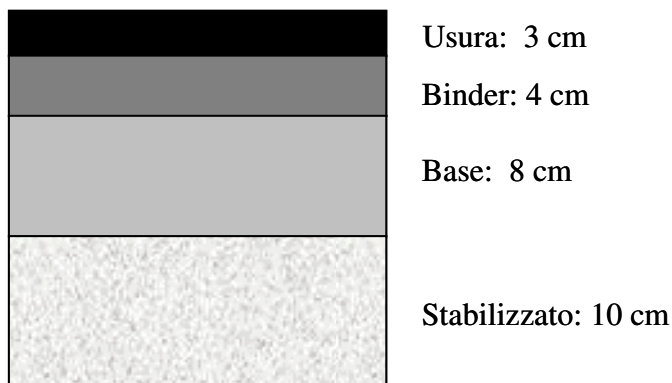


Fig. 6.1 Pavimentazione di progetto

Ai fini del calcolo, è stata pertanto assunta come pavimentazione di progetto la sovrastruttura di riferimento costituita da 15 cm di conglomerato bituminoso e 10 cm di misto granulare stabilizzato su sottofondo costituito da argilla stabilizzata a calce.



## **5. Il software SPDM 3.0**

Il software SPDM 3.0, facente parte del pacchetto Shell Pavement Design Method, contiene moduli per il calcolo degli spessori di una sovrastruttura stradale, per la verifica all'ormaiamento e per il progetto della ripavimentazione di strutture preesistenti.

Tale programma, avendo incluso come subroutine il BISAR per il calcolo tenso-deformativo, suppone come ipotesi di base che il sistema di riferimento sia formato da piani orizzontali di spessore uniforme, infinitamente estesi in direzione orizzontale, composti da materiali isotropi, linearmente elastici ed omogenei. L'unica eccezione è lo stato di sottofondo che è considerato un semi-spazio infinitamente profondo. Quindi tramite l'implementazione di calcolo analitico delle sollecitazioni nei punti critici con le leggi di verifica tarate empiricamente, il software SPDM consente il progetto della sovrastruttura raggiungendo la soluzione tramite processo iterativo.

Questo software caratterizza i piani della pavimentazione tramite lo spessore dello strato stesso, i valori di modulo di Young, del coefficiente di Poisson e includendo inoltre l'effetto della temperatura e della densità di traffico.

Il modulo per la progettazione degli spessori denominato appunto "thickness" si basa su 5 principali menù di input:

1. nella sezione clima vanno inseriti i valori delle temperature media mensili dell'aria ricavate dalla più vicina stazione meteo al sito di realizzazione dell'opera (fig.5.1). Il metodo suggerito dalla Shell definisce la temperatura media annuale nei punti critici della sovrastruttura sulla base di una temperatura pesata dell'aria ovvero il w-MAAT (weighted Mean Annual Air Temperature) che tiene conto della maggiore influenza delle alte temperature;
2. la sezione traffico consente l'analisi e calcolo del traffico totale che dovrà sostenere la pavimentazione durante la propria vita utile inserendo il numero di passaggi dell'asse standard giornaliero per corsia, il numero di giorni all'anno di traffico commerciale, il tasso di incremento di traffico medio annuale e gli anni di vita utile richiesti da progetto (fig. 5.2).
3. nella sezione dedicata agli strati portanti di fondazione e di sottofondo vengono immesse le caratterizzazione meccaniche e geometriche di tali strati tramite i valori di modulo di elasticità, dei coefficienti di Poisson e degli spessori (fig. 5.3). Inoltre nella stessa sezione vengono definiti i parametri della legge su cui si basa il criterio di crisi degli strati portanti stessi.
4. nella sezione sulla composizione della miscela bituminosa si introducono le percentuali volumetriche di bitume e degli aggregati. Nella stessa sezione è possibile fissare i parametri che caratterizzano la legge di fatica e quindi le prestazioni degli strati legati (fig. 5.4).
5. nell'ultima sezione vengono infine stabiliti il valore del modulo di elasticità, il coefficiente di Poisson e lo spessore di prima iterazione del conglomerato bituminoso (fig. 5.5). Da notare che il modulo di elasticità del conglomerato

bituminoso, se noto, può essere direttamente inserito oppure, può essere derivato tramite un sottoapplicativo che, basato sul nomogramma di Van der Poel e sul SMIX nomograph, restituisce il modulo di elasticità della miscela bituminosa dalla composizione della miscela stessa e delle caratteristiche del bitume che la compone.

Quando tutti questi dati sono stati inseriti, il programma è pronto per iniziare le iterazioni fino al raggiungimento della soluzione ottima che sarà proprio lo spessore di progetto della pavimentazione.

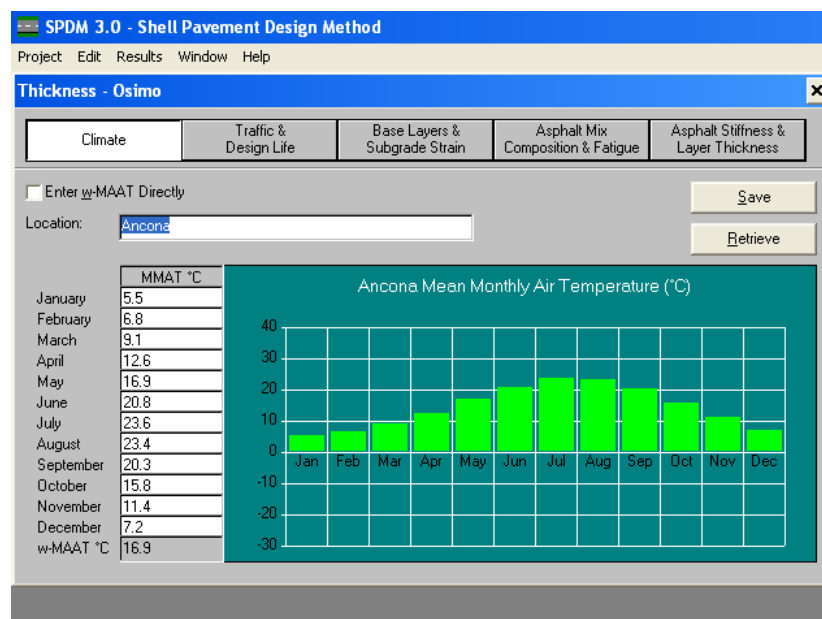


Fig. 5.1 – Sezione temperature medie mensili.

The screenshot shows the 'Thickness - Osimo' window in the SPDM 3.0 software, with the 'Traffic & Design Life' tab selected. It displays various input fields for traffic parameters and their calculated values.

Parameter	Value
Equivalent Number of Standard Axles per Lane per Day	703
Number of Days with Traffic per Year	261
Rate of Traffic Growth per Year (%)	2.0
Design Period of Pavement (in years)	20
Equivalent Number of Standard Axles per Lane for Design Period	4.5473E+06
Lateral Distribution Factor for the Traffic in the Lane	2.0
Healing Factor for the Pavement under Traffic Conditions	5.0

Fig. 5.2 – Sezione traffico.

**SPDM 3.0 - Shell Pavement Design Method**

Project Edit Results Window Help

**Thickness - Osimo**

Climate Traffic & Design Life **Base Layers & Subgrade Strain** Asphalt Mix Composition & Fatigue Asphalt Stiffness & Layer Thickness

Sub-base Modulus Options:

- ☒ Enter sub-base modulus
- ☐ Calculate at 50% confidence level
- ☐ Calculate at 85% confidence level
- ☐ Calculate at 95% confidence level

Description:

Save Retrieve

	Thickness (m)	Modulus of Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio
Sub-base:	<input type="text" value="0.100"/>	<input type="text" value="200.00"/>	<input type="text" value="0.32"/>
Subgrade:	<input type="text" value="infinite"/>	<input type="text" value="150.00"/>	<input type="text" value="0.40"/>

Permissible Subgrade Strain Criterion:

- ☒ Use specific criterion
- ☐ Default criterion at 50% confidence level
- ☐ Default criterion at 85% confidence level
- ☐ Default criterion at 95% confidence level

$$N_{sub} = I \cdot \epsilon_{\mu}^m$$

Description:  m:   $10^{\log I}$ :

Save Retrieve

Fig. 5.3 – Sezione caratteristiche dello strato di fondazione e sottofondo.

**SPDM 3.0 - Shell Pavement Design Method**

Project Edit Results Window Help

**Thickness - Osimo**

Climate Traffic & Design Life Base Layers & Subgrade Strain **Asphalt Mix Composition & Fatigue** Asphalt Stiffness & Layer Thickness

Asphalt Mix Calculation Options:

- ☒ Enter bitumen and voids content
- ☐ Enter aggregate and voids content
- ☐ Enter bitumen and aggregate content

Save Retrieve

Name of Asphalt Mix	Volume % of Bitumen	Volume % of Aggregate	Volume % of Voids
<input type="text" value="Conglomerato bituminoso"/>	<input type="text" value="12.00"/>	<input type="text" value="83.00"/>	<input type="text" value="5.00"/>

Asphalt Fatigue Options:

- ☒ Use own fatigue characteristics
- ☐ Use standard fatigue nomograph

$$N_{fat} = k \cdot \epsilon_{\mu}^n$$

Description:  n:   $10^{\log k}$ :

Save Retrieve

Fig. 5.4 – Sezione composizione e prestazione a fatica del congl. bituminoso

Fig. 5.5 – Sezione caratteristiche del conglomerato bituminoso e inizio iterazioni di calcolo dello spessore

Come già detto nei capitoli precedenti, dopo la progettazione e la valutazione a fatica è necessario verificare la stessa pavimentazione ad ormaiamento.

Il modulo per la verifica all'ormaiamento, denominato appunto “rutting”, si basa su 6 principali menù di input tra cui quello relativo al clima (fig. 5.1) e al traffico (fig. 5.2) del tutto simili a quelli presentati precedentemente.

Nei successivi menù invece vanno indicate la caratteristiche della struttura (spessori, coefficiente di Poisson e moduli elastici degli strati) come indicato di fig 5.6, mentre, nei rimanenti 3 menù vanno indicate rispettivamente le caratteristiche dello strato di usura (fig. 5.7), binder e base considerando non solo la composizione percentuale volumetrica delle miscele bituminose ma anche le specifiche caratteristiche del tipo di legante impiegato (penetrazione, temperatura di rammollimento e parametri di creep).

**SPDM 3.0 - Shell Pavement Design Method**

Project Edit Copy From Results Window Help

**Rutting - Osimo**

Climate Traffic & Design Life Structure 1st Asphalt Sub-layer 2nd Asphalt Sub-layer 3rd Asphalt Sub-layer

Asphalt

Total Thickness of Asphalt Layers (m): 0.150

Poisson's Ratio of Asphalt Layers: 0.35

Sub-base Modulus Options:

- ☒ Enter sub-base modulus
- ☐ Calculate at 50% confidence level
- ☐ Calculate at 85% confidence level
- ☐ Calculate at 95% confidence level

Base Layers

Description: Fondazione e sottofondo

Save Retrieve

	Thickness (m)	Modulus of Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio
Sub-base:	0.100	200.00	0.32
Subgrade:	infinite	100.00	0.40

Fig. 5.6 – Sezione determinazione della sovrastruttura.

**SPDM 3.0 - Shell Pavement Design Method**

Project Edit Copy From Results Window Help

**Rutting - Osimo**

Climate Traffic & Design Life Structure 1st Asphalt Sub-layer 2nd Asphalt Sub-layer 3rd Asphalt Sub-layer

☐ Viscosity Input for Modified Binders?

Bitumen Name: Hardened 100 Per Pen. @ 25°C (0.1mm): 60.0 Softening Point (°C): 53.0 Save Retrieve

Mix Composition Name: Example Asphalt Mix Data Vol. % Bitumen: 12.0 Vol. % Aggregate: 83.0 Save Retrieve

Creep Characteristics: Typical Standard Bitumen Q: 0.400 B (MPa): 0.85 Save Retrieve

Fig. 5.7 – Sezione definizione specifica dello strato di usura.

## 6. Indagine di traffico

I carichi di traffico sono stati ipotizzati facendo riferimento ai flussi direttamente rilevati su via Montefanese in un generico giorno feriale del mese di gennaio 2007.

Il volume complessivo di traffico rilevato nelle 14 ore diurne comprese tra le ore 7,00 e le 21,00 è risultato di circa 3.000 veicoli con una incidenza del traffico pesante compresa tra il 15 ed il 20%. Per estendere il dato di traffico alle 24 ore è stato incrementato del 10% (3.300 veicoli/giorno) assumendo come quota di traffico pesante il 20% (660 veicoli pesanti/giorno).

Con la realizzazione della strada di bordo, anche quando sarà completa, il flusso di veicoli che attualmente transita su via Montefanese non si trasferirà tutto sulla nuova strada; quello destinato al centro di Osimo resterà su via Montefanese.

Per tenere conto degli incrementi futuri dei flussi di traffico sia di ordine generale (aumento della mobilità) che di tipo locale, legati allo sviluppo urbanistico della città, si è ritenuto opportuno assumere per la nuova strada il TGM rilevato su via Montefanese.

Sulla base dello spettro di traffico commerciale che normalmente caratterizza una strada di tipo C, si sono ricavati i relativi fattori di equivalenza riferiti all'asse standard come riportato in tabella 6.1.

Strada Tipo C - spettro di traffico								
Categoria veicoli	%	carico per asse					Coef.equiv.	C.E.
Autocarri leggeri	13.10	15	30	-	-	-	0.0328	0.00
Autocarri medi	39.50	40	80	-	-	-	1	0.40
Autocarri pesanti a 2 assi	10.50	50	110	-	-	-	3.29	0.35
Autocarri pesanti a 3 assi	7.90	40	80	80	-	-	1.92	0.15
Autocarri pesanti a 3 assi	2.60	60	100	100	-	-	4.66	0.12
Autotreni e articolati a 4 assi	2.60	40	90	80	80	-	3.36	0.09
Autotreni e articolati a 4 assi	2.50	60	100	100	100	-	6.83	0.17
Autotreni e articolati a 5 assi	2.60	40	80	80	80	80	3.76	0.10
Autotreni e articolati a 5 assi	2.50	60	90	90	100	100	7.54	0.19
Autotreni a 5 assi con maxiruote	2.60	40	100	80	80	80	5.01	0.13
Autotreni a 5 assi con maxiruote	2.60	60	110	90	90	90	7.76	0.20
Mezzi d'opera	0.50	50	120	130	130	130	24.55	0.12
Autobus extraurbani	10.50	50	80	-	-	-	1.09	0.11
SOMMA PERCENTUALE	100.00						TOT. C.E.	2.13

Tab. 6.1: Spettro di traffico per strada di tipo C e coefficiente di equivalenza.

Il numero di assi standard giorno  $N$  transitanti sulla corsia più sollecitata, è stato ricavato secondo la seguente formula:

$$N = T \cdot v_p \cdot F \cdot C.E. = 3.300 \cdot 0,2 \cdot 0,5 \cdot 2,13 = 703$$

dove  $T$  rappresenta il traffico medio giornaliero di veicoli,  $v_p$  la percentuale di traffico commerciale (stimata del 20%),  $F$  il coefficiente di ripartizione nella corsia più transitata calcolato pari a 0,5 sulla base delle indicazioni fornite dal catalogo delle pavimentazioni stradali redatto dal C.N.R. e  $C.E.$  il coefficiente di equivalenza che esprime il numero medio di assi standard per veicolo commerciale.

## 7. Parametri di calcolo assunti

Come già menzionato precedentemente, il conglomerato bituminoso è un materiale estremamente sensibile alla temperatura, perciò è stato necessario ricavare le temperature medie mensili della zona in questione in modo da poter procedere con lo studio utilizzando le effettive caratteristiche del materiale relativamente alle temperature d'esercizio.

Dalla vicina stazione meteo di Ancona sono state ricavate le temperature medie mensili mostrate in tabella 7.1 e appositamente inserite nelle relative sezioni (fig. 5.1) sia per il calcolo e verifica degli spessori di progetto che per la verifica ad ormaiamento.

Mese	Temperatura media [°C]
Gennaio	5.5
Febbraio	6.8
Marzo	9.1
Aprile	12.6
Maggio	16.9
Giugno	20.8
Luglio	23.6
Agosto	23.4
Settembre	20.3
Ottobre	15.8
Novembre	11.4
Dicembre	7.2

Tab. 7.1 – Temperature medie mensili dell'aria fornite dalla stazione meteo di Ancona

Sulla base delle temperature a cui dovrà svolgere la propria funzione il conglomerato bituminoso e della sua composizione (12% in volume di bitume, dal 83% in volume di aggregati e dal restante 5% di vuoti), nel processo di calcolo sono stati utilizzati i valori di modulo elastico e coefficiente di Poisson indicati nella tabella 7.2.

Nella stessa tabella sono anche riportati i valori caratteristici per lo strato di fondazione e di sottofondo. In questo caso per caratterizzare le proprietà meccaniche di tali strati si è fatto riferimento alla ben nota relazione empirica che consente di esprimere il valore del modulo dinamico in funzione del parametro  $M_d$  (determinato in sito mediante prova di carico su piastra):

$$E_d = 2 \cdot M_d \quad [MPa]$$

Nonostante gli indici  $M_d$  siano determinati mediante prove convenzionali statiche mentre il modulo dinamico  $E_d$  risulta associato a piccoli spostamenti generati da ripetuti carichi impulsivi, esiste una notevole mole di applicazioni pratiche che dimostrano l'affidabilità della relazione empirica introdotta.

Pertanto, a seguito di prove su piastra sulla superficie di sottofondo e fondazione, e alla relazione sopraccitata, per gli stati portanti sono stati adottati i valori di modulo elastico e coefficiente di Poisson riportati in tabella 7.2.

Parametri di progetto	Modulo elastico [Mpa]	Coef. Poisson
Conglomerato bituminoso	6800	0.35
Misto cementato	200	0.32
Sottofondo	150	0.40

Tab. 7.2 – Principali caratteristiche dei materiali impiegati



## 8. Analisi dei risultati

Sulla base dell'indagine di traffico effettuata (703 passaggi di asse standard per giorno), delle condizioni climatiche della zona interessata dal progetto (tab. 7.1) e delle caratteristiche meccaniche (tab. 7.2) e geometriche degli stati (fig. 6.1) entrambe le verifiche, a fatica e ad ormaiamento, sono state soddisfatte.

Infatti, gli spessori di progetto risultano idonei a sopportare i carichi di traffico previsti in quanto garantiscono una vita utile a fatica di 20 anni ed inoltre, durante questo periodo, l'accumulo di deformazioni permanenti risulta essere di 17,9 mm e quindi minore dei 20 mm stabiliti nel criterio di verifica.

Di seguito sono riportati gli elaborati di calcolo. In particolare, le figure 8.1, 8.2 mostrano rispettivamente il processo iterativo e il dimensionamento finale della sovrastruttura con riguardo alla verifica a fatica, mentre figura 8.3 riporta la verifica ad ormaiamento.


<div>  <b>SPDM 3.0 - Thickness Design Iteration Report</b> </div> <div>Osimo</div>									
Asphalt Thickness designed at 0.150 m (Determined by the Asphalt Strain Criterion)									
Case	Thickness (m)	Strain ( $\mu\text{m/m}$ )				Life (x 1 million), 80 kN s.a.			
		Asphalt Under a wheel	Between wheels	Subgrade Under a wheel	Between wheels	Asphalt Under a wheel	Between wheels	Subgrade Under a wheel	Between wheels
1.00	0.200	77.58	80.54	-178.60	-189.40	24.05	20.54	40.28	31.94
2.00	0.250	56.20	59.16	-129.80	-137.90	93.46	75.29	142.09	111.87
3.00	0.142	121.00	122.20	-281.50	-296.90	3.70	3.55	6.68	5.41
4.00	0.151	112.30	114.00	-260.30	-274.90	5.07	4.76	9.10	7.33
5.00	0.150	113.20	114.90	-262.50	-277.20	4.90	4.60	8.80	7.10
<b>Design:</b>		115.23	115.23	-310.25	-310.25	4.55	4.55	4.55	4.55

Fig. 8.1 – Iterazioni di calcolo per la definizione dello spessore degli strati legati a bitume.



## SPDM 3.0 - Thickness Design Report

Osimo

Asphalt Thickness designed at 0.150 m  
(Determined by the Asphalt Strain Criterion)

Climate											
Location:		Ancona									
w-MAAT (°C):		16.9									
Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
5.5	6.8	9.1	12.6	16.9	20.8	23.6	23.4	20.3	15.8	11.4	7.2
Base Layers & Subgrade Strain											
Description:		Fondazione e sottofondo									
Layer	Thickness (m)	Modulus of Elasticity (MPa)		Poisson's Ratio							
Sub-base	0.100	200.00		0.32							
Subgrade	infinite	150.00		0.40							
Traffic & Design Life											
80kN Standard Axles per Day per Lane:		703									
Rate of Traffic Growth per Year (%):		2.0									
Number of Days with Traffic per Year:		261									
Design Period (Years):		20									
Design Life:		4.55E+06									
Lateral Distribution Factor:		2.0									
Healing Factor:		5.0									
Asphalt Mix Composition & Fatigue											
Name of Asphalt Mix		% Bitumen		% Aggregate		% Voids					
Conglomerato bituminoso		12.00		83.00		5.00					
Description		Slope		Intercept							
Example own measurements		-4.21		14.337							
Asphalt Stiffness & Layer Thickness											
Layer	Thickness (m)	Mix Stiffness (MPa)		Poisson's Ratio							
Asphalt Layer	0.150	6800.0		0.35							
Asphalt Layer Temperature (°C):						24.9					
Loading Time in Seconds (for Reference):						0.02					

Fig. 9.2 – Elaborati di progetto e verifica a fatica della sovrastruttura.



## SPDM 3.0 - Rutting Report

Osimo

<b>Climate</b> Location: Ancona MAAT-eff (°C): 19.4		<b>Total Estimated Permanent Deformation Asphalt Layer: 17.9 mm</b>											
<b>Traffic &amp; Design Life</b> Spectrum:		Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
		5.5	6.8	9.1	12.6	16.9	20.8	23.6	23.4	20.3	15.8	11.4	7.2
		<b>Axle Load (kN)</b> 80											
		<b>Wheels per Axle</b> 4											
		<b>Axles per Day and Lane</b> 703											
		<b>Contact Stress (kPa)</b> 600											
		<b>Number of Days with Traffic per Year</b> 261											
		<b>Rate of Traffic Growth per Year (%)</b> 2.0											
		<b>Design Period of Pavement (years)</b> 20											
		<b>Loading Time (s)</b> 0.020											
<b>Structure</b> Base Layers Description: Fondazione e sottofondo		<b>Base Layers Description: Fondazione e sottofondo</b>											
		<b>Thickness (m)</b> 0.150											
		<b>Modulus of Elasticity (MPa)</b> 200.00											
		<b>Poisson's Ratio</b> 0.35											
		<b>Sub-base</b> 0.100											
		<b>Subgrade</b> infinite											
		<b>Subgrade</b> 100.00											
		<b>Subgrade</b> 0.40											

<b>Rut Estimation Process</b>			
Description	1st Sub-layer	2nd Sub-layer	3rd Sub-layer
Thickness (mm):	40	40	70
<b>Bitumen Details</b>			
Name:			
Penetration Index:	0.0	0.0	0.0
Penetration at 25 °C (0.1mm):	60.0	60.0	60.0
Softening Point (°C):	53.0	53.0	53.0
<b>Mix Composition</b>			
Name:	sample Asphalt Mix Data: sample Asphalt Mix Data: sample Asphalt Mix Data		
Volume Percentage Bitumen (%v):	12.0	12.0	12.0
Volume Percentage Aggregate (%v):	83.0	83.0	83.0
<b>Creep Characteristics</b>			
Name:	typical Standard Bitumen		
Q:	0.400	0.400	0.400
B (MPa):	0.850	0.850	0.850
<b>Intermediate Results</b>			
Effective Layer Temperature (°C):	29.7	27.0	25.3
Effective Binder Viscosity (Pa.s):	2.23E+05	4.19E+05	6.39E+05
Wheel Load Conversion Factor:	1.20E+00	1.14E+00	1.06E+00
Effective Wheel Loads (x1000):	5.45E+03	5.17E+03	4.80E+03
S-bit, viscous (Pa):	6.12E+00	1.22E+01	2.00E+01
S-mix, viscous (MPa):	1.75E+00	2.31E+00	2.81E+00
S-mix, dynamic (MPa):	1.08E+03	1.45E+03	1.73E+03
Z-factors:	0.32	0.48	0.62
Rut Contribution (mm):	4.1	4.8	9.0

Fig. 9.3 – Elaborati di verifica ad ormaiamento della sovrastruttura.

## 9. Conclusioni

Sulla base del modello di calcolo adottato, considerate le condizioni ambientali (temperatura) e le caratteristiche meccaniche dei materiali ipotizzati, la pavimentazione di progetto composta da:

Strato	Materiale	Spessore [cm]
Usura	Conglomerato bituminoso	3
Binder	Conglomerato bituminoso	4
Base	Conglomerato bituminoso	8
Fondazione	Stabilizzato	10
TOTALE:		25

Tab. 9.1 – Sovrastruttura di progetto.

risulta idonea a sopportare il carico di traffico stimato per i prossimi venti anni.

Si evidenzia che questo non esclude la necessità di interventi manutentivi non strutturali relativi al ripristino delle condizioni superficiali di regolarità ed aderenza (rifacimento del manto di usura) due tre volte prima di raggiungere il termine di vita utile.