**ELABORATO N° C.6**

PROVINCIA DI BOLOGNA

**SETTORE LAVORI PUBBLICI**
**SERVIZIO PROGETTAZIONE E COSTRUZIONI STRADALI**

## S.P. n° 569 "DI VIGNOLA"

**COMPLETAMENTO DELLA VARIANTE GENERALE ALLA S.P. N° 569 E REALIZZAZIONE DELLE VARIANTI ALLA S.P. N° 27 "VALLE DEL SAMOGGIA" E ALLA S.P. N° 78 "CASTELFRANCO - MONTEVEGLIO" NEI COMUNI DI BAZZANO E CRESPELLANO.**

# PROGETTO ESECUTIVO

# RELAZIONE DI CALCOLO PACCHETTI STRADALI


**PROGETTAZIONE GENERALE**

Geom. Emanuele Tracchi

P.i.E. Stefano Romagnoli

Geom. Federico Vannucchi

Dott. Ing. Chiara Ferrari

**PROGETTISTA**
Dott. Ing. Marco Ferrarini

**IL DIRIGENTE DEL SERVIZIO**
**Responsabile Unico del Procedimento**
(Dott. Ing. Pietro Luminasi)


Bologna, lì 02 Aprile 2014

# Indice generale

1.PREMESSA....4
2. TIPOLOGIE PACCHETTI STRADALI E DATI ....4
3. VERIFICHE PACCHETTI STRADALI ....5
3.1 ASSE PRINCIPALE NUOVA SP 569 “BAZZANESE”....5
3.1.1 Structural Number “SN”....5
3.1.2 Affidabilità ed indice“PSI”....5
3.1.3 Traffico commerciale “TN”....6
3.1.4 Traffico equivalente “N8,2 ton”....6
3.1.5 Traffico sopportabile equivalente “W8,2 ton”....7
3.1.6 Risultati confronto Traffico sopportabile equivalente “W8,2 ton” e Traffico equivalente “N8,2 ton” ....8
3.2 RAMPE DI SVINCOLO S.P. 569 BAZZANESE E PROVINCIALI S.P. 27 ED S.P. 78 9
3.2.1 Structural Number “SN”....9
3.2.2 Affidabilità ed indice“PSI”....9
3.2.3 Traffico commerciale “TN”....10
3.2.4 Traffico equivalente “N8,2 ton”....10
3.2.5 Traffico sopportabile equivalente “W8,2 ton”....11
3.2.6 Risultati confronto Traffico sopportabile equivalente “W8,2 ton” e Traffico equivalente “N8,2 ton” ....12
3.3 STRADE COMUNALI....13
3.3.1 Structural Number “SN”....13
3.3.2 Affidabilità ed indice“PSI”....13
3.3.3 Traffico commerciale “TN”....13
3.3.4 Traffico equivalente “N8,2 ton”....14
3.3.5 Traffico sopportabile equivalente “W8,2 ton”....15
3.3.6 Risultati confronto Traffico sopportabile equivalente “W8,2 ton” e Traffico equivalente “N8,2 ton” ....16
3.4 STRADE VICINALI....17
3.4.1 Structural Number “SN”....17
3.4.2 Affidabilità ed indice“PSI”....17
3.4.3 Traffico commerciale “TN”....17
3.4.4 Traffico equivalente “N8,2 ton”....18
3.4.5 Traffico sopportabile equivalente “W8,2 ton”....19
3.4.6 Risultati confronto Traffico sopportabile equivalente “W8,2 ton” e Traffico equivalente “N8,2 ton” ....20

# 1.PREMESSA

Nella presente relazione si riporta la verifica delle varie tipologie di sovrastruttura (fondazione + pacchetto conglomerato bituminoso) che costituiranno la pavimentazione degli assi stradali che si prevede di realizzare; verifica che viene effettuata sulla base del metodo empiro-teorico riportato nell' "AASHTO GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES" basato sui risultati dell'esperimento AASHTO.

# 2. TIPOLOGIE PACCHETTI STRADALI E DATI

Per tutti gli assi stradali in progetto, si prevede il ricorso ad una pavimentazione di tipo semirigido mediante ricorso a leganti idraulici (cemento) nello strato di fondazione. Nello specifico i "pacchetti" costituenti le sovrastrutture dei vari tratti stradali in rilevato che verranno verificati, sono i seguenti:

- <u>Asse principale Nuova SP 569 Bazzanese:</u>
  - Usura (bitume tal quale) = 3 cm
  - Binder (bitume t.q.) = 5 cm;
  - Base (bitume t.q.) = 10;
  - 1° strato di fondazione in frantumato di cls+cemento = 15 cm;
  - 2° strato di fondazione in A2-4 +cemento = 15 cm;

- <u>Rampe di svincolo SP. 569 Bazzanese e provinciali S.P.27 ed S.P. 78:</u>
  - Usura (bitume tal quale) = 3 cm
  - Binder (bitume t.q.) = 5 cm;
  - Base (bitume t.q.) = 8;
  - 1° strato di fondazione in frantumato di cls+cemento = 15 cm;
  - 2° strato di fondazione in A2-4 +cemento = 15 cm;

- <u>Strade Comunali:</u>
  - Usura (bitume tal quale) = 3 cm
  - Base (bitume t.q.) = 8;
  - Fondazione in frantumato di cls+cemento = 20 cm;

- <u>Strade Vicinali:</u>
  - Usura (bitume tal quale) = 3 cm
  - Base (bitume t.q.) = 8;
  - Fondazione in A2-4 +cemento = 15 cm;

Non si sono riportati i pacchetti dei tratti stradali in scavo poiché per la metodologia di verifica adottata si ottengono fattori di sicurezza superiori a quelli ottenuti si seguito per i tratti stradali in rilevato.

# 3. VERIFICHE PACCHETTI STRADALI

## *3.1 ASSE PRINCIPALE NUOVA SP 569 "BAZZANESE"*

### 3.1.1 Structural Number "SN"

Lo **"structural number"** SN è un parametro che tiene conto della "resistenza strutturale" della pavimentazione e dipende da:

- spessori degli strati $s_i$; (in cm);
- "resistenza" di ciascun strato del pacchetto, espressa attraverso i "coefficienti strutturali di strato" $a_i$ (n° puro);
- sensibilità all'acqua di ogni strato espressa tramite i "coefficienti di drenaggio" mi.

Con riferimento:

- per gli spessori = al pacchetto previsto per l'asse principale della S.P. 569;
- per i coefficienti strutturali di strato "ai"= ai monogrammi dell'AASHTO GUIDE ed a quanto riportato sul testo "Corpo stradale e pavimentazioni" di Paolo Ferrari e Franco Giannini;

ed assegnando, per i coefficienti di drenaggio "mi" i valori:

- mi = 1 per strati legati con bitume;
- mi = 0,98 per gli strati della fondazione legati;

si ottiene il seguente valore "SN"

**STRUCTURAL NUMBER "SN"**

| STRATO | S= spessore strato (cm) | ai | mi | Sni (cm) | |
|---|---|---|---|---|---|
| Usura | 3 | 0,430 | 1 | 1,29 | |
| Binder | 5 | 0,380 | 1 | 1,90 | |
| Base | 10 | 0,280 | 1 | 2,80 | |
| Fondaz. 3 (Misto legato con SCORIE) oppure (Frantumato di calcestruzzo legato a cemento) oppure (Misto stabilizz. Cementato) | 15 | 0,200 | 0,98 | 2,94 | |
| Fondaz. 4 (Terra stabilizz. a cemento) | 15 | 0,200 | 0,98 | 2,94 | |
| | | | | **11,87** | **"SN"** |

### 3.1.2 Affidabilità ed indice"PSI"

Il metodo dell'AASHTO prevede che venga tenuto conto dell'affidabilità delle soluzioni (ossia della loro probabilità di sopravvivenza al termine della vita utile) e dell'indice di funzionalità PSI che assume valori compresi tra 5 (pavimentazioni in ottime condizioni) e 0 (pavimentazione in pessime condizioni).

Per tener conto delle imperfezioni costruttive il $PSI_{iniziale}$ viene assunto pari a 4,2 mentre per il $PSI_{finale}$ si assumono i seguenti valori (si veda Bollettino CNR n. 178 del 1995):

- 2,5 = strade extraurbane principali e secondarie a forte traffico (affidabilità 90%);
- 2,0 = strade di quartiere e locali (affidabilità 90%)

Nello specifico per l'asse principale della S.P. 569 "Bazzanese" si assumono i valori $PSI_{iniziale}$ = 4,2 e $PSI_{finale}$ = 2,5 .

### 3.1.3 Traffico commerciale "$T^N$"

Per il calco del traffico commerciale "$T^N$" relativo all'asse S.P. 569 "Bazzanese" si deve considerare:

- Vita utile = 20 anni (corrispondente al n° di anni durante i quali la pavimentazione deve assicurare condizioni di funzionalità > del $PSI_{finale}$ = 2,5 );
- TGM tot (singola corsia di marcia e quale valor medio giornaliero)= 15.000 vicoli/gg. (valore ottenuto dall'analisi dei rilievi di traffico eseguiti nella postazione 244 negli anni 2009, 2010 e 2011);
- R (tasso d'incremento annuo di traffico) = si ipotizza un tasso del 3,50%;
- po (% veicoli commerciali sulla corsia di marcia) = 10% (calcolata sulla base dei dati di rilievo di traffico eseguiti nella postazione 244 e sopra menzionati)

  Sulla scorta di quanto premesso si ottiene il seguente valore di "$T^N$":

**TRAFFICO COMMERCIALE PREVISTO" $T^N$"**

| | |
|---|---|
| Vita utile "N" | 20 |
| TGM tot (singola corsia di marcia e quale valor medio giornaliero) - (veicoli/gg.) | 15000,00 |
| R(tasso di incremento annuo traffico) - (%) | 3,50 |
| pd (% traffico nel senso di marcia) - (%) | 100,00 |
| pl (% veicoli commerciali sulla corsia di marcia) - (%) | 100,00 |
| po (% veicoli commerciali) - (%) | 10,00 |
| n° giorni (a cui si riferisce il valore del TGM tot) | 365,00 |

| | $n_{vca}$ |
|---|---|
| $n_{vca}$ = TGMtot x po x pl x pd x 365 | 547.500,00 |

| | "$T^N$" |
|---|---|
| **$T^N$= $T^{20}$= nvca((((1+R)^N)-1)/R)** | 15.483.126 |

### 3.1.4 Traffico equivalente "$N_{8,2}$ ton"

Una volta determinato il n° di veicoli commerciali "$T^N$" transitanti sino alla fine della vita utile fissata in N= 20 anni, si calcola, secondo il criterio fissato dalla AASHTO, il traffico convertito in assi standard equivalenti (80 kN = 8,2 ton) tramite la relazione:

$N_{8,2} = T^N \times C_{SN}$

Si riportano di seguito i calcoli relativi alla S.P. 569 "Bazzanese":

**CALCOLO TRAFFICO EQUIVALENTE "$N_{8,2}$ton"**

Spettro di traffico catalogo pavimentazioni CNR

| Tipo di strada | | Tipo di veicoli | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 3 | Strade extraurbana principale e secondaria a forte traffico | 0 | 13,1 | 39,5 | 10,5 | 7,9 | 2,6 | 2,6 | 2,5 | 2,6 | 2,5 | 2,6 | 2,6 | 0,5 | 0 | 0 |

| | |
|---|---|
| TN= T20= nvca((((1+R)^N)-1)/R) | 15.483.126 |

| | |
|---|---|
| SN | 11,87 |

$C_{SN}i = 10^{-Ai}$

| Tipo di veicolo | | n | Pi (kN) | Ti (n° assi di peso Pi) | Bi | B* | G | Ai | $C_{SN}i$ | (n/100) x $C_{SN}i$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Autocarri leggeri | 1) | 0 | 10 | 1 | 0,4004 | 0,5338 | -0,20091 | 3,5479618 | 0,000283 | 0 |
| | 1) | 0 | 20 | 1 | 0,4024 | 0,5338 | -0,20091 | 2,4560321 | 0,003499 | 0 |
| | 2) | 13,1 | 15 | 1 | 0,4012 | 0,5338 | -0,20091 | 2,9304977 | 0,001174 | 0,0001537353 |
| | 2) | 13,1 | 30 | 1 | 0,4074 | 0,5338 | -0,20091 | 1,7486778 | 0,017837 | 0,0023366493 |
| Autocarri medi e pesanti | 3) | 39,5 | 40 | 1 | 0,4168 | 0,5338 | -0,20091 | 1,2296048 | 0,058938 | 0,0232804976 |
| | 3) | 39,5 | 80 | 1 | 0,5338 | 0,5338 | -0,20091 | 0 | 1 | 0,395 |
| | 4) | 10,5 | 50 | 1 | 0,4324 | 0,5338 | -0,20091 | 0,8248075 | 0,14969 | 0,0157174384 |
| | 4) | 10,5 | 110 | 1 | 0,7572 | 0,5338 | -0,20091 | -0,52135 | 3,321622 | 0,3487702903 |
| Autocarri pesanti | 5) | 7,9 | 40 | 1 | 0,4168 | 0,5338 | -0,20091 | 1,2296048 | 0,058938 | 0,0046560995 |
| | 5) | 7,9 | 160 | 2 | 0,5338 | 0,5338 | -0,20091 | -0,138474 | 1,375542 | 0,1086678036 |
| | 6) | 2,6 | 60 | 1 | 0,4559 | 0,5338 | -0,20091 | 0,4979476 | 0,317726 | 0,0082608696 |
| | 6) | 2,6 | 200 | 2 | 0,6659 | 0,5338 | -0,20091 | -0,506015 | 3,206381 | 0,0833659001 |
| Autotreni e autoarticolati | 7) | 2,6 | 40 | 1 | 0,4168 | 0,5338 | -0,20091 | 1,2296048 | 0,058938 | 0,0015323872 |
| | 7) | 2,6 | 90 | 1 | 0,5921 | 0,5338 | -0,20091 | -0,195778 | 1,56956 | 0,0408085503 |
| | 7) | 2,6 | 80 | 1 | 0,5338 | 0,5338 | -0,20091 | 0 | 1 | 0,026 |
| | 7) | 2,6 | 80 | 1 | 0,5338 | 0,5338 | -0,20091 | 0 | 1 | 0,026 |
| | 8) | 2,5 | 60 | 1 | 0,4559 | 0,5338 | -0,20091 | 0,4979476 | 0,317726 | 0,0079431438 |
| | 8) | 2,5 | 100 | 1 | 0,6659 | 0,5338 | -0,20091 | -0,367541 | 2,330995 | 0,058274869 |
| | 8) | 2,5 | 100 | 1 | 0,6659 | 0,5338 | -0,20091 | -0,367541 | 2,330995 | 0,058274869 |
| | 8) | 2,5 | 100 | 1 | 0,6659 | 0,5338 | -0,20091 | -0,367541 | 2,330995 | 0,058274869 |
| | 9) | 2,6 | 40 | 1 | 0,4168 | 0,5338 | -0,20091 | 1,2296048 | 0,058938 | 0,0015323872 |
| | 9) | 2,6 | 160 | 2 | 0,5338 | 0,5338 | -0,20091 | -0,138474 | 1,375542 | 0,0357640873 |
| | 9) | 2,6 | 160 | 2 | 0,5338 | 0,5338 | -0,20091 | -0,138474 | 1,375542 | 0,0357640873 |
| | 10) | 2,5 | 60 | 1 | 0,4559 | 0,5338 | -0,20091 | 0,4979476 | 0,317726 | 0,0079431438 |
| | 10) | 2,5 | 180 | 2 | 0,5921 | 0,5338 | -0,20091 | -0,334252 | 2,158995 | 0,0539748726 |
| | 10) | 2,5 | 200 | 2 | 0,6659 | 0,5338 | -0,20091 | -0,506015 | 3,206381 | 0,0801595193 |
| | 11) | 2,6 | 40 | 1 | 0,4168 | 0,5338 | -0,20091 | 1,2296048 | 0,058938 | 0,0015323872 |
| | 11) | 2,6 | 100 | 1 | 0,6659 | 0,5338 | -0,20091 | -0,367541 | 2,330995 | 0,0606058638 |
| | 11) | 2,6 | 240 | 3 | 0,5338 | 0,5338 | -0,20091 | -0,219476 | 1,657585 | 0,0430972069 |
| | 12) | 2,6 | 60 | 1 | 0,4559 | 0,5338 | -0,20091 | 0,4979476 | 0,317726 | 0,0082608696 |
| | 12) | 2,6 | 110 | 1 | 0,7572 | 0,5338 | -0,20091 | -0,52135 | 3,321622 | 0,0863621671 |
| | 12) | 2,6 | 270 | 3 | 0,5921 | 0,5338 | -0,20091 | -0,415254 | 2,601678 | 0,067643636 |
| Mezzi d'opera | 13) | 0,5 | 50 | 1 | 0,4324 | 0,5338 | -0,20091 | 0,8248075 | 0,14969 | 0,0007484494 |
| | 13) | 0,5 | 120 | 1 | 0,8682 | 0,5338 | -0,20091 | -0,661693 | 4,588738 | 0,0229436904 |
| | 13) | 0,5 | 390 | 3 | 1,0010 | 0,5338 | -0,20091 | -1,011261 | 10,26269 | 0,0513134282 |
| Autobus | 14) | 0 | 40 | 1 | 0,4168 | 0,5338 | -0,20091 | 1,2296048 | 0,058938 | 0 |
| | 14) | 0 | 80 | 1 | 0,5338 | 0,5338 | -0,20091 | 0 | 1 | 0 |
| | 15) | 0 | 60 | 1 | 0,4559 | 0,5338 | -0,20091 | 0,4979476 | 0,317726 | 0 |
| | 15) | 0 | 100 | 1 | 0,6659 | 0,5338 | -0,20091 | -0,367541 | 2,330995 | 0 |
| | 16) | 10,5 | 50 | 1 | 0,4324 | 0,5338 | -0,20091 | 0,8248075 | 0,14969 | 0,0157174384 |
| | 16) | 10,5 | 80 | 1 | 0,5338 | 0,5338 | -0,20091 | 0 | 1 | 0,105 |
| | | | | | | | | | | **1,945681** | **$C_{SN}$** |

| | |
|---|---|
| **$N_{8,2} = T^N \times C_{SN}$** | **30.125.227** |

## 3.1.5 Traffico sopportabile equivalente "$W_{8,2}$ ton"

Si procede quindi al calcolo del traffico sopportabile $W_{8,2}$ (ton) mediante l'applicazione della seguente formula proposta dalla AASHTO:

$$LogW_{8,2} = Z_R * S_0 + 9{,}36 * \log\left(\frac{SN}{2{,}54}+1\right) - 0{,}20 + \frac{\log\frac{PSI_i - PSI_f}{4{,}2-1{,}5}}{0{,}40 + \frac{1094}{\left(\frac{SN}{2{,}54}+1\right)^{5{,}19}}} + 2{,}32 * LogM_R - 3{,}056$$

dove i coeff. $Z_R$, So ed $M_R$ hanno i significati ed assumono i valori seguenti:

$Z_R$ (variabile standardizzata legata all'affidabilità R) = nel caso dell'asse principale l'affidabilità richiesta è R= 90% a cui corrisponde ZR = -1,282;

So (deviazione standard) = 0,45 (valore che considero cost. Per le pavimentazioni flessibili)

Mr (modulo resiliente effettivo del sottofondo in MPa) = si assume un valore pari a 100 MPa (ottenuto tenuto conto di un CBR Casagrande = 50 e con coefficienti di riduzione del CBR pari a :

- 100% estate;
- 75% autunno;
- 50% inverno;
- 70% primavera.)

Sulla base dei dati sopra riportati si ottiene:

| TRAFFICO SOPPORTABILE "W8,2ton" | |
|---|---|
| Log W8,2 | 7,4866048509 |
| **W8,2** | **30.662.309** |

### 3.1.6 Risultati confronto Traffico sopportabile equivalente "$W_{8,2}$ ton" e Traffico equivalente "$N_{8,2}$ ton"

Tenuto conto dei dati ottenuti si ha il seguente risultato:

| CONFRONTO TRAFFICO SOPPORT. "W8,2" - TRAFFICO EQUIV.TE "N8,2" | |
|---|---|
| TRAFFICO SOPPORTABILE W 8,2 | 30.662.309 |
| TRAFFICO EQUIV.TE N 8,2 | 30.125.227 |

**Traffico sopportabile equivalente "$W_{8,2}$ ton" > Traffico equivalente "$N_{8,2}$ ton"**

Da cui il pacchetto di progetto previsto per il nuovo asse della S.P. 569 "Bazzanese" risulta: ***VERIFICATO***

## *3.2 RAMPE DI SVINCOLO S.P. 569 BAZZANESE E PROVINCIALI S.P. 27 ED S.P. 78*

### 3.2.1 Structural Number "SN"

Lo **"structural number"** SN è un parametro che tiene conto della "resistenza strutturale" della pavimentazione e dipende da:

- spessori degli strati $s_i$; (in cm);
- "resistenza" di ciascun strato del pacchetto, espressa attraverso i "coefficienti strutturali di strato" $a_i$ (n° puro);
- sensibilità all'acqua di ogni strato espressa tramite i "coefficienti di drenaggio" mi.

Con riferimento:

- per gli spessori al pacchetto previsto per le rampe della S.P. 569 nonché per le provinciali S.P. 27 ed S.P. 78;
- per i coefficienti strutturali di strato "ai" ai monogrammi dell'AASHTO GUIDE ed a quanto riportato sul testo "Corpo stradale e pavimentazioni" di Paolo Ferrari e Franco Giannini;

ed assegnando, per i coefficienti di drenaggio "mi" i valori:

- mi = 1 per strati legati con bitume;
- mi = 0,98 per gli strati della fondazione legati;

si ottiene il seguente valore "SN"

**STRUCTURAL NUMBER "SN"**

| STRATO | S= spessore strato (cm) | ai | mi | Sni (cm) |
|---|---|---|---|---|
| Usura | 3 | 0,430 | 1 | 1,29 |
| Binder | 5 | 0,380 | 1 | 1,90 |
| Base | 8 | 0,280 | 1 | 2,24 |
| Fondaz. 3 (Misto legato con SCORIE) oppure (Frantumato di calcestruzzo legato a cemento) oppure (Misto stabilizz. Cementato) | 15 | 0,200 | 0,98 | 2,94 |
| Fondaz. 4 (Terra stabilizz. a cemento) | 15 | 0,200 | 0,98 | 2,94 |
| | | | | **11,31** **"SN"** |

### 3.2.2 Affidabilità ed indice"PSI"

Il metodo dell'AASHTO prevede che venga tenuto conto dell'affidabilità delle soluzioni (ossia della loro probabilità di sopravvivenza al termine della vita utile) e dell'indice di funzionalità PSI che assume valori compresi tra 5 (pavimentazioni in ottime condizioni) e 0 (pavimentazione in pessime condizioni).

Per tener conto delle imperfezioni costruttive il $PSI_{iniziale}$ viene assunto pari a 4,2 mentre per il $PSI_{finale}$ si assumono i seguenti valori (si veda Bollettino CNR n. 178 del 1995):

- 2,5 = strade extraurbane principali e secondarie a forte traffico (affidabilità 90%);
- 2,0 = strade di quartiere e locali (affidabilità 90%)

Nello specifico per le rampe della S.P. 569 nonché per le provinciali S.P. 27 ed S.P. 78 si assumono i valori $PSI_{iniziale}$ = 4,2 e $PSI_{finale}$ = 2,5.

### 3.2.3 Traffico commerciale “$T^N$”

Per il calco del traffico commerciale “$T^N$” relativo alle rampe della S.P. 569 nonché per le provinciali S.P. 27 ed S.P. 78 si deve considerare:

- Vita utile = 20 anni (corrispondente al n° di anni durante i quali la pavimentazione deve assicurare condizioni di funzionalità > del $PSI_{finale}$ = 2,5 );
- TGM tot (singola corsia di marcia e quale valor medio giornaliero)= 9.000 vicoli/gg. (valore ottenuto dall'analisi dei rilievi di traffico eseguiti nella postazione 243 negli anni 2009, 2010 e 2011 incrementato per tener conto dell'ipotizzati aumenti di traffico connessi alla realizzazione della S.P. 569 Nuova Bazzanese);
- R (tasso d'incremento annuo di traffico) = si ipotizza un tasso del 3,50%;
- po (% veicoli commerciali sulla corsia di marcia) = 10% (calcolata sulla base dei dati di rilievo di traffico eseguiti nella postazione 243 e sopra menzionati)

  Sulla scorta di quanto premesso si ottiene il seguente valore di “$T^N$”:

**TRAFFICO COMMERCIALE PREVISTO" $T^N$"**

| | |
|---|---|
| Vita utile "N" | 20 |
| TGM tot (singola corsia di marcia e quale valor medio giornaliero) - (veicoli/gg.) | 9000,00 |
| R(tasso di incremento annuo traffico) - (%) | 3,50 |
| pd (% traffico nel senso di marcia) - (%) | 100,00 |
| pl (% veicoli commerciali sulla corsia di marcia) - (%) | 100,00 |
| po (% veicoli commerciali) - (%) | 10,00 |
| n° giorni (a cui si riferisce il valore del TGM tot) | 365,00 |

| | $n_{vca}$ |
|---|---|
| $n_{vca}$ = TGMtot x po x pl x pd x 365 | 328.500,00 |

| | "$T^N$" |
|---|---|
| **$T^N$= $T^{20}$= nvca((((1+R)^N)-1)/R)** | 9.289.875 |

### 3.2.4 Traffico equivalente “$N_{8,2}$ ton”

Una volta determinato il n° di veicoli commerciali “$T^N$” transitanti sino alla fine della vita utile fissata in N= 20 anni, si calcola, secondo il criterio fissato dalla AASHTO, il traffico convertito in assi standard equivalenti (80 kN = 8,2 ton) tramite la relazione:

$N_{8,2} = T^N \times C_{SN}$

Si riportano di seguito i calcoli relativi alle rampe della S.P. 569 nonché per le provinciali S.P. 27 ed S.P. 78:

**CALCOLO TRAFFICO EQUIVALENTE "$N_{8,2}$ton"**

| Spettro di traffico catalogo pavimentazioni CNR | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Tipo di strada | | Tipo di veicoli | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| 3 | Strade extraurbana principale e secondaria a forte traffico | 0 | 13,1 | 39,5 | 10,5 | 7,9 | 2,6 | 2,6 | 2,5 | 2,6 | 2,5 | 2,6 | 2,6 | 0,5 | 0 | 0 | 10,5 |

| | |
|---|---|
| TN= T20= nvca((((1+R)^N)-1)/R) | 9.289.875 |

| | |
|---|---|
| SN | 11,31 |

$C_{SN}i = 10^{-Ai}$

| Tipo di veicolo | | n | Pi (kN) | Ti (n° assi di peso Pi) | Bi | B* | G | Ai | $C_{SN}i$ | (n/100) x $C_{SN}i$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Autocarri leggeri | 1) | 0 | 10 | 1 | 0,4005 | 0,56437 | -0,20091 | 3,5277072 | 0,000297 | 0 |
| | 1) | 0 | 20 | 1 | 0,4030 | 0,56437 | -0,20091 | 2,4363405 | 0,003662 | 0 |
| | 2) | 13,1 | 15 | 1 | 0,4014 | 0,56437 | -0,20091 | 2,9104476 | 0,001229 | 0,0001609992 |
| | 2) | 13,1 | 30 | 1 | 0,4091 | 0,56437 | -0,20091 | 1,7303301 | 0,018607 | 0,0024374808 |
| Autocarri medi e pesanti | 3) | 39,5 | 40 | 1 | 0,4207 | 0,56437 | -0,20091 | 1,2136274 | 0,061147 | 0,0241529236 |
| | 3) | 39,5 | 80 | 1 | 0,5644 | 0,56437 | -0,20091 | 0 | 1 | 0,395 |
| | 4) | 10,5 | 50 | 1 | 0,4398 | 0,56437 | -0,20091 | 0,8122475 | 0,154082 | 0,0161786335 |
| | 4) | 10,5 | 110 | 1 | 0,8388 | 0,56437 | -0,20091 | -0,515924 | 3,280375 | 0,3444394107 |
| Autocarri pesanti | 5) | 7,9 | 40 | 1 | 0,4207 | 0,56437 | -0,20091 | 1,2136274 | 0,061147 | 0,0048305847 |
| | 5) | 7,9 | 160 | 2 | 0,5644 | 0,56437 | -0,20091 | -0,138474 | 1,375542 | 0,1086678036 |
| | 6) | 2,6 | 60 | 1 | 0,4687 | 0,56437 | -0,20091 | 0,4895696 | 0,323915 | 0,0084217776 |
| | 6) | 2,6 | 200 | 2 | 0,7266 | 0,56437 | -0,20091 | -0,50118 | 3,170879 | 0,0824428588 |
| Autotreni e autoarticolati | 7) | 2,6 | 40 | 1 | 0,4207 | 0,56437 | -0,20091 | 1,2136274 | 0,061147 | 0,0015898127 |
| | 7) | 2,6 | 90 | 1 | 0,6359 | 0,56437 | -0,20091 | -0,19275 | 1,558656 | 0,0405250672 |
| | 7) | 2,6 | 80 | 1 | 0,5644 | 0,56437 | -0,20091 | 0 | 1 | 0,026 |
| | 7) | 2,6 | 80 | 1 | 0,5644 | 0,56437 | -0,20091 | 0 | 1 | 0,026 |
| | 8) | 2,5 | 60 | 1 | 0,4687 | 0,56437 | -0,20091 | 0,4895696 | 0,323915 | 0,0080978631 |
| | 8) | 2,5 | 100 | 1 | 0,7266 | 0,56437 | -0,20091 | -0,362706 | 2,305186 | 0,0576296399 |
| | 8) | 2,5 | 100 | 1 | 0,7266 | 0,56437 | -0,20091 | -0,362706 | 2,305186 | 0,0576296399 |
| | 8) | 2,5 | 100 | 1 | 0,7266 | 0,56437 | -0,20091 | -0,362706 | 2,305186 | 0,0576296399 |
| | 9) | 2,6 | 40 | 1 | 0,4207 | 0,56437 | -0,20091 | 1,2136274 | 0,061147 | 0,0015898127 |
| | 9) | 2,6 | 160 | 2 | 0,5644 | 0,56437 | -0,20091 | -0,138474 | 1,375542 | 0,0357640873 |
| | 9) | 2,6 | 160 | 2 | 0,5644 | 0,56437 | -0,20091 | -0,138474 | 1,375542 | 0,0357640873 |
| | 10) | 2,5 | 60 | 1 | 0,4687 | 0,56437 | -0,20091 | 0,4895696 | 0,323915 | 0,0080978631 |
| | 10) | 2,5 | 180 | 2 | 0,6359 | 0,56437 | -0,20091 | -0,331224 | 2,143997 | 0,0535999276 |
| | 10) | 2,5 | 200 | 2 | 0,7266 | 0,56437 | -0,20091 | -0,50118 | 3,170879 | 0,0792719796 |
| | 11) | 2,6 | 40 | 1 | 0,4207 | 0,56437 | -0,20091 | 1,2136274 | 0,061147 | 0,0015898127 |
| | 11) | 2,6 | 100 | 1 | 0,7266 | 0,56437 | -0,20091 | -0,362706 | 2,305186 | 0,0599348255 |
| | 11) | 2,6 | 240 | 3 | 0,5644 | 0,56437 | -0,20091 | -0,219476 | 1,657585 | 0,0430972069 |
| | 12) | 2,6 | 60 | 1 | 0,4687 | 0,56437 | -0,20091 | 0,4895696 | 0,323915 | 0,0084217776 |
| | 12) | 2,6 | 110 | 1 | 0,8388 | 0,56437 | -0,20091 | -0,515924 | 3,280375 | 0,0852897588 |
| | 12) | 2,6 | 270 | 3 | 0,6359 | 0,56437 | -0,20091 | -0,412226 | 2,583605 | 0,0671737388 |
| Mezzi d'opera | 13) | 0,5 | 50 | 1 | 0,4398 | 0,56437 | -0,20091 | 0,8122475 | 0,154082 | 0,0007704111 |
| | 13) | 0,5 | 120 | 1 | 0,9751 | 0,56437 | -0,20091 | -0,656697 | 4,536251 | 0,0226812533 |
| | 13) | 0,5 | 390 | 3 | 1,1382 | 0,56437 | -0,20091 | -1,007437 | 10,17273 | 0,0508636358 |
| Autobus | 14) | 0 | 40 | 1 | 0,4207 | 0,56437 | -0,20091 | 1,2136274 | 0,061147 | 0 |
| | 14) | 0 | 80 | 1 | 0,5644 | 0,56437 | -0,20091 | 0 | 1 | 0 |
| | 15) | 0 | 60 | 1 | 0,4687 | 0,56437 | -0,20091 | 0,4895696 | 0,323915 | 0 |
| | 15) | 0 | 100 | 1 | 0,7266 | 0,56437 | -0,20091 | -0,362706 | 2,305186 | 0 |
| | 16) | 10,5 | 50 | 1 | 0,4398 | 0,56437 | -0,20091 | 0,8122475 | 0,154082 | 0,0161786335 |
| | 16) | 10,5 | 80 | 1 | 0,5644 | 0,56437 | -0,20091 | 0 | 1 | 0,105 |
| | | | | | | | | | | **1,936923** $C_{SN}$ |

| | |
|---|---|
| $N_{8,2} = T^N \times C_{SN}$ | **17.993.773** |

## 3.2.5 Traffico sopportabile equivalente "$W_{8,2}$ ton"

Si procede quindi al calcolo del traffico sopportabile $W_{8,2}$ (ton) mediante l'applicazione della seguente formula proposta dalla AASHTO:

$$LogW_{8,2} = Z_R * S_0 + 9{,}36 * \log\left(\frac{SN}{2{,}54}+1\right) - 0{,}20 + \frac{\log\frac{PSI_i - PSI_f}{4{,}2-1{,}5}}{0{,}40 + \frac{1094}{\left(\frac{SN}{2{,}54}+1\right)^{5{,}19}}} + 2{,}32 * LogM_R - 3{,}056$$

dove i coeff. $Z_R$, So ed $M_R$ hanno i significati ed assumono i valori seguenti:

$Z_R$ (variabile standardizzata legata all'affidabilità R) = nel caso dell'asse principale l'affidabilità richiesta è R= 90% a cui corrisponde ZR = -1,282;

So (deviazione standard) = 0,45 (valore che considero cost. Per le pavimentazioni flessibili)

Mr (modulo resiliente effettivo del sottofondo in MPa) = si assume un valore pari a 100 MPa (ottenuto tenuto conto di un CBR Casagrande = 50 e con coefficienti di riduzione del CBR pari a :

- 100% estate;
- 75% autunno;
- 50% inverno;
- 70% primavera.)

Sulla base dei dati sopra riportati si ottiene:

| TRAFFICO SOPPORTABILE "W8,2ton" | |
|---|---|
| Log W8,2 | 7,3458654338 |
| **W8,2** | **22.175.092** |

### 3.2.6 Risultati confronto Traffico sopportabile equivalente "$W_{8,2}$ ton" e Traffico equivalente "$N_{8,2}$ ton"

Tenuto conto dei dati ottenuti si ha il seguente risultato:

| CONFRONTO TRAFFICO SOPPORT. "W8,2" - TRAFFICO EQUIV.TE "N8,2" | |
|---|---|
| TRAFFICO SOPPORTABILE W 8,2 | 22.175.092 |
| TRAFFICO EQUIV.TE N 8,2 | 17.993.773 |

**Traffico sopportabile equivalente "W8,2 ton" > Traffico equivalente "N8,2 ton"**

Da cui il pacchetto di progetto previsto per le rampe della S.P. 569 nonché per le provinciali S.P. 27 ed S.P. 78 risulta: ***VERIFICATO***

## *3.3 STRADE COMUNALI*

### 3.3.1 Structural Number "SN"

Lo **"structural number"** SN è un parametro che tiene conto della "resistenza strutturale" della pavimentazione e dipende da:

- spessori degli strati $s_i$; (in cm);
- "resistenza" di ciascun strato del pacchetto, espressa attraverso i "coefficienti strutturali di strato" $a_i$ (n° puro);
- sensibilità all'acqua di ogni strato espressa tramite i "coefficienti di drenaggio" mi.

Con riferimento:

- per gli spessori al pacchetto previsto per le strade comunali;
- per i coefficienti strutturali di strato "ai" ai monogrammi dell'AASHTO GUIDE ed a quanto riportato sul testo "Corpo stradale e pavimentazioni" di Paolo Ferrari e Franco Giannini;

ed assegnando, per i coefficienti di drenaggio "mi" i valori:

- mi = 1 per strati legati con bitume;
- mi = 0,98 per gli strati della fondazione legati;

si ottiene il seguente valore "SN"

**STRUCTURAL NUMBER "SN"**

| STRATO | S= spessore strato (cm) | ai | mi | Sni (cm) | |
|---|---|---|---|---|---|
| Usura | 3 | 0,430 | 1 | 1,29 | |
| Base | 8 | 0,280 | 1 | 2,24 | |
| Fondaz. 3 (Misto legato con SCORIE) oppure (Frantumato di calcestruzzo legato a cemento) oppure (Misto stabilizz. Cementato) | 20 | 0,200 | 0,98 | 3,92 | |
| | | | | **7,45** | **"SN"** |

### 3.3.2 Affidabilità ed indice"PSI"

Il metodo dell'AASHTO prevede che venga tenuto conto dell'affidabilità delle soluzioni (ossia della loro probabilità di sopravvivenza al termine della vita utile) e dell'indice di funzionalità PSI che assume valori compresi tra 5 (pavimentazioni in ottime condizioni) e 0 (pavimentazione in pessime condizioni).

Per tener conto delle imperfezioni costruttive il $PSI_{iniziale}$ viene assunto pari a 4,2 mentre per il $PSI_{finale}$ si assumono i seguenti valori (si veda Bollettino CNR n. 178 del 1995):

- 2,5 = strade extraurbane principali e secondarie a forte traffico (affidabilità 90%);
- 2,0 = strade di quartiere e locali (affidabilità 90%)

Nello specifico per le strade comunali si assumono i valori $PSI_{iniziale}$ = 4,2 e $PSI_{finale}$ = 2,0.

### 3.3.3 Traffico commerciale "$T^N$"

Per il calco del traffico commerciale "$T^N$" relativo alle comunali si deve considerare:

- Vita utile = 15 anni (corrispondente al n° di anni durante i quali la pavimentazione deve assicurare condizioni di funzionalità > del $PSI_{finale}$ = 2,0 );

- TGM tot (singola corsia di marcia e quale valor medio giornaliero)= 2.000 vicoli/gg. (valore ottenuto dall'analisi dei rilievi di traffico eseguiti per l'indagine acustica collegata allo screening ambientale);
- R (tasso d'incremento annuo di traffico) = si ipotizza un tasso del 3,00%;
- po (% veicoli commerciali sulla corsia di marcia) = 5% (calcolata sulla base dei dati di rilievo di traffico sopra menzionati)

Sulla scorta di quanto premesso si ottiene il seguente valore di "$T^N$":

**TRAFFICO COMMERCIALE PREVISTO" $T^N$"**

| | |
|---|---|
| Vita utile "N" | 15 |
| TGM tot (singola corsia di marcia e quale valor medio giornaliero) - (veicoli/gg.) | 2000,00 |
| R(tasso di incremento annuo traffico) - (%) | 3,00 |
| pd (% traffico nel senso di marcia) - (%) | 100,00 |
| pl (% veicoli commerciali sulla corsia di marcia) - (%) | 100,00 |
| po (% veicoli commerciali) - (%) | 5,00 |
| n° giorni (a cui si riferisce il valore del TGM tot) | 365,00 |

| | $n_{vca}$ |
|---|---|
| $n_{vca}$ = TGMtot x po x pl x pd x 365 | 36.500,00 |

| | "$T^N$" |
|---|---|
| **$T^N$= $T^{15}$= nvca((((1+R)^N)-1)/R)** | 678.860 |

## 3.3.4 Traffico equivalente "$N_{8,2}$ ton"

Una volta determinato il n° di veicoli commerciali "$T^N$" transitanti sino alla fine della vita utile fissata in N= 15 anni, si calcola, secondo il criterio fissato dalla AASHTO, il traffico convertito in assi standard equivalenti (80 kN = 8,2 ton) tramite la relazione:

$N_{8,2} = T^N \times C_{SN}$

Si riportano di seguito i calcoli relativi alle comunali:

**CALCOLO TRAFFICO EQUIVALENTE "$N_{8,2}$ton"**

| Spettro di traffico catalogo pavimentazioni CNR | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Tipo di strada | | Tipo di veicoli | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| 3 | Strade extraurbana principale e secondaria a forte traffico | 0 | 13,1 | 39,5 | 10,5 | 7,9 | 2,6 | 2,6 | 2,5 | 2,6 | 2,5 | 2,6 | 2,6 | 0,5 | 0 | 0 | 10,5 |

| | |
|---|---|
| TN= T15= nvca((((1+R)^N)-1)/R) | 678.860 |

| | |
|---|---|
| SN | 7,45 |

$C_{SN}i = 10^{-Ai}$

| Tipo di veicolo | | n | Pi (kN) | Ti (n° assi di peso Pi) | Bi | B* | G | Ai | $C_{SN}i$ | (n/100) x $C_{SN}i$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Autocarri leggeri | 1) | 0 | 10 | 1 | 0,4030 | 1,29578 | -0,08894 | 3,5212428 | 0,000301 | 0 |
| | 1) | 0 | 20 | 1 | 0,4163 | 1,29578 | -0,08894 | 2,4339044 | 0,003682 | 0 |
| | 2) | 13,1 | 15 | 1 | 0,4078 | 1,29578 | -0,08894 | 2,905485 | 0,001243 | 0,0001628494 |
| | 2) | 13,1 | 30 | 1 | 0,4495 | 1,29578 | -0,08894 | 1,7362302 | 0,018356 | 0,0024045903 |
| Autocarri medi e pesanti | 3) | 39,5 | 40 | 1 | 0,5127 | 1,29578 | -0,08894 | 1,2303844 | 0,058832 | 0,0232387456 |
| | 3) | 39,5 | 80 | 1 | 1,2958 | 1,29578 | -0,08894 | 0 | 1 | 0,395 |
| | 4) | 10,5 | 50 | 1 | 0,6170 | 1,29578 | -0,08894 | 0,8375515 | 0,145361 | 0,0152629245 |
| | 4) | 10,5 | 110 | 1 | 2,7913 | 1,29578 | -0,08894 | -0,595618 | 3,941101 | 0,4138156509 |
| Autocarri pesanti | 5) | 7,9 | 40 | 1 | 0,5127 | 1,29578 | -0,08894 | 1,2303844 | 0,058832 | 0,0046477491 |
| | 5) | 7,9 | 160 | 2 | 1,2958 | 1,29578 | -0,08894 | -0,138474 | 1,375542 | 0,1086678036 |
| | 6) | 2,6 | 60 | 1 | 0,7742 | 1,29578 | -0,08894 | 0,5160274 | 0,30477 | 0,0079240276 |
| | 6) | 2,6 | 200 | 2 | 2,1798 | 1,29578 | -0,08894 | -0,552822 | 3,571265 | 0,0928528906 |
| Autotreni e autoarticolati | 7) | 2,6 | 40 | 1 | 0,5127 | 1,29578 | -0,08894 | 1,2303844 | 0,058832 | 0,001529639 |
| | 7) | 2,6 | 90 | 1 | 1,6859 | 1,29578 | -0,08894 | -0,216937 | 1,647925 | 0,0428460404 |
| | 7) | 2,6 | 80 | 1 | 1,2958 | 1,29578 | -0,08894 | 0 | 1 | 0,026 |
| | 7) | 2,6 | 80 | 1 | 1,2958 | 1,29578 | -0,08894 | 0 | 1 | 0,026 |
| | 8) | 2,5 | 60 | 1 | 0,7742 | 1,29578 | -0,08894 | 0,5160274 | 0,30477 | 0,0076192573 |
| | 8) | 2,5 | 100 | 1 | 2,1798 | 1,29578 | -0,08894 | -0,414348 | 2,596261 | 0,0649065149 |
| | 8) | 2,5 | 100 | 1 | 2,1798 | 1,29578 | -0,08894 | -0,414348 | 2,596261 | 0,0649065149 |
| | 8) | 2,5 | 100 | 1 | 2,1798 | 1,29578 | -0,08894 | -0,414348 | 2,596261 | 0,0649065149 |
| | 9) | 2,6 | 40 | 1 | 0,5127 | 1,29578 | -0,08894 | 1,2303844 | 0,058832 | 0,001529639 |
| | 9) | 2,6 | 160 | 2 | 1,2958 | 1,29578 | -0,08894 | -0,138474 | 1,375542 | 0,0357640873 |
| | 9) | 2,6 | 160 | 2 | 1,2958 | 1,29578 | -0,08894 | -0,138474 | 1,375542 | 0,0357640873 |
| | 10) | 2,5 | 60 | 1 | 0,7742 | 1,29578 | -0,08894 | 0,5160274 | 0,30477 | 0,0076192573 |
| | 10) | 2,5 | 180 | 2 | 1,6859 | 1,29578 | -0,08894 | -0,355411 | 2,266789 | 0,0566697311 |
| | 10) | 2,5 | 200 | 2 | 2,1798 | 1,29578 | -0,08894 | -0,552822 | 3,571265 | 0,0892816255 |
| | 11) | 2,6 | 40 | 1 | 0,5127 | 1,29578 | -0,08894 | 1,2303844 | 0,058832 | 0,001529639 |
| | 11) | 2,6 | 100 | 1 | 2,1798 | 1,29578 | -0,08894 | -0,414348 | 2,596261 | 0,0675027755 |
| | 11) | 2,6 | 240 | 3 | 1,2958 | 1,29578 | -0,08894 | -0,219476 | 1,657585 | 0,0430972069 |
| | 12) | 2,6 | 60 | 1 | 0,7742 | 1,29578 | -0,08894 | 0,5160274 | 0,30477 | 0,0079240276 |
| | 12) | 2,6 | 110 | 1 | 2,7913 | 1,29578 | -0,08894 | -0,595618 | 3,941101 | 0,1024686374 |
| | 12) | 2,6 | 270 | 3 | 1,6859 | 1,29578 | -0,08894 | -0,436413 | 2,731575 | 0,0710209488 |
| Mezzi d'opera | 13) | 0,5 | 50 | 1 | 0,6170 | 1,29578 | -0,08894 | 0,8375515 | 0,145361 | 0,0007268059 |
| | 13) | 0,5 | 120 | 1 | 3,5344 | 1,29578 | -0,08894 | -0,763183 | 5,796728 | 0,0289836411 |
| | 13) | 0,5 | 390 | 3 | 4,4232 | 1,29578 | -0,08894 | -1,138389 | 13,75275 | 0,0687637384 |
| Autobus | 14) | 0 | 40 | 1 | 0,5127 | 1,29578 | -0,08894 | 1,2303844 | 0,058832 | 0 |
| | 14) | 0 | 80 | 1 | 1,2958 | 1,29578 | -0,08894 | 0 | 1 | 0 |
| | 15) | 0 | 60 | 1 | 0,7742 | 1,29578 | -0,08894 | 0,5160274 | 0,30477 | 0 |
| | 15) | 0 | 100 | 1 | 2,1798 | 1,29578 | -0,08894 | -0,414348 | 2,596261 | 0 |
| | 16) | 10,5 | 50 | 1 | 0,6170 | 1,29578 | -0,08894 | 0,8375515 | 0,145361 | 0,0152629245 |
| | 16) | 10,5 | 80 | 1 | 1,2958 | 1,29578 | -0,08894 | 0 | 1 | 0,105 |
| | | | | | | | | | | **2,1016** $C_{SN}$ |

| | |
|---|---|
| $N_{8,2} = T^N \times C_{SN}$ | **1.426.693** |

## 3.3.5 Traffico sopportabile equivalente "$W_{8,2}$ ton"

Si procede quindi al calcolo del traffico sopportabile $W_{8,2}$ (ton) mediante l'applicazione della seguente formula proposta dalla AASHTO:

$$LogW_{8,2} = Z_R * S_0 + 9{,}36 * \log\left(\frac{SN}{2{,}54}+1\right) - 0{,}20 + \frac{\log\frac{PSI_i - PSI_f}{4{,}2-1{,}5}}{0{,}40 + \frac{1094}{\left(\frac{SN}{2{,}54}+1\right)^{5{,}19}}} + 2{,}32 * LogM_R - 3{,}056$$

dove i coeff. $Z_R$, So ed $M_R$ hanno i significati ed assumono i valori seguenti:

$Z_R$ (variabile standardizzata legata all'affidabilità R) = nel caso dell'asse principale l'affidabilità richiesta è R= 90% a cui corrisponde ZR = -1,282;

So (deviazione standard) = 0,45 (valore che considero cost. per le pavimentazioni flessibili)

Mr (modulo resiliente effettivo del sottofondo in MPa) = si assume un valore pari a 100 MPa (ottenuto tenuto conto di un CBR Casagrande = 50 e con coefficienti di riduzione del CBR pari a :

- 100% estate;
- 75% autunno;
- 50% inverno;
- 70% primavera.)

Sulla base dei dati sopra riportati si ottiene:

| TRAFFICO SOPPORTABILE "W8,2ton" | |
|---|---|
| Log W8,2 | 6,3051676203 |
| **W8,2** | **2.019.146** |

### 3.3.6 Risultati confronto Traffico sopportabile equivalente "$W_{8,2}$ ton" e Traffico equivalente "$N_{8,2}$ ton"

Tenuto conto dei dati ottenuti si ha il seguente risultato:

| CONFRONTO TRAFFICO SOPPORT. "W8,2" - TRAFFICO EQUIV.TE "N8,2" | |
|---|---|
| TRAFFICO SOPPORTABILE W 8,2 | 2.019.146 |
| TRAFFICO EQUIV.TE N 8,2 | 1.426.693 |

**Traffico sopportabile equivalente "W8,2 ton" > Traffico equivalente "N8,2 ton"**

Da cui il pacchetto di progetto previsto per le comunali risulta: ***VERIFICATO***

## *3.4 STRADE VICINALI*

### 3.4.1 Structural Number "SN"

Lo **"structural number"** SN è un parametro che tiene conto della "resistenza strutturale" della pavimentazione e dipende da:

- spessori degli strati $s_i$; (in cm);
- "resistenza" di ciascun strato del pacchetto, espressa attraverso i "coefficienti strutturali di strato" $a_i$ (n° puro);
- sensibilità all'acqua di ogni strato espressa tramite i "coefficienti di drenaggio" mi.

Con riferimento:

- per gli spessori al pacchetto previsto per le strade vicinali;
- per i coefficienti strutturali di strato "ai" ai monogrammi dell'AASHTO GUIDE ed a quanto riportato sul testo "Corpo stradale e pavimentazioni" di Paolo Ferrari e Franco Giannini;

ed assegnando, per i coefficienti di drenaggio "mi" i valori:

- mi = 1 per strati legati con bitume;
- mi = 0,98 per gli strati della fondazione legati;

si ottiene il seguente valore "SN"

**STRUCTURAL NUMBER "SN"**

| STRATO | S= spessore strato (cm) | ai | mi | Sni (cm) | |
|---|---|---|---|---|---|
| Usura | 3 | 0,430 | 1 | 1,29 | |
| Base | 8 | 0,280 | 1 | 2,24 | |
| Fondaz. 4 (Terra stabilizz. a cemento) | 15 | 0,200 | 0,98 | 2,94 | |
| | | | | **6,47** | **"SN"** |

### 3.4.2 Affidabilità ed indice"PSI"

Il metodo dell'AASHTO prevede che venga tenuto conto dell'affidabilità delle soluzioni (ossia della loro probabilità di sopravvivenza al termine della vita utile) e dell'indice di funzionalità PSI che assume valori compresi tra 5 (pavimentazioni in ottime condizioni) e 0 (pavimentazione in pessime condizioni).

Per tener conto delle imperfezioni costruttive il $PSI_{iniziale}$ viene assunto pari a 4,2 mentre per il $PSI_{finale}$ si assumono i seguenti valori (si veda Bollettino CNR n. 178 del 1995):

- 2,5 = strade extraurbane principali e secondarie a forte traffico (affidabilità 90%);
- 2,0 = strade di quartiere e locali (affidabilità 90%)

Nello specifico per le strade comunali si assumono i valori $PSI_{iniziale}$ = 4,2 e $PSI_{finale}$ = 2,0.

### 3.4.3 Traffico commerciale "$T^N$"

Per il calco del traffico commerciale "$T^N$" relativo alle comunali si deve considerare:

- Vita utile = 15 anni (corrispondente al n° di anni durante i quali la pavimentazione deve assicurare condizioni di funzionalità > del $PSI_{finale}$ = 2,0 );
- TGM tot (singola corsia di marcia e quale valor medio giornaliero)= 1.000 vicoli/gg. (valore

ottenuto ipotizzando un traffico pari al 50% del TGM delle Comunali);

- R (tasso d'incremento annuo di traffico) = si ipotizza un tasso del 3,00%;
- po (% veicoli commerciali sulla corsia di marcia) = 3% (calcolata sulla base dei dati di rilievo di traffico sopra menzionati)

Sulla scorta di quanto premesso si ottiene il seguente valore di "$T^N$":

**TRAFFICO COMMERCIALE PREVISTO" $T^N$"**

| | |
|---|---|
| Vita utile "N" | 15 |
| TGM tot (singola corsia di marcia e quale valor medio giornaliero) - (veicoli/gg.) | 1000,00 |
| R(tasso di incremento annuo traffico) - (%) | 3,00 |
| pd (% traffico nel senso di marcia) - (%) | 100,00 |
| pl (% veicoli commerciali sulla corsia di marcia) - (%) | 100,00 |
| po (% veicoli commerciali) - (%) | 3,00 |
| n° giorni (a cui si riferisce il valore del TGM tot) | 365,00 |

| | $n_{vca}$ |
|---|---|
| $n_{vca}$ = TGMtot x po x pl x pd x 365 | 10.950,00 |

| | **"$T^N$"** |
|---|---|
| **$T^N$= $T^{15}$= nvca((((1+R)^N)-1)/R)** | 203.658 |

## 3.4.4 Traffico equivalente "$N_{8,2}$ ton"

Una volta determinato il n° di veicoli commerciali "$T^N$" transitanti sino alla fine della vita utile fissata in N= 15 anni, si calcola, secondo il criterio fissato dalla AASHTO, il traffico convertito in assi standard equivalenti (80 kN = 8,2 ton) tramite la relazione:

$N_{8,2} = T^N \times C_{SN}$

Si riportano di seguito i calcoli relativi alle comunali:

**CALCOLO TRAFFICO EQUIVALENTE "$N_{8,2}$ton"**

| Spettro di traffico catalogo pavimentazioni CNR | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Tipo di strada | | Tipo di veicoli | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| 3 | Strade extraurbana principale e secondaria a forte traffico | 0 | 13,1 | 39,5 | 10,5 | 7,9 | 2,6 | 2,6 | 2,5 | 2,6 | 2,5 | 2,6 | 2,6 | 0,5 | 0 | 0 | 10,5 |

| | |
|---|---|
| TN= T15= nvca((((1+R)^N)-1)/R) | 203.658 |

| | |
|---|---|
| SN | 6,47 |

$C_{SN}i = 10^{-Ai}$

| Tipo di veicolo | | n | Pi (kN) | Ti (n° assi di peso Pi) | Bi | B* | G | Ai | $C_{SN}i$ | (n/100) x $C_{SN}i$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Autocarri leggeri | 1) | 0 | 10 | 1 | 0,4051 | 1,930821 | -0,08894 | 3,4998212 | 0,000316 | 0 |
| | 1) | 0 | 20 | 1 | 0,4279 | 1,930821 | -0,08894 | 2,4171114 | 0,003827 | 0 |
| | 2) | 13,1 | 15 | 1 | 0,4133 | 1,930821 | -0,08894 | 2,8858282 | 0,001301 | 0,0001703896 |
| | 2) | 13,1 | 30 | 1 | 0,4845 | 1,930821 | -0,08894 | 1,7279757 | 0,018708 | 0,0024507307 |
| Autocarri medi e pesanti | 3) | 39,5 | 40 | 1 | 0,5926 | 1,930821 | -0,08894 | 1,2311955 | 0,058722 | 0,023195385 |
| | 3) | 39,5 | 80 | 1 | 1,9308 | 1,930821 | -0,08894 | 0 | 1 | 0,395 |
| | 4) | 10,5 | 50 | 1 | 0,7709 | 1,930821 | -0,08894 | 0,8437453 | 0,143303 | 0,0150467963 |
| | 4) | 10,5 | 110 | 1 | 4,4866 | 1,930821 | -0,08894 | -0,606153 | 4,037877 | 0,4239771066 |
| Autocarri pesanti | 5) | 7,9 | 40 | 1 | 0,5926 | 1,930821 | -0,08894 | 1,2311955 | 0,058722 | 0,004639077 |
| | 5) | 7,9 | 160 | 2 | 1,9308 | 1,930821 | -0,08894 | -0,138474 | 1,375542 | 0,1086678036 |
| | 6) | 2,6 | 60 | 1 | 1,0394 | 1,930821 | -0,08894 | 0,5227708 | 0,300075 | 0,007801939 |
| | 6) | 2,6 | 200 | 2 | 3,4416 | 1,930821 | -0,08894 | -0,560438 | 3,634447 | 0,0944956194 |
| Autotreni e autoarticolati | 7) | 2,6 | 40 | 1 | 0,5926 | 1,930821 | -0,08894 | 1,2311955 | 0,058722 | 0,0015267848 |
| | 7) | 2,6 | 90 | 1 | 2,5975 | 1,930821 | -0,08894 | -0,220997 | 1,663402 | 0,043248463 |
| | 7) | 2,6 | 80 | 1 | 1,9308 | 1,930821 | -0,08894 | 0 | 1 | 0,026 |
| | 7) | 2,6 | 80 | 1 | 1,9308 | 1,930821 | -0,08894 | 0 | 1 | 0,026 |
| | 8) | 2,5 | 60 | 1 | 1,0394 | 1,930821 | -0,08894 | 0,5227708 | 0,300075 | 0,0075018644 |
| | 8) | 2,5 | 100 | 1 | 3,4416 | 1,930821 | -0,08894 | -0,421965 | 2,642193 | 0,0660548238 |
| | 8) | 2,5 | 100 | 1 | 3,4416 | 1,930821 | -0,08894 | -0,421965 | 2,642193 | 0,0660548238 |
| | 8) | 2,5 | 100 | 1 | 3,4416 | 1,930821 | -0,08894 | -0,421965 | 2,642193 | 0,0660548238 |
| | 9) | 2,6 | 40 | 1 | 0,5926 | 1,930821 | -0,08894 | 1,2311955 | 0,058722 | 0,0015267848 |
| | 9) | 2,6 | 160 | 2 | 1,9308 | 1,930821 | -0,08894 | -0,138474 | 1,375542 | 0,0357640873 |
| | 9) | 2,6 | 160 | 2 | 1,9308 | 1,930821 | -0,08894 | -0,138474 | 1,375542 | 0,0357640873 |
| | 10) | 2,5 | 60 | 1 | 1,0394 | 1,930821 | -0,08894 | 0,5227708 | 0,300075 | 0,0075018644 |
| | 10) | 2,5 | 180 | 2 | 2,5975 | 1,930821 | -0,08894 | -0,359471 | 2,28808 | 0,0572019899 |
| | 10) | 2,5 | 200 | 2 | 3,4416 | 1,930821 | -0,08894 | -0,560438 | 3,634447 | 0,0908611725 |
| | 11) | 2,6 | 40 | 1 | 0,5926 | 1,930821 | -0,08894 | 1,2311955 | 0,058722 | 0,0015267848 |
| | 11) | 2,6 | 100 | 1 | 3,4416 | 1,930821 | -0,08894 | -0,421965 | 2,642193 | 0,0686970168 |
| | 11) | 2,6 | 240 | 3 | 1,9308 | 1,930821 | -0,08894 | -0,219476 | 1,657585 | 0,0430972069 |
| | 12) | 2,6 | 60 | 1 | 1,0394 | 1,930821 | -0,08894 | 0,5227708 | 0,300075 | 0,007801939 |
| | 12) | 2,6 | 110 | 1 | 4,4866 | 1,930821 | -0,08894 | -0,606153 | 4,037877 | 0,1049848073 |
| | 12) | 2,6 | 270 | 3 | 2,5975 | 1,930821 | -0,08894 | -0,440473 | 2,757231 | 0,0716879985 |
| Mezzi d'opera | 13) | 0,5 | 50 | 1 | 0,7709 | 1,930821 | -0,08894 | 0,8437453 | 0,143303 | 0,0007165141 |
| | 13) | 0,5 | 120 | 1 | 5,7564 | 1,930821 | -0,08894 | -0,776044 | 5,970961 | 0,029854806 |
| | 13) | 0,5 | 390 | 3 | 7,2753 | 1,930821 | -0,08894 | -1,153082 | 14,22597 | 0,0711298292 |
| Autobus | 14) | 0 | 40 | 1 | 0,5926 | 1,930821 | -0,08894 | 1,2311955 | 0,058722 | 0 |
| | 14) | 0 | 80 | 1 | 1,9308 | 1,930821 | -0,08894 | 0 | 1 | 0 |
| | 15) | 0 | 60 | 1 | 1,0394 | 1,930821 | -0,08894 | 0,5227708 | 0,300075 | 0 |
| | 15) | 0 | 100 | 1 | 3,4416 | 1,930821 | -0,08894 | -0,421965 | 2,642193 | 0 |
| | 16) | 10,5 | 50 | 1 | 0,7709 | 1,930821 | -0,08894 | 0,8437453 | 0,143303 | 0,0150467963 |
| | 16) | 10,5 | 80 | 1 | 1,9308 | 1,930821 | -0,08894 | 0 | 1 | 0,105 |
| | | | | | | | | | | **2,12605** $C_{SN}$ |

| | |
|---|---|
| $N_{8,2} = T^N \times C_{SN}$ | **432.987** |

## 3.4.5 Traffico sopportabile equivalente "$W_{8,2}$ ton"

Si procede quindi al calcolo del traffico sopportabile $W_{8,2}$ (ton) mediante l'applicazione della seguente formula proposta dalla AASHTO:

$$LogW_{8,2} = Z_R * S_0 + 9{,}36 * \log\left(\frac{SN}{2{,}54}+1\right) - 0{,}20 + \frac{\log\frac{PSI_i - PSI_f}{4{,}2-1{,}5}}{0{,}40 + \frac{1094}{\left(\frac{SN}{2{,}54}+1\right)^{5{,}19}}} + 2{,}32 * LogM_R - 3{,}056$$

dove i coeff. $Z_R$, So ed $M_R$ hanno i significati ed assumono i valori seguenti:

$Z_R$ (variabile standardizzata legata all'affidabilità R) = nel caso dell'asse principale l'affidabilità richiesta è R= 90% a cui corrisponde ZR = -1,282;

So (deviazione standard) = 0,45 (valore che considero cost. per le pavimentazioni flessibili)

Mr (modulo resiliente effettivo del sottofondo in MPa) = si assume un valore pari a 100 MPa (ottenuto tenuto conto di un CBR Casagrande = 50 e con coefficienti di riduzione del CBR pari a :

- 100% estate;
- 75% autunno;
- 50% inverno;
- 70% primavera.)

Sulla base dei dati sopra riportati si ottiene:

| | |
|---|---|
| **TRAFFICO SOPPORTABILE "W8,2ton"** | |
| Log W8,2 | 5,9080298932 |
| **W8,2** | **809.152** |

### 3.4.6 Risultati confronto Traffico sopportabile equivalente "$W_{8,2}$ ton" e Traffico equivalente "$N_{8,2}$ ton"

Tenuto conto dei dati ottenuti si ha il seguente risultato:

| | |
|---|---|
| **CONFRONTO TRAFFICO SOPPORT. "W8,2" - TRAFFICO EQUIV.TE "N8,2"** | |
| TRAFFICO SOPPORTABILE W 8,2 | 809.152 |
| TRAFFICO EQUIV.TE N 8,2 | 432.987 |

**Traffico sopportabile equivalente "W8,2 ton" > Traffico equivalente "N8,2 ton"**

Da cui il pacchetto di progetto previsto per le vicinali risulta: *VERIFICATO*

Bologna, 02 aprile 2014

IL PROGETTISTA

(Dott. Ing. Marco Ferrarini)