



PROVINCIA DI RAVENNA

Presidente della Provincia
Claudio Casadio

Assessore ai LL.PP. - Viabilità
Secondo Valgimigli

SETTORE LAVORI PUBBLICI

UNITA' ORGANIZZATIVA PROGETTAZIONE STRADE

RAZIONALIZZAZIONE E MESSA IN SICUREZZA CON ELIMINAZIONE PUNTI CRITICI LUNGO LA EX S.S. 306 CASOLANA 1° LOTTO 2° STRALCIO

PROGETTO ESECUTIVO

Tavola/Elaborato

VBR_001

RELAZIONE CALCOLO
SOVRASTRUTTURA STRADALE

Scala

-

Data

05 dicembre 2011

Dirigente del Settore Lavori Pubblici:

Dott. Ing. Valentino Natali

Responsabile Unico del Procedimento:

Dott. Ing. Valentino Natali

Progettista:



THESIS ENGINEERING



Prof. Ing. Claudio Comastri

Studio Tecnico di Ingegneria
40037 Sasso Marconi (BO) - via Castello n.7
tel. +39.51.6750312 fax. +39.51.6750370
E-mail: thesis@studiothesis.it

1 PROGETTO

Codice Commessa: 02/11

Committente: Provincia di Ravenna

Opera: Razionalizzazione e messa in sicurezza con eliminazione punti critici
lungo la ex SS306 Casolana- 1°lotto- 2°stralcio

Località: Comune di Riolo Terme (RA)

Progettista: prof. Ing. Claudio Comastri

2 STRUTTURA DOCUMENTO

Pagine numerate: N. 13

Fogli A4: N. 14

Fogli A3: N. 0

Tavole allegate: N. 0

3 REVISIONI DOCUMENTI

Redazione documento: Barbara Barbieri

Controllo documento: Claudio Comastri

Approvazione documento: Claudio Comastri

Revisione: 1^emissione

Emissione: 05/12/2011

Autorizzazione alla trasmissione: prof. ing. Claudio Comastri

4 INDIRIZZO DI TRASMISSIONE

Provincia di Ravenna, Piazza dei Caduti per la Libertà 2/4, 48121 Ravenna.

Responsabile del procedimento: ing. Valentino Natali

Copie: n.1 cartacea + n.1 formato digitale

Data di trasmissione: 05/12/2011

Trasmissione: Direttamente a mano



5 INDICE

1	PROGETTO	1
2	STRUTTURA DOCUMENTO	1
3	REVISIONI DOCUMENTI	1
4	INDIRIZZO DI TRASMISSIONE.....	1
5	INDICE.....	2
6	PREMESSA	3
7	ANALISI DEI DATI DI TRAFFICO	4
8	CARATTERISTICHE TECNICHE DEI MATERIALI	6
9	METODOLOGIA DI CALCOLO	7
10	CALCOLO DEL NUMERO DI PASSAGGI DI ASSI STANDARD EQUIVALENTI	11
11	RISULTATI	13



6 PREMESSA

La presente relazione di calcolo illustra le modalità adoperate per il dimensionamento della sovrastruttura stradale nell'ambito della progettazione dei lavori di razionalizzazione e messa in sicurezza con eliminazione dei punti critici lungo la ex ss n°306 Casolana - Rialese - 1°lotto -2°stralcio.

Il suddetto tratto è localizzato in prossimità dell'abitato di Isola tra la chilometrica 11+070 e la chilometrica 12+483 della viabilità esistente per uno sviluppo complessivo del nuovo tracciato di 958,821 m.

Il metodo di calcolo utilizzato ripercorre le indicazioni del Metodo empirico della AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials). La tipologia di strada considerata, dati gli elevati flussi di traffico attuali e futuri, è una extraurbana secondaria a forte traffico.



7 ANALISI DEI DATI DI TRAFFICO

Conoscere sia lo stato attuale degli spostamenti nella zona che interessa il progetto, sia stimare gli ipotetici sviluppi dopo la realizzazione dell'opera è elemento imprescindibile del calcolo degli effettivi benefici che la nuova opera può portare alla comunità.

Per il dimensionamento della sovrastruttura stradale vengono trascurati gli autoveicoli di tara inferiore a 1,5 ton in quanto il loro apporto non è determinante. Il numero di passaggi di veicoli commerciali si calcola attraverso la seguente relazione:

$$V_k = \left[\sum_{i=1}^{20} \left(1 + \frac{G}{100} \right)^{i-1} \right] \cdot \frac{P_k}{100} \cdot TGM \cdot D \cdot \frac{C}{100} \cdot 365$$

Dove:

TGM = traffico giornaliero medio [Veic./gg]

PK = percentuale di veicoli commerciali [%]

G = incremento annuo di traffico [%]

D = suddivisione direzionale del traffico (es.: per traffico bidirezionale D=0.5; per traffico unidirezionale D=1)

C = percentuale di traffico transitante sulla corsia più lenta, cioè la più caricata (es.: in genere C=90%). Ovviamente C<100% per strade dotate di almeno due corsie per senso di marcia.

Nel caso in esame si ipotizza una vita utile della pavimentazione di 25 anni e quindi si valuta il numero complessivo di passaggi di veicoli commerciali in detto periodo.

Rilevato in 5314 veicoli/g il traffico giornaliero medio attuale (2004) e in 17% la percentuale di veicoli pesanti, applicando la suddetta formula considerando un incremento annuo del 3,5%, si ottiene circa 5.780.000 passaggi di veicoli



anno k	Vk
1	148380,165
2	153573,4708
3	158948,5423
4	164511,7412
5	170269,6522
6	176229,09
7	182397,1082
8	188781,0069
9	195388,3422
10	202226,9342
11	209304,8768
12	216630,5475
13	224212,6167
14	232060,0583
15	240182,1603
16	248588,5359
17	257289,1347
18	266294,2544
19	275614,5533
20	285261,0627
21	295245,1999
22	305578,7819
23	316274,0392
24	327343,6306
25	338800,6577
somma	5.779.386,16

veicoli commerciali nella vita utile

categoria strada	extraurbana principale
pavimentazione	
velocità progetto	70-120 Km/h
TGM [veic/gg]	5314 (bidirezionale)
incremento annuo	0,0350
veicoli commerciali	17%
terreno sottofondo	
clima	Italia settentrionale
anni vita utile	25



9 METODOLOGIA DI CALCOLO

Definite le caratteristiche di portanza del terreno, i dati di traffico e la categoria della strada si è ipotizzato un pacchetto di pavimentazione tale che si avvicini il più possibile al tipo di pacchetto standard generalmente adottato dalla Provincia di Ravenna.

Il pacchetto stradale previsto è composto da uno strato superficiale in conglomerato bituminoso drenante per il manto d'usura di 3 cm di spessore, uno strato di collegamento (binder) in conglomerato bituminoso di 5 cm di spessore, uno strato di base sempre in conglomerato bituminoso di 9 cm, uno strato di fondazione in misto cementato di 20 cm ed infine uno strato di fondazione in misto granulare non legato di spessore di 20 cm.

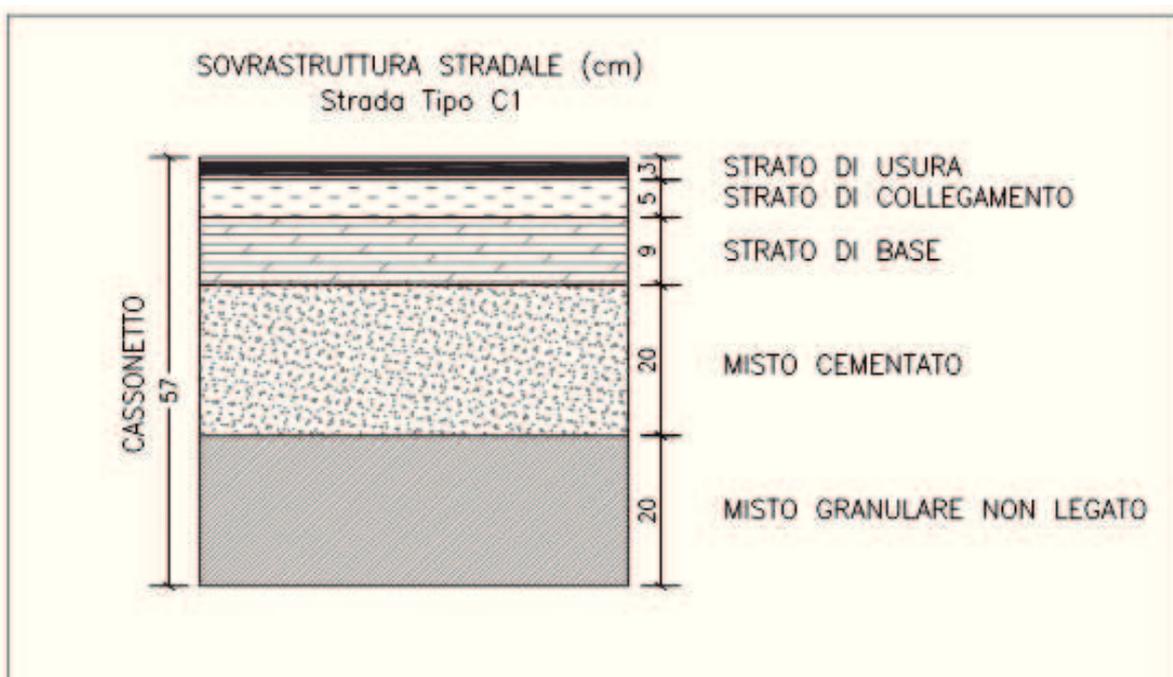


Fig.1 - Dettaglio del cassetto della pavimentazione

Il metodo empirico utilizzato per la verifica è quello dell'AASHTO GUIDE per le pavimentazioni flessibili il quale è stato elaborato attraverso approfonditi studi condotti sui risultati ottenuti nell'AASHO Road Test e risulta il più recente e completo.

Il suddetto metodo fornisce la seguente relazione tra il numero sopportabile di passaggi di assi da 8,2 t, la resistenza strutturale della pavimentazione, il grado di funzionalità della stessa, il modulo resiliente del sottofondo e i parametri Z_r e S_0 legati all'affidabilità:



$$\lg N_{8,2t} = Z_r \cdot S_0 + 9,36 \cdot \lg(0,3937 \cdot SN + 1) - 0,20 + \frac{\lg \frac{(4,2 - PSI)}{2,7}}{0,40 + \frac{1094}{(0,3937 \cdot SN + 1)^{5,19}}} + 2,32 \cdot \lg(Mr^*) - 3,056$$

dove:

$N_{8,2}^{(R)}$: numero di passaggi di assi da 8,2 tonnellate

SN : (Structural Number) resistenza strutturale della pavimentazione

PSI : grado di funzionalità della pavimentazione

Mr^* : modulo resiliente del sottofondo

Z_r, S_0 : Parametri funzione di R

R : affidabilità della pavimentazione

Il parametro che risulta funzione degli spessori dei diversi strati e delle caratteristiche di resistenza degli stessi è la resistenza strutturale (SN), questa si calcola come segue:

$$SN = a_1 \times s_1 + a_2 \times s_2 + m_3 \times a_3 \times s_3 + m_4 \times a_4 \times s_4$$

dove:

s_1, s_2, s_3, s_4 : spessori degli strati di usura, collegamento, base e fondazione

a_1, a_2, a_3, a_4 : coefficienti strutturali funzione del tipo e delle caratteristiche dei materiali

m_3, m_4 : coefficienti di drenaggio per i materiali non legati

I coefficienti strutturali a_1 e a_3 si ricavano direttamente dai nomogrammi presenti sull'AASHTO GUIDE (pag. 14-17) in funzione della stabilità Marshall scelta rispettivamente per lo strato di usura e di base, mentre il valore del coefficiente a_2 (relativo allo strato di collegamento) si ricava per interpolazione lineare dei parametri a_1 ed a_3 (ricavati sempre dall'AASHTO GUIDE però con il valore della Stabilità Marshall relativa allo strato di collegamento) con le rispettive quote. Il coefficiente a_4 (relativo allo strato di fondazione in misto granulare: $CBR > 30$) si ricava in funzione del CBR usando il nomogramma di pag. 16 dell'AASHTO GUIDE. Se la fondazione è in misto cementato il coefficiente a_4 si ricava dal



nomogramma di pag 17 dell'AASHTO GUIDE in funzione della resistenza a compressione semplice a 7 giorni (esempio: Resistenza a compressione a 7 giorni = 35 kg/cm² = 530 psi (1 MPa=145 psi) → a₄=0,15).

Nel caso in esame la sovrastruttura non è formata da 4 strati differenti ma da 5; infatti si prevede l'inserimento sia di una fondazione in misto cementato che di una fondazione in misto granulare non legato. Vista l'impossibilità di utilizzare il modello con l'inserimento di un quinto strato, si è proceduto nel caratterizzare uno strato determinato da una media pesata dei due. In particolare:

Misto cementato spessore 20 cm a_i = 0,15

Misto granulare spessore 20 cm a_i = 0,11

Facendo una media pesata sugli spessori dei coefficienti strutturali a_i si ottiene un coefficiente a₄ che descrive l'intero spessore pari a 0,13 così ottenuto:

$$a_4 = \{ [(0.15 \times 20) + (0.11 \times 20)] / 2 \} / 20$$

Tale determinazione del parametro strutturale scaturisce da considerazioni matematiche ma viene suffragata da considerazioni anche empiriche. Infatti 0,13 è il parametro che solitamente si assegna ad uno strato di fondazione di misto granulare con buone caratteristiche meccaniche. Si ritiene quindi di schematizzare la piattaforma in progetto con ottimi margini di sicurezza se si caratterizzano in tale maniera i due strati di fondazione.

I coefficienti di drenaggio si ricavano dalla tabella a pag. 20 dell'AASHTO GUIDE e sono funzione della qualità di drenaggio e della percentuale di tempo durante il quale si è in presenza di livelli di umidità prossimi alla saturazione (es: qualità di drenaggio=buona e percentuale di tempo=5÷25% → m_i=1.15÷1.00).

I coefficienti a ed m necessari al calcolo del parametro SN sono tabellati in funzione delle caratteristiche dei materiali utilizzati. Da queste tabelle si riportano i valori inerenti al dimensionamento in oggetto:

S ₁	3 cm	S ₂	5 cm	S ₃	9 cm	S ₄	40 cm
a ₁	0,43	a ₂	0,4	a ₃	0,30	a ₄	0,13
				m ₃	1	m ₄	0,90



Il parametro SN risulta quindi pari a 10,67.

L'indice PSI finale, che esprime la funzionalità della pavimentazione al termine della sua vita utile, viene posto pari a 2,5.

Il modulo resiliente del sottofondo, come detto, risulta pari a 90 N/mm², mentre i parametri S_0 e Z_R assumono i valori di 0,45 e -1,282 quest'ultimo in funzione di un'affidabilità della pavimentazione (R) del 90%.

Inserendo i suddetti valori nella formula proposta dall'AASHTO si ottiene il seguente risultato:

SN	10,67
PSI	2,5
S_0	0,45
Z_R	-1,282
M_r	90
$\lg N_{8,2t}$	7,0774
$N_{8,2}^{(R)}$	11.870.223



10 CALCOLO DEL NUMERO DI PASSAGGI DI ASSI STANDARD EQUIVALENTI

Si calcola la percentuale del numero di passaggi per ogni tipologia di veicoli al 25° anno, moltiplicando il V_k , prima ricavato, per la frequenza di rappresentatività della tipologia di veicolo sull'intero spettro di traffico (si veda la Tabella 3 a pag. 3 del Catalogo delle pavimentazioni stradali per le frequenze di rappresentatività che per semplicità a seguire si riporta).

Tipo di strada	Tipo di veicolo															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1) autostrade extraurbane	12.2	—	24.4	14.6	2.4	12.2	2.4	4.9	2.4	4.9	2.4	4.9	0.10	—	—	12.2
2) " urbane	18.2	18.2	16.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.6	18.2	27.3	—
3) strade extr. principali e secondarie a forte traffico	—	13.1	39.5	10.5	7.9	2.6	2.6	2.5	2.6	2.5	2.6	2.6	0.5	—	—	10.5
4) strade extraurb. second. ordin.	—	—	58.8	29.4	—	5.9	—	2.8	—	—	—	—	0.2	—	—	2.9
5) " extr. second. turistiche	24.5	—	40.8	16.3	—	4.15	—	2	—	—	—	—	0.05	—	—	12.2
6) " urbane di scorrimento	18.2	18.2	16.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.6	18.2	27.3	—
7) " " di quartiere e locali	80	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	20	—	—
8) corsie preferenziali	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	47	53	—

Tipo veicolo	frequenza	$V_k \cdot \text{freq}$
1	0	0
2	13.1	757.100
3	39.5	2.282.858
4	10.5	806.838
5	7.9	456.672
6	2.6	150.264
7	2.6	150.264
8	2.6	144.486
9	2.6	150.264
10	2.6	144.486
11	2.6	150.264
12	2.6	150.264
13	0.6	28.897
14	0	0
15	0	0
16	10.5	806.838
SOMMA	100	5.779.386

Si considera poi lo schema di carico di ogni tipologia di veicolo, ovvero tramite la tabella 2 del Catalogo delle pavimentazioni stradali (pag. 2) si va a considerare le tipologie di assi (singoli, tandem o tridem) transitanti sulla pavimentazione stradale.



Tipo di veicolo	N° Assi	Distribuzione dei carichi per asse in KN					
1) autocarri leggeri	2	↓10	↓20				
2) " "	"	↓15	↓30				
3) autocarri medi e pesanti	"	↓40	↓80				
4) " "	"	↓50	↓110				
5) autocarri pesanti	3	↓40	↓80	↓80			
6) " "	"	↓60	↓100	↓100			
7) autotreni e autoarticolati	4	↓40	↓90	↓80	↓80		
8) " "	"	↓60	↓100	↓100	↓100		
9) " "	5	↓40	↓80	↓80	↓80	↓80	
10) " "	"	↓60	↓90	↓90	↓100	↓100	
11) " "	"	↓40	↓100		↓80	↓80	↓80
12) " "	"	↓60	↓110		↓90	↓90	↓90
13) mezzi d'opera	"	↓50	↓120		↓130	↓130	↓130
14) autobus	2	↓40	↓80				
15) " "	2	↓60	↓100				
16) " "	2	↓50	↓80				

Si calcola quindi il numero totale di passaggi di assi al 25° anno per ogni tipologia di asse presente nello spettro di traffico.

Il numero totale di passaggi di assi standard equivalenti (n_s) si calcolano in funzione del numero totale di passaggi di assi trovati precedentemente (n_i , dove i è l' i -esima tipologia di asse) e dei coefficienti di equivalenza e_i , attraverso la seguente relazione:

$$n_s = \sum_i (n_i \cdot e_i)$$

dove:

$$e_i = 10^{-A_i}$$

$$A_i = 6.12523 - 4.79 \cdot \log(0.225 \cdot P_i + T_i) + 4.33 \cdot \log(T_i) + \frac{G}{B_i} - \frac{G}{B_{8.2}}$$

$$G = \log\left(\frac{4.2 - PSI_{f/m}}{2.7}\right)$$

$$B_i = 0.40 + \frac{0.081 \cdot (0.225 \cdot P_i + T_i)^{3.23}}{\left(\frac{SN}{2.54} + 1\right)^{3.19} \cdot T_i^{3.23}}$$

SN = Structural Number in cm

P_i = Peso asse in KN (es: per asse tridem da 80 → $P_i = 80+80+80=240$ KN)

$T_i = 1$ per asse singolo, $=2$ per asse tandem, $=3$ per asse tridem.

n_s	11.165.730
-------	------------



11 RISULTATI

Il metodo empirico si conclude verificando che il numero di passaggi di assi standard (n_s) risulti poco inferiore al numero max di passaggi di assi standard sopportabili dalla pavimentazione $N_{8,2}$.

$$n_s=11.165.730 < N_{8,2}^{(R)}=11.870.223$$

La verifica risulta quindi soddisfatta.