

**CONVENZIONE SOGESID S.p.A. - MATTM** del 12/09/2011

Accordo di Programma Strategico per le Compensazioni Ambientali nella regione Campania  
del 18 Luglio 2008 e successivo atto modificativo dell'8 Aprile 2009



**COMUNE DI QUALIANO (NA)**

INTERVENTI DI POTENZIAMENTO, ADEGUAMENTO E COMPLETAMENTO  
DEL SISTEMA FOGNARIO COMUNALE (LOTTI 1-2-3) - 1° Stralcio

**PROGETTO ESECUTIVO**

Titolo elaborato <b>RELAZIONE SOVRASTRUTTURA STRADALE</b>				Elaborato <b>A.06</b>							
Redatto da  Responsabile Direzione Acque Ing. Giovanni Pizzo  Project Manager Ing. Lavinia Sconci				Il Direttore Tecnico Ing. Giovanni Pizzo  n. 2983 Ordine degli Ingegneri della Provincia di Palermo 				Gruppo di progettazione Geol. Paolo Martines (Geologia) Ing. Lavinia Sconci (CSP) <b>RTP:</b> Studio Discetti (Capogruppo)  Ing. Enzo Discetti  Ing. Giovanni Perillo TECNO IN SPA : Davide Sala  (Supporto specialistico e indagini)			
Cod. Commessa		Codice				Nome file		Data : Luglio 2017			
<b>COM321-2-3_1</b>		<b>PE</b>	<b>ED</b>	<b>A</b>	<b>0</b>	<b>6</b>	<small>rev.</small> <b>0</b>	<b>COM321-2-3_1.PE.ED.A.06</b>	<b>Scala : -</b>		
Rev.	Data	Descrizione modifica					verificato		approvato		
0	07/2017	1 <sup>a</sup> Emissione									

<b>PREMESSA .....</b>	<b>2</b>
<b>METODOLOGIA DI CALCOLO .....</b>	<b>2</b>
<b>I DATI DI TRAFFICO .....</b>	<b>4</b>
<b>PROCEDIMENTO DI VERIFICA .....</b>	<b>5</b>
<b>INDICE DI SERVIZIO PSI .....</b>	<b>9</b>
<b>AFFIDABILITÀ .....</b>	<b>10</b>
<b>MODULO RESILIENTE .....</b>	<b>12</b>
<b>VERIFICA .....</b>	<b>15</b>
<b>SICUREZZA STRADALE .....</b>	<b>16</b>
<b>SISTEMI DI RITENUTA .....</b>	<b>17</b>
<b>SEGNALETICA STRDALE .....</b>	<b>18</b>
<b>CIGLI - CUNETTE - SMALTIMENTO DELLE ACQUE .....</b>	<b>19</b>
<b>CONCLUSIONI .....</b>	<b>20</b>

## **PREMESSA**

La presente relazione, parte integrante del progetto esecutivo, è relativa al calcolo della sovrastruttura stradale prevista lungo la viabilità di progetto e pertanto, descrive i materiali, i criteri di calcolo utilizzati per garantire la perfetta regola d'arte del corpo d'opera. Inoltre descrive, nel contempo, anche la tipologia di segnaletica stradale (verticale ed orizzontale) per le cui caratteristiche tecnico prestazionali, si rimanda alla parte tecnica del CSA ovvero, alle tavole grafiche. Per quanto non espressamente riportato nel corpo della presente, si è inteso riferirsi alla seguente normativa di settore:

- Catalogo delle Pavimentazioni stradali Norme CNR;
- ASSHTO - Design of Pavement Structures 4th Edition with supplement -1998;
- UNI EN 6556 - Prove sui calcestruzzi - Determinazione del modulo elastico secante a compressione;
- UNI EN 12390 - 8 - Determinazione della profondità dell'acqua sotto pressione;
- UNI EN 13286 - 47 Metodo di prova per la determinazione dell'indice di portanza CBR e di portanza media del rigonfiamento.

## **METODOLOGIA DI CALCOLO**

La sovrastruttura in conglomerato bituminoso, prevista in corrispondenza della viabilità di progetto, è stata verificata con il metodo AASHTO - Design of Pavement Structures - utilizzato per la progettazione delle pavimentazioni flessibili e semirigide.

Tale metodologia, si basa sulla quantificazione della capacità strutturale della sovrastruttura mediante la definizione degli SN (*Structural Numbers*) di ogni strato previsto ovvero, è funzione del contributo offerto:

- dal traffico di progetto;
- dal grado di affidabilità del procedimento di dimensionamento;
- dalle caratteristiche degli strati (fondazione, base, binder, usura).

Ai fini computazionali, il metodo si sostanzia in una semplice verifica che compara il numero di passaggi di assi equivalenti da 8.2 tonnellate con quelli compatibili per un determinato multistrato durante l'arco di vita utile della sovrastruttura assunto, che nel caso in esame, è stato posto pari a 20 anni.

Nell'espressione successiva, sono riportati i  $W_{18}$  ovvero, il numero di assi standard (ESAL<sup>1</sup>) da 8,2 t (18 kip) che la pavimentazione, durante un determinato periodo sarebbe in grado di sopportare fino al raggiungimento di un determinato grado di ammaloramento.

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

Generalmente il dato di partenza è il traffico giornaliero medio TGM, che transita o si presume transiterà nell'infrastruttura nel primo anno di vita utile.

Tale valore, deve essere corretto considerando poi i seguenti fattori:

- L'evoluzione del traffico nel corso degli anni (**r**). La determinazione del tasso di evoluzione è alquanto difficile visto che le osservazioni operate sulle reti secondarie evidenziano un trend significativamente positivo nei primi anni per poi ridursi nel tempo. Dunque nel caso in esame si è assunto un valore pari a al 3.0%.
- La distribuzione del traffico per senso di marcia (**pd**). Nel caso in esame, non essendoci rilievi dedicati e presentando la viabilità, nelle sue diverse configurazioni, un senso unico di marcia ovvero, un doppio di senso di circolazione, si è ipotizzata un'equa distribuzione delle percorrenze per senso di marcia.
- La percentuale di veicoli commerciali (**p**). Questa varia da valori nulli se il transito è interdetto a questa categoria di mezzi, fino ad assumere valori del 30 ÷ 40%. Valori medi sono compresi intorno tra 10 ÷ 15%. Nel caso in esame, interessando il progetto parte di un centro storico e la zona marginale all'abitato, non avendo rilevato previsioni e stime, non è velleitario considerare, per le caratteristiche presenti a Qualiano una percentuale del 10%;
- Percentuale di traffico commerciale che transita nella corsia lenta (**pl**). Nel caso in esame viste le caratteristiche geometriche delle sezioni delle diverse viabilità, tale percentuale è stata considerata prossima all'unità.
- La dispersione delle traiettorie (**d**). La traiettoria seguita dalle ruote, non è sempre la stessa, ma si disperde nell'intorno di un valore medio che dipende dal comportamento di guida, dalla composizione del traffico ovvero, dai fattori di piattaforma: segnaletica, ambiente esterno, interferenze. Nella prassi trasportistica, si considera il contributo delle traiettorie riducendo del 20% il TGM.

---

<sup>1</sup> ESAL = Equivalent Standard Axle Load. Questo rappresenta l'asse standard assunto dall'AASHTO pari a 18 kip (ChiloPound). Poiché 1 Pound = 0.4536 Kg esso equivale a 18.000 x 0.4536 Kg = 8.164,8 Kg

## I DATI DI TRAFFICO

Il parametro caratterizzante il traffico è il numero totale di assi singoli da 18 chilo-pounds  $W_{18}$  (8,2 tonnellate) equivalenti, connesso agli effetti di deterioramento che si verificano nel periodo di esercizio.

I coefficienti di equivalenza tra gli assi dell'AASHTO Guide e quelli effettivamente transitanti sull'infrastruttura di progetto, derivano essenzialmente dall'equazione generale di calcolo delle sovrastrutture dell'AASHTO "Road Test" in cui compaiono il *numero di passaggi di assi*, le caratteristiche dei carichi per asse, lo *Structural Number* SN ed il PSI.

Al fine quindi verificare le prestazioni offerte dalla sovrastruttura posta a base di gara, non disponendo dei dati di traffico in sezioni dedicate, né di valori a carattere previsionale discendenti da analisi trasportistiche o da simulazioni, si è inteso riferirsi ad un valore di TGM pari 1.000 veicoli/giorno.

Tale assunzione appare quanto mai opportuna non rilevando riferimenti nella progettazione preliminare e, considerando il contributo che le viabilità di progetto avranno rispetto al contesto, inteso come graduale adattamento alle condizioni di mobilità. Il valore preso in esame è inoltre, il parametro discriminante rispetto al quale la norma<sup>2</sup>, stabilisce l'utilizzo dei sistemi di ritenuta che, di fatto, sono stati predisposti lungo le viabilità.

Ai fini operativi quindi, si è ipotizzata una percentuale dei mezzi pesanti che rientra nell'ordine del 10% e poi, si è stimato un ulteriore incremento nei prossimi 20 anni, del tasso di crescita del 3.0%. Pertanto, il volume di traffico di veicoli commerciali che si prevede transiterà durante il primo anno di vita utile della sovrastruttura è definito da:

$$N_{ca} = TGM \cdot p_{vp} \cdot p_{sm} \cdot p_{corsia} \cdot 365 = 36500$$

Ne consegue che, il numero di veicoli commerciali transitanti, nell'arco della vita utile ed in ragione dell'incremento stimato è pari a:

$$N_T = N_{ca} \cdot \frac{(1+\rho)^v - 1}{\rho} = 980.768 \cong 1.000.000$$

---

<sup>2</sup> Direttiva sui criteri di progettazione, installazione, verifica e manutenzione dei dispositivi di ritenuta nelle costruzioni stradali - Piano Nazionale - Italia - Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti Prt.2367/2004.

## **PROCEDIMENTO DI VERIFICA**

La progettazione della sovrastruttura, nel rispetto delle prestazioni attese ovvero, del traffico stimato, ha previsto la fornitura e posa in opera, su di una fondazione in misto granulare da 25.0 cm, di un multistrato elastico in conglomerato bituminoso dai seguenti spessori:

- C.B. Strato di usura 3.0 cm;
- C.B. Strato di collegamento binder 5.0 cm;

in linea anche, con quanto previsto dal Catalogo delle Pavimentazioni CNR per transiti di veicoli commerciali da 400.000 passaggi/anno

Orbene, applicando la metodologia di verifica dell' *AASHTO guide for design of pavement structures* sintetizzata nella relazione (1) e con il supporto del *Catalogo delle Pavimentazioni Stradali* redatto dal Consiglio Nazionale delle Ricerche ed in particolare dalla *commissione di studio per le norme relative ai materiali stradali e progettazione, costruzione e manutenzione strade, pubblicato poi dall'Associazione Italiana delle Concessionarie autostrade e trafori*, si è proceduto alla determinazione degli spessori della sovrastruttura con riferimento allo scenario più sfavorevole e quindi, riferito ad una categoria di strada di tipo F1 - locale in ambito extraurbano.

Orbene, per tale tipologia, la cui sezione prevede un ingombro complessivo di 5.50 m, si è determinato lo "Structural Number", in ragione dei diversi spessori proposti, verificando poi che il numero di passaggi di veicoli equivalenti transitanti durante l'intero arco della vita utile, fosse inferiore al numero di assi equivalenti da 8.2 t che la pavimentazione è in grado di sopportare senza innescare degni.

Inoltre, occorre rilevare che, rispetto alle previsioni progettuali del preliminare, è risultato necessario riferirsi ad una sezione stradale prevista dalla normativa garantendo, ancorché sia presente un'urbanizzazione disarticolata, un'omogeneità geometrica della carreggiata e delle corsie, al fine di evitare restringimenti e punti singolari "*black spot*" che possono pregiudicare il corretto comportamento di guida dell'utente e quindi la sicurezza stradale. Tuttavia, intervenendo su delle viabilità esistenti, con tracciati che non risultano rispettosi dei rapporti geometrici tra diversi elementi successivi quali rettili e curve (DM 05.11.2001), nonché delle condizioni di circolazione connesse, si è inteso, viste le esigenze manifestate dal comune di Qualiano nel progetto preliminare, predisporre: la riorganizzazione della piattaforma stradale con modifica della composizione della sezione tipo e della dimensione trasversale dei suoi elementi componenti ovvero del piano viario, al fine di consentire una riorganizzazione della circolazione e delle manovre consentite nel rispetto dei

carattere morfologici del territorio interessato. Di seguito, nella tabella successiva, è riportata per ogni viabilità oggetto di intervento, le caratteristiche geometriche della sezione e degli elementi costituenti la carreggiata in ragione di quanto previsto dalla normativa e delle previsioni dello strumento urbanistico comunale, che ha individuato il livello gerarchico di rete a cui le stesse viabilità si riferiscono.

**Tabella n.2 – Caratteristiche della viabilità - geometria sezioni ed elementi carreggiata**

Viabilità	Sezione	Corsie- per senso di marcia	Dimensione Corsia (m)	Presenza di Banchina	Dimensione Banchina (m)	Presenza di Marciapiedi Marciapiedi	Dimensione Marciapiedi (m)
AREA 1 Centro Storico - Via Camaldoli	3.75 m	1	2.75 m	-	-	Sx	Da 0.9 a 2,20 m in base alla disponibilità
AREA 2 Isola Ecologica	5.50 m	1	3.50 m	Sx-Dx	1 m	-	-
AREA 3 Masseria Bella Ragina	5.50 m	1	3.50 m	Sx-Dx	1 m	-	-

Per i relativi approfondimenti, si rimanda alle tavole grafiche dedicate.

Lo Structural Number di seguito “SN” è la metodologia di calcolo utilizzata per computare la “resistenza strutturale” della pavimentazione che, come intuibile, è funzione dello spessore degli strati “S<sub>i</sub>”, della “resistenza dei materiali impiegati mediante i “coefficienti strutturali dello strato a<sub>i</sub>” (Structural Layer Coefficient) e della loro sensibilità all’acqua rappresentata, mediante i coefficienti di drenaggio “m<sub>i</sub>”.

Lo SN è determinato mediante la seguente relazione:

$$SN = a_1 \cdot s_1 + a_2 \cdot s_2 + a_3 \cdot s_3 + a_4 \cdot s_4 \cdot m_4 \quad (2)$$

dove, gli a<sub>i</sub> sono i coefficienti strutturali dello strato i-esimo, m<sub>4</sub> è il coefficiente di drenaggio dei materiali sensibili all’acqua ovvero di quelli non legati che, nel caso in esame è rappresentato dal misto granulare. In sostanza, i coefficienti a<sub>i</sub> esprimono la relazione empirica tra lo Structural Number e gli spessori degli strati quale capacità a contribuire come componenti strutturali alla funzionalità della sovrastruttura.

Ai fini della determinazione dei suddetti coefficienti, per i conglomerati bituminosi in esame, è necessario riferirsi ai valori della Stabilità Marshall che, derivando dalla norma ASTM D 1559 prevede un costipamento del provino, in ragione dello scopo di funzione all’interno del pacchetto

stradale, con un numero di 50 colpi per faccia, mentre, in Italia, la normativa CNR BU 30 ne prevede un costipamento con 75 colpi per faccia. Dunque, la stabilità, quale sintesi delle caratteristiche meccaniche dei singoli strati presenti nel multistrato, deve essere convertita, ai fini dell'applicabilità dell'AASHTO GUIDE, da 75 a 50 colpi e poi in da KN in pound.

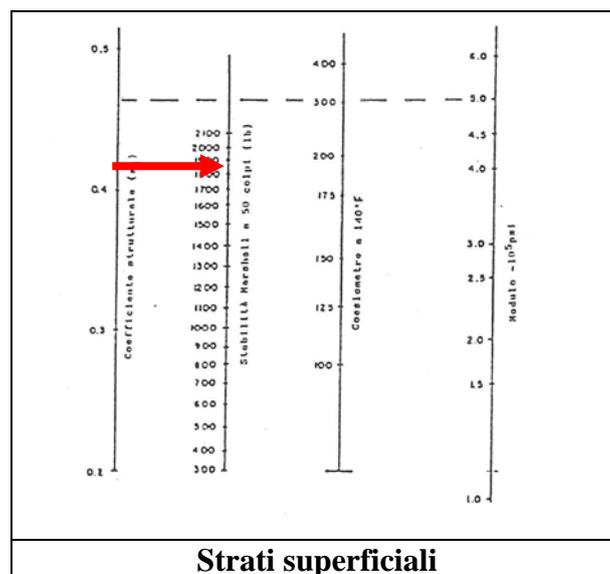
Nel caso in esame, non avendo rilevato specifiche tecniche particolari per gli strati previsti in progetto, si è inteso riferirsi alla tabella n.8 del Catalogo delle Pavimentazioni, ritenendo plausibile un *traffico leggero* ovvero, con un Traffico (T) in numero di autoveicoli commerciali sulla corsia più caricata pari a  $T < 3.500.000$ .

Dunque, si è considerato secondo le caratteristiche merceologiche presenti sul mercato ovvero, secondo gli usuali confezionamenti dei conglomerati bituminosi una percentuale di bitume pari al 5% nondimeno, ci si è riferiti ad una stabilità Marshall superiore a 500 Kg ed inferiore a 1000Kg, così come riportato nella tabella successiva.

**Tabella n.3 – Valori coefficienti ai - da tabella catalogo delle pavimentazioni**

<b>STRATI</b>	Stabilità Marshall (75 ) Kg	Stabilità Marshall (50) Kg
Usura	1000	833
Binder	900	750

Dall'applicazione dell'AASHTO GUIDE, si sono quindi determinate le correlazioni tra i coefficienti strutturali ed i relativi moduli resilienti determinando quindi i singoli valori di  $a_i$ , per i diversi scenari di progetto.



**Figura n.1 – Variazione del coefficiente strutturale AASHTO GUIDE**

In realtà, i coefficienti  $a_1$  ed  $a_2$  riferiti allo strato di Usura e di Binder, determinabili dallo stesso abaco sopra riportato derivano, per la specificità del metodo, da un'applicazione sperimentale che, secondo la norma statunitense sono di caratteristiche identiche e pertanto, devono essere valutati attraverso un coefficiente riduttivo con particolare riguardo al valore di " $a_1$ " per il fatto che in Italia, i due strati, sono realizzati con materiali di caratteristiche differenti e che quindi, risultano fortemente influenzati dalle condizioni di aderenza tra gli stessi. Tale contributo, si trasforma per lo strato di usura in un coefficiente riduttivo. Studi sperimentali<sup>3</sup>, riferiti al multistrato elastico consentono di determinare tale riduzione, che computa anche una differenza di scenario nella stessa della pavimentazione.

Lo strato di misto granulare è invece considerato come materiale non legato sensibile all'azione dell'acqua in quanto, può subire, sotto carico una deflessione simile a quella della pavimentazione. Il suo comportamento strutturale, determinato dal relativo *structural number*, è funzione del CBR di progetto e della percentuale del tempo durante la quale si è in presenza di livelli di umidità prossimi alla saturazione compresa tra il 5 - 25% invero, è funzione della relativa capacità di drenaggio che nel caso in esame è stata assunta pari a 0.8

Di seguito si riporta per ogni strato della sovrastruttura il relativo *structural number* e quello dell'intera sovrastruttura di progetto.

**Tabella n.4 – Valori degli SN per le diverse tipologie di pavimentazione**

<b>Strati</b>	<b>Sni - (pound)</b>
Usura	1.26
Binder	1.75
Misto Granulare	2.6
<b>SN</b>	<b>(2.26)</b>

Ai fini computazionali è dunque necessario determinare, partendo dallo spettro di traffico riportato in figura successiva, i coefficienti di equivalenza tra assi *reali* ed assi standard da **18Kp**.

---

<sup>3</sup> " Analisi sperimentale comparativa tra gli strati in conglomerato bituminoso secondo il Metodo AASHTO" - P. Discetti e R. Lamberti -Dipartimento di Ingegneria dei Trasporti - Federico II - Napoli 2004

**Tabella n.5 – Spettro di Traffico**

	<b>TIPO DI VEICOLO</b>	<b>DISTRIBUZIONE DEI CARICHI PER ASSE (kN)</b>			
1	Autocarri leggeri	↓10	↓20		
2	autocarri leggeri	↓15	↓30		
3	autocarri medi e pesanti	↓40	↓80		
4	autocarri medi e pesanti	↓50	↓110		
5	autocarri pesanti	↓40	↓80	↓80	
6	autocarri pesanti	↓60	↓100↓100		
7	autotreni ed autoarticolati	↓40	↓90	↓80	↓80
8	autotreni ed autoarticolati	↓60	↓100	↓100	↓100
9	autotreni ed autoarticolati	↓40	↓80	↓80	↓80 ↓80
10	autotreni ed autoarticolati	↓60	↓90	↓90	↓100↓100
11	autotreni ed autoarticolati	↓40	↓100	↓80	↓80 ↓80
12	autotreni ed autoarticolati	↓60	↓110	↓90	↓90 ↓90
13	mezzi d'opera	↓50	↓120	↓130	↓130↓130
14	autobus	↓40	↓80		
16	autobus	↓50	↓80		

### INDICE DI SERVIZIO PSI

Il PSI (*Present Serviceability Index*), esprime il grado di ammaloramento delle pavimentazioni e varia da “5” (per pavimentazioni in ottime condizioni) a “0” per pavimentazioni in pessime condizioni. All’inizio della vita utile della pavimentazione viene assunto pari a 4.2 per considerare eventuali imperfezioni costruttive mentre, al termine, il valore del PSI da assumere ai fini della sovrastruttura dipende essenzialmente dal tipo di strada. Nel caso specifico, per la categoria della strada e dell'affidabilità richiamata nel catalogo delle pavimentazioni, un valore finale del PSI pari a 2.0.

**Tabella n.6 – Affidabilità - PSI - Catalogo delle pavimentaizoni**

<b>Tipo di Strada</b>	<b>Affidabilità</b>	<b>PSI</b>
1) Autostrada extraurbane	90	3
2) Autostrada urbane	95	3
3) Strada ex. principali e secondarie a forte traffico	90	2.5
4) Strade extraurbane secondarie ordinarie	85	2.5
5) Strade extraurbane secondarie turistiche	80	2.5
6) Strade Urbane di Scorrimento	95	2.5
<b>7) Urbane di Quartiere e locali</b>	<b>90</b>	<b>2</b>
8) Corsie preferenziali	95	2.5

Dalla tabella è possibile notare, che i valori più alti dell'affidabilità, così come di seguito esplicitato, sono stati assunti per le strade ubicate in area urbana, proprio per ridurre il rischio che si presenti la necessità di rafforzamenti prima del termine previsto, con le conseguenti gravi penalizzazioni al traffico. I calcoli razionali pertanto, sono stati effettuati seguendo le verifiche a rotture ed a fatica computando anche il parametro dell'affidabilità attraverso i fattori correttivi desunti per confronto con i dimensionamenti dell'AASHTO.

### **AFFIDABILITÀ**

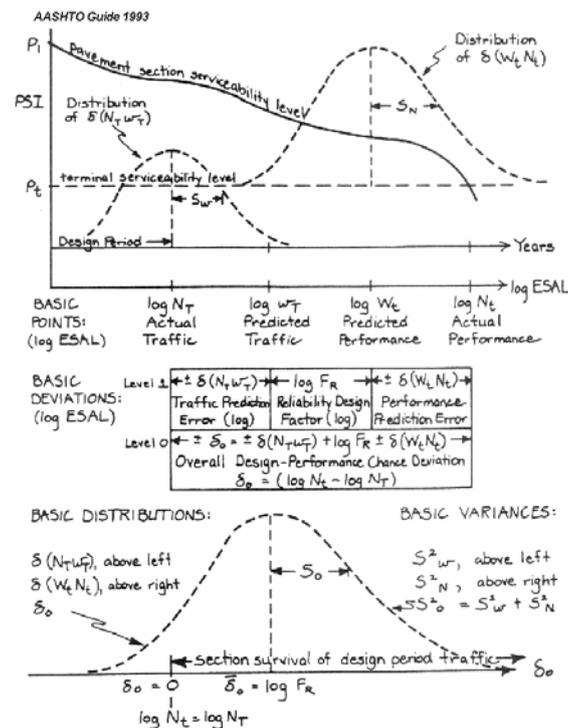
Tale parametro “R” - “*Reliability*” esprime la probabilità che il numero di applicazione di carico  $N_t$  che una pavimentazione può sopportare prima di raggiungere un prefissato “*PSI finale*” - espressione del grado di ammaloramento della sovrastruttura - sia maggiore o uguale al numero di applicazioni di carico  $N_T$  che realmente risultano applicati alla sovrastruttura durante il periodo assunto quale vita utile.

L’AASHTO, ha fornito delle indicazioni per la determinazione dell’affidabilità in funzione del tipo di strada e della sua ubicazione.

**Tabella n.6 – Livelli di Affidabilità AASHTO - Guide**

<b>Classificazione funzionale</b>	<b>Livelli di Affidabilità</b>	
	<b>Urbana</b>	<b>Extraurbana</b>
Autostrade	85 - 99.9 %	80 - 99.9%
Arterie Principali	80 - 99%	75 - 95%
Strade di Scorrimento	80 - 95%	75 - 95%
Strade Locali	50 - 80%	50 - 80%

Come si evince, l’affidabilità assume valori che variano dal 50% al 99.9%; l’obiettivo pertanto, è quello di dimensionare una pavimentazione con probabilità sempre maggiore di sopravvivenza rispetto a quelle progettate dall’AASHTO Interim Guide, la quale considera un’affidabilità del 50%. La formulazione proposta per la determinazione dell’affidabilità, la cui funzione di distribuzione è di seguito riportata, propone l’utilizzo dei coefficienti  $S_0$  e  $Z_R$ , dove  $S_0$  rappresenta la deviazione standard nella predizione del traffico e della prestazione attribuita alla pavimentazione, mentre  $Z_R$  è quel valore della variabile standardizzate  $\log N_t - \log N_T$  al quale corrisponde la probabilità che “R” assume valori ad esso superiori.



**Figura n.2 – Basic Probability Distributions For Design Performance Reliability**

**Tabella n.7 – Affidabilità-  $Z_R$**

Affidabilità (R%)	$Z_R$
50	0.00
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
<b>80</b>	<b>-0.841</b>
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.340
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.090
99.9	-3.75

Nel caso specifico, per la tipologia di pavimentazione prevista in progetto, si assume il valore  $S_0$  pari a 0.45, di conseguenza, il valore  $Z_R * S_0$  risulta pari -0.37845.

Al fine quindi di eseguire, la comparazione tra N. di veicoli transitanti e N. assi equivalenti da 8.2 t che la sovrastruttura è in grado di sopportare durante l'arco della vita utile è necessario estrapolare, in ragione delle frequenze di traffico, le classi di carico dei veicoli marcianti sulle viabilità di progetto e quindi il coefficiente di conversione per l'equivalenza.

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	---

**Figura n.3 – Spettro di Traffico - Frequenze per Categoria di Strada**

**Tabella n.8 – Coefficiente di equivalenza**

Classe di carico (t)	Classe di carico (Kp)	Numero di passaggi Per asse	Pavimentazione Progetto
			Coefficiente di equivalenza Per SN 2.26
1	2.2	80	0.00010989
2	4.4	80	0.00137619
4	8.8	20	0.03245000
8	17.6	20	0.76140480

## MODULO RESILIENTE

Il modulo resiliente è invece, un modulo dinamico che considera il comportamento *visco elastico* del materiale. Esso infatti, computa la “deformazione elastica ritardata” in prove nelle quali, il carico varia ciclicamente. Per la sua determinazione sperimentale, si ricorre a prove in laboratorio su provini cilindrici di materiali a stati tensionali di compressione triassale. Tali prove risultano indispensabili al fine di valutare se, una variazione di portanza del sottofondo genererà conseguenti stati deformativi nella pavimentazione con l’innescarsi di un “danno”. Il modulo resiliente esprime quindi la portanza del sottofondo in ragione della varianza climatica annuale: si è soliti riferirsi a periodi stagionali sfavorevoli e, a determinati variazioni di PSI.

Nella prassi consolidata in Italia, a differenza di quella internazionale, si è soliti determinare il modulo resiliente mediante l’indice di portanza CBR<sup>4</sup> (*Californian Bearing Ratio*). ovvero, secondo la correlazione *Heukelom e Klomp* come di seguito riportato:

<sup>4</sup> “Mix-Design with Low Bearing Capacity Materials” - TRB Annual Meeting Transportation Research Board (TRB) - Washington, D.C. January, 23 - 27 2011, Compendium of Papers vol. 2011, p. 1-15

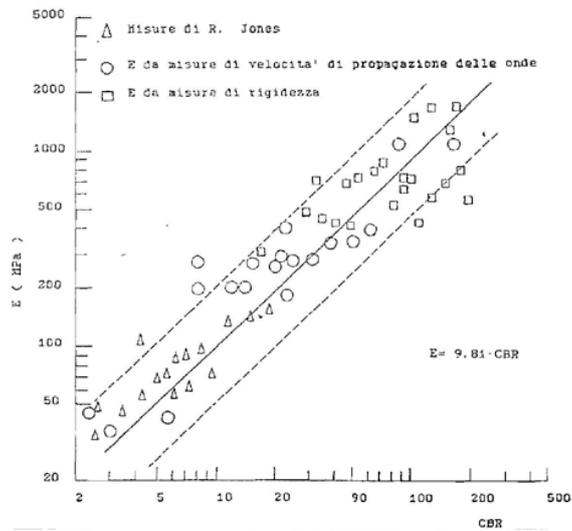
- $MR = 1500 * CBR \text{ (psi)}$ ; (3)
- $Me = 100 * CBR \text{ (daN/cmq)}$ .

Facendo riferimento alla campagna di indagini eseguita è possibile rilevare al di sotto dello strato di terreno vegetale, uno strato di cinerite che poi si presenta rimaneggiata in profondità e con una successione di sabbia limosa. Nella prassi ingegneristica per la caratterizzazione del sottofondo, si è soliti riferirsi al  $CBR^5$  di laboratorio, che per lo strato in esame può assumere, un valore pari a 30, così come riportato nella figura successiva.

tipo di terra	stiffa	NOME	Comportamento cose fondazione	Comportamento cose strato di base	Azione del gelo	Compressibilità' ed espansione	Caratteristiche del drenaggio	Macchine per il costipamento	Peso per unità' di volume ( N / m <sup>3</sup> )	CBR	K (MPa/s)	
terza a grande grossa (terza ghiaia-sabbiosa) CBR	ghiaia o terreno ghiaioso	GV	Ghiaie e ghiaie sabbiose ben graduate	eccellente	buono	nessuna o lieve	pressocche' nulla	eccellente	Rullo statico Rullo gomato trattore cingolato	20.000 - 22.500	60 - 80	≥ 80
		GP	Ghiaie e ghiaie sabbiose poco graduate	da eccellente a buono	da scadente a discreto	nessuna o lieve	pressocche' nulla	eccellente	Rullo statico Rullo gomato trattore cingolato	19.000 - 21.000	35 - 60	≥ 60
		GU	Ghiaie e ghiaie sabbiose uniformi	buono	scadente	nessuna o lieve	pressocche' nulla	eccellente	Rullo gomato trattore cingolato	18.500 - 20.000	25 - 60	≥ 80
		GK	Ghiaia limosa o ghiaia sabbia limosa	da eccellente a buono	da discreto a buono	da lieve a media	molto lieve	da discreto a scadente	Rullo gomato Rullo costip. a piede di montone	21.000 - 23.000	10 - 60	≥ 80
		GC	Ghiaia argillosa e ghiaia sabbia argillosa	buono	scadente	da lieve a media	lieve	da scadente a praticamente impermeabile	Rullo gomato Rullo costip. a piede di montone	19.000 - 22.500	20 - 40	≥ 80
		GV	Sabbia o sabbia ghiaiosa ben graduate	buono	scadente	nessuna o lieve	pressocche' nulla	eccellente	Rullo gomato trattore cingolato	17.500 - 21.000	20 - 40	60 - 80
		SP	Sabbia o sabbia ghiaiosa poco graduate	da discreto a buono	scadente o inadatto	nessuna o lieve	pressocche' nulla	eccellente	Rullo gomato trattore cingolato	17.000 - 19.000	15 - 25	60 - 80
		SV	Sabbia o sabbia ghiaiosa uniformi	da discreto a buono	non adatto	nessuna o lieve	pressocche' nulla	eccellente	Rullo gomato trattore cingolato	16.000 - 18.500	10 - 20	60 - 80
		SH	Sabbia limosa o sabbia limo-ghiaiosa	buono	scadente	da lieve a bassa	molto lieve	da discreta a scadente	Rullo gomato Rullo costip. a piede di montone	19.000 - 21.500	20 - 40	60 - 80
		SC	Sabbia argillosa e sabbia argillosa-ghiaiosa	da discreto a buono	non adatto	da lieve a bassa	da lieve a media	da scadente a praticamente impermeabile	Rullo gomato Rullo costip. a piede di montone	17.000 - 21.000	10 - 20	60 - 80
terza a grossa fine (terza limo-argillosa) CBR	base compressibile' il < 50	HL	Limo, sabbia limosa, limo ghiaioso	da discreto a scadente	non adatto	da media a molto bassa	da lieve a media	da discreta a scadente	Rullo gomato Rullo costip. a piede di montone	16.000 - 20.000	5 - 15	30 - 60
		CL	Argille magre argille sabbiose o ghiaiose	da discreto a scadente	non adatto	da media a bassa	media	praticamente impermeabile	Rullo gomato Rullo costip. a piede di montone	16.000 - 20.000	5 - 15	30 - 60
		OL	limi organici o argille organiche magre	scadente	non adatto	da media a bassa	da media a bassa	scadente	Rullo gomato Rullo costip. a piede di montone	14.500 - 17.500	4 - 8	30 - 60
		HL	Argille micacee	scadente	non adatto	da media a molto bassa	bassa	da discreta a scadente	Rullo gomato Rullo costip. a piede di montone	13.000 - 16.000	4 - 8	30 - 60
		CH	Argille grasse	scadente o molto scadente	non adatto	media	bassa	praticamente impermeabile	Rullo gomato Rullo costip. a piede di montone	14.500 - 17.500	3 - 5	15 - 30
		OH	Argille organiche grasse	scadente o molto scadente	non adatto	media	bassa	praticamente impermeabile	Rullo gomato Rullo costip. a piede di montone	13.000 - 17.000	3 - 5	15 - 30
Torba e altre terre organ. di fibr.	Pt	Torba, humus ed altre	non adatto	non adatto	lieve	molto bassa	da discreta a scadente	non eseguibile il costipamento	---	---	---	

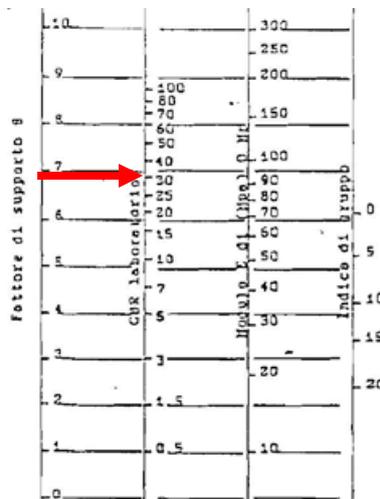
Figura n.6 – Caratteristiche sottofondo CBR di Laboratorio

La caratterizzazione del sottofondo di una pavimentazione è funzione anche del valore del modulo elastico dinamico ( $E_{din}$ ). La correlazione tra  $E_{din}$  e CBR è stata, infatti, oggetto di numerosi studi, *R. Jones*, ha valutato il modulo elastico dinamico  $E_{din}$  mediante le misure sulle velocità di propagazione delle onde di *Rayleigh*, di cui è riportato il relativo abaco che, mostra una correlazione diversa a seconda che si tratti di terreni coesivi o ghiaio - sabbiosi. Successivamente *Heukelom e Foster* nel 1960 superando la distinzione, ed in particolare in presenza di terreni incoerenti, ha dimostrato l'esistenza di un legame di proporzionalità tra il modulo elastico dinamico ed il CBR.



**Figura n.7 – Modello di Jones determinazione Edin**

*Ferrari e Giannini* infine, sulla base degli studi di *Van Till* (Evaluation of AASHTO IG for Design Pavements Structures. NCR PR 128, HRB -1972) hanno fornito un nanogramma che determina il l'Edin in funzione del CBR di progetto



**Figura n.8 – Nonogramma Ferrari - Giannini determinazione Edin**

Nel caso in esame si è determinato un CBR di laboratorio pari 30 in corrispondenza del quale si è ricavato un  $E_{din} 94 \text{ MPa} - 940 \text{ daN/cm}^2$ .

Il CBR di progetto pertanto, si assume, in base alla relazione  $CBR_{prog} = E_{din}/100 = 9.4 \text{ Mpa}$ .

Determinato il valore del Modulo Dinamico, è possibile verificare se risulta necessario eseguire un risanamento del sottofondo mediante il seguente confronto comparativo:

$$Md > 500 \text{ Mpa}$$

Nel caso in esame è quindi possibile determinare il modulo dinamico, riscontrando la non necessità di bonificare il sottofondo.

$$Md = CBR_{prog}/0.018 = 522 > 500 \text{ Mpa}$$

Applicando infine, la relazione precedente è possibile determinare il Modulo Resiliente che risulta pari a:

$$Mr = 97.2195 \text{ MPa}$$

rilevando, quindi, un sottofondo dalla discrete caratteristiche di portanza.

### VERIFICA

Applicando la relazione (1), in ragione dei valori sopra determinati per lo structural number, per l'affidabilità nonché, per il modulo dinamico e per un PSI pari di 2.0, è possibile eseguire un confronto comparativo dei due scenari del progetto definitivo.

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

Dunque si rileva che la sovrastruttura prevista in progetto risulta verificata.

Sovrastruttura di tipo		
• C.B. Strato di usura		3.0 cm;
• C.B. Strato di collegamento binder		5.0 cm;
• Misto granulare		25.0 cm
W18 resistente > Wefficace		
573.668.68	>	14.741.33

## **SICUREZZA STRADALE**

La progettazione delle diverse viabilità è stata sviluppata con l'obiettivo di garantire un miglioramento della funzionalità e della sicurezza della circolazione stradale, tenuto conto delle caratteristiche dei diversi itinerari all'interno dei quali ciascun intervento proposto si colloca.

Le diverse soluzioni progettuali, sono state sviluppate non avendo a disposizione, dati di traffico e di incidentalità che avrebbero consentito, sicuramente, approfondimenti più accurati.

Pertanto, si è inteso valorizzare il grado di uniformità delle soluzioni previste nei diversi tratti con le caratteristiche infrastrutturali presenti, al fine di consentire una comprensione dei tratti di transizione tra una percorrenza ed un'altra anche con il supporto della segnaletica stradale (orizzontale e verticale).

Operativamente, ancorchè, non sia stato possibile rispettare i rapporti tra le successione dei diversi elementi funzionali costituenti le viabilità di progetto, in ragione del livello di urbanizzazione presente e dello sviluppo urbanistico realizzato nel territorio, si è inteso, trattandosi di tracciati esistenti recepiti anche all'interno degli strumenti di pianificazione comunale, riorganizzare la piattaforma stradale con modifica della composizione della sezione tipo e della dimensione trasversale dei suoi elementi componenti ovvero del piano viario, al fine di consentire una riorganizzazione della circolazione e delle manovre consentite nel rispetto dei caratteri morfologici del territorio interessato.

Dunque, la progettazione è stata rivolta a migliorare:

- le condizioni di rischio che possano determinarsi a seguito della mutata ripartizione della domanda lungo diverse percorrenze concorrenti sulle viabilità;
- la compatibilità della tipologia di strada prescelta con la funzione territoriale assegnata, nonché, con il tipo di traffico da servire;
- la rispondenza dei criteri adottati per la composizione della piattaforma e per l'organizzazione degli spazi ricadenti nella fascia di pertinenza alle diverse funzioni di traffico previste;
- le possibili interazioni (o gli eventuali conflitti) tra le diverse componenti di traffico ammesse;
- le interferenze con la viabilità esistente e con l'ambiente attraversato, con riferimento agli insediamenti ed alle attività presenti o programmate nelle aree ad accessibilità diretta;
- l'adeguatezza delle soluzioni adottate per il controllo degli accessi e le intersezioni, sia per quanto riguarda la tipologia, sia sotto il profilo della coerenza generale agli standard;
- gli effetti sulla sicurezza dell'andamento plano-altimetrico dell'asse e dei presidi passivi.

## **SISTEMI DI RITENUTA**

La progettazione dei sistemi di ritenuta, non può prescindere dalle indicazioni di cui all'art. 2 del D.M. 223/92, in ragione delle quali il progettista deve definire le caratteristiche prestazionali degli stessi congruamente al tipo di strada ed alle manovre prevedibili viste le condizioni geometriche.

In generale, il DM 223/92 ed s.m.i., definisce le zone da proteggere quali:

- i margini di tutte le opere d'arte all'aperto quali ponti, viadotti, ponticelli, sovrappassi e muri di sostegno della carreggiata, indipendentemente dalla loro estensione longitudinale e dall'altezza dal piano di campagna. La protezione dovrà estendersi opportunamente oltre lo sviluppo longitudinale strettamente corrispondente all'opera sino a raggiungere punti (prima e dopo l'opera) per i quali possa essere ragionevolmente ritenuto che il comportamento delle barriere in opera sia paragonabile a quello delle barriere sottoposte a prova d'urto e comunque fino a dove cessi la sussistenza delle condizioni che richiedono la protezione;
- lo spartitraffico ove presente;
- il margine laterale stradale nelle sezioni in rilevato dove il dislivello tra il colmo dell'arginello ed il piano di campagna è maggiore o uguale a 1 m; la protezione è necessaria per tutte le scarpate aventi pendenza maggiore o uguale a 2/3. Nei casi in cui la pendenza della scarpata sia inferiore a 2/3, la necessità di protezione dipende dalla combinazione della pendenza e dell'altezza della scarpata, tenendo conto delle situazioni di potenziale pericolosità a valle della scarpata (presenza di edifici, strade, ferrovie, depositi di materiale pericoloso o simili): gli ostacoli fissi (frontali o laterali) che potrebbero costituire un pericolo per gli utenti della strada in caso di urto, quali pile di ponti, rocce affioranti, opere di drenaggio non attraversabili, alberature, pali di illuminazione e supporti per segnaletica non cedevoli, corsi d'acqua, ecc, ed i manufatti, quali edifici pubblici o privati, scuole, ospedali, ecc., che in caso di fuoriuscita o urto dei veicoli potrebbero subire danni comportando quindi pericolo anche per i non utenti della strada. Occorre proteggere i suddetti ostacoli e manufatti nel caso in cui non sia possibile o conveniente la loro rimozione e si trovino ad una distanza dal ciglio esterno della carreggiata, inferiore ad una opportuna distanza di sicurezza; tale distanza varia, tenendo anche conto dei criteri generali indicati nell'art. 6, in funzione dei seguenti parametri: velocità di progetto, volume di traffico, raggio di curvatura dell'asse stradale, pendenza della scarpata, pericolosità dell'ostacolo.

La scelta tipologica del sistema, invece, è funzione della composizione del traffico in ragione della tipologia di strada secondo quanto di seguito riportato:

- Traffico tipo I: quando  $TGM \leq 1000$  con qualsiasi percentuale di veicoli merci o quando  $TGM \geq 1000$  con la presenza di veicoli di peso superiore a 35 kN non sia superiore al 5% del totale;
- Traffico tipo II: quando, con  $TGM \geq 1000$ , la presenza di veicoli di peso superiore a 30 kN sia compresa tra il 5% ed il 15% del totale;
- Traffico tipo III: quando, con  $TGM \geq 1000$ , la presenza di veicoli di peso superiore a 30 kN sia maggiore del 15% del totale.

Tipo di strada	Tipo di traffico	Barriere spartitraffico	Barriere bordo laterale	Barriere bordo ponte
Autostrade (A) e strade extraurbane principali	I	H2	H1	H2
	II	H3	H2	H3
	III	H3-H4 <sup>(2)</sup>	H2-H3 <sup>(2)</sup>	H3-H4 <sup>(2)</sup>
Strade extraurbane secondarie (C) e strade urbane di scorrimento (D)	I	H1	N2	H2
	II	H2	H1	H2
	III	H2	H2	H3
Strade urbane di quartiere (E) e strade locali (F)	I	N2	N1	H2
	II	H1	N2	H2
	III	H1	H1	H2

**Figura n.9 - Tipologia di barriera in funzione di traffico e di tipo di strada<sup>6</sup>**

Nel caso specifico, viste le ipotesi assunte circa la composizione del traffico, nonché lo sviluppo delle viabilità e l'interazione con i diversi punti singolari presenti, si sono predisposte delle barriere tipo H1 e H2 bordo laterale, il cui posizionamento è riportato nelle relative tavole grafiche.

Tali sistemi di ritenuta sono stati selezionati in ragione della finalità di scopo, del livello di pericolosità connesso in caso di svio del veicolo e dell'ingombro massimo delle onde e dei terminali dovendo, per le geometrie a disposizione, contenere gli spazi. Si rimanda alle tavole grafiche nonché, al CSA per le specifiche tecniche connesse all'indice di severità.

### **SEGNALETICA STRDALE**

La segnaletica sia orizzontale che verticale è strumento fondamentale per condizionare il comportamento dell'utente alla guida, essa infatti deve essere percepita e indirizzare l'utente a compiere la manovra in sicurezza.

Orbene, la segnaletica è stata prevista, in prima istanza, secondo le seguenti disposizioni regolamentari :

- Aggiornamento Codice della Strada- D.M. 16 dicembre 2014 e dal D.L. 31 dicembre 2014, n. 192, convertito, con modificazioni, dalla L. 27 febbraio 2015, n. 11 e dalla

- L. 29 luglio 2015, n. 115;
- “Nuovo Codice della Strada” (DL n° 285 del 30/04/1992);
- “Regolamento di esecuzione e di attuazione del NCS” DPR n° 495 del 16/12/92;
- DPR 16 Settembre 1996 n° 610,

riportando in contabilità relativi alla segnaletica orizzontale necessaria per la limitazione della carreggiata, l' approccio ai nodi, l' isole spartitraffico ed a gocce.

### **CIGLI - CUNETTE - SMALTIMENTO DELLE ACQUE**

La progettazione degli elementi marginali alla piattaforma è stata eseguita in ragione delle specifiche normative e delle geometrie disponibili ovvero, delle caratteristiche idrologiche dell'area di intervento. Invero, nella progettazione della piattaforma, le banchine sono state raccordate agli elementi marginali contigui dello spazio stradale (scarpate, cunette, marciapiedi ecc.) mediante elementi di raccordo che possono essere costituiti, a seconda delle situazioni, da arginelli, o fasce di raccordo (cigli), destinati ad accogliere eventuali dispositivi di ritenuta. In taluni casi, detti elementi di raccordo possono anche mancare. In generale, l'arginello prevede un' altezza rispetto la banchina di  $5 \div 10$  cm per poi essere raccordato alla scarpata mediante un arco le cui tangenti risultano di lunghezza non inferiore a 0.50 m, nella sezione in trincea, invece, si è previsto al raccordo fra banchina e cunetta li dove presente, in modo da assicurarne l'impermeabilità ed evitarne l'erosione ovvero, si è garantito lo smaltimento della piattaforma mediante un sistema drenante ad hoc di tipo superficiale al fine di non sovraccaricare i ricettori finali, così come rappresentato dall'Amministrazione in occasione degli incontri dedicati.

Le sezioni delle cunette, degli embrici e delle caditoie, a secondo delle circostanze, sono state dimensionate in modo accurato considerando il contributo, sia delle parti impermeabili attribuibili oltre che alla viabilità di progetto, anche alle diverse aree colanti prospicienti nondimeno, delle zone permeabili presenti valutando orografia, esposizione e grado di copertura vegetale. Per gli ulteriori dettagli si rimanda alle tavole grafiche dedicate ed alla relazione specialistica.

---

<sup>6</sup> Direttiva sui criteri di progettazione, installazione, verifica e manutenzione dei dispositivi di ritenuta nelle costruzioni stradali (Piano Nazionale Italia) - Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti Prt.2367

## **CONCLUSIONI**

La sovrastruttura proposta, quale sintesi della qualità progettuale, deriva dall'esperienza consolidata in campo infrastrutturale nonché, dagli studi ed indagini sperimentali condotte in ambito scientifico internazionale ovvero, sul campo, in occasione di importanti realizzazioni. Le soluzioni proposte, sono state orientate con l'obiettivo di migliorare la circolazione veicolare garantendo comfort e sicurezza nella percorrenza delle viabilità di progetto.