La Venaria Reale

RESIDENZE REALI SABAUDE

REGIONE PIEMONTE

TORINO METROPOLI
Città metropolitana di Torino

DIPARTIMENTO TERRITORIO
EDILIZIA E VIABILITÀ
Direzione Coordinamento Viabilità - Viabilità 1

ACCESSIBILITA' DA NORD ALLA REGGIA DI VENARIA REALE
NUOVO PONTE SUL TORRENTE CERONDA

PROGETTO ESECUTIVO

Il Responsabile del Procedimento
arch. Maurizio REGGI

rev.	descrizione	redatto	controllato	approvato	data
0	EMISSIONE A SEGUITO CONFERENZA DEI SERVIZI	MS	AM	AM	03/09/2021

ADEGUAMENTO ALLE PRESCRIZIONI DELLA CONFERENZA DEI SERVIZI DEL 23.07.2021

CDS.07 - Relazione di calcolo dimensionamento sovrastrutture stradali

COMMESSA	0	9	M	0	1	1	a	FASE	P	E	FILE: CDS.07_dim pavimentaz.	SCALA: -

Progettazione:

Ai ENGINEERING

Corso F. Ferrucci 112
10138 Torino
tel: +39 011 58 14 511
e-mail: posta@aigroup.it
website: www.aigroup.it

1 CALCOLO DI VERIFICA DELLA PAVIMENTAZIONE STRADALE

1.1 Criterio di calcolo

Per la verifica di dimensionamento della pavimentazione in oggetto si è utilizzato un metodo di calcolo razionale, basato sulla valutazione del comportamento tenso-deformativo della pavimentazione sotto gli effetti dei carichi di traffico nelle condizioni ambientali tipiche della zona in oggetto.

Nel metodo razionale le tensioni e le deformazioni provocate dai carichi stradali sono determinate mediante modelli matematici basati sulla soluzione del multistrato elastico, isotropo ed omogeneo sovrapposto al semispazio di analoghe caratteristiche e sottoposto all'azione di uno o più carichi distribuiti uniformemente su aree circolari.

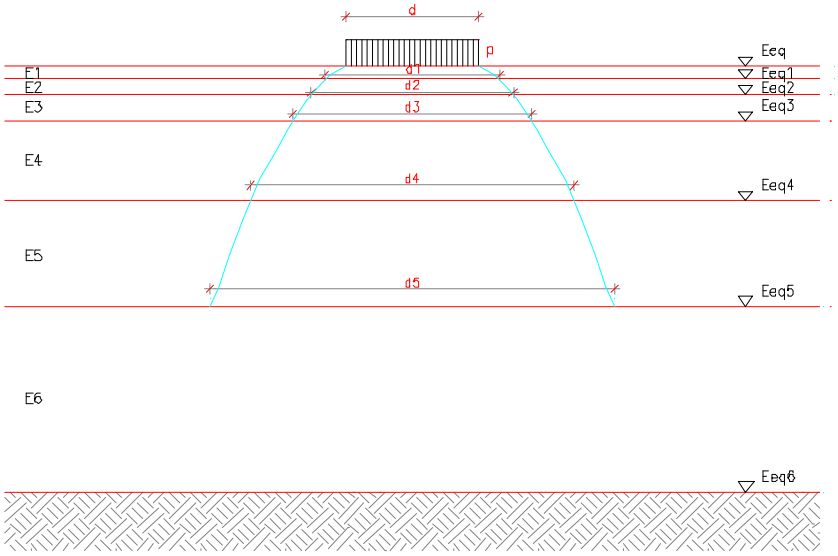
L'analisi del degrado a cui sono soggette le pavimentazioni viene poi valutato con altri modelli che tengono conto della ripetitività dei carichi stradali e delle specifiche condizioni ambientali nei quali l'interazione ha luogo.

Entrando nello specifico, le verifiche condotte hanno valutato l'attitudine dei due pacchetti a resistere ai fenomeni di ammaloramento in relazione alle condizioni di clima e di traffico a cui essa risulterà sottoposta nel corso dell'esercizio.

A questo scopo sono stati considerati i seguenti dati:

- caratteristiche dei materiali della sovrastruttura desunte, dall'esperienza progettuale, dalla letteratura e dai modelli volumetrici;
- caratteristiche del piano di sottofondo compatibili con le prescrizioni progettuali adottati all'interno delle Norme Tecniche del Capitolato Speciale d'Appalto dell'ANAS[1] e delle Norme Tecniche comunemente adottate nel settore stradale;
- condizioni di interfaccia:
  - piena aderenza tra gli strati legati a bitume (interfacce usura-collegamento e collegamento-base);
  - libero scorrimento per i casi rimanenti (interfacce base-fondazione e fondazione-sottofondo).

Si fa riferimento alla teoria di Boussinesq del multistrato elastico nella quale la pavimentazione è schematizzata come un insieme di strati sovrapposti di spessore costante, indefiniti in senso orizzontale e poggianti su un semispazio indefinito anche in profondità (sottofondo).



Le ipotesi di base sono:

- ogni strato è omogeneo, isotropo, elastico o viscoelastico e quindi caratterizzato dal modulo di elasticità E e dal modulo di Poisson v.

[1] Capitolato Speciale d'Appalto Norme Tecniche (Ente Nazionale per le Strade ANAS edizione 2008).

- lungo il piano di separazione tra due generatrici vi sia completa solidarietà per cui non vi sia scorrimento relativo (espresso dal parametro di aderenza tra gli strati k).

In pratica il metodo razionale per il progetto delle pavimentazioni stradali flessibili parte da un disegno della pavimentazione in cui sono individuati i vari strati e per ciascuno di essi i materiali (caratterizzati da E, v e k) e lo spessore.

Individuati questi parametri si passa ad eseguire l'analisi dello stato tensionale e deformativo dei singoli strati della pavimentazione dovuto ai carichi che si susseguono in superficie.

Dalla teoria di Boussinesq il cedimento massimo che si ottiene in corrispondenza dell'asse di carico è espresso dalla formula:

$$f_{max} = p * d / E_{eq}$$

dove:
p = carico uniformemente distribuito (nel caso in esame esso coincide con la pressione di gonfiaggio del pneumatico di un ordinario veicolo industriale ossia 8 kg/cmq);
d = diametro dell'area d'impronta circolare di distribuzione del carico ossia 31,396 cm;
E_{eq} = modulo di deformazione o modulo elastico
ponendo il cedimento limite uguale al cedimento massimo si ottiene:

$$E_{eq} = p * d / f_{lim}$$

Il cedimento limite si ricava con la seguente espressione:

$$f_{lim} = 0,17 - 0,026 \log N$$

con:

N = numero di assi equivalenti all'asse tipo (considerati da 12 tonnellate) in un giorno e per corsia che si presume transiteranno sulla strada all'anno *n*, cioè al termine di vita utile.

In sintesi, partendo da N si ottiene il valore di f_{lim} e di conseguenza E_{eq} che rappresenta il modulo elastico in sommità dello strato di usura.

Con passaggi successivi si calcolano i vari E_{eqn} utilizzando la seguente formula:

$$E_{eq} = E_{eqn} / [1 - 2/\pi * (1-1/n^{3.5}) * \arctan (s_n/d^n)]$$

con:
s_n = spessore dello strato n-esimo
n ricavato da:

$$n = (E_n / E_{eqn})^{0.4}$$

I tabulati riportati in calce esplicano tali verifiche per le due diverse pavimentazioni ovvero:

- pavimentazione di Corso Romania;
- pavimentazione degli assi di viabilità interna.

1.2 Ipotesi di base

Si riepilogano i dati di base adottati nel calcolo:

- Vita utile della pavimentazione: 20 anni
- Traffico commerciale: considerando che la categoria stradale ipotizzata è una C1 secondo la classificazione di cui al D.M. 5/11.2001, a favore di sicurezza, la verifica è stata eseguita considerando la capacità massima stradale pari a 600 veicoli/ora ed un'aliquota di traffico pesante pari al 10% su un arco temporale di 12 ore continuative; tale percentuale (anch'essa da considerarsi ampiamente cautelativa) è stata adottata per tenere conto dell'effetto combinato della normale percorrenza e degli effetti tangenziali dovuti alle manovre a raggio di curvatura ridotto (connesso alle rotatorie presenti)
- Coefficiente di riduzione per ruote gemellate: 0.95 (anche in questo caso si è adottato un valore cautelativo in quanto in letteratura la variabilità plausibile è compresa tra 0.80 e 0.95);
- Coefficiente di riduzione per dispersione delle traiettorie: è stato assunto il valore massimo pari ad 1.00 in quanto si presume una stretta coincidenza della posizione dei carichi stradali che insistono su una sola corsia per senso di marcia.

- Coefficiente di omogeneizzazione dei carichi: anche in questo caso si è assunto il valore pari ad 1.00 che sintetizza l'ipotesi in cui tutto il traffico commerciale sia attribuibile ad assi da 12 t.

1.3 Tabulato di calcolo

Si allega il tabulato di calcolo da cui si desume che il Modulo di deformazione richiesto sul piano di appoggio della pavimentazione (402 kg/cmq) è comunque minore di quello richiesto dalle specifiche tecniche di capitolato sul rilevato (o fondo scavo) pari usualmente ad un minimo di 500 kg/cmq.

L'articolazione del pacchetto ipotizzata è pertanto verificata.

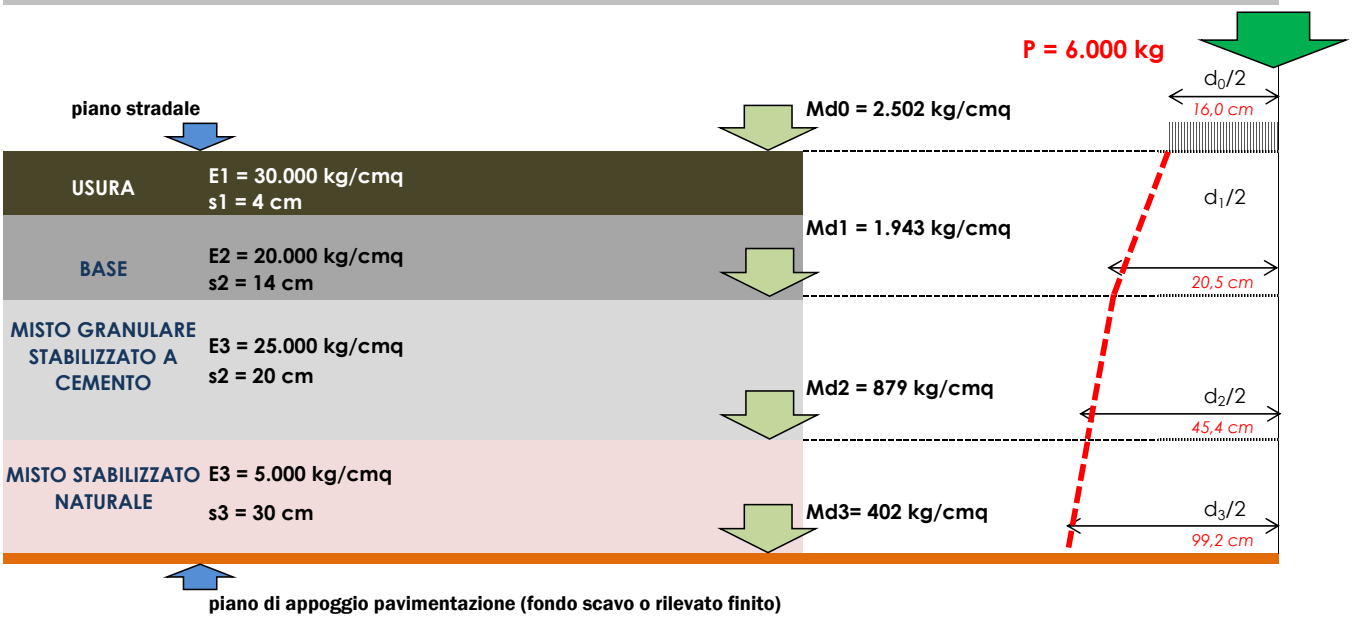
DATI DI BASE

ANALISI DEI CARICHI	periodo vita utile pavimentazione	V	20	anni
	numero veicoli commerciali	N	60	v/h
	pressione gonfiaggio pneumatici	p_g	7,50	kg/cm^2
	carico asse	C_{ax}	12.000	kg
	carico ruota	$Q=C_{ax}/2$	6.000	kg
	coefficiente di riduzione per ruote gemellate	c_{gem}	1,00	-
	coefficiente riduzione per dispersione traiettorie	$c_{sovr.}$	1,00	-
ELABORAZIONE DATI DI BASE	carico ridotto per ruote gemellate e dispersione traiettorie	$P=Q*c_{gem}*c_{sovr.}$	6.000	kg
	raggio dell'impronta del carico	$r = d_{0/2} = (P/\pi/p)^{0,5}$	15,96	cm
	coefficiente di omogeneizzazione rispetto asse "tipo" (12 t) (formula di Yoder dove x= asse in esame in tonnellate)	$k = 2^{0,78*(x-12)}$	1,00	-
	numero veicoli commericali giornalieri	n=N*12	720	-
	numero veicoli giornalieri omogeneizzati	n'=n*k	720	-
	freccia limite	f=0,17-0,026*LOG n'	0,096	cm
	Modulo equivalente superficiale	$Eeq = 2*p_g*r/f$	2.502	kg/cm^2

CALCOLO DI VERIFICA

$$Eeq = \frac{Eeq1}{1-\frac{2}{\pi}\left(1-\frac{1}{n^{3.5}}\right)*\arctan\left(\frac{s1}{d}n\right)}$$

dove

$$n = \left(\frac{E1}{Eeq1}\right)^{0.4}$$

USURA	modulo sul piano di finito	$Md_0 = Eeq$	2.502	kg/cm^2
	modulo SOTTO lo strato ovvero a quota - 4,0 cm	$Md_1 = Eeq1$	1.943	kg/cm^2
	modulo di elasticità del materiale	E1	30.000	kg/cm^2
	spessore del materiale	s1	4	cm
	diametro dell'impronta di carico	d_0	31,92	cm
	coefficiente n	n	2,988	-
BASE	modulo SOPRA lo strato ovvero a quota - 4,0 cm	Eeq1	1.943	kg/cm^2
	modulo SOTTO lo strato ovvero a quota - 18,0 cm	$Md_2 = Eeq2$	879	kg/cm^2
	modulo di elasticità del materiale	E2	20.000	kg/cm^2
	spessore del materiale	s2	14	cm
	diametro dell'impronta di carico	d_1	41,09	cm
	coefficiente n	n	3,491	-
MISTO GRANULARE STABILIZZATO A CEMENTO	modulo SOPRA lo strato ovvero a quota - 18,0 cm	Eeq2	879	kg/cm^2
	modulo SOTTO lo strato ovvero a quota - 38,0 cm	$Md_3 = Eeq3$	402	kg/cm^2
	modulo di elasticità del materiale	E3	25.000	kg/cm^2
	spessore del materiale	s3	20	cm
	diametro dell'impronta di carico	d_2	90,89	cm
	coefficiente n	n	5,216	-
MISTO STABILIZZATO NATURALE	modulo SOPRA lo strato ovvero a quota - 38,0 cm	Eeq3	402	kg/cm^2
	modulo SOTTO lo strato ovvero a quota - 68,0 cm	Eeq4	292	kg/cm^2
	modulo di elasticità del materiale	E4	5.000	kg/cm^2
	spessore del materiale	s4	30	cm
	diametro dell'impronta di carico	d_4	198,47	cm
	coefficiente n	n	3,116	-