



COMUNE DI CALCI

PROVINCIA DI PISA

REALIZZAZIONE VIABILITA' DI ACCESSO ALLA NUOVA SCUOLA MEDIA A CALCI (PI)

Responsabile Unico del Procedimento: Ing. Carlo De Rosa

PROGETTO ESECUTIVO

PROGETTAZIONE A CURA DI :
STRINGA s.r.l.
strutture, ingegneria, architettura

Località Carraia 1, 56017 S. Giuliano T. (PI)
Tel. +39 050 6138385 Fax +39 050 6138386
mail: direzione@stringasrl.it stringa@pec.it

PROGETTAZIONE :
Dott. Ing. Fabrizio Daini

PIANO DELLA SICUREZZA :
Dott. Ing. Stefano Maria Pallottino

DESCRIZIONE ELABORATO

RELAZIONE STRADALE

SCALA

-

PRATICA

691

TAV.

PE.D.STR.001

REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
00	Giugno 2019	Prima Emissione	F.Daini	F.Daini	
A	Luglio 2019	revisione	F.Daini	F.Daini	

	PROGETTO ESECUTIVO PER LA REALIZZAZIONE DELLA VIABILITA' DI ACCESSO ALLA NUOVA SCUOLA MEDIA A CALCI (PI)	
	RELAZIONE STRADALE	Pag. 2 di 28

INDICE

INDICE.....	2
1 INTRODUZIONE	3
2 PROGETTO STRADALE ROTATORIA.....	4
2.1 Descrizione dello stato di fatto	4
2.2 Descrizione dell'intervento	4
2.3 Tracciato plano-altimetrico	4
2.4 Piattaforma stradale rotatoria	5
2.5 Pavimentazione stradale	5
2.6 Calcolo capacità rotatoria	6
3 PROGETTO STRADALE NUOVA VIABILITÀ	13
3.1 Il tracciato planoaltimetrico	13
3.2 Elementi tipici della sezione trasversale	15
3.2.1 Sulla SP24	15
3.2.2 Nuova viabilità di accesso alla scuola	16
4 VERIFICHE SOVRASTRUTTURA STRADALE	18
4.1 Premesse	18
4.2 Dimensionamento sovrastruttura stradale di progetto	18
4.2.1 Traffico di progetto	18
4.2.2 Criterio di verifica	19
4.2.3 Numero dei passaggi sopportabili (termine W8,2t)	19
4.2.4 Numero dei passaggi previsti (termine N8,2t)	22
4.2.5 Verifica della sovrastruttura	25
5 SEGNALETICA.....	26
6 BARRIERE DI SICUREZZA.....	27
7 FASI ESECUTIVE	28

	PROGETTO ESECUTIVO PER LA REALIZZAZIONE DELLA VIABILITA' DI ACCESSO ALLA NUOVA SCUOLA MEDIA A CALCI (PI)	
	RELAZIONE STRADALE	Pag. 3 di 28

1 INTRODUZIONE

Sulla base delle informazioni e dei dati ricavati dagli specifici rilievi topografici effettuati sull'area, sono stati sviluppati i profili longitudinali e le sezioni trasversali sia dello stato attuale, sia poi l'andamento planoaltmetrico dello stato di progetto.

E' stato creato un modello del terreno digitale (modello numerico a triangoli DTM), che è stato utilizzato come base per le procedure di progettazione dei tracciati con l'ausilio del software PROST2011 della SierraSoft.

Si riporta di seguito una sintetica descrizione dell'andamento della strada attuale e di progetto demandando agli elaborati grafici lo strumento per una migliore comprensione.

	PROGETTO ESECUTIVO PER LA REALIZZAZIONE DELLA VIABILITA' DI ACCESSO ALLA NUOVA SCUOLA MEDIA A CALCI (PI)	
	RELAZIONE STRADALE	Pag. 4 di 28

2 PROGETTO STRADALE ROTATORIA

2.1 Descrizione dello stato di fatto

L'intersezione esistente è del tipo a "T" con precedenza della percorrenza impostata sulla S.P.24 Arnaccio -Calci ove si innesta la strada locale urbana via S.Vito.

In prossimità dell'incrocio tra le due viabilità, sul lato est della SP n.24, si innesta la strada di accesso al ristorante Il Pozzo di S.Vito.

La realizzazione di un'ulteriore innesto diretto sulla S.P. della strada di accesso alla scuola avrebbe comportato una situazione di sovraccarico localizzato, soprattutto nelle ore di punta di ingresso e uscita degli studenti.

2.2 Descrizione dell'intervento

La nuova rotatoria di progetto al fine di eliminare i punti di intersezione sopra descritti è quindi costituita da n.4 rami di innesto con ingressi e uscite organizzati su una sola corsia; l'isola centrale è resa in parte transitabile mediante la realizzazione di una fascia sormontabile che agevola le manovre dei veicoli pesanti. Sono previsti ai margini esterni della rotatoria di progetto nella parte est, marciapiedi con attraversamenti pedonali che garantiscono la continuità dei percorsi pedonali interferiti.

2.3 Tracciato plano-altimetrico

La rotatoria di progetto in riferimento alle dimensioni geometriche del diametro esterno, è classificabile come "rotatoria compatta" (D.M. 19.04.2006).

Gli elementi planimetrici di tracciato che la costituiscono hanno le seguenti caratteristiche :

- Diametro circonferenza esterna $D=26,00m$;
- Raggio giratorio interno alla rotatoria (limite pavimentato interno) $R=5,00m$;
- Raggio giratorio esterno alla rotatoria (limite pavimentato esterno) $R=13,00m$;

L'andamento altimetrico della rotatoria, studiato in funzione delle diverse quote altimetriche delle n.3 viabilità esistenti che costituiscono l'intersezione in esame, prevede una livelletta con pendenza longitudinale pari a $\pm 1.72\%$

La pendenza trasversale della rotatoria è prevista verso l'esterno con valore pari al 2.00% .

	PROGETTO ESECUTIVO PER LA REALIZZAZIONE DELLA VIABILITA' DI ACCESSO ALLA NUOVA SCUOLA MEDIA A CALCI (PI)	
	RELAZIONE STRADALE	Pag. 5 di 28

2.4 Piattaforma stradale rotatoria

La piattaforma stradale dell'intersezione in esame come da normativa vigente (D.M. 19.04.2006) è costituita dai seguenti elementi :

- corsie nella corona rotatoria $b=7,50m$;
- corsia braccio di ingresso $b= 3.50m$;
- corsia braccio di uscita $b=4.50m$;
- fascia sormontabile interna $b=1.50m$.

Si precisa che al fine di aumentare il grado di sicurezza dell'intersezione, si è scelto sia di aumentare la dimensione della corona rotatoria a $7,50m$ rispetto a quanto previsto ($7,0m$) dalla suddetta normativa, sia di introdurre una fascia sormontabile interna al fine di agevolare le manovre dei veicoli pesanti e autobus di linea.

A completamento degli elementi sopra elencati, sono previsti marciapiedi laterali di larghezza pari a $1.50m$ lungo una porzione del perimetro esterno della rotatoria.

2.5 Pavimentazione stradale

Il progetto prevede tre tipologie di intervento per la realizzazione della sovrastruttura stradale in funzione della presenza o assenza di pavimentazione in conglomerato bituminoso esistente e del nuovo profilo stradale.

In particolare le lavorazioni previste sono:

- risagomatura della pavimentazione esistente;
- ricarica su pavimentazione esistente;
- nuova pavimentazione.

La risagomatura della pavimentazione esistente è prevista nelle zone di innesto sulle viabilità esistenti tramite fresatura e stesa del tappeto di usura in conglomerato bituminoso dello spessore di 4 cm .

La ricarica su pavimentazione esistente viene eseguita in tutti i tratti in cui le quote di progetto sono maggiori di quelle della pavimentazione esistente; si prevede pertanto la realizzazione di uno strato di binder di livellamento dello spessore variabile da 2 cm a 6 cm e la stesa del tappeto di usura in conglomerato bituminoso dello spessore di 4 cm , e un'eventuale sottostante strato di base fino al raggiungimento della nuova quota di progetto.

In tutte le aree attualmente verdi e/o non pavimentate, il progetto prevede la realizzazione di una nuova pavimentazione dello spessore totale pari a 52 cm costituita dai seguenti strati :

- strato di usura spessore 4cm ;

	PROGETTO ESECUTIVO PER LA REALIZZAZIONE DELLA VIABILITA' DI ACCESSO ALLA NUOVA SCUOLA MEDIA A CALCI (PI)	
	RELAZIONE STRADALE	Pag. 6 di 28

- binder spessore 6cm;
- base spessore 12cm;
- misto granulare stabilizzato spessore 30cm.

2.6 Calcolo capacità rotatoria

Si applica il metodo SETRA (Francia 1987) atto a fornire il valore della capacità e il livello di servizio dei vari bracci afferenti la rotatoria. Sia la capacità che i flussi sono misurati in autovetture equivalenti per ora (eph). Per la trasformazione dei flussi di veicoli diversi dalle autovetture in eph si adottano coefficienti di conversione del tipo:

Motociclo (sull'anello)		0,8
Motociclo (in ingresso)		0,2
Autocarro 3 assi		2,0
Autobus		2,5
Tir		3,0

L'algoritmo di calcolo, ricavato da osservazioni empiriche, è basato principalmente su tre elementi geometrici: l'ampiezza dell'entrata, l'ampiezza dell'anello tra due rami e la larghezza dell'isola direzionale.

La capacità in ingresso, Q_e , è data dalla formula:

$$Q_e = (1330 - 0,7 Q_d) [1 + 0,1(ENT - 3,5)]$$

Dove: Q_d è il flusso di disturbo [veic/h];

ENT è la larghezza della corsia di entrata misurata dietro il primo veicolo fermo all'altezza della linea di "dare la precedenza".

Il flusso di disturbo, Q_d , tiene conto dei flussi che effettivamente possono influenzare il gap accettato e si riduce del 30% nel caso di doppia corsia all'anello. Si calcola mediante il seguente algoritmo:

$$Q_d = (Q_c + 2/3 Q_u) [1 - 0,085(ANN - 8)]$$

Dove: Q_c è il flusso circolante, ovvero il flusso che percorre l'anello all'altezza dell'immissione [veic/h];

PROGETTO ESECUTIVO PER LA REALIZZAZIONE DELLA VIABILITA' DI ACCESSO ALLA NUOVA SCUOLA MEDIA A CALCI (PI)	
RELAZIONE STRADALE	Pag. 7 di 28

Q_u' è il traffico uscente equivalente [veic/h];

ANN è la larghezza dell'anello.

Il traffico uscente equivalente rappresenta una quota del flusso uscente e, per valori dell'isola spartitraffico all'estremità del braccio superiori a 15 m, non ha alcuna influenza sul calcolo delle capacità in ingresso. Il suo valore è determinato dal seguente algoritmo:

$$Q_u' = Q_u (15 - SEP) / 15$$

Dove: Q_u è il traffico uscente [veic/h];

SEP è la lunghezza dell'isola spartitraffico all'estremità del braccio.

Nella figura riportata sono evidenziate i parametri utilizzati per il calcolo:

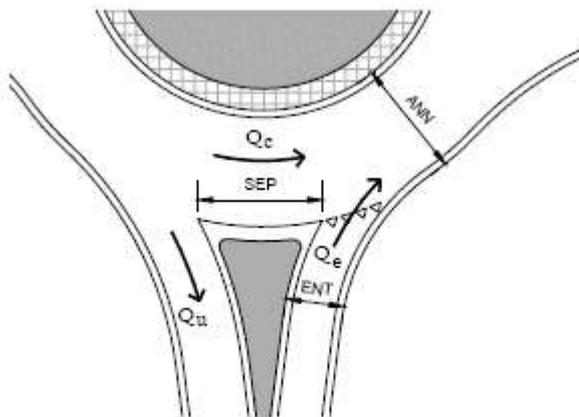
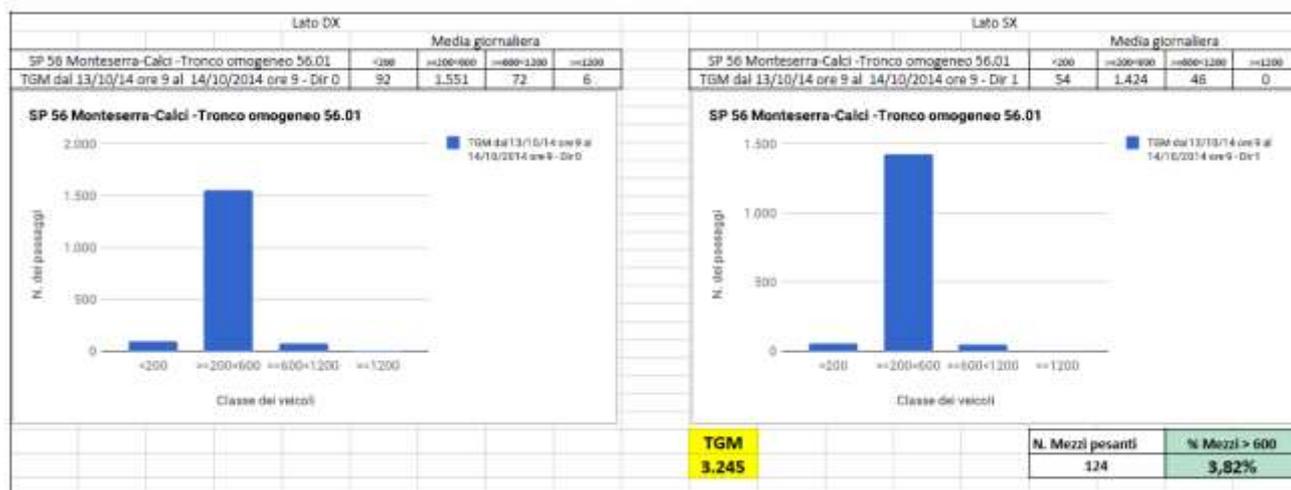


Fig. 3.A.1 Caratteristiche geometriche e di traffico di una rotatoria

La Provincia di Pisa ha fornito un rilevamento di traffico in corrispondenza del tronco SP56 Monteserra-Calci, tronco omogeneo n.56.01. effettuati nei giorni 13 e 14 ottobre 2014.

Si riportano di seguito gli istogrammi finali che definiscono il TGM.



Sono stati forniti anche i dati estesi di rilevamento attraverso i quali è stato elaborato il traffico orario nelle due direzioni.

Dir. 0 – da Monte Serra verso Caprona

Dir. 1 – verso il Monte serra

Si riporta di seguito la tabella relativa al traffico orario:

Da segnalare, come evidenziato nel grafico riepilogativo, la bassa percentuale di mezzi pesanti rispetto ai veicoli ordinari (inferiore al 4%). Il n. di veicoli può essere dunque essere assimilato ai veicoli equivalenti (eph) con un modesto incremento.

		Dir 0	Dir 1
Orario	n.v.t.	n.v.2	n.v.1
9-10	207	95	112
10-11	238	117	121
11-12	218	115	103
12-13	223	137	86
13-14	186	121	65
14-15	184	99	85
15-16	210	98	112
16-17	261	138	123
17-18	226	150	76
18-19	233	142	91
19-20	206	139	67
20-21	125	77	48
21-22	74	42	32
22-23	45	30	15
23-24	37	24	13
00-01	20	15	5
01-02	9	8	1
02-03	2	1	1
03-04	2	1	1
04-05	6	0	6
05-06	22	5	17
06-07	52	14	38
07-08	203	53	150
08-09	256	100	156
Totali	3245	1721	1524

PROGETTO ESECUTIVO PER LA REALIZZAZIONE DELLA VIABILITA' DI ACCESSO ALLA NUOVA SCUOLA MEDIA A CALCI (PI)	
RELAZIONE STRADALE	Pag. 9 di 28

Si ipotizza di seguito la seguente Matrice O/D, una volta fissati i 4 rami della rotatoria:

- ramo1 SP24 da sud
- ramo2 accesso alla scuola
- ramo 3 S.P.24 da Nord
- ramo 4 Via La Salita

inserendo un flusso principale sulla provinciale (che tiene conto dei dati forniti incrementati con percentuali più che cautelativa), e tenendo anche conto del momento di punta in corrispondenza dell'entrata/uscita dalla vicina scuola comunale.

MATRICE FLUSSI Origine-Destinazione:						
Matrice O/D transiti						
		Rami di entrata				Q_{e,i}
		1	2	3	4	
Rami di uscita	1	0 eph	70 eph	220 eph	30 eph	320 eph
	2	140 eph	0 eph	120 eph	20 eph	280 eph
	3	220 eph	70 eph	0 eph	40 eph	330 eph
	4	30 eph	20 eph	20 eph	0 eph	70 eph
	Q_{u,i}	390 eph	160 eph	360 eph	90 eph	1.000 eph

	ANN 1	ANN 2	ANN 3	ANN 4
a) Larghezza anello ANN =	7,50 m	7,50 m	7,50 m	7,50 m
<input checked="" type="checkbox"/> $\Delta_{ANN} = 1 - 0,085 * (ANN - 8) =$	1,043	1,043	1,043	1,043
	ENT 1	ENT 2	ENT 3	ENT 4
b) Larghezza bracci ENT =	3,50 m	3,50 m	3,50 m	3,50 m
$\Delta_{ENT} = (1 + 0,1 * (ENT - 3,5)) =$	1,000	1,000	1,000	1,000
	SEP 1	SEP 2	SEP 3	SEP 4
c) Larghezza isola SEP =	3,00 m	3,00 m	3,00 m	3,00 m
<input checked="" type="checkbox"/> $\Delta_{SEP} = (15 - SEP) / 15 =$	0,800	0,800	0,800	0,800
<p>Nel calcolo della capacità, oltre al traffico che percorre l'anello in corrispondenza dell'immissione, si considera anche il traffico che si allontana all'uscita immediatamente precedente, secondo un valore di traffico di disturbo pari a $Q_c + 2/3 Q_u'$, la capacità e il traffico complessivo di disturbo Q_d vengono correlazionati in una espressione del tipo: $K = \alpha(1330 - Q_d)$.</p>				

FLUSSI IN USCITA Q_u				
	braccio 1	braccio 2	braccio 3	braccio 4
$Q_{u1} = P_{21}Q_2 + P_{31}Q_3 + P_{41}Q_4$	390	160	360	90
$Q_{u2} = P_{12}Q_1 + P_{32}Q_3 + P_{42}Q_4$				
$Q_{u3} = P_{13}Q_1 + P_{23}Q_2 + P_{43}Q_4$	312	128	288	72
$Q_{u4} = P_{14}Q_1 + P_{24}Q_2 + P_{34}Q_3$				
TRANSITI ANELLO $Q_{c,i}$				
	$Q_{c,1}$	$Q_{c,2}$	$Q_{c,3}$	$Q_{c,4}$
$Q_{c1} = (P_{42} + P_{43})Q_4 + P_{32}Q_3$	110			
$Q_{c2} = (P_{13} + P_{14})Q_1 + P_{43}Q_4$		270		
$Q_{c3} = (P_{24} + P_{21})Q_2 + P_{14}Q_1$			190	
$Q_{c4} = (P_{31} + P_{32})Q_3 + P_{21}Q_2$				430
	$Q_{c,1}$	$Q_{c,2}$	$Q_{c,3}$	$Q_{c,4}$
	110	270	190	430
	$Q_{d,1}$	$Q_{d,2}$	$Q_{d,3}$	$Q_{d,4}$
Traffico di disturbo $Q_d =$	332 eph	370 eph	398 eph	498 eph
	δ_1	δ_2	δ_3	δ_4
Coefficienti δ_i	2,41	2,47	2,18	3,18
	1	2	3	4
Minimo Coefficiente δ_i	2,18	2,18	2,18	2,18
	1	2	3	4
Flussi amplificati	698 eph	610 eph	719 eph	153 eph
	K_1	K_2	K_3	K_4
K_i	1.162 eph	918 eph	1.040 eph	674 eph
	ΔK_1	ΔK_2	ΔK_3	ΔK_4
ΔK_i	464 eph	308 eph	321 eph	521 eph
	$Q'_{e,1}$	$Q'_{e,2}$	$Q'_{e,3}$	$Q'_{e,4}$
Flussi entranti equivalenti Q'_e	320 eph	280 eph	330 eph	70 eph

PROGETTO ESECUTIVO PER LA REALIZZAZIONE DELLA VIABILITA' DI ACCESSO ALLA NUOVA SCUOLA MEDIA A CALCI (PI)	
RELAZIONE STRADALE	Pag. 12 di 28

SISTEMA EQUAZIONI (4)					SOLUZIONE SISTEMA	
C ₁	C ₂	C ₃	C ₄		Q _{e,i}	
1,0000	0,1946	0,4143	0,5838	1330	Q _{e,1} =	582 eph
0,6553	1,0000	0,0826	0,3197	1330	Q _{e,2} =	709 eph
0,3360	0,5838	1,0000	0,1112	1330	Q _{e,3} =	656 eph
0,0365	0,3927	0,6885	1,0000	1330	Q _{e,4} =	579 eph
						2.526 eph
CAPACITA' TOTALE ROTATORIA C_{tot} =					2.526 eph	

Le caratteristiche di livello di servizio sono le stesse che vengono considerate nello studio di una generica intersezione a raso: il tempo medio di attesa dei veicoli alle immissioni ed un adeguato percentile della lunghezza della coda. Per definire il livello di servizio della rotatoria si fa riferimento alle indicazioni fornite dall'HCM 2000 al Cap.17 e relative alle intersezioni non semaforizzate, nel caso specifico si fa riferimento al tempo medio di attesa.

Matrice O/D risultante					Capac. totale	Q _{e,i}	% saturaz
	1	2	3	4			
1	0 eph	127 eph	400 eph	55 eph	582 eph	320 eph	55%
2	355 eph	0 eph	304 eph	51 eph	709 eph	280 eph	39%
3	437 eph	139 eph	0 eph	80 eph	656 eph	330 eph	50%
4	248 eph	165 eph	165 eph	0 eph	579 eph	70 eph	12%

Capac. pratica (-150)	Capac. pratica (80%)	Capac. pratica (media)	Periodo analisi (h)	Tempo attesa (s)	Veicoli coda (n)	Liv.Serv. HCM 2000	Liv.Serv. SNV 640022
432 eph	466 eph	449 eph	0,25	17	3	C	C
559 eph	567 eph	563 eph	0,25	6	2	A	A
506 eph	525 eph	515 eph	0,25	12	3	B	B
429 eph	463 eph	446 eph	0,25	1	0	A	A

A	Rapido smaltimento dei flussi veicolari
B	Flussi in opposizione ridotti
C	Inizio di difficoltà di Immissione sulla corona glratoria
D	Inizio di fenomeni di congestione
E	Limite accettabile della congestione
F	Verso la saturazione

	PROGETTO ESECUTIVO PER LA REALIZZAZIONE DELLA VIABILITA' DI ACCESSO ALLA NUOVA SCUOLA MEDIA A CALCI (PI)	
	RELAZIONE STRADALE	Pag. 13 di 28

3 PROGETTO STRADALE NUOVA VIABILITÀ

3.1 Il tracciato planoaltimetrico

Si riporta di seguito una sintetica descrizione del tracciato della nuova viabilità di accesso alla nuova scuola Media del Comune di Calci.

Dopo il ramo di uscita dalla rotatoria sulla SP24, il tracciato inizia con un breve rettileo di 13.50m prima di affrontare l'unica curva Sx (con percorrenza SP24 verso scuola) rappresentata dai seguenti parametri meglio rappresentati nell'elaborato "Planimetria di Tracciamento":

Clotoide in ingresso e uscita $A = 22$; $Sv = 15.24m$,

Curva circolare $R = 31.75m$; $Sv = 33.39m$

Il tratto termina con un rettilineo finale di 23.05m, parallelo ad un'area prospiciente l'ingresso della scuola adibita a sosta per carico e scarico studenti e per sosta motorini e biciclette, il tutto suddiviso con aiuola a verde. La finitura del piazzale antistante l'ingresso ha una finitura diversa dalla sede stradale realizzata con calcestruzzo architettonico drenante, carrabile.

Si riportano di seguito le verifiche del tracciato planimetrico e altimetrico effettuate dal software utilizzato (PROST).

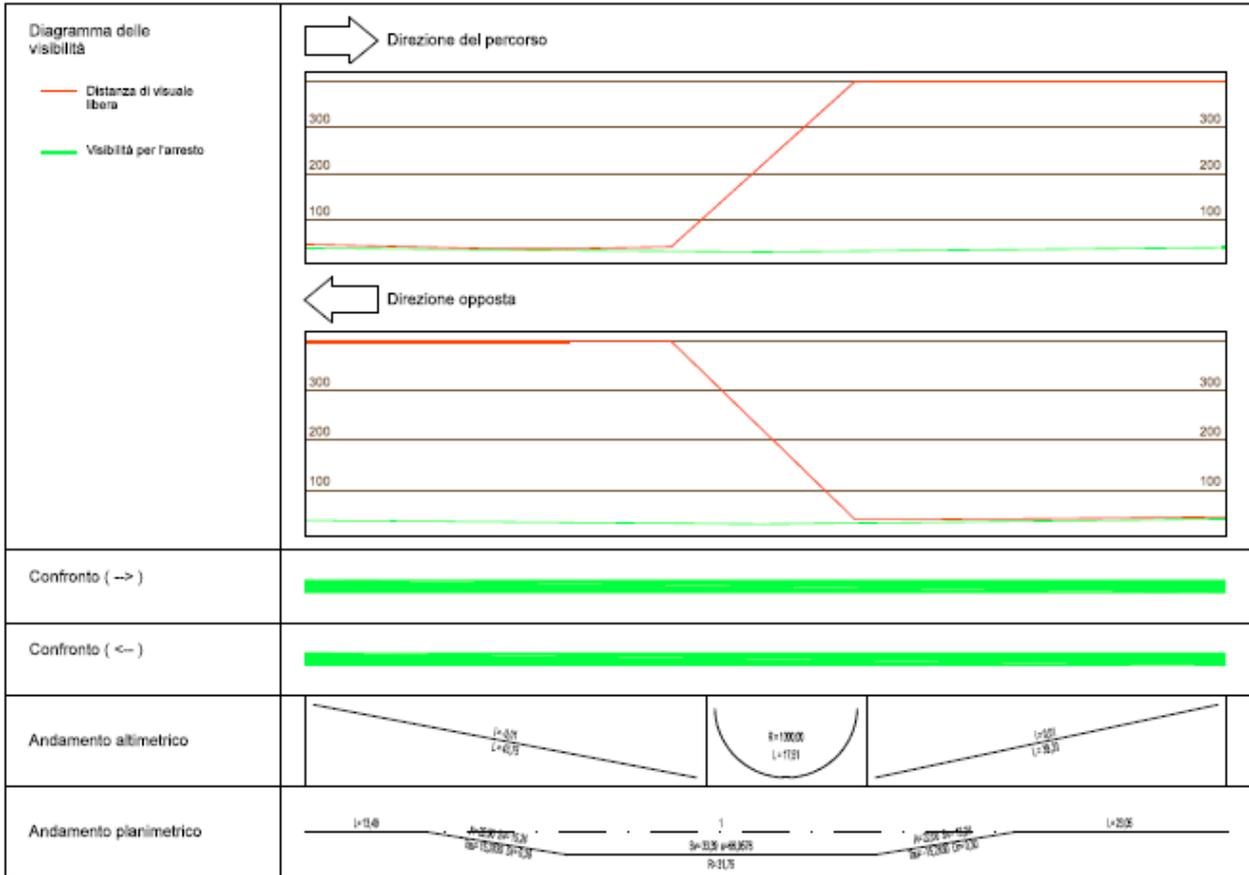
	PROGETTO ESECUTIVO PER LA REALIZZAZIONE DELLA VIABILITA' DI ACCESSO ALLA NUOVA SCUOLA MEDIA A CALCI (PI)	
	RELAZIONE STRADALE	Pag. 14 di 28

Tabella andamento asse Planimetrico

Dati generali	Minimo	Massimo				
Normativa: Min. LLPP 2002 - Italia						
Asse: Asse A						
Tipo di strada: F - Locali Urbane						
Larghezza semicarreggiata (m)	3.50					
Velocità progetto (Km/h)	25	60				
Clotoide n°1 - Parametro A:22.000 - Lunghezza (m):15.24	A Min	A Max	Lung. Min	Rapporto	FF	Parametri
Progressiva						13.49
Velocità utilizzata per la verifica (km/h)						35
Fattore di forma					1.000	
Criterio dinamico: limitazione del contraccolpo	21.504					
Criterio cigli: limitazione della pendenza longitudinale dei cigli	19.366					
Criterio ottico	10.583					
Criterio ottico		31.750				
Clotoide rettilifo-raccordo. $2/3 \leq A1/A2 \leq 3/2$. A1/A2 in tolleranza				1.000		
Valori minimi/massimi da normativa	21.504	31.750				
Clotoide in normativa	22.000		15.24		1.000	
Raccordo n°1 - Raggio (m):31.75 - Lunghezza (m):33.39	Raggio Min	Raggio Max	Lung. Min			Parametri
Progressiva						28.73
Velocità utilizzata per la verifica (km/h)						32
Raggio minimo in funzione della velocità	19.30					
Lunghezza minima del raccordo per una corretta percezione			22.22			
Valori minimi/massimi da normativa	19.30		22.22			
Raccordo in normativa	31.75		33.39			
Clotoide n°2 - Parametro A:22.000 - Lunghezza (m):15.24	A Min	A Max	Lung. Min	Rapporto	FF	Parametri
Progressiva						62.13
Velocità utilizzata per la verifica (km/h)						35
Fattore di forma					1.000	
Criterio dinamico: limitazione del contraccolpo	21.504					
Criterio cigli: limitazione della pendenza longitudinale dei cigli	19.366					
Criterio ottico	10.583					
Criterio ottico		31.750				
Clotoide rettilifo-raccordo. $2/3 \leq A1/A2 \leq 3/2$. A1/A2 in tolleranza				1.000		
Valori minimi/massimi da normativa	21.504	31.750				
Clotoide in normativa	22.000		15.24		1.000	

	PROGETTO ESECUTIVO PER LA REALIZZAZIONE DELLA VIABILITA' DI ACCESSO ALLA NUOVA SCUOLA MEDIA A CALCI (PI)	
	RELAZIONE STRADALE	Pag. 15 di 28

Tabella verifica Visibilità



3.2 Elementi tipici della sezione trasversale

3.2.1 Sulla SP24

La larghezza della piattaforma stradale esistente risulta, nel tratto interessato dai lavori, variabile fra 7.00 m e 8.50 m circa con banchine pavimentate spesso inesistenti (striscia al margine della banchine erbosa).

Per i rami di accesso alla nuova rotatoria della provinciale è stato proposto la realizzazione di un adeguamento della sezione stradale classificabile come

categoria F1 (strada extraurbana locale), avente per cui le seguenti dimensioni trasversali minime.

banchine min. 0.50m in deroga (da normativa 1.00m) in conglomerato bituminoso.

corsia min. 3.50m

La piattaforma stradale pavimentata di progetto risulta quindi avere larghezza minima di:

$$0.50+7.00+0.50 = 8.00m.$$

La sovrastruttura, per i tratti in allargamento al di fuori della piattaforma esistente e nei tratti di nuovo tracciato, è invece così composta:

	PROGETTO ESECUTIVO PER LA REALIZZAZIONE DELLA VIABILITA' DI ACCESSO ALLA NUOVA SCUOLA MEDIA A CALCI (PI)	
	RELAZIONE STRADALE	Pag. 16 di 28

- fondazione : 30 cm;
- base : 12 cm;
- binder : 6 cm;
- tappeto di usura (non drenante) : 4 cm.

Per la parte marciapiede si prevede:

- soletta armata con rete :15 cm;
- finitura in cls architettonico : 7 cm.

Le suddette caratteristiche risultano comunemente utilizzate per strade di analoghe caratteristiche, soggette a traffico pesante e garantiscono, in tali condizioni, un'ottima stabilità del piano stradale.

Si rimanda al capitolo specifico relativo alla verifica della pavimentazione per maggiori dettagli.

3.2.2 Nuova viabilità di accesso alla scuola

Per i rami di accesso alla nuova rotatoria della provinciale è stato proposto una sezione stradale classificabile come

categoria F (strada urbana locale), avente per cui le seguenti dimensioni trasversali minime.

banchine	min.	0.50m in conglomerato bituminoso.
corsia	min.	2.75m
marciapiedi		1.50m

La piattaforma stradale pavimentata di progetto risulta quindi avere larghezza minima di:

$$0.50+5.50+0.50 = 6.50m.$$

Il tracciato presenta però una pronunciata curva a Sx di raggio $R=31.75m$ che prevede un allargamento della sezione pari a :

$$E = K/R = 45/31.75 = 1.72m$$

La norma consente di ridurre il valore così determinato al massimo fino alla metà, qualora si ritenga poco probabile l'incrocio in curva di due veicoli appartenenti ai seguenti tipi : autobus ed autocarri di grosse dimensioni, autotreni ed autoarticolati.

L'allargamento per ogni corsia è stato fissato in 0.75m, così da avere corsie in curva di larghezza pari a 3.50m.

La sovrastruttura nei tratti di nuovo tracciato è così composta:

- fondazione : 30 cm;
- base : 12 cm;
- binder : 6 cm;
- tappeto di usura (non drenante) : 4 cm.

Per la parte marciapiede si prevede:

	PROGETTO ESECUTIVO PER LA REALIZZAZIONE DELLA VIABILITA' DI ACCESSO ALLA NUOVA SCUOLA MEDIA A CALCI (PI)	
	RELAZIONE STRADALE	Pag. 17 di 28

- soletta armata con rete :15 cm;
- finitura in cls architettonico : 7 cm.

Le suddette caratteristiche risultano comunemente utilizzate per strade di analoghe caratteristiche, soggette a traffico pesante e garantiscono, in tali condizioni, un'ottima stabilità del piano stradale.

Si rimanda al capitolo specifico relativo alla verifica della pavimentazione per maggiori dettagli.

	PROGETTO ESECUTIVO PER LA REALIZZAZIONE DELLA VIABILITA' DI ACCESSO ALLA NUOVA SCUOLA MEDIA A CALCI (PI)	
	RELAZIONE STRADALE	Pag. 18 di 28

4 VERIFICHE SOVRASTRUTTURA STRADALE

4.1 Premesse

Il presente capitolo tratta la verifica della sovrastruttura stradale nei tratti stradali in cui è prevista la sua realizzazione ex-novo, ossia comprendente tutti gli strati fino al piano di appoggio della fondazione.

La categoria stradale di riferimento, ai sensi del DM 05.11.2001, è la **F1** (strade extraurbane) per i rami sulla SP24 e **F** (strada urbana locale) per la nuova viabilità di accesso.

4.2 Dimensionamento sovrastruttura stradale di progetto

E' stata adottata, per la sovrastruttura, la seguente stratigrafia:

Strato	Spessore [cm]	Materiale costituente
Usura	4	Conglomerato bituminoso chiuso
Collegamento	6	Conglomerato bituminoso semiaperto
Base	12	Misto bitumato
Fondazione	30	Misto granulare stabilizzato
Tot.	52	

4.2.1 Traffico di progetto

In mancanza di specifici dati sul traffico si ritiene, in previsione anche di un maggior sviluppo del traffico, di procedere al dimensionamento prendendo cautelativamente a riferimento il Traffico Giornaliero Medio seguente:

- TGM = 6.000 [n. veicoli effettivi];
- aliquota di distribuzione del traffico per senso di marcia: $p_d = 50\%$;
- numero giorni commerciali annui: $gg_c = 250$;
- aliquota veicoli pesanti: $p = 15\%$;
- aliquota veicoli pesanti sulla corsia lenta: $p_l = 1,00$;
- coefficiente di dispersione delle traiettorie: $d = 0,80$.

Numero di veicoli pesanti che transitano all'anno "zero":

$$N_{vp0a} = TGM \cdot p_d \cdot gg_c \cdot p \cdot p_l \cdot d = 60.000 \text{ [n. veicoli pesanti]}$$

Ipotizzando i seguenti valori ai fini della proiezione futura del traffico stimato:

PROGETTO ESECUTIVO PER LA REALIZZAZIONE DELLA VIABILITA' DI ACCESSO ALLA NUOVA SCUOLA MEDIA A CALCI (PI)	
RELAZIONE STRADALE	Pag. 19 di 28

- tasso d'incremento annuo della motorizzazione: $r = 1.5\%$;
 - vita utile della sovrastruttura: $n = 30$ anni;
- si ha:

Numero di veicoli pesanti che transitano durante la vita utile:

$$N_{vp} = N_{vp0a} \cdot [(1 + r)^n - 1] / r = 2.252.321 \text{ [n. passaggi veicoli pesanti].}$$

4.2.2 Criterio di verifica

Per la verifica della sovrastruttura di progetto è stato adottato il metodo "AASHTO Interim Guide modificato".

E' un metodo empirico-statistico basato sull'usura dovuta al traffico commerciale. Fondamentale è il confronto tra il numero di passaggi di assi standard equivalenti da 8,2 ton sopportabili da una sovrastruttura di assegnate caratteristiche, indicato con $W_{8,2t}$, e il numero di passaggi di assi dello stesso tipo previsti nell'arco della vita utile assegnata alla sovrastruttura, indicato con $N_{8,2t}$.

Affinché la sovrastruttura risulti in grado di mantenersi funzionale nell'arco della vita utile, è necessario che sia verificata la condizione:

$$W_{8,2t} > N_{8,2t}$$

4.2.3 Numero dei passaggi sopportabili (termine $W_{8,2t}$)

La metodologia di dimensionamento proposta dall' *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures* si basa sulla quantificazione della capacità strutturale della sovrastruttura attraverso il Numero di Struttura (SN, *Structural Number*) e si fonda su 4 diversi fattori:

1. Traffico di progetto, ovvero numero di passaggi sopportabili ($W_{8,2t}$);
2. Grado di affidabilità del procedimento di dimensionamento;
3. Caratteristiche degli strati attraverso lo *Structural Number* (SN);
4. Decadimento limite ammissibile della sovrastruttura.

La relazione fondamentale di dimensionamento vede il termine $W_{8,2t}$ legato a vari parametri attraverso la seguente funzione di regressione:

$$\log_{10} W_{18} = Z_R \cdot S_0 + 9,36 \cdot \log_{10}(SN + 1) - 0,20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5} \right]}{0,40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}} + 2,32 \cdot \log_{10}(M_R) - 8,07$$

Nello specifico i parametri suddetti risultano essere:

dove:

Z_R = parametro tabellato in funzione dell'Affidabilità R (% , *Reliability*), a sua volta tabellata in funzione del tipo di strada (classificazione secondo il DM 05.11.2001);

PROGETTO ESECUTIVO PER LA REALIZZAZIONE DELLA VIABILITA' DI ACCESSO ALLA NUOVA SCUOLA MEDIA A CALCI (PI)	
RELAZIONE STRADALE	Pag. 20 di 28

S_o = parametro che assume valori compresi nell'intervallo 0.40 ÷ 0.50.

Risulta:

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

dove:

SN [cm] = *Structural Number* (oppure I_s = Indice di spessore);

s_i [cm] = spessori ipotizzati per gli strati che compongono il pacchetto di sovrastruttura;

a_i = coefficienti strutturali i cui valori (tabellati) dipendono dalle caratteristiche meccaniche dei materiali costituenti i vari strati;

m_4 = coefficiente di drenaggio (valore 1,0 ÷ 3,0) degli strati "non legati".

Inoltre:

PSI_i, PSI_f = Indici di Servizio (*Present Serviceability Index*) iniziale e finale dei quali, per quello iniziale si assume un valore pari a 4,5 e per quello finale un valore pari a 2,0 oppure 3,0, a seconda se si tratti di strade a minore o maggiore importanza (decadimento ammissibile della sovrastruttura);

M_r [MPa] = Modulo Resiliante del sottofondo, ottenuto dalla relazione: $M_r = 10 \cdot CBR(\%)$

dove:

CBR (% , *Californian Bearing Ratio*) = Indice di portanza del sottofondo, tale che sia:

$$CBR(\%) = 0,2 M_d$$

dove:

M_d [MPa] = Modulo di deformazione del sottofondo.

Da sottolineare che il valore di $W_{8,2t}$ aumenta al crescere dei valori di SN e M_r .

Riprendendo il pacchetto di sovrastruttura ipotizzato e considerando la funzione di regressione introdotta in precedenza, si inseriscono i seguenti dati di input:

Categoria DM 05.11.2001	Affidabilità	Z_r	S_o	PSI _i	PSI _f
F locale urbana	90%	- 1.282	0.45	4.5	2.0

In merito alle caratteristiche di portanza del sottofondo si ritiene sufficiente considerare un valore medio dell'indice CBR cautelativamente posto pari all' 6%, corrispondente al valore minimo di 30 MPa, consigliato per il modulo di deformazione (M_d) del sottofondo.

PROGETTO ESECUTIVO PER LA REALIZZAZIONE DELLA VIABILITA' DI ACCESSO ALLA NUOVA SCUOLA MEDIA A CALCI (PI)	
RELAZIONE STRADALE	Pag. 21 di 28

Si ipotizzi una sovrastruttura di tipo semirigido poggiante su un sottofondo con CBR 6%. Lo strato di fondazione è previsto in misto granulare non legato, mentre la base in misto bitumato. Gli strati superficiali di binder e usura sono realizzati in conglomerato bituminoso, rispettivamente aperto e chiuso.

Il tipo di materiale usato per realizzare gli strati della sovrastruttura e lo spessore degli strati stessi incide sulla capacità portante della sovrastruttura. Questa caratteristica strutturale è rappresentata dall'indice di struttura, SN, che si calcola nel modo seguente:

$$SN = SNSG + 0.0394 \sum_i a_i s_i d_i$$

$$SNSG = 3.511g(CBR) - 0.85[\lg(CBR)]^2 - 1.43$$

dove:

- s_i sono gli spessori degli strati;
- a_i sono dei coefficienti tabellati in funzione del tipo di materiale;
- d_i sono dei coefficienti di drenaggio tabellati in funzione della qualità del drenaggio e del tempo di esposizione a condizioni di saturazione;
- CBR è la portanza del sottofondo.

Gli spessori ed i coefficienti a_i , di assunti sono riportati in tabella. Sono state assunte buone caratteristiche di drenaggio.

	spessore cm	spessore (inch)	coeff.strutt.	coeff. Drenagg.	$s_i \times a_i \times$ mi
Usura	4	1,572	0,43	1	0,67596
Binder	6	2,358	0,4	1	0,9432
Base	12	4,716	0,28	1	1,32048
Base misto cem	0	0	0,18	0,98	0
Fondazione	30	11,79	0,11	0,95	1,232055
				SN =	4,171695

Da cui si ricava SN = 4.172

Dalla tabella 9 del Catalogo Italiano delle Pavimentazioni per una strada urbana locale è indicato un valore di affidabilità R = 90% a cui corrisponde un valore di $Z_R = -1.282$.

Per un valore $s_0 = 0.45$ dalla tabella EE. 9 si ricava $F_R = 3.77$. il fattore da considerare nell'espressione di dimensionamento è $Z_R \cdot s_0 = -1.282 \times 0.45 = -0.5769$. Il valore negativo significa che, a parità di altre condizioni, il numero di ESAL sopportabile diminuisce. Se si volesse una migliore affidabilità il fattore $Z_R \cdot s_0$ diminuisce ulteriormente così come il numero di assi sopportabile (ESAL).

La procedura di dimensionamento si conclude verificando che i carichi sopportabili siano maggiori di quelli previsti, per il livello di affidabilità assunto.

Con questi dati input, sostituendo i valori numerici nella formula di regressione abbiamo ottenuto:

$$W_{8,2t} = 8.960.303$$

4.2.4 Numero dei passaggi previsti (termine N8,2t)

Il valore del termine N8,2t deriva dall'analisi del traffico e dipende dalla categoria della strada e dallo "spettro di traffico dei veicoli commerciali", costituito dalla distribuzione percentuale delle diverse tipologie di veicoli commerciali che si prevede vi possano transitare.

Tab. 3 - Tipici spettri di traffico di veicoli commerciali per ciascun tipo di strada.

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	---

Tab. 2 - Tipi di veicoli commerciali, numero di assi, distribuzione dei carichi per asse.

Tipo di veicolo	N° Assi	Distribuzione dei carichi per asse in KN			
		↓10	↓20		
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
10) " "	"	↓60	↓90	↓90	↓100
11) " "	"	↓40	↓100		↓80
12) " "	"	↓60	↓110		↓90
13) mezzi d'opera	"	↓50	↓120		↓130
14) autobus	2	↓40	↓80		
15) " "	2	↓60	↓100		
16) " "	2	↓50	↓80		

Le categorie di strada contemplate dalla Tab.3 non sono direttamente assimilabili a quelle di cui al DM 05.11.2001, tuttavia possiamo ritenere che, nel presente caso, la categoria di Tab.3 più vicina al caso reale possa essere la n. 4: "strade extraurbane secondarie ordinarie".

	PROGETTO ESECUTIVO PER LA REALIZZAZIONE DELLA VIABILITA' DI ACCESSO ALLA NUOVA SCUOLA MEDIA A CALCI (PI)	
	RELAZIONE STRADALE	Pag. 23 di 28

In base allo spettro di traffico dei veicoli commerciali corrispondente, è possibile suddividere il numero totale calcolato di passaggi previsti di veicoli pesanti, pari a 2.252.321, in base alle diverse percentuali d'incidenza di ciascuna tipologia di veicolo commerciale (N_{vc,i}).

Risultano i passaggi di cui alla seguente tabella:

Tipo di veicolo commerciale	Aliquota %	N _{vc,i}
<u>1</u>	<u>0,00%</u>	<u>0</u>
<u>2</u>	<u>0,00%</u>	<u>0</u>
<u>3</u>	<u>58,80%</u>	<u>1.324.365</u>
<u>4</u>	<u>29,40%</u>	<u>662.182</u>
<u>5</u>	<u>0,00%</u>	<u>0</u>
<u>6</u>	<u>5,90%</u>	<u>132.887</u>
<u>7</u>	<u>0,00%</u>	<u>0</u>
<u>8</u>	<u>2,80%</u>	<u>63.065</u>
<u>9</u>	<u>0,00%</u>	<u>0</u>
<u>10</u>	<u>0,00%</u>	<u>0</u>
<u>11</u>	<u>0,00%</u>	<u>0</u>
<u>12</u>	<u>0,00%</u>	<u>0</u>
<u>13</u>	<u>0,20%</u>	<u>4.505</u>
<u>14</u>	<u>0,00%</u>	<u>0</u>
<u>15</u>	<u>0,00%</u>	<u>0</u>
<u>16</u>	<u>2,90%</u>	<u>65.317</u>
Nvc (totale)	100,00	2.252.321

L'operazione successiva consiste nel rapportare il numero di passaggi di veicoli commerciali al corrispondente numero di passaggi di assi standard equivalenti da 8,2 ton.

Per convertire il peso di ciascun asse da x ton al peso standard di 8,2 ton, si considerano i seguenti coefficienti di equivalenza ottenuti attraverso l'espressione di Yoder:

x [t]	$E(x) = 2^{(0,78 \cdot (x - 8,2))}$
1	0,0204
1,5	0,0267
2	0,0350
3	0,0601
4	0,1032
5	,1773
6	0,3044
8	0,8975
9	1,5411
10	2,6463

	PROGETTO ESECUTIVO PER LA REALIZZAZIONE DELLA VIABILITA' DI ACCESSO ALLA NUOVA SCUOLA MEDIA A CALCI (PI)	
	RELAZIONE STRADALE	Pag. 24 di 28

11	4,5441
12	7,8028
13	13,3985

Dalla precedente Tab. 2 si può estrarre la seguente matrice "tipo veicolo" / "peso asse", nella quale i valori corrispondono al numero di assi presenti:

		TIPI DI VEICOLI COMMERCIALI															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
PESO (t) DEGLI ASSI	1	1															
	1,5		1														
	2	1															
	3		1														
	4			1												1	
	5				1												1
	6					1											1
	8						1										1
	9							1									1
	10								1								1
	11									1							1
	12										1						1
	13											1					1

Effettuando il prodotto matriciale tra la suddetta matrice 13x16 e la matrice-colonna relativa al parametro Nvc,i precedentemente calcolato, si ricava il numero di passaggi previsti entro la vita utile, per ciascuna classe di peso d'asse considerata.

Moltiplicando poi tali numeri per i coefficienti di equivalenza di Yoder e sommando i risultati, si ottiene il numero complessivo di passaggi dell'asse standard da 8,2 t entro la vita utile della sovrastruttura, come risulta dalla seguente tabella:

Classe di peso d'asse	N. tot. passaggi assi	N. tot. passaggi assi da 8,2 ton
1	0	0
1,5	0	0
2	0	0
3	0	0
4	1.324.365	136.720
5	732.004	129.761
6	195.952	59.646
8	1.389.682	1.247.254
9	0	0
10	454.969	1.204.003
11	662.182	3.009.034

	PROGETTO ESECUTIVO PER LA REALIZZAZIONE DELLA VIABILITA' DI ACCESSO ALLA NUOVA SCUOLA MEDIA A CALCI (PI)	
	RELAZIONE STRADALE	Pag. 25 di 28

Classe di peso d'asse	N. tot. passaggi assi	N. tot. passaggi assi da 8,2 ton
12	4.505	35.149
13	13.514	181.066
Totale $N_{8,2t} =$		6.002.634

4.2.5 Verifica della sovrastruttura

Con riferimento all'asse standard da 8,2 t impiegato nei calcoli ed alla vita utile della sovrastruttura, stimata in 20 anni:

N. passaggi sopportabili: $W_{8,2t} = 8.960.303$

N. passaggi previsti: $N_{8,2t} = 6.002.634$

Risulta: $W_{8,2t} \gg N_{8,2t}$

pertanto la sovrastruttura è ampiamente verificata.

	PROGETTO ESECUTIVO PER LA REALIZZAZIONE DELLA VIABILITA' DI ACCESSO ALLA NUOVA SCUOLA MEDIA A CALCI (PI)	
	RELAZIONE STRADALE	Pag. 26 di 28

5 SEGNALETICA

Al fine di imporre il rallentamento dei veicoli è stata adottata una segnaletica, sia verticale che orizzontale, che impone alle corsie entranti di dare la precedenza al flusso di traffico in rotatoria, secondo il classico modello europeo (detto anche "alla francese"). Ciò assicura il rallentamento dei flussi che entrano in rotatoria e ne rende difficile l'ingorgo, affidando il problema dello smaltimento delle eventuali code ai rami stradali in immissione, lungo i quali esse possono essere meglio gestite.

Per la segnaletica verticale si sono adottati segnali stradali in alluminio con pellicola ad alta rifrangenza.

La nuova intersezione stradale è completata da un cordolo sormontabile di coronamento delle aiuole centrali e laterali.

Per i tratti ove è stata prevista la realizzazione di una nuova viabilità, è stata ovviamente prevista la segnaletica orizzontale e verticale nel rispetto del nuovo codice della strada.

	PROGETTO ESECUTIVO PER LA REALIZZAZIONE DELLA VIABILITA' DI ACCESSO ALLA NUOVA SCUOLA MEDIA A CALCI (PI)	
	RELAZIONE STRADALE	Pag. 27 di 28

6 BARRIERE DI SICUREZZA

Non sono previsti dispositivi di ritenuta lungo l'intervento in quanto non sono presenti rilevati e/o opere d'arte da imporre l'istallazione.

	PROGETTO ESECUTIVO PER LA REALIZZAZIONE DELLA VIABILITA' DI ACCESSO ALLA NUOVA SCUOLA MEDIA A CALCI (PI)	
	RELAZIONE STRADALE	Pag. 28 di 28

7 FASI ESECUTIVE

La realizzazione della rotatoria descritta nei capitoli precedenti, avviene in tre fasi, che prevedono come impostazione generale di non bloccare mai il traffico sulle viabilità esistenti o quanto meno di limitarne i periodi di chiusura, approntando delle parzializzazioni della sede stradale mirate ad evitare tratti regolati da sensi unici alternati. Parimenti verrà sempre garantito l'accesso alle proprietà private.

La prima fase prevede la realizzazione di tutte quelle opere localizzate esternamente al sedime stradale esistente onde consentire il mantenimento del traffico in esercizio sulla viabilità esistente.

In particolare verrà realizzato il tratto di rotatoria sui quadranti nord/est e sud/est, con traffico in esercizio come da stato di fatto sulla viabilità esistente.

La seconda fase, prevede la realizzazione del tratto di rotatoria ubicato lungo l'attuale S.P.24; il traffico in esercizio transiterà sulla viabilità realizzata nella fase precedente utilizzando quindi la porzione est dell'anello giratorio.

La terza e ultima fase prevede infine il completamento delle opere con gli interventi minimali rappresentati dalle isole posizionate sui rami di innesto, la zona a verde a ovest ed il raccordo di via S.Vito; in questa fase vista l'esiguità delle opere da realizzare, il traffico in esercizio transiterà sugli elementi finali già ultimati della rotatoria.

Per maggiori dettagli può essere consultato l'elaborato grafico dedicato.