

**S.S.336 "dell'Aeroporto della Malpensa"
Riqualificazione Busto Arsizio - Gallarate - Cardano**

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA

COD. MI635

PROGETTAZIONE:



PROGETTISTI:

*Ing. Andrea Del Grosso
Ordine Ing. Genova n. 3611*

*Ing. Tommaso Di Bari
Ordine Ing. Taranto n. 1083*

*Ing. Vito Capotorto
Ordine Ing. Taranto n. 1080*

*Arch. Andreas Kipar
Ordine Arch. Milano n.13359 – Progettista e
Direttore Tecnico LAND Italia Srl*

*Ing. Primo Stasi
Ordine Ing. Lecce n. 842*

**IL RESPONSABILE
dell'Integrazione tra le varie
discipline specialistiche:**

*Ing. Alessandro Aliotta
Ordine Ingegneri Genova n. 7995A*

**IL Coordinatore della Sicurezza
in fase di Progettazione:**

*Arch. Giorgio Villa
Ordine Architetti Pavia n. 645*

IL GEOLOGO:

*Dott. Geol. Roberto Pedone
Ordine Geologi della Liguria n. 183*

**Visto: IL RESPONSABILE
DEL PROCEDIMENTO:**

Ing. Giancarlo Luongo

**Progetto stradale
Asse principale**

Relazione tecnica stradale e di sicurezza ex art.4 del DM 22/04/04

CODICE PROGETTO		NOME FILE		REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROG. ANNO	P00PS00TRARE01A			
DPMI0635	F 22	CODICE ELAB.	P00PS00TRARE01	A	-
C					
B					
A	EMISSIONE	Gen. 2023	L. Ruffini	A. Bado	A. Del Grosso
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

Sommario

1	PREMESSA	3
1.1	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
2	L'INFRASTRUTTURA ESISTENTE.....	5
2.1	ASPETTI GEOMETRICI DELL'INFRASTRUTTURA ESISTENTE.....	5
2.2	ANDAMENTO PLANO-ALTIMETRICO ATTUALE	5
2.3	ANALISI DELLO STATO ATTUALE CON RIFERIMENTO AL DM 05.11.2001	7
2.4	ANALISI DEL LIVELLO DI SERVIZIO DELLO STATO ATTUALE CON RIFERIMENTO AL METODO HCM.....	13
3	L'INFRASTRUTTURA IN PROGETTO.....	15
3.1	CRITERI MIGLIORATIVI ADOTTATI NELL'AMBITO DELLE VERIFICHE DI SICUREZZA DELL'INFRASTRUTTURA	15
3.2	GEOMETRIA DELLA SEZIONE TIPO DI INTERVENTO.....	16
3.3	ANDAMENTO PLANIMETRICO.....	17
3.4	ANDAMENTO ALTIMETRICO.....	27
3.5	VERIFICHE DISTANZE DI VISIBILITÀ	31
3.5.1	<i>Allargamenti per visibilità</i>	33
3.6	DIAGRAMMA DI VELOCITÀ	33
4	CORSIE SPECIALIZZATE DI IMMISSIONE E USCITA	35
4.1	CORSIE SPECIALIZZATE DELLE RAMPE DI SVINCOLO.....	35
4.1.1	<i>CORSIE DI DIVERSIONE</i>	41
4.1.2	<i>CORSIE DI IMMISSIONE</i>	42
5	CALCOLO DELLA PAVIMENTAZIONE	43
6	DISPOSITIVI DI RITENUTA	47
7	SEGNALETICA ORIZZONTALE E VERTICALE.....	49
7.1	SEGNALETICA ORIZZONTALE.....	49
7.2	SEGNALETICA VERTICALE	49
8	RELAZIONE EX ART. 4 DM 22/04/2004	51
8.1	ANALISI DELLA STRADA ESISTENTE.....	51
8.2	INTERVENTI DI POTENZIAMENTO E MESSA IN SICUREZZA	54

Indice delle Tabelle e delle Figure

SOMMARIO	1
FIGURA 1 – INQUADRAMENTO DELL’OPERA	3
TABELLA 1 – RIEPILOGO CARATTERISTICHE PLANIMETRICHE.....	6
TABELLA 2 – RIEPILOGO CARATTERISTICHE PLANIMETRICHE.....	7
TABELLA 3 – ASSE ESISTENTE: VERIFICHE PLANIMETRICHE	8
TABELLA 4 – ELEMENTI DEL TRACCIATO PLANIMETRICO SECONDO IL DM 5.11.2001	9
TABELLA 5 – ASSE ESISTENTE: VERIFICHE PLANIMETRICHE CON VELOCITÀ DI PROGETTO IMPOSTA SUI LIMITI AMMINISTRATIVI	10
TABELLA 6 – ASSE ESISTENTE: VERIFICHE ALTIMETRICHE	11
TABELLA 7 – ASSE ESISTENTE: DISTANZE DI RICOMPARSA SECONDO IL DM 5.11.2001	12
TABELLA 8 – LIVELLO DI SERVIZIO DELLO STATO ATTUALE	14
FIGURA 2 – SEZIONE TIPO PER L’INTERVENTO DI RIQUALIFICA	17
TABELLA 9 – PARAMETRI PLANIMETRICI DI PROGETTO DELLE CURVE CIRCOLARI.....	19
FIGURA 3 – ABACO DI KOPPEL (DM 05/ 11/01).....	19
TABELLA 10 – ELEMENTI PLANIMETRICI DI PROGETTO: RACCORDI CLOTOIDICI	26
TABELLA 11 – VERIFICA DEI RACCORDI ALTIMETRICI DI PROGETTO	30
FIGURA 4 – CORSIA DI DIVERSIONE: TIPOLOGIA PARALLELA.....	35
FIGURA 5 – CORSIA DI DIVERSIONE: TIPOLOGIA AD AGO.....	35
FIGURA 6 – CORSIA DI IMMISSIONE	36
FIGURA 7 – POSTAZIONE DI RILIEVO TRAFFICO	38
FIGURA 8 – CRITERI DI DIMENSIONAMENTO FUNZIONALE METODO DA RIOS.....	39
TABELLA 12 – VERIFICA DELLE CORSIE ESISTENTI COL METODO DA RIOS	40
TABELLA 13 – VERIFICA DELLE CORSIE ESISTENTI COL METODO SASCIA CANALE	41
TABELLA 14 – DIMENSIONAMENTO DELLE CORSIE DI DIVERSIONE DI PROGETTO.....	42
TABELLA 15 – DIMENSIONAMENTO DELLE CORSIE DI IMMISSIONE DI PROGETTO	42

1 PREMESSA

La presente relazione tecnica riporta i contenuti specialistici del progetto stradale per la riqualfica e la messa in sicurezza della S.S. n°336 tra le progressive km 0+000 e 9+410,60.

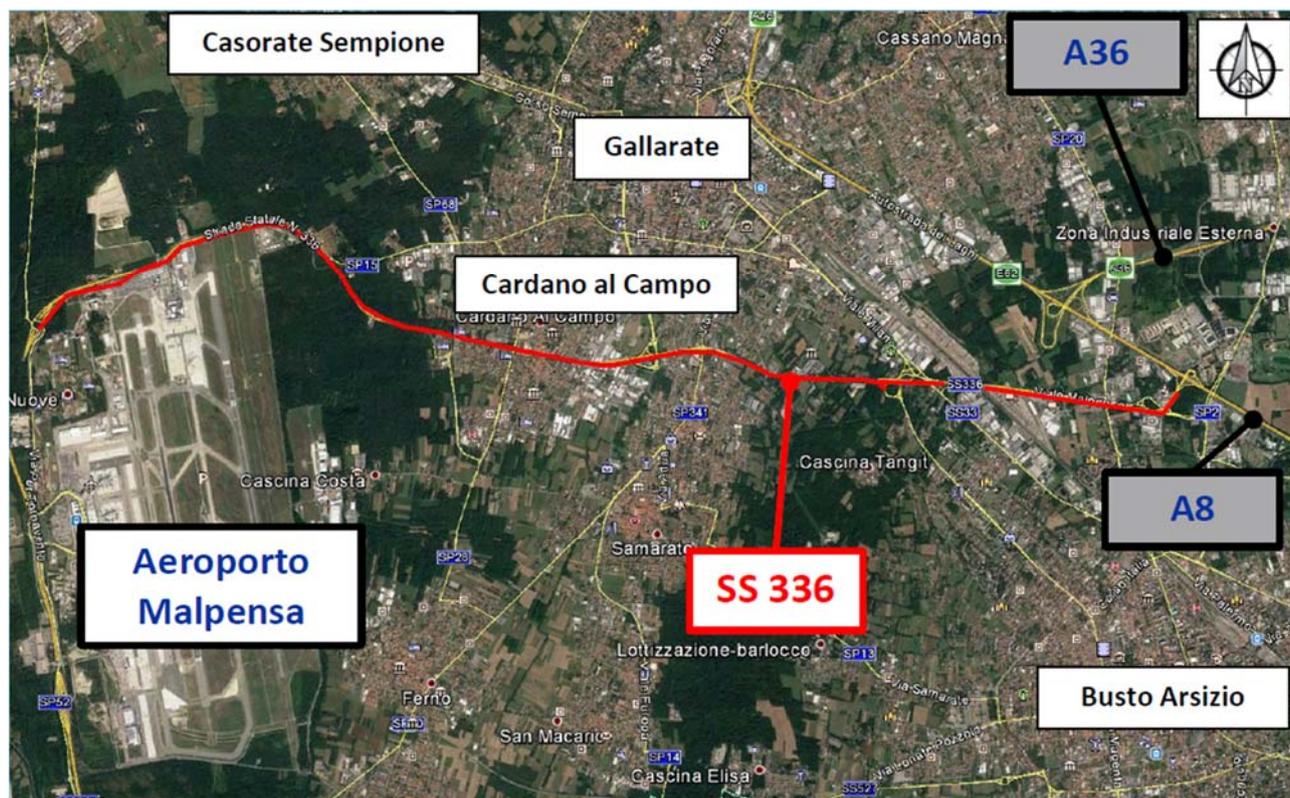


Figura 1 – Inquadramento dell'opera

Nel documento sono descritte le caratteristiche stradali dell'asse stradale esistente ed i criteri tecnici rispetto ai quali viene sviluppato il progetto di riqualfica e messa in sicurezza dell'infrastruttura, sulla base delle verifiche condotte al fine di valutare la congruenza con le indicazioni contenute nella normativa di riferimento:

- "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade" (Decreto Ministero del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 05/11/2001, prot. 6792) per strade principali extraurbane (strade di categoria B), relativamente al tracciato principale;
- "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali" (Decreto Ministero del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 19/04/2006) per quanto riguarda l'adeguamento delle intersezioni.

Gli interventi in progetto prevedono la riqualfica e la messa in sicurezza dell'infrastruttura esistente, ma non hanno lo scopo dell'aumento della capacità, mantenendo inalterate le caratteristiche di deflusso in essere.

Relativamente all'asse principale il DM del 5.11.2001 risulta non cogente per l'intervento in oggetto ai sensi del DM 22.04.04, in quanto trattasi di adeguamento di un'infrastruttura esistente. Analogamente, gli adeguamenti delle intersezioni esistenti sono stati sviluppati prendendo a riferimento il DM del 19/04/2006 "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali" come previsto dall'articolo 2 comma 3 del decreto medesimo.

1.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Nella presente relazione sono descritte le caratteristiche degli assi stradali esistenti ed i criteri tecnici rispetto ai quali viene sviluppato il progetto di adeguamento dell'infrastruttura, valutandone la congruenza con le indicazioni contenute nella normativa di riferimento, ovvero:

- "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade" (Decreto Ministero del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 05/11/2001, prot. 6792) per le autostrade in ambito extraurbano (strade di categoria A);
- "Modifica del decreto 5 novembre 2001, n. 6792, recante «Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade» (Decreto Ministero del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 22/04/2004, Gazzetta ufficiale 25/06/2004 n. 147);
- "Emanande "Norme per gli interventi di adeguamento delle strade esistenti" – Versione marzo 2006";
- "Nuovo Codice della Strada" (Decreto-legge n.285 del 30 aprile 1992) e s.m.i.;
- "Regolamento di esecuzione e attuazione del nuovo codice della strada" (Decreto del Presidente della Repubblica n 495/92);
- "Il direttiva sulla corretta ed uniforme applicazione delle norme del codice della strada in materia di segnaletica e criteri per l'installazione e la manutenzione" (Ministero dei Trasporti del 20 ottobre 200);
- "Aggiornamento delle istruzioni tecniche per la progettazione, l'omologazione e l'impiego delle barriere stradali di sicurezza e le prescrizioni tecniche per le prove delle barriere di sicurezza stradale." (D.M. 21 giugno 2004);
- "Disposizioni sull'uso e l'installazione dei dispositivi di ritenuta stradale" (Gazzetta ufficiale n 233 del 6 ottobre 2011)

2 L'INFRASTRUTTURA ESISTENTE

2.1 ASPETTI GEOMETRICI DELL'INFRASTRUTTURA ESISTENTE

L'attuale sezione tipo presenta una piattaforma pavimentata di circa 17.20 m nel punto più vincolante, in corrispondenza della galleria artificiale di Gallarate, composta da due corsie per senso di marcia pari a 3.50m, margine esterno di 1.00m, margine interno di 0.15m spartitraffico di 0.90m, per una larghezza complessiva della sezione minima in galleria pari a 17.20m, con la seguente geometria:

Sezione stradale minima in galleria:

- Spartitraffico centrale da 0.90 m
- Banchina pavimentata interna da 0.15m
- 4 corsie di marcia da 3.50m
- Margine laterale da 1.00 m circa (nullo in corrispondenza di alcuni punti singolari, quali ad le gallerie).

2.2 ANDAMENTO PLANO-ALTIMETRICO ATTUALE

Il tracciato della SS. 336 nel tratto di intervento, di sviluppo complessivo pari a circa 10+750 km è stato ricostruito sulla base di un tracciamento "dello stato di fatto" sviluppato in asse spartitraffico, in accordo con i rilievi celerimetrici degli elementi esistenti, con geometrizzazione del tracciato esistente effettuata in asse allo spartitraffico attuale. L'andamento planimetrico presenta rettili raccordati con curve a raggio costante raccordate ai rettili con clotoidi di transizione.

In Tabella 1 vengono sintetizzate le caratteristiche degli elementi planimetrici che compongono l'asse stradale. In colonna (5) è riportato il tipo di elemento planimetrico considerato (R = Rettifilo, C = Curva Circolare). In colonna (7) è indicato il verso di percorrenza delle curve circolari nella direzione delle progressive crescenti (DX = curva destrorsa, SX = curva sinistrorsa).

Elem	Prog.I. [m]	Prog.F. [m]	Svil. [m]	Tipo	Parametro [m]	Verso
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	0,000	24,190	24,190	RETTIFILO	0,000	
2	24,190	132,128	107,938	CLOTOIDE	118,000	Dx
3	132,128	176,611	44,483	ARCO	129,000	Dx
4	176,611	284,549	107,938	CLOTOIDE	118,000	Dx
5	284,549	1852,767	1568,217	RETTIFILO	0,000	
6	1852,767	1921,752	68,985	CLOTOIDE	256,000	Sx
7	1921,752	1969,430	47,678	ARCO	950,000	Sx
8	1969,430	2038,416	68,985	CLOTOIDE	256,000	Sx
9	2038,416	4018,429	1980,014	RETTIFILO	0,000	
10	4018,429	4140,883	122,454	CLOTOIDE	230,000	Dx
11	4140,883	4210,733	69,850	ARCO	432,000	Dx
12	4210,733	4333,187	122,454	CLOTOIDE	230,000	Dx
13	4333,187	4577,710	244,524	RETTIFILO	0,000	
14	4577,710	4671,272	93,561	CLOTOIDE	255,000	Sx
15	4671,272	5024,864	353,593	ARCO	695,000	Sx
16	5024,864	5118,425	93,561	CLOTOIDE	255,000	Sx

Elem	Prog.I. [m]	Prog.F. [m]	Svil. [m]	Tipo	Parametro [m]	Verso
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
17	5118,425	5250,774	132,349	RETTIFILO	0,000	
18	5250,774	5530,853	280,079	ARCO	17000,000	Sx
19	5530,853	5809,840	278,987	RETTIFILO	0,000	
20	5809,840	5917,841	108,001	CLOTOIDE	325,000	Dx
21	5917,841	6185,162	267,321	ARCO	978,000	Dx
22	6185,162	6296,512	111,350	CLOTOIDE	330,000	Dx
23	6296,512	8172,472	1875,960	RETTIFILO	0,000	
24	8172,472	8300,912	128,440	CLOTOIDE	247,000	Dx
25	8300,912	8557,571	256,659	ARCO	475,000	Dx
26	8557,571	8686,011	128,440	CLOTOIDE	247,000	Dx
27	8686,011	8977,114	291,103	RETTIFILO	0,000	
28	8977,114	9104,718	127,604	CLOTOIDE	350,000	Sx
29	9104,718	9280,573	175,855	ARCO	960,000	Sx
30	9280,573	9387,240	106,667	CLOTOIDE	320,000	Sx
31	9387,240	9506,367	119,127	RETTIFILO	0,000	
32	9506,367	9640,463	134,096	CLOTOIDE	261,000	Sx
33	9640,463	10025,234	384,770	ARCO	508,000	Sx
34	10025,234	10159,330	134,096	CLOTOIDE	261,000	Sx
35	10159,330	10643,536	484,206	RETTIFILO	0,000	

Tabella 1 - Riepilogo caratteristiche planimetriche

Con riferimento all'andamento altimetrico, il profilo risulta caratterizzato da variazioni di livellette che si realizzano prevalentemente in corrispondenza di attraversamenti stradali ed idraulici attraverso una sequenza sacca – dosso – sacca. Il tracciato risultata così composto.

N. Racc.	Tipo [D/S]	Raggio V.	Δi	Svil. [m]	Prog. I [m]	Prog. F [m]	Parz. Racc [m]
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1	D	5000,000	-0,775	38,734	22,427	61,160	38,734
2	S	15000,000	0,571	85,646	160,382	246,027	85,645
3	S	2000,000	2,242	44,848	383,385	428,229	44,845
4	D	5000,000	-4,468	223,411	629,081	852,474	223,393
5	S	5000,000	2,358	117,900	1012,535	1130,426	117,891
6	S	5000,000	2,742	137,105	1704,509	1841,595	137,085
7	D	3500,000	-6,847	239,695	1947,749	2187,393	239,644
8	S	2000,000	6,652	133,061	2481,116	2614,150	133,034
9	D	5000,000	-2,961	148,086	2728,690	2876,761	148,070
10	S	50000,000	0,191	95,383	4070,251	4165,634	95,383
11	D	7760,000	-2,518	195,441	4475,746	4671,163	195,417
12	S	5000,000	5,564	278,216	4769,727	5047,906	278,179

N. Racc.	Tipo [D/S]	Raggio V.	Δi	Svil. [m]	Prog. I [m]	Prog. F [m]	Parz. Racc [m]
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
13	D	10000,000	-4,309	430,987	5098,607	5529,548	430,941
14	S	10000,000	1,427	142,717	5732,812	5875,525	142,713
15	S	6000,000	2,835	170,109	6907,750	7077,835	170,085
16	D	5000,000	-3,183	159,150	7128,971	7288,101	159,130
17	S	65000,000	1,417	920,812	7339,355	8260,153	920,798
18	D	8300,000	-4,066	337,526	8598,535	8936,023	337,488
19	S	7800,000	3,511	273,887	9060,738	9334,591	273,853
20	D	80000,000	-0,494	395,141	9699,437	10094,576	395,139
21	D	8000,000	-1,617	129,334	10233,572	10362,901	129,329
22	S	5000,000	1,442	72,083	10370,862	10442,942	72,080
23	D	25000,000	-0,075	18,838	10619,103	10637,941	18,838

Tabella 2 - Riepilogo caratteristiche planimetriche

2.3 ANALISI DELLO STATO ATTUALE CON RIFERIMENTO AL DM 05.11.2001

Vengono di seguito riportati in forma tabellare i dati plano-altimetrici dell'asse esistente ed i risultati delle verifiche di rispondenza alla normativa di riferimento DM 05/11/2001 prot. N° 6792, condotte sul tratto oggetto del presente intervento, con l'indicazione degli elementi non rispondenti in riferimento ai parametri di seguito descritti.

Criteri di Verifica delle caratteristiche planimetriche

- (a) - Raggio minimo delle curve planimetriche
- (b) - Relazione raggio della curva (R)/lunghezza del rettilo (L) che la precede
- (c) - Compatibilità tra i raggi di due curve successive
- (d) - Lunghezza massima dei rettili
- (e) - Lunghezza minima dei rettili
- (f1) - Congruenza del diagramma delle velocità nel passaggio da tratti con $V_{p,max}$ a curve a V_p , $<V_{p,max}$
- (f2) - Congruenza del diagramma delle velocità nel passaggio fra due curve successive ($V_{p1} > V_{p2}$)
- (g) - Lunghezza minima delle curve circolari
- (h1) - Verifica del parametro A delle clotoidi: Limitazione del contraccollo
- (h2) - Verifica del parametro A delle clotoidi Sovrapendenza longitudinale delle linee di estremità
- (h3) - Verifica del parametro A delle clotoidi: Criterio Ottico

Come mostrato nella seguente tabella, con riferimento alle caratteristiche planimetriche, il tracciato presenta alcune difformità rispetto a quanto richiesto normativamente.

Le non conformità sono tutte legate a criteri di tipo geometrico (sviluppi minimi e criteri ottici delle clotoidi) e non dinamico, risultando pertanto non essenziali per la sicurezza della circolazione.

Elem	Prog.I. [m]	Prog.F. [m]	Svil. [m]	Tipo	Parametro [m]	Verso	pt dx [%]	pt sx [%]	Vel. [km/h]	Verifica
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)				
1	0,000	24,190	24,190	RETTIFILO	0,000		2,5	2,5	81,255	NO (e)
2	24,190	132,128	107,938	CLOTOIDE	118,000	Dx	0	0	77,758	OK
3	132,128	176,611	44,483	ARCO	129,000	Dx	7	7	62,150	NO (a)
4	176,611	284,549	107,938	CLOTOIDE	118,000	Dx	0	0	74,438	OK
5	284,549	1852,767	1568,217	RETTIFILO	0,000		2,5	2,5	120,000	NO (b)
6	1852,767	1921,752	68,985	CLOTOIDE	256,000	Sx	0	0	120,000	NO (h3)
7	1921,752	1969,430	47,678	ARCO	950,000	Sx	4,262	4,262	120,000	NO (g)
8	1969,430	2038,416	68,985	CLOTOIDE	256,000	Sx	0	0	120,000	NO (h3)
9	2038,416	4018,429	1980,014	RETTIFILO	0,000		2,5	2,5	120,000	OK
10	4018,429	4140,883	122,454	CLOTOIDE	230,000	Dx	0	0	111,087	OK
11	4140,883	4210,733	69,850	ARCO	432,000	Dx	7	7	99,520	OK
12	4210,733	4333,187	122,454	CLOTOIDE	230,000	Dx	0	0	111,087	OK
13	4333,187	4577,710	244,524	RETTIFILO	0,000		2,5	2,5	120,000	OK
14	4577,710	4671,272	93,561	CLOTOIDE	255,000	Sx	0	0	120,000	OK
15	4671,272	5024,864	353,593	ARCO	695,000	Sx	5,206	5,206	120,000	OK
16	5024,864	5118,425	93,561	CLOTOIDE	255,000	Sx	0	0	120,000	OK
17	5118,425	5250,774	132,349	RETTIFILO	0,000		2,5	2,5	120,000	NO (e)
18	5250,774	5530,853	280,079	ARCO	17000,000	Sx	2,5	2,5	120,000	OK
19	5530,853	5809,840	278,987	RETTIFILO	0,000		2,5	2,5	120,000	OK
20	5809,840	5917,841	108,001	CLOTOIDE	325,000	Dx	0	0	120,000	NO (h3)
21	5917,841	6185,162	267,321	ARCO	978,000	Dx	4,184	4,184	120,000	OK
22	6185,162	6296,512	111,350	CLOTOIDE	330,000	Dx	0	0	120,000	OK
23	6296,512	8172,472	1875,960	RETTIFILO	0,000		2,5	2,5	120,000	OK
24	8172,472	8300,912	128,440	CLOTOIDE	247,000	Dx	0	0	115,577	OK
25	8300,912	8557,571	256,659	ARCO	475,000	Dx	6,641	6,641	103,670	OK
26	8557,571	8686,011	128,440	CLOTOIDE	247,000	Dx	0	0	115,577	OK
27	8686,011	8977,114	291,103	RETTIFILO	0,000		2,5	2,5	120,000	OK
28	8977,114	9104,718	127,604	CLOTOIDE	350,000	Sx	0	0	120,000	OK
29	9104,718	9280,573	175,855	ARCO	960,000	Sx	4,234	4,234	120,000	OK
30	9280,573	9387,240	106,667	CLOTOIDE	320,000	Sx	0	0	120,000	OK
31	9387,240	9506,367	119,127	RETTIFILO	0,000		2,5	2,5	120,000	NO (e)
32	9506,367	9640,463	134,096	CLOTOIDE	261,000	Sx	0	0	119,013	OK
33	9640,463	10025,234	384,770	ARCO	508,000	Sx	6,361	6,361	106,750	OK
34	10025,234	10159,330	134,096	CLOTOIDE	261,000	Sx	0	0	119,013	OK
35	10159,330	10643,536	484,206	RETTIFILO	0,000		2,5	2,5	120,000	OK

Tabella 3 - Asse esistente: verifiche planimetriche

Con le deroghe sopra esposte, in relazione agli elementi planimetrici, il tracciato presenta un diagramma di velocità di progetto compatibile con quello delle strade di categoria B (70 – 120 km/h).

Il tracciato presenta attualmente nel tratto iniziale salti di velocità da V_p max a curve di velocità inferiore a quanto normativamente prescritto pertanto la variazione di velocità in corrispondenza delle curve circolari, è generalmente superiore al valore massimo previsto, pari a 10 km/h. Tale incongruenza è essenzialmente legata ai vincoli contorno che influenzano fortemente il possibile collocamento planimetrico dell'infrastruttura.

Da un'analisi delle sole caratteristiche planimetriche del tracciato esistente, si rileva che due curve, e precisamente quelle relative agli elementi numero 3 e numero 33, non permettono di percorrere il tracciato alla velocità massima consentita per strade di tipo B (120 km/h). In particolare, per la curva 3 è associata una velocità massima di 62,15 km/h, mentre per la curva 33, è ammissibile una velocità di 106,75 km/h, minore della massima normativamente prevista per strade di tipo B, ma comunque maggiore della velocità minima di progetto per strade di tale categoria (70 km/h).

Per garantire una velocità di percorrenza almeno pari alla minima di progetto, e quindi garantire una velocità di deflusso adeguata alla categoria stradale, è necessario che tutte le curve a raggio costante abbiano un valore del parametro R pari o maggiore a 178m.

TIPI SECONDO IL CODICE	AMBITO TERRITORIALE	DENOMINAZIONE	V_p min [km/h]	q_{max}	$f_{t,max}$	Raggio minimo [m]
AUTOSTRADA A	EXTRAURBANO	STRADA PRINCIPALE	90	0,07	0,118	339
		STRADA DI SERVIZIO (EVENTUALE)	40	0,07	0,210	45
	URBANO	STRADA PRINCIPALE	80	0,07	0,130	252
		STRADA DI SERVIZIO (EVENTUALE)	40	0,035	0,210	51
EXTRAURBANA PRINCIPALE B	EXTRAURBANO	STRADA PRINCIPALE	70	0,07	0,147	178
		STRADA DI SERVIZIO (EVENTUALE)	40	0,07	0,210	45
EXTRAURBANA SECONDARIA C	EXTRAURBANO		60	0,07	0,170	118
URBANA DI SCORRIMENTO D	URBANO	STRADA PRINCIPALE	50	0,05	0,205	77
		STRADA DI SERVIZIO (EVENTUALE)	25	0,035	0,220	19
URBANA DI QUARTIERE E	URBANO		40	0,035	0,210	51
LOCALE F	EXTRAURBANO		40	0,07	0,210	45
	URBANO		25	0,035	0,220	19

Tabella 4 – Elementi del tracciato planimetrico secondo il DM 5.11.2001

Nel caso in esame, il tracciato presenta una sola curva con raggio minore di 178 m (elemento numero 3) per uno sviluppo di 44.483m, rispetto allo sviluppo totale di 10159.33m, da cui un grado di tortuosità, ottenuto come percentuale della somma delle lunghezze delle tratte aventi raggio uguale o minore a 178m rispetto alla lunghezza reale totale di tracciato, pari allo 0.44%, valore basso e indicante un tracciato per lo più privo di tortuosità.

Attualmente sono presenti dei vincoli di velocità amministrativi: limite di velocità pari a 90 km/h per tutto il tratto oggetto di intervento, ad eccezione di un limite a 50 km/h in corrispondenza della curva di raggio 129m (elemento 3). Anche imponendo tali vincoli al diagramma delle velocità, così come riportato nella tabella seguente, non vengono risolte le non conformità sopra descritte, sebbene vengano a crearsi dei salti di velocità più contenuti e quindi più prossimi ai dettami normativi.

Elem	Prog.I. [m]	Prog.F. [m]	Svil. [m]	Tipo	Parametro [m]	Verso	pt dx [%]	pt sx [%]	Vel. [km/h]	Verifica
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)				
1	0,000	24,190	24,190	RETTIFILO	0,000		2,5	2,5	60,000	NO (e)
2	24,190	132,128	107,938	CLOTOIDE	118,000	Dx	0	0	60,000	OK
3	132,128	176,611	44,483	ARCO	129,000	Dx	7	7	60,000	NO (a)
4	176,611	284,549	107,938	CLOTOIDE	118,000	Dx	0	0	60,000	OK
5	284,549	1852,767	1568,217	RETTIFILO	0,000		2,5	2,5	100,000	NO (b)
6	1852,767	1921,752	68,985	CLOTOIDE	256,000	Sx	0	0	100,000	NO (h3)
7	1921,752	1969,430	47,678	ARCO	950,000	Sx	4,262	4,262	100,000	NO (g)
8	1969,430	2038,416	68,985	CLOTOIDE	256,000	Sx	0	0	100,000	NO (h3)
9	2038,416	4018,429	1980,014	RETTIFILO	0,000		2,5	2,5	100,000	OK
10	4018,429	4140,883	122,454	CLOTOIDE	230,000	Dx	0	0	100,000	OK
11	4140,883	4210,733	69,850	ARCO	432,000	Dx	7	7	99,510	OK
12	4210,733	4333,187	122,454	CLOTOIDE	230,000	Dx	0	0	100,000	OK
13	4333,187	4577,710	244,524	RETTIFILO	0,000		2,5	2,5	100,000	OK
14	4577,710	4671,272	93,561	CLOTOIDE	255,000	Sx	0	0	100,000	OK
15	4671,272	5024,864	353,593	ARCO	695,000	Sx	5,206	5,206	100,000	OK
16	5024,864	5118,425	93,561	CLOTOIDE	255,000	Sx	0	0	100,000	OK
17	5118,425	5250,774	132,349	RETTIFILO	0,000		2,5	2,5	100,000	NO (e)
18	5250,774	5530,853	280,079	ARCO	17000,000	Sx	2,5	2,5	100,000	OK
19	5530,853	5809,840	278,987	RETTIFILO	0,000		2,5	2,5	100,000	OK
20	5809,840	5917,841	108,001	CLOTOIDE	325,000	Dx	0	0	100,000	NO (h3)
21	5917,841	6185,162	267,321	ARCO	978,000	Dx	4,184	4,184	100,000	OK
22	6185,162	6296,512	111,350	CLOTOIDE	330,000	Dx	0	0	100,000	OK
23	6296,512	8172,472	1875,960	RETTIFILO	0,000		2,5	2,5	100,000	OK
24	8172,472	8300,912	128,440	CLOTOIDE	247,000	Dx	0	0	100,000	OK
25	8300,912	8557,571	256,659	ARCO	475,000	Dx	6,641	6,641	100,000	OK
26	8557,571	8686,011	128,440	CLOTOIDE	247,000	Dx	0	0	100,000	OK
27	8686,011	8977,114	291,103	RETTIFILO	0,000		2,5	2,5	100,000	OK
28	8977,114	9104,718	127,604	CLOTOIDE	350,000	Sx	0	0	100,000	OK
29	9104,718	9280,573	175,855	ARCO	960,000	Sx	4,234	4,234	100,000	OK
30	9280,573	9387,240	106,667	CLOTOIDE	320,000	Sx	0	0	100,000	OK
31	9387,240	9506,367	119,127	RETTIFILO	0,000		2,5	2,5	100,000	NO (e)
32	9506,367	9640,463	134,096	CLOTOIDE	261,000	Sx	0	0	100,000	OK
33	9640,463	10025,234	384,770	ARCO	508,000	Sx	6,361	6,361	100,000	OK
34	10025,234	10159,330	134,096	CLOTOIDE	261,000	Sx	0	0	100,000	OK
35	10159,330	10643,536	484,206	RETTIFILO	0,000		2,5	2,5	100,000	OK

Tabella 5 - Asse esistente: verifiche planimetriche con velocità di progetto imposta sui limiti amministrativi

Criteria di Verifica delle caratteristiche altimetriche

Con riferimento all'andamento altimetrico del tracciato esistente, la pendenza massima delle livellette risulta prossima al 3%, sempre inferiore al valore massimo indicato dalla normativa, che richiede per strade di tipo B – Extraurbane principali di non superare la pendenza del 6%. Nelle tabelle che seguono sono riportati i risultati della verifica dei raccordi verticali concavi e convessi rispetto alla distanza di visibilità per l'arresto, effettuata in condizioni di pavimentazione bagnata.

In colonna (2) è riportato il tipo di raccordo altimetrico considerato utilizzando le seguenti abbreviazioni:

S = Raccordo verticale convesso (Sacca)

D = Raccordo verticale concavo (Dosso)

Criteria di Verifica delle caratteristiche altimetriche

(i) - Pendenze longitudinali massime

(j) - Raccordi verticali convessi

(k) - Raccordi verticali concavi

Per le verifiche altimetriche si è utilizzata una velocità congruente con i limiti amministrativi esistenti (limite di velocità da segnaletica verticale +10 km/h), corrispondente dunque ad una velocità di progetto pari a 100Km/h per tutto il tracciato ed a 60 Km/h in corrispondenza della curva di raggio 129m.

N. Racc.	Tipo [D/S]	Raggio V.	i1	i2	Δi	Svil. [m]	Prog. I [m]	Prog. F [m]	Parz. Racc [m]	Vel. [km/h]	Verifica
(1)	(2)	(3)	(9)	(10)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)		
1	D	5000,000	0,000	0,170	-0,775	38,734	22,427	61,160	38,734	60,000	OK
2	S	15000,000	0,170	0,605	0,571	85,646	160,382	246,027	85,645	60,000	OK
3	S	2000,000	0,605	0,034	2,242	44,848	383,385	428,229	44,845	78,621	OK
4	D	5000,000	0,034	2,208	-4,468	223,411	629,081	852,474	223,393	100,00	OK
5	S	5000,000	2,208	2,260	2,358	117,900	1012,535	1130,426	117,891	100,00	OK
6	S	5000,000	2,260	0,098	2,742	137,105	1704,509	1841,595	137,085	100,00	OK
7	D	3500,000	0,098	2,840	-6,847	239,695	1947,749	2187,393	239,644	100,00	NO
8	S	2000,000	2,840	4,007	6,652	133,061	2481,116	2614,150	133,034	100,00	NO
9	D	5000,000	4,007	2,645	-2,961	148,086	2728,690	2876,761	148,070	100,00	OK
10	S	50000,000	2,645	0,317	0,191	95,383	4070,251	4165,634	95,383	100,00	OK
11	D	7760,000	0,317	0,126	-2,518	195,441	4475,746	4671,163	195,417	100,00	OK
12	S	5000,000	0,126	2,644	5,564	278,216	4769,727	5047,906	278,179	100,00	OK
13	D	10000,000	2,644	2,919	-4,309	430,987	5098,607	5529,548	430,941	100,00	OK
14	S	10000,000	2,919	1,390	1,427	142,717	5732,812	5875,525	142,713	100,00	OK
15	S	6000,000	1,390	0,037	2,835	170,109	6907,750	7077,835	170,085	100,00	OK
16	D	5000,000	0,037	2,872	-3,183	159,150	7128,971	7288,101	159,130	100,00	NO
17	S	65000,000	2,872	-0,311	1,417	920,812	7339,355	8260,153	920,798	100,00	NO
18	D	8300,000	-0,311	1,106	-4,066	337,526	8598,535	8936,023	337,488	100,00	OK
19	S	7800,000	1,106	-2,960	3,511	273,887	9060,738	9334,591	273,853	100,00	OK
20	D	80000,000	-2,960	0,551	-0,494	395,141	9699,437	10094,576	395,139	100,00	OK
21	D	8000,000	0,551	0,057	-1,617	129,334	10233,572	10362,901	129,329	100,00	OK
22	S	5000,000	0,057	-1,560	1,442	72,083	10370,862	10442,942	72,080	100,00	OK
23	D	25000,000	-1,560	-0,194	-0,075	18,838	10619,103	10637,941	18,838	100,00	OK

Tabella 6 - Asse esistente: verifiche altimetriche

Come si evince dalla tabella 4, i raccordi verticali sono generalmente verificati, due soli raccordi verticali (elemento n°7 e 8) risultano di raggio non adeguato. Le velocità ammissibili per tali elementi risultano pari rispettivamente a 91.5 km/h e 71 km/h.

Coordinamento plano-altimetrico

Al fine di garantire una percezione chiara delle caratteristiche del tracciato stradale ed evitare variazioni brusche delle linee che lo definiscono nel quadro prospettico, occorre che vi sia un opportuno coordinamento plano altimetrico dell'asse con il profilo longitudinale.

In particolare, normativamente è richiesto di verificare che:

- I raccordi verticali siano situati in tratti con andamento rettilineo. Non sempre è stato possibile garantire il soddisfacimento di tale criterio, né peraltro è stato realizzabile, poiché trattasi di intervento su sedime esistente, con vincoli plano altimetrici molto stringenti, far coincidere i vertici dei raccordi verticali con quelli delle curve planimetriche
- Il punto di inizio delle curve planimetriche non coincida o sia prossimo alla sommità del raccordo verticale. Nel caso in esame nessun vertice altimetrico coincide con l'inizio di una curva planimetrica. Nel caso peggiore, in prossimità del raccordo n° 11, si ha uno sfasamento di circa 2 m.
- Le curve planimetriche non inizino immediatamente dopo un raccordo concavo. Per ovviare a tale possibile problema, si sono utilizzati raccordi verticali di ampio raggio al fine di garantire un rapporto tra raggio altimetrico e planimetrico ≥ 6 . Nel caso peggiore si ha che la curva planimetrica inizia dopo 5,5 m dalla fine del raccordo concavo (curva R=950 m e Rv=5000m).
- i raccordi concavi non siano posizionati immediatamente dopo la fine di una curva planimetrica o che il vertice altimetrico coincida, o sia prossimo, ad un punto di flesso planimetrico, caso simmetrico al punto precedente.
- i raccordi concavi abbiano uno sviluppo sufficiente, soprattutto se si inseriscono all'interno di curve planimetriche di grande sviluppo.

Per ogni raccordo verticale, inoltre, è stata verificata la sussistenza di una adeguata distanza di ricomparsa in funzione del diagramma di velocità.

Velocità [km/h]	25	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
Distanza di ricomparsa [m]	150	180	220	280	350	420	500	560	640	720	800	860

Tabella 7 - Asse esistente: distanze di ricomparsa secondo il DM 5.11.2001

2.4 ANALISI DEL LIVELLO DI SERVIZIO DELLO STATO ATTUALE CON RIFERIMENTO AL METODO HCM

Il livello di servizio di una infrastruttura misura la qualità della circolazione in corrispondenza di un flusso assegnato. Per qualità della circolazione di intendono gli oneri sopportati dagli utenti, i quali consistono prevalentemente nei costi monetari del viaggio, nel tempo speso, nello stress fisico e psicologico. I parametri che appaiono più strettamente legati a tali oneri sono la velocità media mantenibile su un segmento stradale, che dà un'idea del tempo di percorrenza, e la densità e il rapporto tra flusso e capacità, che danno un'indicazione della libertà di guida, quindi del comfort, della sicurezza e del costo dello spostamento.

Partendo da queste grandezze, di più facile quantificazione, è da considerarsi valido il criterio adottato negli Stati Uniti (HCM) che definisce il LdS non in funzione di parametri in grado di esprimere direttamente la qualità della circolazione, che risultano essere di difficile misurazione, ma di grandezze che a quei parametri sono correlate.

L'HCM prevede per le infrastrutture viarie sei possibili livelli di servizio contraddistinti dalle lettere da A a F, in ordine decrescente di qualità della circolazione

In generale, per strade a flusso ininterrotto, quali quelle in ambito extraurbano, le condizioni di marcia dei veicoli ai vari LdS sono definibili come segue:

- A - gli utenti non subiscono interferenze alla propria marcia, hanno elevate possibilità di scelta delle velocità desiderate (libere); il comfort è notevole.
- B - la più alta densità rispetto a quella del livello A comincia ad essere avvertita dai conducenti che subiscono lievi condizionamenti alle libertà di manovra ed al mantenimento delle velocità desiderate; il comfort è discreto.
- C - le libertà di marcia dei singoli veicoli sono significativamente influenzate dalle mutue interferenze che limitano la scelta delle velocità e le manovre all'interno della corrente; il comfort è definibile modesto.
- D - è caratterizzato da alte densità ma ancora da stabilità di deflusso; velocità e libertà di manovra sono fortemente condizionate; modesti incrementi di domanda possono creare problemi di regolarità di marcia; il comfort è basso.
- E - rappresenta condizioni di deflusso che comprendono, come limite inferiore, la capacità; le velocità medie dei singoli veicoli sono modeste (circa metà di quelle del livello A) e pressoché uniformi; non c'è praticamente possibilità di manovra entro la corrente; il moto è instabile perché piccoli incrementi di domanda o modesti disturbi (rallentamenti, ad esempio) non possono più essere facilmente riassorbiti da decrementi di velocità e si innesca così la congestione; il comfort è bassissimo.
- F - il flusso è forzato: tale condizione si verifica allorché la domanda di traffico supera la capacità di smaltimento della sezione stradale utile (ad es. per temporanei restringimenti dovuti ad incidenti o manutenzioni) per cui si hanno code di lunghezza crescente, bassissime velocità di deflusso, frequenti arresti del moto, in un processo ciclico di stop-and-go caratteristico della marcia in colonna in condizioni di instabilità; non esiste comfort.

La normativa cogente (D.M: 2001) definisce in modo univoco il livello di servizio minimo richiesto da un'infrastruttura viaria in funzione dell'ambito della rete e dell'ambito territoriale in cui la strada viene a trovarsi. Nel caso specifico, poiché trattasi di strada di tipo B-Extraurbana principale, la normativa cogente prevede sia garantito un livello di servizio almeno pari a B.

Per il calcolo del LdS (LOS, da definizione HCM) si sono desunti:

- i dati geometrici della strada dai rilievi in sito compiuti per la progettazione stradale;
- i dati di traffico dai rilievi di traffico effettuati nel mese di marzo 2022, da cui si evince che il volume di traffico rilevato nella sezione più carica (CRE_680.6 Sezione 15), nell'ora di punta (8-9) è pari a 2943 veic/h. con una percentuale dei mezzi pesanti minore del 10%, come desumibile dai dati forniti da ANAS, relativi agli anni pre-Covid.

Infine, si è imposto che i conducenti che impegnano l'infrastruttura siano per lo più abitudinari, ipotesi confermata anche dall'omogeneità, nei giorni feriali, dei dati di traffico, e che la velocità di flusso libero ideale sia pari alla massima prevista per strade di tipo B, sebbene siano presenti attualmente vincoli amministrativi.

DATI SS336			
Dati geometrici della strada			
NUMERO CORSIE		2,00	n°
LARGHEZZA CORSIE		3,50	m
BANCHINA DESTRA		0,90	m
DENSITA' CHILOMETRICA AREE DI SVINCOLO		1,00	Svincoli/km
AMBITO		EXTRA-URBANO	
Dati di traffico			
VOLUME DI TRAFFICO DI PROGETTO/RILEVATO/SIMULATO	V	2943	veh/h
FATTORE DELL'ORA DI PUNTA	PHF	1,00	
PERCENTUALE DI VEICOLI PESANTI/BUS		10%	%
PERCENTUALE PER PRESENZA DI VEICOLI DA TURISMO		0%	%
TIPO DI TERRENO		Pianeggiante	
FATTORE PER PRESENZA DI VEICOLI PESANTI/BUS	ET	1,50	
FATTORE PER PRESENZA DI VEICOLI DA TURISMO	ER	1,20	
FATTORE DI CONVERSIONE VEICOLI PESANTI/BUS E VEICOLI DA TURISMO	f _{HV}	1,00	
FATTORE PER LE CARATTERISTICHE DEI CONDUCENTI	f _p	1,00	
Flow rate	vp	1471,50	pc/h/ln
Velocità e fattori di correzione			
VELOCITA' DI FLUSSO LIBERO IDEALE	BFFS	120	Km/h
FATTORE DI CORREZIONE PER LARGHEZZA CORSIE	f _{LW}	1,00	Km/h
FATTORE DI CORREZIONE PER FRANCO LATERALE	f _{LC}	2,90	Km/h
FATTORE DI CORREZIONE PER NUMERO DI CORSIE	f _N	0,00	Km/h
FATTORE DI CORREZIONE PER DISTANZIAMENTO INTERSEZIONI	f _{ID}	9,20	Km/h
VELOCITA' DI FLUSSO LIBERO CALCOLATA	FFS	106,90	Km/h
LOS E PRESTAZIONI			
FLUSSO DI TRAFFICO	vp	1471,50	pc/h/ln
VELOCITÀ DI LIBERO DEFLUSSO	FSS	106,90	km/h
VELOCITÀ MEDIA VEICOLARE	S	106,90	km/h
DENSITÀ DI TRAFFICO	D	13,77	pc/h/ln
LIVELLO DI SERVIZIO (L.O.S.)			C

Tabella 8 – Livello di servizio dello stato attuale

In conclusione, dall'analisi dello stato di fatto emerge che il livello di servizio garantito allo stato attuale è inferiore a quanto normativamente previsto.

3 L'INFRASTRUTTURA IN PROGETTO

Sulla base dell'analisi dello stato di fatto effettuata al paragrafo precedente e delle criticità puntuali illustrate, vengono di seguito descritte le scelte progettuali operate per la riqualifica e messa in sicurezza dell'infrastruttura.

Come desumibile dall'analisi delle caratteristiche plano-altimetriche dell'infrastruttura di cui al paragrafo precedente, pur nel quadro di non cogenza del DM 5.11.2001, il tracciato presenta coerenza planimetrica con i parametri essenziali del DM per una velocità di progetto, così come definita nel diagramma di velocità di progetto, coerente con i vincoli geometrici e strutturali dello stato di fatto.

Permangono alcune difformità rispetto alla normativa per alcuni parametri del tracciato esistente (lunghezza dei rettifili, non verifica del criterio ottico delle curve di transizione, valore dei raggi rispetto ai rettifili, due raccordi verticali), che sono comunque compatibili con un adeguamento di viabilità esistente, in quanto esclusivamente legate a criteri di tipo geometrico (sviluppi minimi e criteri ottici delle clotoidi) e non dinamico, pertanto non pregiudizievoli per la sicurezza della circolazione.

3.1 CRITERI MIGLIORATIVI ADOTTATI NELL'AMBITO DELLE VERIFICHE DI SICUREZZA DELL'INFRASTRUTTURA

Nell'ottica dell'analisi relativa alla sicurezza stradale si riporta di seguito la descrizione degli interventi previsti, che consistono:

- nell'adeguamento al DM 05.11.2001, per tutti i tratti ove sia possibile prevedere i conseguenti interventi con modesto impatto rispetto ai vincoli strutturali e geometrici del contesto esistente;
- nelle misure atte a compensare le difformità rispetto al DM 05.11.2001 descritte al capitolo precedente, in corrispondenza di quei tratti per i quali non risulta possibile intervenire a meno di pesanti ripercussioni sul contesto esistente (per es. in presenza dei vincoli esistenti quali: gallerie artificiali, tratti in trincea tra muri e viadotti di linea).

In particolare, per quanto riguarda questo secondo aspetto, in relazione a quanto precedentemente illustrato relativamente al contesto ed ai vincoli dell'infrastruttura esistente da adeguare, si riportano di seguito i criteri adottati per la progettazione stradale degli assi di progetto del tracciato stradale oggetto di riqualifica:

- al fine di garantire una sufficiente omogeneità del tracciato in relazione alle distanze di transizione, in relazione ai vincoli imposti dagli elementi geometrici esistenti (altimetrici e di visibilità), il limite superiore dell'intervallo di velocità di progetto risulta ridotto a 100 Km/h rispetto al limite massimo pari a 120 Km/h previsto per le strade tipo B1;
- per quanto riguarda l'altimetria, risulta la necessità apportare una riduzione della velocità di progetto $V_p \text{ max.} = 100 \text{ Km/h}$ illustrata al punto precedente, in corrispondenza dei due raccordi altimetrici che non risultano verificati (neanche rispetto ai limiti amministrativi attuali – vedasi Tabella 6), a causa della presenza di vincoli strutturali delle opere d'arte esistenti. Pertanto, in corrispondenza dei due raccordi geometrici esistenti (7 - Dosso $R=3.500\text{m}$ e 8 – Sacca $R=2.000\text{m}$) che non risultano verificati con $V_p=100 \text{ Km/h}$, si prevede di adottare la maggiore velocità di progetto consentita per tali raggi dal DM 05.11.2001;
- in corrispondenza degli ostacoli invalicabili per i quali non è possibile effettuare un allargamento (quali: muri trincea, galleria artificiale, spalle e pile centrali, viadotti, etc.), si prevede la maggiore velocità di progetto che consente di verificare la visibilità in curva DM 05.11.2001;
- in corrispondenza della curva iniziale del tracciato ($R= 129\text{m}$) si adotta una velocità di progetto pari a 60 km/h (quindi ridotta rispetto al limite inferiore pari a 70 Km/h previsto per una Tipo B) coerente con il limite di velocità esistente da 50 Km/h e con il raggio di percorrenza della curva esistente.

Il diagramma delle velocità elaborato secondo i criteri precedentemente esposti, compatibile con i vincoli strutturali e geometrici del contesto plano-altimetrico (quali ad esempio gallerie e viadotti di linea), in conformità con le indicazioni previste dal DM 5.11.2001, consiste pertanto il "diagramma delle velocità compatibili" sulla

base del quale vengono dimensionati e verificati gli elementi compositivi dei tracciati stradali riportati nella presente relazione.

Per quanto riguarda l'analisi delle visuali libere, dallo studio effettuato emerge che la necessità di prevedere l'inserimento di alcuni allargamenti per la visibilità in curva in interno spartitraffico ed in banchina, in relazione alla curvatura del tracciato esistente. Restano tuttavia alcuni tratti per i quali non risulta compatibile l'introduzione di alcun allargamento per la presenza di ostacoli fissi inamovibili (quali ad esempio i tratti in trincea tra muri in approccio alla galleria artificiale di Gallarate), ove pertanto occorre introdurre una limitazione della velocità di progetto.

Per il calcolo della distanza di visibilità per l'arresto, si prevede un coefficiente di aderenza di tipo autostradale;

Si perviene pertanto alla costruzione del '*diagramma di velocità compatibile*' con la geometria e con i vincoli imposti dall'infrastruttura esistente: una volta individuati i tratti percorribili alla velocità di progetto massima consentita per ciascun elemento, secondo i criteri sopra esposti, essi saranno raccordati con la distanza di transizione (Dt) determinata come da par. 5.4.1 del DM 5.11.2001 (accelerazione e decelerazione = 0.8 m/s^2). Le verifiche di cui ai par. 5.4.2 e 5.4.4 del DM 5.11.2001 saranno applicabili solo per quanto possibile in relazione alla geometria dei vari elementi che risultano vincolati al contesto del tracciato esistente.

Sulla base del diagramma di velocità compatibile, costruito con i criteri precedentemente esposti, si sono previsti i conseguenti allargamenti necessari per garantire la visibilità in curva, nei tratti non vincolati da ostacoli fissi invalicabili (trincea tra muri, galleria artificiale) per i quali comunque si è già operato con l'introduzione di una limitazione della velocità di progetto sul '*diagramma delle velocità compatibili*'.

3.2 GEOMETRIA DELLA SEZIONE TIPO DI INTERVENTO

In relazione ai criteri precedentemente sposti, il progetto prevede pertanto l'ampliamento generalmente simmetrico della sede stradale, e la sostituzione dello spartitraffico esistente. L'ampliamento prevede di introdurre, su entrambi i lati, la corsia d'emergenza ove possibile (in relazione al contesto) fino ai valori modulari previsti dalla normativa di riferimento e di ampliare il margine interno per una larghezza tale da garantire i requisiti minimi di sicurezza previsti per i dispositivi di ritenuta.

In relazione al contesto ed alla larghezza dell'infrastruttura esistente in corrispondenza della sezione più vincolante (vedi par. 2.1), viene definita la sezione di progetto quale "Tipo B ridotta", nella quale il limite superiore dell'intervallo di velocità di progetto è ridotto a 100 Km/h e la larghezza delle corsie di marcia è ridotta a 3.50m. Il calibro della sezione tipo risulta pertanto definito come segue:

- margine interno da 1.70m, entro il quale è possibile alloggiare nuove barriere tipo ANAS spartitraffico new jersey tipologia NDBA classe H4b W2 avente larghezza di 0.68cm;
- 2 corsie di marcia da 3.50m;
- banchina laterale da 1.75m, riducibile ad 1.50m in relazione al contesto (ad eccezione dei vincoli costituiti dalle opere, quali gallerie e viadotti).

Il DM 5/11/2001, riferimento non cogente per la progettazione, stabilisce, per una strada tipo B, una larghezza di corsia pari a 3.75m; tuttavia, si prevede l'adozione di un modulo di corsie pari a 3.5 m allo scopo di indurre nei conducenti il rispetto dei limiti di velocità, in quanto la larghezza delle corsie è correlata alla velocità massima di progetto.

Si ritiene che gli effetti della larghezza della corsia, su di un possibile incremento dell'incidentalità, siano trascurabili e comunque compensati in considerazione dell'insieme degli interventi di miglioramento previsti. Si osserva inoltre che alla scelta del modulo da 3.50 m della corsia di marcia è associabile un effetto di moderazione di velocità, essendo tale larghezza percepita dagli utenti come caratteristica di tratti di strada con la velocità di progetto massima non superiore a 100 km/h.

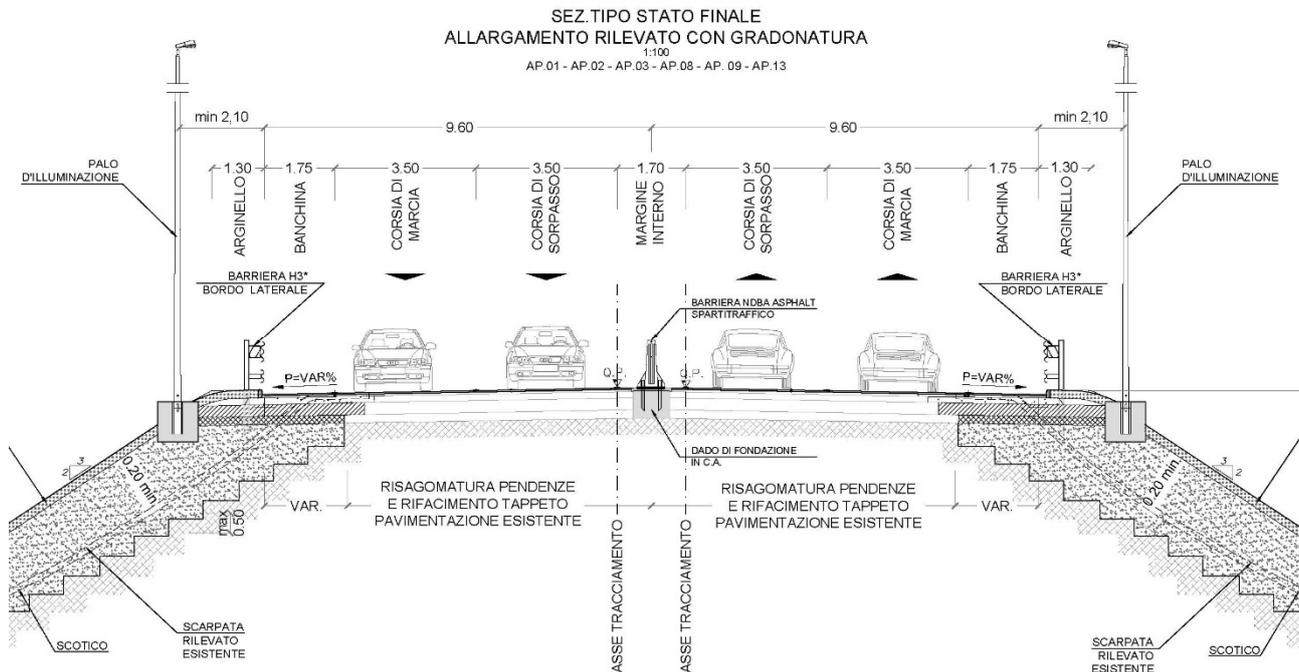


Figura 2 – Sezione tipo per l'intervento di riqualifica

L'intervento in progetto prevede il rifacimento della pavimentazione prevedendo sempre il pacchetto stradale completo nei tratti in allargamento, in ammorsamento all'attuale corsia d'emergenza, mentre in corrispondenza della carreggiata esistente si opereranno delle ricariche e/o scarificazioni della pavimentazione esistente al fine di adeguare la pendenza trasversale ai dettami della normativa di riferimento:

- nei tratti in rettilineo si mantiene la pendenza al 2.50% verso l'esterno;
- nei tratti in curva la pendenza trasversale esistente viene adeguata a quanto prescritto dalla normativa di riferimento, su tutta la larghezza della piattaforma stradale.

È possibile desumere l'entità dell'adeguamento delle pendenze trasversali in curva confrontando i valori previsti dall'analisi del tracciato esistente, riportati nelle tabelle 5 e 6, con i valori adottati in funzione del diagramma di velocità di progetto e delle curve circolari di progetto dei due assi di tracciamento, riportati in tabella 9.

3.3 ANDAMENTO PLANIMETRICO

Sulla base dei criteri esposti al paragrafo precedente, è stato sviluppato con un doppio asse di tracciamento, uno per ciascuna carreggiata stradale (asse Nord, asse Sud), con le progressive crescenti in direzione Malpensa e con rotazione di sagoma sui cigli pavimentati interni.

Le verifiche effettuate (sulla base del D.M. 2001) si riferiscono all'analisi di congruenza delle seguenti caratteristiche del progetto:

Verifica delle caratteristiche planimetriche

A) Lunghezza massima dei rettilinei

Tale adozione è dovuta alle esigenze di evitare il superamento delle velocità da Codice della Strada, la monotonia, la difficile valutazione delle distanze e per ridurre l'abbagliamento nella guida notturna; tale valore si calcola con la formula:

$$L_r = 22 \times V_{p,Max} \text{ [m]}$$

Come detto in precedenza, per questo intervento di riqualifica è stata imposta una $V_{p,MAX}$ pari a 100 km/h.

B) Lunghezza minima dei rettifili

Un rettilineo, per poter essere percepito come tale dall'utente, deve avere una lunghezza non inferiore ai valori riportati nella seguente tabella

Velocità [km/h]	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
Lunghezza min [m]	30	40	50	65	90	115	150	190	250	300	360

C) Raggio minimo delle curve circolari

Per una strada tipo B il raggio planimetrico minimo risulta pari a 178 m.

D) Lunghezza minima delle curve circolari

Una curva circolare, per essere correttamente percepita, deve avere uno sviluppo corrispondente ad un tempo di percorrenza di almeno 2,5 secondi valutato con riferimento alla velocità di progetto della curva.

Di seguito si riportano le velocità di percorrenza di tutte le curve di progetto con lo sviluppo minimo da normativa, in funzione del diagramma delle velocità compatibili di progetto (elaborato P00PS00TRADV01A).

ASSE NORD

Curva n.	Raggio [m]	Velocità progetto [Km/h]	Velocità di progetto [m/s]	Sviluppo minimo [m]	Sviluppo della curva di progetto	Pendenza trasversale (%)
R1	144.00	60	16.67	41.67	70.26	7.00
R2	950.85	91	25.27	63.19	47.75	4.26
R3	547.40	100	27.8	69.5	142.31	6.06
R4	695.85	88	24.44	61.11	354.08	5.20
R5	17000.85	100	27.8	69.5	280.09	2.50
R6	977.15	100	27.8	69.5	264.12	4.19
R7	472.50	100	27.8	69.5	167.52	6.66
R8	960.25	100	27.8	69.5	126.90	4.23

ASSE SUD

Curva n.	Raggio [m]	Velocità di progetto [Km/h]	Velocità di progetto [m/s]	Sviluppo minimo [m]	Sviluppo della curva di progetto	Pendenza trasversale (%)
R1	123.50	60	16.67	41.67	28.79	7.00
R2	949.15	91	25.27	63.19	48.54	4.26

R3	433.50	100	27.8	69.5	101.99	7.00
R4	694.15	88	24.44	61.11	353.10	5.21
R5	16999.15	100	27.8	69.5	280.07	2.50
R6	978.85	100	27.8	69.5	264.67	4.18
R7	475.85	100	27.8	69.5	255.98	6.63
R8	958.40	100	27.8	69.5	116.38	4.24

Tabella 9 – Parametri planimetrici di progetto delle curve circolari

E) *Compatibilità tra i raggi di due curve successive*

I rapporti tra i raggi R1 e R2 di due curve circolari successive sono regolati dall'abaco riportato nella figura seguente:

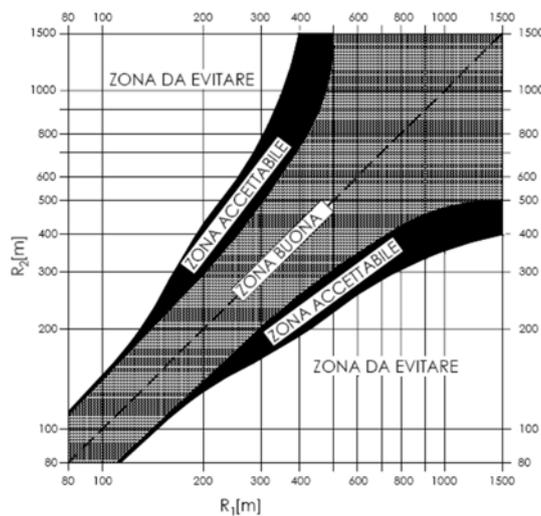


Figura 3 – Abaco di Koppel (DM 05/ 11/01)

In particolare, per le strade di tipo B, detto rapporto deve collocarsi nella "zona buona".

F) *Relazione tra il raggio della curva R e la lunghezza del rettilo L*

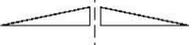
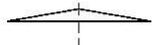
Tra un rettilo di lunghezza Lr ed il raggio più piccolo fra quelli delle due curve collegate al rettilo stesso, anche con l'interposizione di una curva a raggio variabile, deve essere rispettata la relazione:

$$R > LR \quad \text{per} \quad LR < 300 \text{ m}$$

$$R \geq 400 \text{ m} \quad \text{per} \quad LR \geq 300 \text{ m}$$

G) Pendenze trasversali nei rettifili e nelle curve circolari

La pendenza minima trasversale in rettilineo è pari al valore 2,5% per l'esigenza di allontanamento dell'acqua superficiale e le carreggiate presenti nel progetto rispettano l'orientamento come da figura seguente:

STRADE TIPO	PIATTAFORMA	PENDENZE TRASVERSALI
A, B, D a due o più corsie per carreggiata		
E a quattro corsie		
altre strade		

In curva invece la carreggiata viene inclinata verso l'interno e il valore di pendenza trasversale è mantenuto costante su tutta la lunghezza dell'arco di cerchio.

Il valore massimo per una strada tipo B è pari al 7%, che non viene mai superato lungo l'intervento.

La relazione matematica che regola il valore di pendenza trasversale alla velocità di progetto e al raggio di curvatura della curva è espressa dalla seguente formula:

$$q = \frac{V_p^2}{R \cdot 127} - f_t$$

dove:

V_p = velocità di progetto della curva [km/h];

R = raggio della curva [m];

q = pendenza longitudinale /100;

f_t = quota parte del coeff. di aderenza impegnato trasversalmente.

Per la quota limite del coefficiente di aderenza impegnabile trasversalmente f_{t max}, valgono i valori della normativa di seguito riportati. Tali valori tengono conto, per ragioni di sicurezza, che una quota parte dell'aderenza possa essere impegnata anche longitudinalmente in curva.

Velocità km/h	25	40	60	80	100	120	140
aderenza trasv. max imp. f _{t max} per strade tipo A, B, C, F extraurbane, e relative strade di servizio	-	0,21	0,17	0,13	0,11	0,10	0,09
aderenza trasv. max imp. f _{t max} per strade tipo D, E, F urbane, e relative strade di servizio	0,22	0,21	0,20	0,16	-	-	-

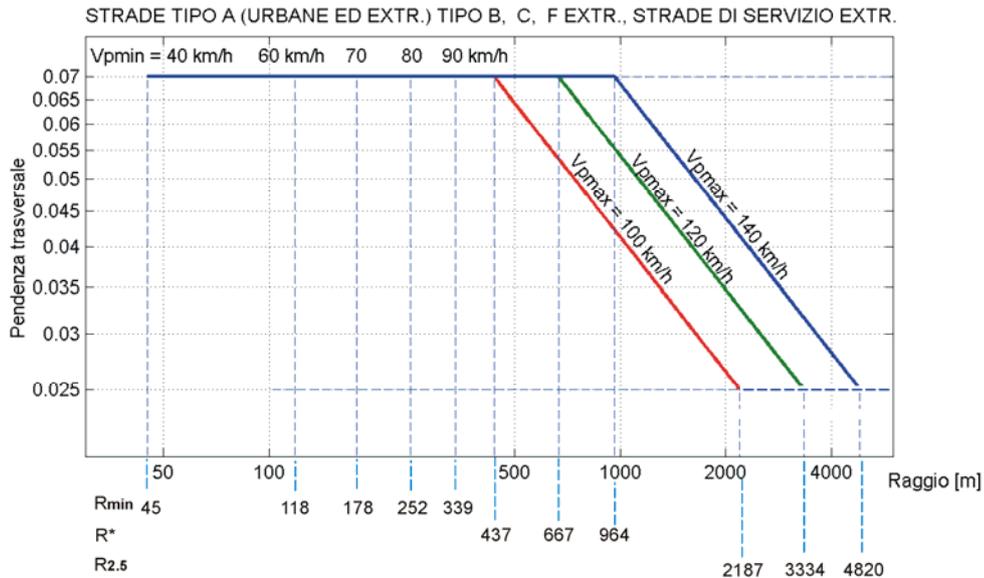
Per velocità intermedie fra quelle indicate si è provveduto all'interpolazione lineare.

Assegnata quindi la velocità di progetto esiste un valore di raggio minimo che corrisponde al valore calcolato con la formula precedente fissando la velocità al valore inferiore dell'intervallo e imponendo la pendenza trasversale massima (rispettivamente i valori 70 km/h e 0,07): per la tipo B tale valore risulta 178 m.

Se il raggio di curvatura è maggiore del valore R_{2,5} (per le tipo B con V_p=120 km/h il valore minimo risulta pari a 2187 m) la pendenza trasversale assumerà il valore 2,5% verso l'interno della curva.

Oltre un certo raggio di curvatura si può mantenere la pendenza trasversale del rettilo essendo comunque garantito l'equilibrio dinamico del veicolo (per le tipo B il valore minimo risulta $R'=7500$ m).

Per valori intermedi del raggio R inferiori a R2,5 si fa riferimento alla figura seguente:



Le pendenze trasversali delle curve di progetto tengono conto della trattazione normativa precedentemente illustrata.

H) Curve a raggio variabile

Le curve a raggio variabile sono inserite tra due elementi a curvatura costante (tra curve circolari, ovvero tra rettilo e curva circolare) lungo le quali generalmente si ottiene la graduale modifica della pendenza trasversale della piattaforma stradale e se necessario, della larghezza trasversale della piattaforma.

Le curve impiegate a tali scopi sono denominate clotoidi e sono definite dalla seguente equazione:

$$r \times s = A^2$$

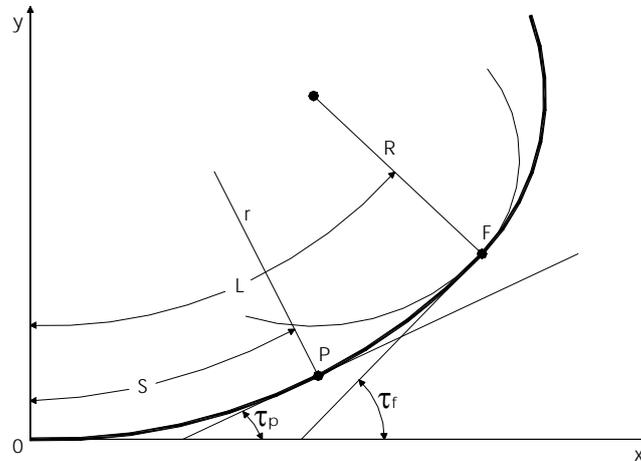
dove:

r = raggio di curvatura nel punto P generico

s = ascissa curvilinea nel punto P generico

A = parametro di scala

Graficamente i simboli necessari alla loro definizione sono i seguenti:



Le motivazioni legate all'inserimento lungo il tracciato di tali elementi a curvatura costante sono quelle di garantire:

- una variazione di accelerazione centrifuga non compensata (contraccolpo) contenuta entro valori accettabili;
- una limitazione della pendenza (o sovrappendenza) longitudinale delle linee di estremità della piattaforma;
- la percezione ottica corretta dell'andamento del tracciato.

Di seguito sono descritti in dettaglio i criteri di dimensionamento del parametro A delle curve di transizione a curvatura variabile:

I) *Curve a raggio variabile: criterio di limitazione del contraccolpo*

$$A \geq A_{\min} = \sqrt{\frac{v^3}{c} - \frac{g v R |q_f - q_i|}{c}}$$

con q_f e q_i le pendenze trasversali in valore assoluto alla fine e all'inizio della clotoide;

c è valore del contraccolpo;

v è la velocità in m/s.

Ponendo il valore limite per il contraccolpo pari a:

$$c_{\max} = \frac{50,4}{V}$$

si ottiene:

$$A \geq 0,021 \cdot V^2$$

con V in km/h

J) *Curve a raggio variabile: Criterio di sovrappendenza longitudinale delle linee di estremità della carreggiata*

nel caso in cui il raggio iniziale sia di valore infinito (rettilineo o punto di flesso), il parametro deve verificare la seguente disuguaglianza:

$$A \geq A_{\min} = \sqrt{\frac{R}{\Delta i_{\max}} \times 100 \times B_i (q_i + q_f)}$$

nel caso in cui anche il raggio iniziale sia di valore finito (continuità) il parametro deve verificare la seguente disuguaglianza:

$$A \geq A_{\min} = \sqrt{\frac{B_i (q_f - q_i)}{\left(\frac{1}{R_i} - \frac{1}{R_f}\right) \times \frac{\Delta i_{\max}}{100}}}$$

dove:

R_i e R_f sono i raggi iniziali e raggi finali della clotoide;

B_i sono le distanze fra l'asse di rotazione ed il ciglio della carreggiata nella sezione iniziale della curva a raggio variabile

Δi_{\max} è la sovrappendenza longitudinale massima della linea costituita dai punti che distano B_i dall'asse di rotazione.

$$\Delta i_{\max} = 18 \frac{B_i}{V}$$

Va allo stesso tempo garantita una pendenza longitudinale minima dell'estremità della carreggiata, in modo che nei tratti in cui la pendenza trasversale risulta minore del 2,5 l'acqua possa essere smaltita velocemente senza che ristagni.

Tale valore minimo è:

$$\Delta i_{\min} = 0,1 \cdot B_i$$

K) Curve a raggio variabile: Criterio ottico

Per garantire la percezione ottica del raccordo deve essere verificata la relazione

$$A \geq R/3 \quad (R_i /3 \text{ in caso di continuità})$$

Inoltre, per garantire la percezione dell'arco di cerchio alla fine della clotoide, deve essere:

$$A \leq R \quad (R_s \text{ in caso di continuità})$$

Dove:

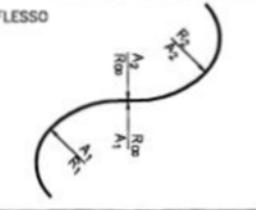
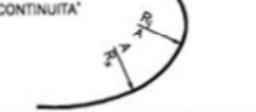
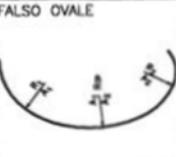
R_i è il raggio maggiore dei due cerchi da raccordare

R_s è il raggio minore dei due cerchi da raccordare

L'inserimento delle curve a raggio variabile deve soddisfare oltre ai criteri di dimensionamento della singola curva sopra esposti, anche le regole dettate dalla successione di più elementi vicini a formare casi particolari come:

- la transizione di una curva circolare con clotoidi con parametri diversi ai due lati;
- il flesso tra curve circolari di verso opposto senza interposizione di un rettilo;
- la continuità nella successione di curve circolari di verso uguale senza rettili intermedi;
- il raccordo tra due cerchi secanti mediante cerchio ausiliario.

Tali casi sono rappresentati nella figura sottostante

TIPOLOGIA	LIMITI	
	$A_1 > A_{min}$ $A_2 > A_{min}$ $\frac{R_1}{3} < A_1 < R_1$ $\frac{R_2}{3} < A_2 < R_2$ $\frac{2}{3} < \frac{A_1}{A_2} < \frac{3}{2}$	
	$R_2 < R_1$ $A_1 > A_{min}$ $A_2 > A_{min}$ FLESSO ASIMMETRICO $A_1 \neq A_2$ $\frac{R_1}{3} < A_1 < R_1$ $\frac{R_2}{3} < A_2 < R_2$ $\frac{2}{3} < \frac{A_1}{A_2} < \frac{3}{2}$ FLESSO SIMMETRICO $A_1 = A_2 = A$ $\frac{R_1}{3} < A < R_2$	
	$R_2 < R_1$ R_2 all'interno di R_1 ma non concentrico $A_{min} < A$ $\frac{R_1}{3} < A < R_2$	
	$A_1 > A_{min}$ $A_2 > A_{min}$ $\frac{R_1}{3} < A_1 < R_1$ $\frac{R_2}{3} < A_2 < R_2$ $\frac{2}{3} < \frac{A_1}{A_2} < \frac{3}{2}$	
CASI DA EVITARE		
		

Nella tabella seguente si riporta in dettaglio delle clotoidi inserite nei due tracciati impostati, con le curve di riferimento.

ASSE NORD

Curva n.	Raggio [m]	Sviluppo curva [m]	Parametro di scala clotoide					
			A precedente			A successivo		
			Parametro	Velocità [km/h]	Verifiche	Parametro	Velocità [km/h]	Verifiche
R1	144.00	28.79	110.16	60	A>74	128.96	60	A>74
					A>0			A>0
					18>A>144			18>A>144
R2	950.85	48.54	256.17	100	A>74	256.17	100	A>19,6
					A>186			A>180,3
					317>A>950,9*			317>A>950,9*
R3	547.40	101.99	235.57	100	A>178,8	235.55	100	A>178,8
					A>104,1			A>104,1
					182,5>A>547,4			182,5>A>547,4
R4	695.85	353.10	255.23	100	A>94,6	255.23	100	A>116,4
					A>168,6			A>172,5
					232>A>695,9			232>A>695,9
R5	17000.85	280.07	-					
R6	977.15	264.67	324.79	100	A>183,4	338.34	100	A>183,4
					A>95,7			A>95,7
					325,7>A>977,1*			325,7>A>977,1*
R7	472.50	255.98	319.76	100	A>178,6	318.51	100	A>178,6
					A>104,5			A>104,5
					157,5>A>472,5			157,5>A>472,5
R8	960.25	116.38	408.23	100	A>87	390.48	100	A>87
					A>189,5			A>189,5
					320,1>A>960,3			320,1>A>960,3

* NOTA: la non conformità è legata al mancato soddisfacimento del criterio ottico, come già richiamato nell'introduzione del capitolo

ASSE SUD

Curva n.	Raggio [m]	Sviluppo curva [m]	Parametro di scala clotoide					
			A precedente			A successivo		
			Parametro	Velocità [km/h]	Verifiche	Parametro	Velocità[km/h]	Verifiche
R1	123.50	28.79	120.06	60	A>65,6	120.49	60	A>65,6
					A>45,4			A>45,4
					41,2>A>123,5			41,2>A>123,5
R2	949.15	48.54	252.32	100	A>183	255.83	91	A>147,2
					A>96,5			A>92
					316,4>949,1*			316,4>949,1*
R3	433.50	101.99	198.59	100	A>142,3	198.59	100	A>142,3
					A>151,3			A>151,3
					144,5>A>433,5			144,5>A>433,5
R4	694.15	353.10	254.77	100	A>179,9	254.77	94.43	A>157,3
					A>102,2			A>99,3
					231,4>A>394,2			231,4>A>394,2
R5	16999.15	280.07	-			-		
R6	978.85	264.67	325.21	100	A>84,7	338.78	100	A>84,7
					A>190,6			A>190,6
					326,3>A>978,8*			326,3>A>978,8
R7	475.85	255.98	249.73	100	A>137,9	247.33	100	A>137,9
					A>155,4			A>155,4
					158,6>A>475,8			158,6>A>475,8
R8	958.40	116.38	418.88	100	A>183,1	402.65	100	A>183,1
					A>96,1			A>96,1
					319,5>A>958,4			319,5>A>958,4

* NOTA: la non conformità è legata al mancato soddisfacimento del criterio ottico, come già richiamato nell'introduzione del capitolo

Tabella 10 – Elementi planimetrici di progetto: raccordi clotoidici

3.4 ANDAMENTO ALTIMETRICO

Anche per l'andamento altimetrico il tracciato è stato progettato con un unico profilo longitudinale e le verifiche sono state condotte sempre per una strada di tipo di cat. B.

Le verifiche effettuate (sulla base del D.M. 2001) si riferiscono all'analisi di congruenza delle seguenti caratteristiche del progetto:

A) Pendenze longitudinali massime

Per una strada classificata come "B – Extraurbana principale" la pendenza massima adottabile risulta pari al valore 6%. Inoltre, in corrispondenza di gallerie, al fine di contenere le emissioni di sostanze inquinanti e di fumi, per questa tipologia di strade non si deve superare la pendenza del 4%.

Le livellette di progetto hanno pendenza massima pari a 4.03%, quindi tali valori risultano inferiori ai suddetti limiti imposti dalla normativa.

B) Raggio minimo dei raccordi verticali concavi e convessi

I raccordi verticali minimi sono funzione della distanza di visuale libera da garantire, pari almeno a quella di arresto (funzione della velocità), e dalla differenza Δi fra le pendenze longitudinali, il cui sviluppo viene calcolato con l'espressione

$$L = R_v \times \frac{\Delta i}{100} \quad [m]$$

dove:

- Δi è la variazione di pendenza percentuale delle livellette da raccordare;
- R_v è il raggio del cerchio osculatore, nel vertice della parabola.

Il calcolo delle distanze è stato eseguito facendo sempre riferimento al D.M. n° 6792 del 5/11/01 adottando le formule valide per i raccordi sia concavi sia convessi verificando i casi sia di $D_v > L$ sia di $D_v < L$ con L = sviluppo del raccordo verticale :

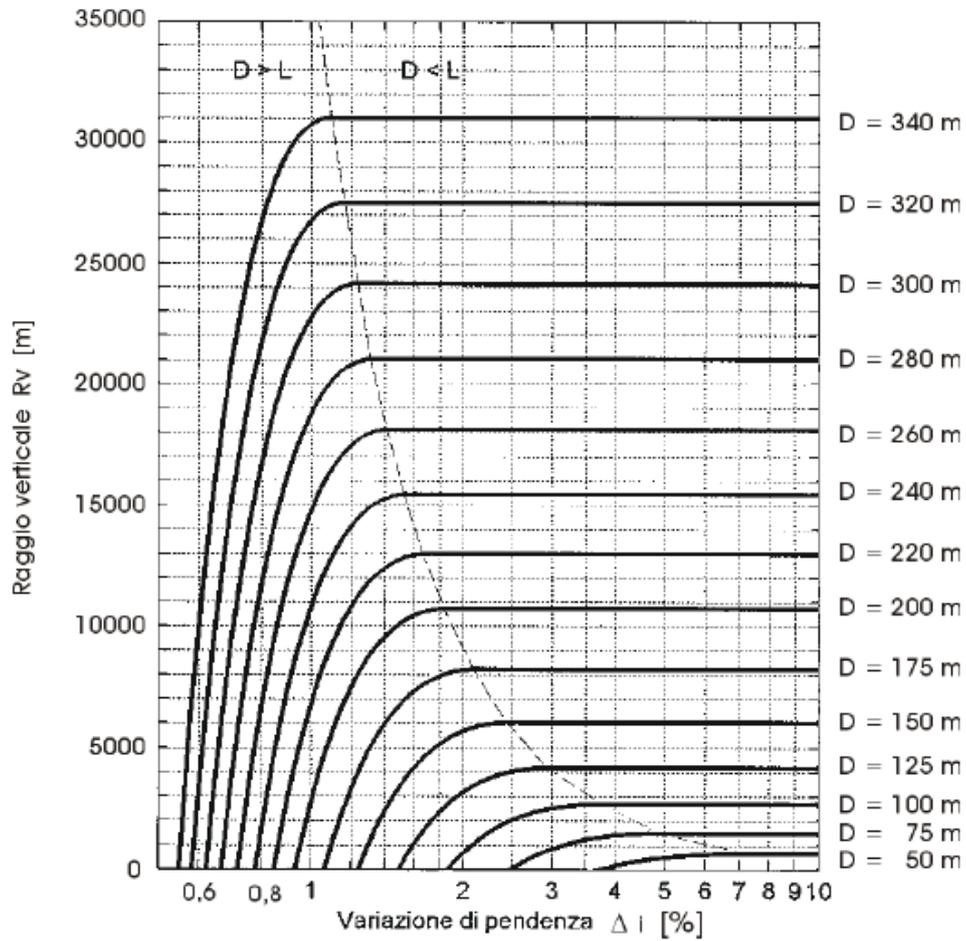
RACCORDI CONVESSI (DOSSO)

$D < L$

$$R_v = \frac{D^2}{2 \times (h_1 + h_2 + 2 \times \sqrt{h_1 \times h_2})}$$

$D > L$

$$R_v = \frac{2 \times 100}{\Delta i} \left[D - 100 \frac{h_1 + h_2 + 2 \times \sqrt{h_1 \times h_2}}{\Delta i} \right]$$



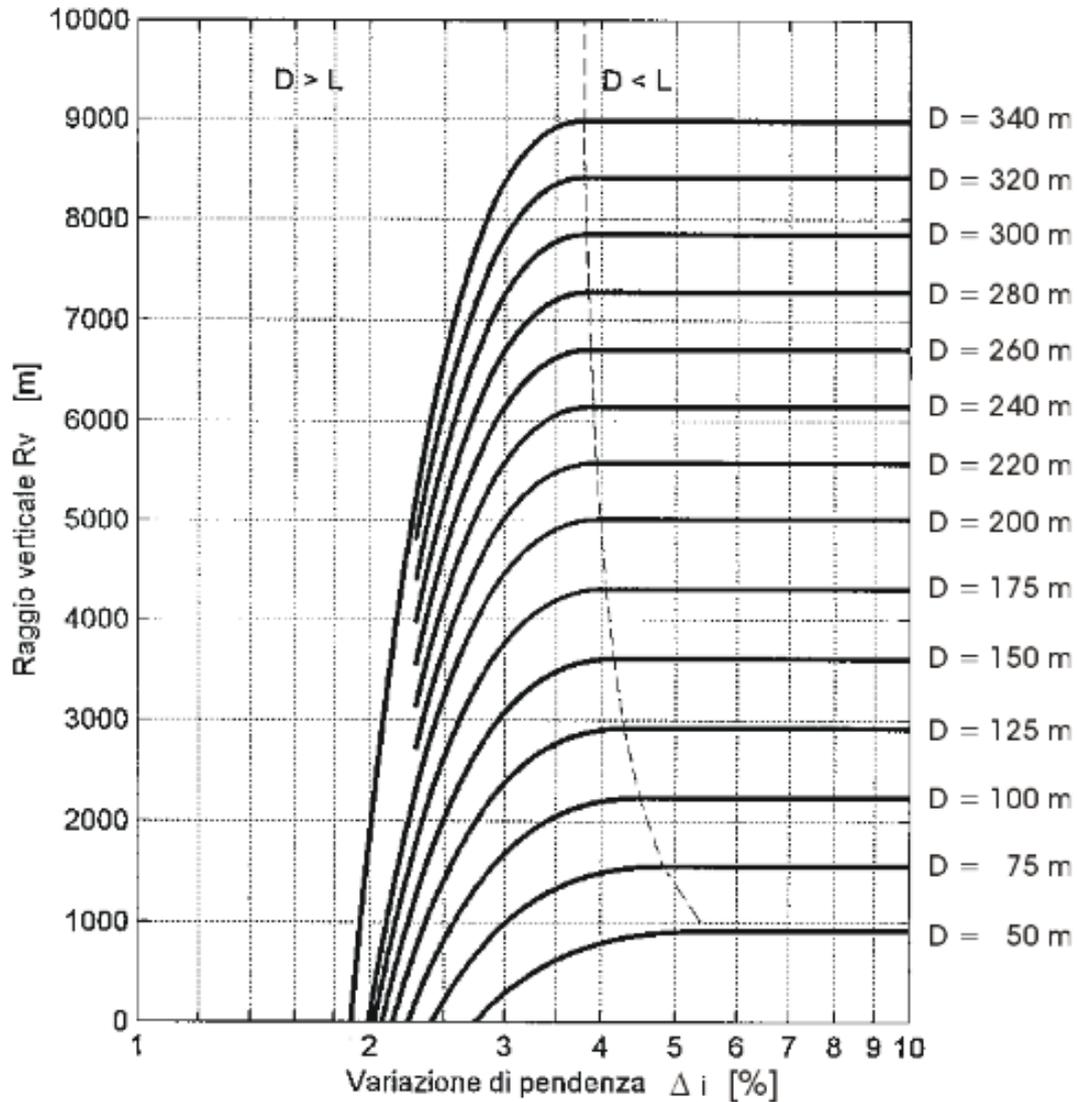
RACCORDI CONCAVI (SACCHE)

D < L

$$R_v = \frac{D^2}{2(h + D \sin \vartheta)}$$

D > L

$$R_v = \frac{2 \times 100}{\Delta i} \left[D - \frac{100}{\Delta i} (h + D \times \sin \theta) \right]$$



considerando :

- l'altezza dal piano stradale dell'occhio del conducente $h_1=1.10\text{m}$
- l'altezza dal piano stradale dell'ostacolo $h_2=0.10\text{m}$
- l'altezza del centro dei fari dal piano stradale $h=0.50\text{m}$
- massima divergenza verso l'alto del fascio luminoso rispetto all'asse del veicolo $\vartheta = 1^\circ$

La verifica dei raccordi verticali di progetto, in funzione della velocità di progetto desunta dal diagramma di velocità (vedi elaborato P00PS00TRADV01A) è riportata nella tabella seguente.

Raccordo Verticale n.	Tipologia	Rv minimo	Rv	Verifica
1	Dosso	462,96	5000	OK
2	Sacca	462,96	15000	OK
3	Sacca	777,25	2000	OK
4	Dosso	4561,69	5000	OK
5	Sacca	1286,01	5000	OK
6	Sacca	2191,07	5000	OK
7	Dosso	3442,63	3500	OK
8	Sacca	1997,61	2000	OK
9	Dosso	4698,26	5000	OK
10	Sacca	1286,01	50000	OK
11	Dosso	4664,22	7760	OK
12	Sacca	3021,85	5000	OK
13	Dosso	2628,9	9000	OK
14	Sacca	1286,01	10000	OK
15	Sacca	2356,56	6000	OK
16	Dosso	4712,72	5000	OK
17	Sacca	1286,01	65000	OK
18	Dosso	4668,91	8300	OK
19	Sacca	2978,99	7800	OK

Tabella 11 – Verifica dei raccordi altimetrici di progetto

Come si evince dalla tabella i raccordi verticali, dimensionati in relazione alla velocità di progetto compatibile con i vincoli geometrici esistenti, secondo i criteri illustrati al paragrafo 3.1, sono totalmente verificati imponendo la velocità di progetto riportata nel diagramma di velocità e riportata in tabella.

3.5 VERIFICHE DISTANZE DI VISIBILITÀ

L'esistenza di opportune visuali libere costituisce primaria ed inderogabile condizione di sicurezza della circolazione.

Per distanza di visuale libera si intende la lunghezza del tratto di strada che il conducente riesce a vedere davanti a sé senza considerare l'influenza del traffico, delle condizioni atmosferiche e di illuminazione della strada.

Lungo il tracciato stradale in esame la distanza di visuale libera deve essere confrontata con le seguenti distanze:

- Distanza di visibilità per l'arresto: è pari allo spazio minimo necessario perché un conducente possa arrestare il veicolo in condizione di sicurezza davanti ad un ostacolo imprevisto;
- Distanza di visibilità per la manovra di cambiamento di corsia: è pari alla lunghezza del tratto di strada occorrente per il passaggio da una corsia a quella ad essa adiacente nella manovra di deviazione in corrispondenza di punti singolari (intersezioni, uscite, ecc.).

A) Distanza di visibilità per l'arresto

La relazione di calcolo della distanza di visibilità per l'arresto si calcola con la formula integrale:

$$D_A = D_1 + D_2 = \frac{V_0}{3,6} \times \tau - \frac{1}{3,6^2} \int_{V_0}^{V_1} \frac{V}{g \times \left[f_l(V) \pm \frac{i}{100} \right] + \frac{Ra(V)}{m} + r_0(V)} dV \quad [m]$$

dove:

- D₁ = spazio percorso nel tempo τ
- D₂ = spazio di frenatura
- V₀ = velocità del veicolo all'inizio della frenatura, pari alla velocità di progetto desunta puntualmente dal diagramma delle velocità [km/h]
- V₁ = velocità finale del veicolo, in cui V₁ = 0 in caso di arresto [km/h]
- i = pendenza longitudinale del tracciato [%]
- τ = tempo complessivo di reazione (percezione, riflessione, reazione e attuazione) [s]
- g = accelerazione di gravità [m/s²]
- R_a = resistenza aerodinamica [N]
- m = massa del veicolo [kg]
- f_l = quota limite del coefficiente di aderenza impegnabile longitudinalmente per la frenatura
- r₀ = resistenza unitaria al rotolamento, trascurabile [N/kg]

La resistenza aerodinamica R_a si valuta con la seguente espressione:

$$Ra = \frac{1}{2 \times 3,6^2} \rho C_x S V^2 \quad [N]$$

dove:

- C_x = coefficiente aerodinamico

- S = superficie resistente [m²]

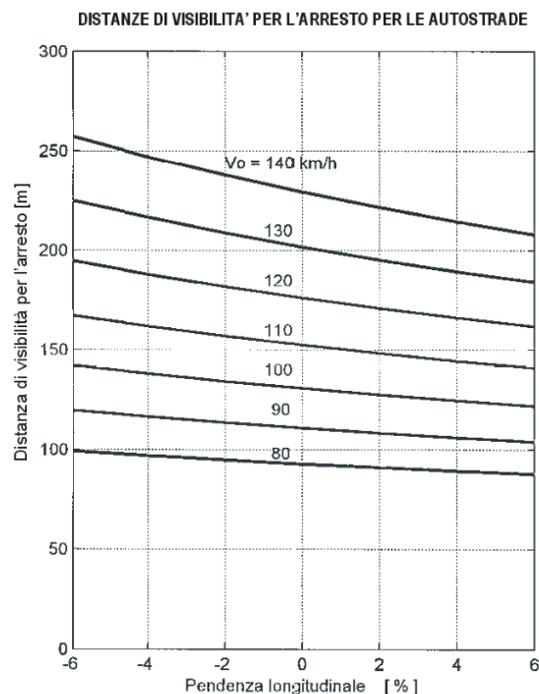
- ρ_e = massa volumica dell'aria in condizioni standard [kg/m³]

Per f_i la normativa dà i seguenti valori (compatibili anche con superficie stradale leggermente bagnata con spessore del velo idrico di 0,5 mm):

VELOCITA' km/h	25	40	60	80	100	120	140
f _i Autostrade	-	-	-	0.44	0.40	0.36	0.34
f _i Altre strade	0,45	0.43	0.35	0.30	0.25	0.21	-

Come indicato dalla stessa normativa i valori di f_i riferiti alle autostrade possono essere adottati per le strade extraurbane principali (tipo B) qualora le qualità del piano viabile risultino paragonabili a quelle delle strade di tipo A e siano mantenute tali nel tempo. Nel progetto in esame, in relazione all'asse principale, sono stati considerati i valori di f_i relativi alle viabilità autostradali.

Le figure seguenti riportano le distanze di visibilità per l'arresto calcolate come sopra, in funzione di una pendenza longitudinale costante. In caso di variabilità di tale pendenza (raccordi verticali), si può assumere per essa il valore medio.



B) Distanza di visibilità per il cambio corsia

Questa distanza valuta lo spazio necessario all'utente a comprendere i tempi necessari per percepire e riconoscere la situazione e per la decisione ed effettuazione della manovra di cambiamento di una sola corsia (4 secondi). La formula empirica risulta:

$$D_c = 9,5 \times v = 2,6 V \quad [m]$$

dove (con v , V desunte puntualmente dal diagramma delle velocità):

- v = velocità del veicolo in [m/s];
- V in [km/h]

La verifica in oggetto è stata applicata nei “punti singolari”, intendendo questi come le zone in prossimità degli svincoli (tronco di manovra delle corsie di uscita), dove la manovra di diversione in uscita comporta la possibilità del cambio di corsia da quella di sorpasso a quella di marcia.

In particolare, tale verifica è stata condotta in relazione alla corsia di decelerazione della carreggiata Nord (progressiva di inizio ca. 7+000,000). Questa verifica è stata effettuata sia planimetricamente che altimetricamente, con esito positivo, come si evince dall'elaborato grafico di riferimento.

Le verifiche delle visibilità per l'arresto sono state condotte su tutta la nuova viabilità di progetto, sia in corsia di marcia che su quella di sorpasso. L'esito positivo delle verifiche viene riportato negli elaborati grafici di riferimento ((Diagramma di Visuale Libera e di velocità - elaborato P00PS00TRADV01A) a cui si rimanda per i dettagli.

3.5.1 Allargamenti per visibilità

In conseguenza di quanto illustrato in precedenza è necessario introdurre allargamenti in curva per visibilità che, su indicazione dell'ANAS, vengono realizzati sempre mediante l'allargamento della banchina esterna della carreggiata per i tratti di curva in destra e della banchina interna della carreggiata per i tratti di curva in sinistra. In tali casi, si è reso necessario effettuare due tracciamenti indipendenti per ciascuna carreggiata al fine ricavare lo spazio necessario tra gli assi di tracciamento delle due carreggiate in interno curva.

Si faccia riferimento agli elaborati progettuali (Diagramma di Visuale Libera e di velocità - elaborato P00PS00TRADV01A e Planimetrie di progetto - elaborati da P00PS00TRAPP01A a P00PS00TRAPP06A) nei quale sono dettagliati gli allargamenti previsti lungo il tracciato previsti per ciascuna carreggiata.

In un unico tratto, in approccio alla curva posta in prossimità della pk4+800, le condizioni al contorno non hanno permesso di introdurre l'allargamento necessario per garantire la distanza di visibilità normativamente richiesta. Pertanto, si è reso necessario imporre, per un tratto di 355m circa, un limite di velocità coerente con quanto desunto dai diagrammi di velocità compatibile (V_{ca}) che indicano quale sia la massima velocità consentita in funzione della distanza di visibilità compatibile con le condizioni al contorno. In tale tratto V_c risulta pari a 88 km/h (introduzione cartello di limite pari a 80 km/h per 355 m) ed è preceduto e seguito da due tratti di circa 110 m, in cui si realizza la variazione cinematica con un'accelerazione di 0,8 m/s², come da indicazioni normative.

3.6 DIAGRAMMA DI VELOCITÀ

Per il tracciato in esame, come prescritto dal D.M. 5/11/2001, è stato redatto il diagramma delle velocità per ogni senso di circolazione, in particolare:

- SS336 Asse Nord – Sez. tipo B (Da prog. 0+000.00 a prog. 10+638.62);
- SS336 Asse Sud – Sez. tipo B (Da prog. 0+000.00 a prog. 10+642.19).

I suddetti diagrammi di velocità sono stati redatti secondo le seguenti ipotesi:

- in rettilineo, sugli archi di cerchio con raggio non inferiore a $R_{2,5}$, e nelle clotoidi, la velocità di progetto tende al limite superiore dell'intervallo; gli spazi di accelerazione conseguenti all'uscita da una curva circolare, e quelli di decelerazione per l'ingresso a detta curva, ricadono soltanto negli elementi considerati (rettilineo, curve ampie con $R > R_{2,5}$ e clotoidi);
- la velocità è costante lungo tutto lo sviluppo delle curve con raggio inferiore a $R_{2,5}$, e si determina

dagli abachi 5.2.4.a e 5.2.4.b del D.M. 05/11/2001;

- i valori dell'accelerazione e della decelerazione restano determinati in 0.8 m/s²;
- si assume che le pendenze longitudinali non influenzino la velocità di progetto.

Nei tracciati in esame, il rispettivo diagramma di velocità risulta conforme a quanto previsto nel par. 5.4 del D.M. 05/11/2001 e risulta consultabile nelle rispettive tavole di progetto.

4 CORSIE SPECIALIZZATE DI IMMISSIONE E USCITA

Per quanto concerne la redazione delle corsie specializzate di immissione/uscita, delle rampe di svincolo e delle intersezioni a rotatoria o a circolazione rotatoria, è necessario richiamare quanto già esplicitato in premessa della presente relazione tecnica stradale. Nello specifico, in base all'art. 2 del DM 19/04/2006, quest'ultima norma non è cogente per il progetto in esame in quanto trattasi di adeguamento di un'infrastruttura esistente. Tuttavia, tale norma, è stata presa a riferimento, per quanto possibile, nello sviluppo della presente progettazione.

4.1 CORSIE SPECIALIZZATE DELLE RAMPE DI SVINCOLO

Gli elementi per il dimensionamento delle corsie di diversione e di immissione delle rampe di svincolo sono stati progettati facendo riferimento al D.M. 19/04/2006.

In particolare, la progettazione degli elementi compositivi previsti dal D.M. 19/04/2006 è stata effettuata considerando, per ciascuna tipologia di rampa esistente, i parametri di progetto riepilogati nelle successive Tabelle 14 e 15, determinati come meglio illustrato ai paragrafi seguenti.

Corsie di diversione

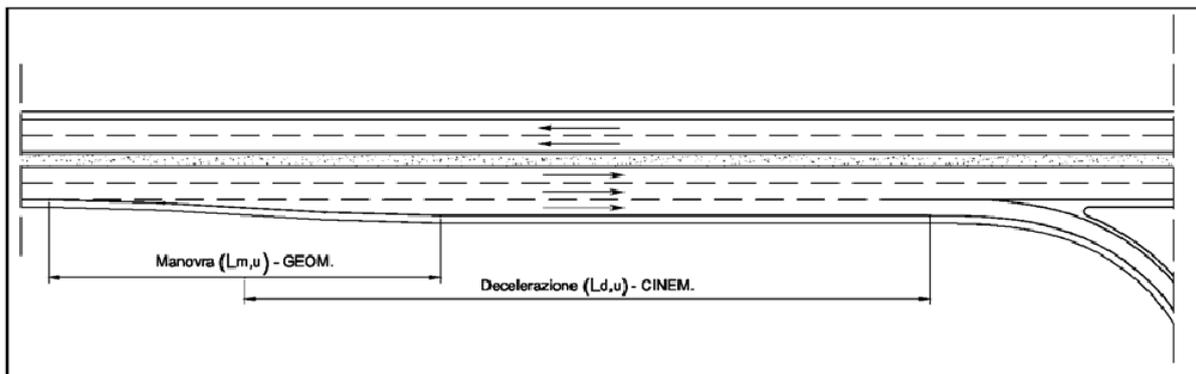


Figura 4 – Corsia di diversione: tipologia parallela

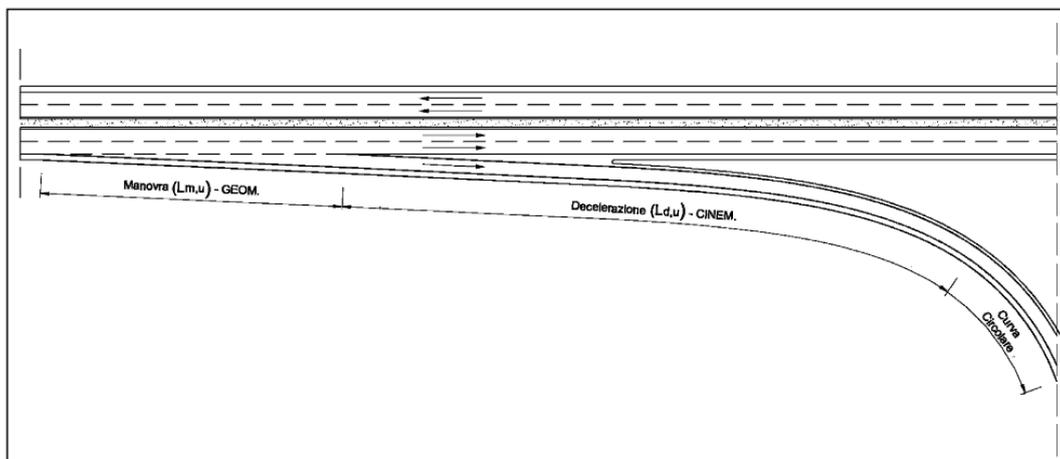


Figura 5 – Corsia di diversione: tipologia ad ago

Nel tratto oggetto di intervento, come desumibile dagli elaborati grafici, sono presenti n.14 corsie specializzate di decelerazione:

- U1: uscita Busto Arsizio- Cassano Magnago
- U2: uscita Dogana
- U3: uscita Area di Servizio 1
- U4: uscita corso Sempione
- U5: uscite Gallarate est
- U6: uscita Gallarate – Samarate (dir. Malpensa)
- U7: uscita Gallarate – Samarate (dir. Busto Arsizio)
- U8: uscita Gallarate ovest (dir. Malpensa)
- U9: uscita Gallarate ovest (dir. Busto Arsizio)
- U10: uscita Cardano al Campo
- U11: uscita Forno – Cardano al Campo
- U12: uscita Area di Servizio 2
- U13: uscita Casorate Sempione – Cardano al Campo ovest (dir. Malpensa)

Corsie di immissione

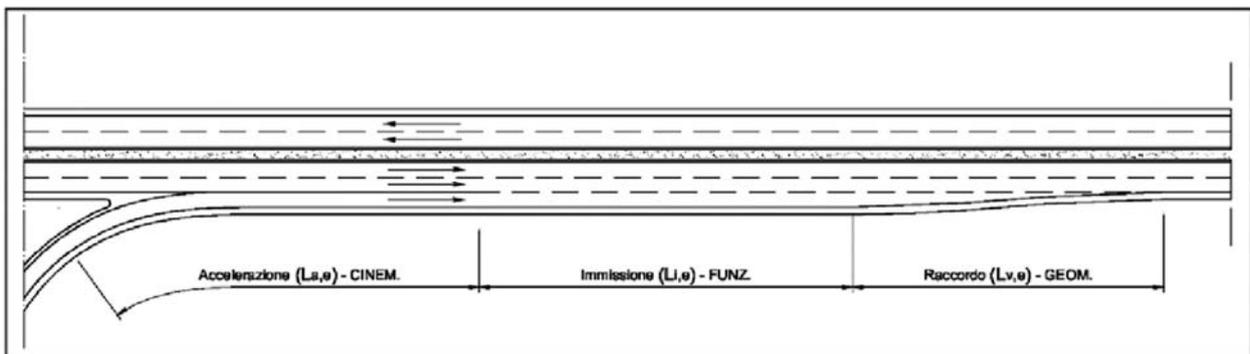


Figura 6 – Corsia di immissione

Nel tratto oggetto di intervento, come desumibile dagli elaborati grafici, sono presenti n.14 corsie specializzate di accelerazione:

- I1: Immissione Dogana
- I2: Immissione Area di Servizio 1
- I3: Immissione corso Sempione
- I4: Immissione Gallarate est (dir. Busto Arsizio)
- I5: Immissione Gallarate est (dir. Malpensa)
- I6: Immissione Gallarate (dir. Malpensa)
- I7: Immissione Gallarate (dir. Busto Arsizio)
- I8: Immissione Somma Lomb (dir. Malpensa)
- I9: Immissione Somma Lomb (dir. Busto Arsizio)
- I10: Immissione Somma Lomb - Novara (dir. Malpensa)

I11: Immissione Somma Lomb - Novara (dir. Busto Arsizio)

I12: Immissione Area di Servizio 2

I13: Immissione Somma Lomb (dir. Busto Arsizio)

A) Criterio cinematico

Per il criterio cinematico, per quanto riguarda le curve delle rampe esistenti, è stata effettuata un'analisi della velocità compatibile con la reale geometria della curva della rampa esistente la cui corsia specializzata risulta oggetto di adeguamento, mentre per quanto riguarda l'asse si è utilizzata velocità di progetto desunta dal diagramma di velocità.

Corsie di diversione

Nelle corsie di diversione, per il calcolo di L_d , si è adottato il criterio cinematico riportato al §4.2 del D.M. 19 aprile 2006 in cui si fa uso della seguente relazione:

$$L = \frac{v_1^2 - v_2^2}{2 \cdot a}$$

con:

L (m) = lunghezza necessaria per la variazione cinematica;

v_1 (m/s) = velocità di ingresso nel tratto di decelerazione, ovvero velocità di progetto del tratto di strada da cui provengono i veicoli in uscita, determinata dal diagramma di velocità secondo quanto riportato nel D.M. 5/11/2001;

v_2 (m/s) = velocità di uscita dal tratto di decelerazione, ovvero la velocità di progetto corrispondente al raggio della curva di deviazione verso l'altra strada;

a (m/s²) = accelerazione assunta per la manovra di decelerazione pari a 3 m/s².

Corsie di immissione

Per il calcolo di L_a , si è adottato il criterio cinematico riportato al §4.2 del D.M. 19 aprile 2006 assumendo:

$$L = \frac{v_1^2 - v_2^2}{2 \cdot a}$$

con:

L (m) = lunghezza necessaria per la variazione cinematica;

v_1 (m/s) = 80% della velocità di progetto della strada sulla quale la corsia si immette;

v_2 (m/s) = velocità di progetto della rampa nel punto di inizio dell'accelerazione determinata dal diagramma delle velocità;

$a = 1$ m/s².

B) Criterio geometrico

Corsie di diversione

Per il calcolo di L_m , si è adottato il criterio geometrico riportato al §4.3 del D.M. 19 aprile 2006, ovvero facendo riferimento alla velocità di progetto del tratto di strada dal quale si dirama la corsia secondo la seguente tabella:

Velocità di progetto V_p [km/h]	Lunghezza del tratto di manovra $L_{m,u}$ [m]
40	20
60	40
80	60
100	75
≥ 120	90

Corsie di immissione

La lunghezza $L_{v,e}$ è invece determinata facendo riferimento al metodo geometrico contenuto nel §4.3 (tab. 3 del D.M. 19 aprile 2006), ovvero in funzione della velocità di progetto della strada sulla quale la corsia si immette:

Velocità di progetto V_p [km/h]	Lunghezza del tratto di raccordo $L_{v,e}$ [m]
$V_p > 80$	75
$V_p \leq 80$	50

Per quanto riguarda il tronco di raccordo di lunghezza $L_{v,e}$, considerando una velocità di progetto sempre superiore ad 80 Km/h, la normativa prevede pertanto una lunghezza fissa pari a 75m.

C) Criterio funzionale

Per il criterio funzionale, è stata condotta una valutazione comparativa tra due metodi dimensionamento consolidati, quali sono il metodo proposto dall'ing Giovanni da Rios e quello proposto dall'ing. Sascia Canale.

Per quanto riguarda i dati di traffico a disposizione da utilizzarsi per il dimensionamento funzionale, si sono presi a riferimento i rilievi di traffico puntuale effettuati in continuo in corrispondenza di sezione di rilievo posta al Km 5+061 della SS 336. La sezione di rilievo è ubicata in corrispondenza dell'asse principale all'interno dello svincolo a due livelli di Gallarate / SS341 (Periodo di riferimento 01.01.2017 – 31.12.2020 - periodo utile 01.01.2017 – 28.02.2020).

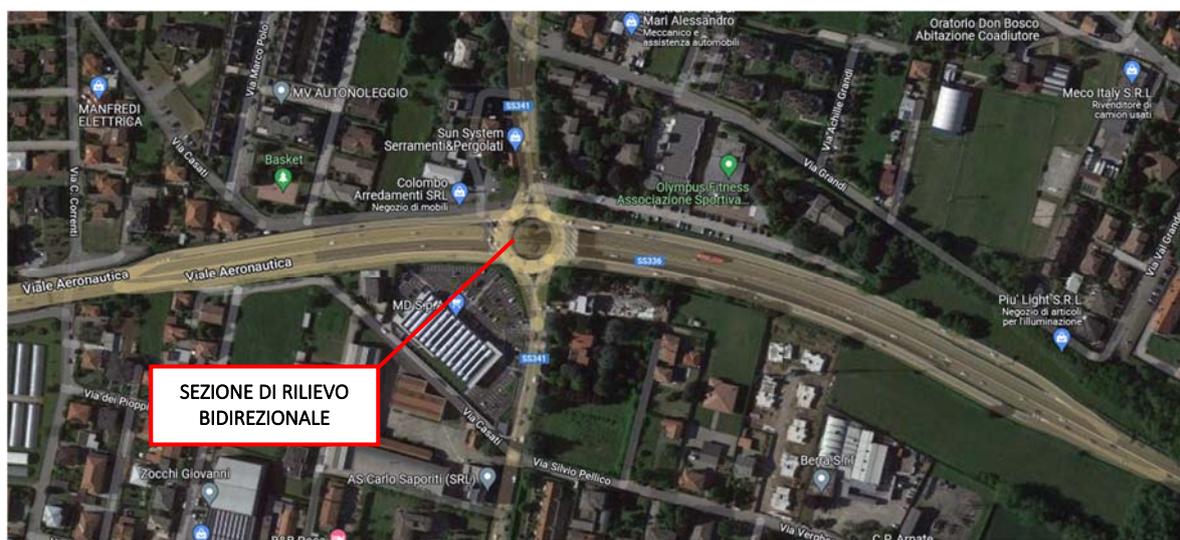


Figura 7 – Postazione di rilievo traffico

Il dato bidirezionale sulla sezione, considerando il dato relativo all'anno 2019 (ultimo non condizionato da quarantene dovute alla pandemia da Covid-19), risulta di 5429 veicoli/ora, durante l'ora di punta nell'anno considerato. Si è andato poi a ricavare il dato di traffico sulla corsia adiacente a quelle di immissioni che, non avendo dati più esaustivi per poter andare ad indagare la distribuzione veicolare nelle varie corsie, è stato ricavato dividendo equamente il dato bidirezionale tra le 4 corsie di macia portando ad un **flusso di 1357 veicoli/ora, utilizzato per il dimensionamento funzionale degli svincoli.**

Metodo Da Rios

Per quanto concerne il calcolo della lunghezza $L_{i,e}$ del tratto di immissione è stato utilizzato il metodo funzionale secondo quanto indicato dal Da Rios (G. Da Rios "Progetto di intersezioni stradali", UTET, 2002). Tale lunghezza dipende dalla portata oraria Q_1 e dalla velocità che caratterizzano la corsia di marcia nella quale si intende immettersi, secondo la seguente formula:

$$L_{i,e} = \frac{Q_1 - 700}{100} * v_1$$

Tale formula prende in considerazione il flusso veicolare insistente sulla strada principale ($Q_1 = 1357$ veicoli/h) e la velocità (v_1 , in m/s) alla fine del tronco di accelerazione.

Nella successiva Figura 8, sono riportate le tabelle di calcolo utili al dimensionamento della lunghezza di calcolo al variare della velocità di progetto e della portata Q_1 .

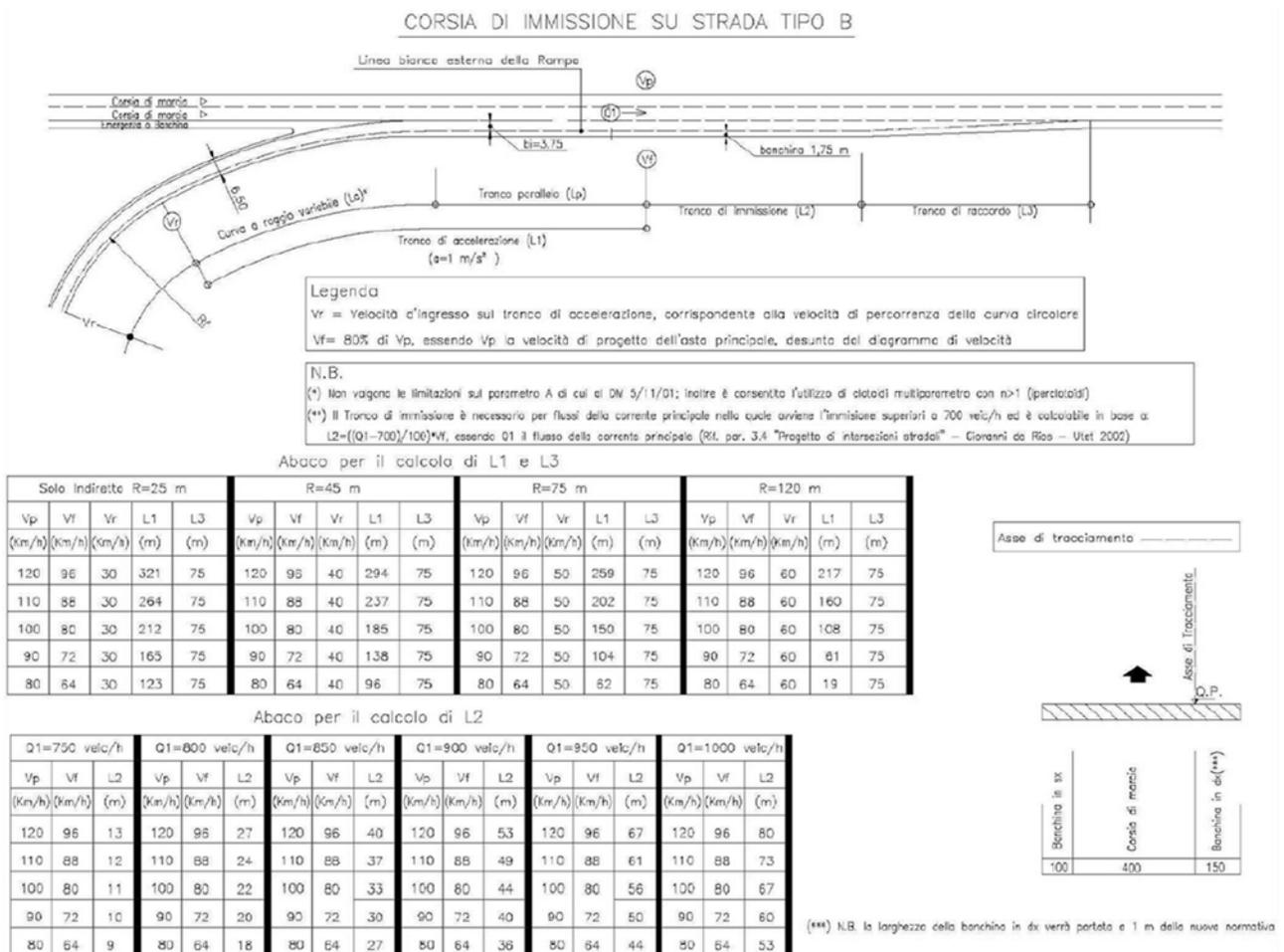


Figura 8 – Criteri di dimensionamento funzionale metodo Da Rios

Nella successiva Tabella 12, sono riportate le verifiche di compatibilità delle corsie esistenti, effettuate confrontando le dimensioni degli elementi esistenti (Stato di Fatto) con quelle derivanti dall'applicazione della normativa e con l'utilizzo del metodo Da Rios per quanto riguarda il criterio funzionale.

STATO DI FATTO			I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9	I10	I11	I12	I13	I14
Lunghezza tratto accelerazione	La,e	(m)	96,00	119,00	72,50	100,50	94,00	23,25	82,75	139,00	128,00	139,25	128,00	37,75	216,50	168,00
Lunghezza tratto raccordo	Lv,e	(m)	42,25	16,00	58,25	43,00	46,25	23,25	82,75	29,00	44,75	37,50	69,75	25,50	45,75	22,50
Lunghezza totale corsia immissione	Lt	(m)	138,25	135,00	130,75	143,50	140,25	23,25	82,75	168,00	143,50	176,75	197,75	63,25	262,25	190,50
NORMATIVA																
Velocità di progetto curva circolare (limite amministrativo rampa)	V2	(km/h)	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
Raggio planimetrico curva circolare rampa	R	(m)	60,00	20,00	115,00	70,00	-	-	-	136,00	40,00	155,00	60,00	-	170,00	82,00
Velocità di progetto curva circolare (velocità compatibile con la geometria)	V'2	(km/h)	40,00	30,00	60,00	40,00	-	-	-	60,00	30,00	60,00	40,00	-	60,00	50,00
Velocità di progetto asse principale	V0	(km/h)	80,00	80,00	80,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Velocità fine tratto accelerazione	V1	(km/h)	64,00	64,00	64,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00
Lunghezza tratto accelerazione minimo	La,e min	(m)	96,30	123,30	19,14	185,19	150,46	150,46	150,46	108,02	212,19	108,02	185,19	150,46	150,46	150,46
Lunghezza tratto immissione	Li,e min	(m)	117,00	117,00	117,00	146,00	146,00	146,00	146,00	146,00	146,00	146,00	146,00	146,00	146,00	146,00
Lunghezza tratto raccordo	Lv,e	(m)	50,00	50,00	50,00	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00
Lunghezza totale corsia immissione	Lt	(m)	263,30	290,30	186,14	406,19	371,46	371,46	371,46	329,02	433,19	329,02	406,19	371,46	371,46	371,46
VERIFICHE																
Lunghezza tratto accelerazione	La,e	(m)	NO	NO	OK	NO	NO	NO	NO	OK	NO	OK	NO	NO	OK	OK
Lunghezza tratto raccordo	Lv,e	(m)	NO	NO	OK	NO	NO	NO	OK	NO						
Lunghezza totale corsia immissione	Lt	(m)	NO													

Tabella 12 – Verifica delle corsie esistenti col metodo Da Rios

Metodo Sascia Canale

Secondo la metodologia proposta dall'Ing. Sascia Canale il dimensionamento delle corsie viene fatto considerando una distribuzione probabilistica della possibilità di trovare un intervallo di tempo tra due veicoli presenti sulla corrente principale abbastanza ampia da poter permettere l'inserimento del veicolo sulla rampa. Tale probabilità si basa sulla distribuzione probabilistica di Poisson ed è possibile ricavare la lunghezza della corsia secondo la seguente formula:

$$L_{i,e} = (k - 1) \cdot \frac{1}{\lambda} \cdot \frac{V_1}{3,6}$$

Con:

k = numero di eventi (passaggi veicolari sulla corsia destra della strada principale) corrispondente al valore della probabilità di progetto;

1/λ = durata temporale del singolo evento. Si tratta del rapporto tra 3600 e il flusso veicolare Q1;

V1 = velocità del flusso in immissione alla fine del tratto di accelerazione, in km/h.

Impostando una probabilità di progetto del 90% si ricava k = 8,66 e quindi si ha:

Nella successiva Tabella 13, sono riportate le verifiche di compatibilità delle corsie esistenti, effettuate confrontando le dimensioni degli elementi esistenti (Stato di Fatto) con quelle derivanti dall'applicazione della normativa e con l'utilizzo del metodo Sascia Canale per quanto riguarda il criterio funzionale.

STATO DI FATTO			I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9	I10	I11	I12	I13	I14
Lunghezza tratto accelerazione	<u>La,e</u>	(m)	96,00	119,00	72,50	100,50	94,00	23,25	82,75	139,00	128,00	139,25	128,00	37,75	216,50	168,00
Lunghezza tratto raccordo	<u>Lv,e</u>	(m)	42,25	16,00	58,25	43,00	46,25	23,25	82,75	29,00	44,75	37,50	69,75	25,50	45,75	22,50
Lunghezza totale corsia immissione	Lt	(m)	138,25	135,00	130,75	143,50	140,25	23,25	82,75	168,00	143,50	176,75	197,75	63,25	262,25	190,50
NORMATIVA																
Velocità di progetto curva circolare (limite amministrativo rampa)	V2	(km/h)	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
Raggio planimetrico curva circolare rampa	R	(m)	60,00	20,00	115,00	70,00	-	-	-	136,00	40,00	155,00	60,00	-	170,00	82,00
Velocità di progetto curva circolare (velocità compatibile con la geometria)	V'2	(km/h)	40,00	30,00	60,00	40,00	-	-	-	60,00	30,00	60,00	40,00	-	60,00	50,00
Velocità di progetto asse principale	V0	(km/h)	80,00	80,00	80,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Velocità fine tratto accelerazione	V1	(km/h)	64,00	64,00	64,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00
Lunghezza tratto accelerazione	<u>La,e</u> min	(m)	96,30	123,30	19,14	185,19	150,46	150,46	150,46	108,02	212,19	108,02	185,19	150,46	150,46	150,46
Lunghezza tratto immissione	<u>Lj,e</u> min	(m)	362,00	362,00	362,00	563,00	563,00	563,00	563,00	563,00	563,00	563,00	563,00	563,00	563,00	563,00
Lunghezza tratto raccordo	<u>Lv,e</u>	(m)	50,00	50,00	50,00	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00
Lunghezza totale corsia immissione	Lt	(m)	508,30	535,30	431,14	823,19	788,46	788,46	788,46	746,02	850,19	746,02	823,19	788,46	788,46	788,46
VERIFICHE																
Lunghezza tratto accelerazione	<u>La,e</u>	(m)	NO	NO	OK	NO	NO	NO	NO	OK	NO	OK	NO	NO	OK	OK
Lunghezza tratto raccordo	<u>Lv,e</u>	(m)	NO	NO	OK	NO	NO	NO	OK	NO						
Lunghezza totale corsia immissione	Lt	(m)	NO													

Tabella 13 – Verifica delle corsie esistenti col metodo Sascia Canale

In conclusione, in relazione al contesto fortemente urbanizzato e vincolato dello stato di fatto ed in considerazione delle lunghezze del tratto funzionale che scaturisce dall'utilizzo del metodo Sascia Canale, molto maggiori rispetto a quelle del metodo Da Rios, per il dimensionamento delle corsie di immissione si è preso in considerazione questo secondo metodo. Si consideri inoltre che tale metodologia risulta essere la medesima utilizzata nel progetto esecutivo già approvato ANAS "Bretella di Gallarate" per il dimensionamento delle nuove corsie specializzate afferenti sulla SS 336 all'interno del tratto oggetto di intervento.

4.1.1 CORSIE DI DIVERSIONE

Nella seguente tabella sono riportati i di progetto risultanti dai calcoli effettuati con i metodi sopra esposti per ricavare le lunghezze dei singoli elementi che compongono le corsie di decelerazione.

CORSIA	Tipologia	V1 [km/h]	V2 [km/h]	STATO DI PROGETTO		DA NORMATIVA	
				Ld,u [m]	Lm,u [m]	Ld,u [m]	Lm,u [m]
U1	Parallela	60	40	50,25	40,00	25,72	40,00
U2	Parallela	80	70	399,25	60,25	19,29	60,00
U3	Parallela	80	30	Corsia di scambio con I1		70,73	60,00
U4	Parallela	80	70	114,75	105,75	19,29	60,00
U5	Parallela	100	50	218,00	78,00	96,45	75,00
U6	Parallela	100	60	82,75	75,00	82,30	75,00
U7	Parallela	100	50	Corsia di scambio con I9		96,45	75,00
U8	Parallela	100	40	Corsia di scambio con I6		108,02	75,00
U9	Parallela	100	60	86,00	75,50	82,30	75,00
U10	Parallela	100	40	108,25	75,00	108,02	75,00
U11	Parallela	100	50	Corsia di scambio con I12		96,45	75,00

U12	Parallela	100	50	97,00	76,50	96,45	75,00
U13	Parallela	100	50	96,50	75,00	96,45	75,00

Tabella 14 – Dimensionamento delle corsie di diversione di progetto

4.1.2 CORSIE DI IMMISSIONE

Nella seguente tabella sono riportati i di progetto risultanti dai calcoli effettuati con i metodi sopra esposti per ricavare le lunghezze dei singoli elementi che compongono le corsie di accelerazione.

CORSIA	V1 [km/h]	V2 [km/h]	Q1 [veic/h]	STATO DI PROGETTO			DA NORMATIVA		
				La,e [m]	Li,e [m]	Lv,e [m]	La,e [m]	Li,e [m]	Lv,e [m]
I1	64	40	1357	Corsia di scambio con U3			96,30	117,00	50,00
I2	64	30	1357	123,30	41.70	50,00	123,30	117,00	50,00
I3	64	60	1357	26,00	117,00	50,00	19,14	117,00	50,00
I4	80	40	1357	185,20	146,00	75,00	185,19	146,00	75,00
I5	80	50	1357	150,50	146,00	75,00	150,46	146,00	75,00
I6	80	50	1357	Corsia di scambio con U8			150,46	146,00	75,00
I7	80	60	1357	150,50	146,00	75,25	150,46	146,00	75,00
I8	80	60	1357	108,22	146,00	75,00	108,02	146,00	75,00
I9	80	30	1357	Corsia di scambio con U7			212,19	146,00	75,00
I10	80	60	1357	108,70	146,00	75,00	108,02	146,00	75,00
I11	80	40	1357	186,20	146,00	75,00	185,19	146,00	75,00
I12	80	50	1357	Corsia di scambio con U11			150,46	146,00	75,00
I13	80	50	1357	150,50	146,00	75,50	150,46	146,00	75,00

Tabella 15 – Dimensionamento delle corsie di immissione di progetto

Si precisa che la lunghezza della corsia di immissione I2 risulta vincolata dal viadotto di scavalco della linea ferroviaria e pertanto, in considerazione del fatto che si tratta di un'immissione da un'area di servizio privata per la quale è possibile ipotizzare una diversa configurazione degli accessi oppure una parziale dismissione / dislocazione dell'attività, si considera ammissibile la deroga rispetto alla lunghezza minima determinata per il criterio funzionale (41.70m rispetto ai 117m previsti dal calcolo col metodo Da Rios).

Per quanto riguarda infine le corsie di scambio che si vanno a configurare nell'ambito degli adeguamenti previsti a progetto:

- I1 – U3
- I6 – U8
- I9 – U7
- I12 – U11

Per la valutazione del dimensionamento delle di zone di scambio occorre utilizzare metodologie funzionali che considerano anche i flussi di traffico entranti ed uscenti da/per le rampe afferenti alla corsia di scambio, al fine di procedere alla valutazione del livello di servizio dei tronchi di scambio secondo il metodo del Highway Capacity Manual.

5 CALCOLO DELLA PAVIMENTAZIONE

Il metodo di dimensionamento proposto dalla A.A:S:H.T.O (American Association of State Highway and Transportation Officials) permette di valutare il numero di assi standard da 80 kN che la pavimentazione è in grado di sopportare in funzione della resistenza strutturale della stessa e delle caratteristiche del sottofondo, al fine di garantire un adeguato grado di funzionalità (espresso tramite un valore del P.S.I.).

L'espressione analitica definita nell'AASHTO Guide of Design of Pavements Structures per la determinazione del numero di assi standard che la pavimentazione è in grado di sopportare è la seguente.

$$\log W_{18} = Z \times S_o + \left[9.36 \times \log(SN + 1) - 0.2 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log M_r \right] - 8.07$$

Dove:

- W_{18} è il numero di assi standard da 80 kN (18 KiloPounds) che la pavimentazione può sopportare prima di giungere ad un P.S.I. finale fissato;
- Z e S_0 sono parametri statistici legati all'affidabilità della previsione; S_0 rappresenta, tramite la deviazione standard, l'errore commesso nella previsione del traffico e della prestazione attribuita alla pavimentazione;
- $S.N.$ è lo Structural Number, parametro della capacità strutturale della pavimentazione, che tiene conto delle caratteristiche meccaniche della sovrastruttura;
- $P.S.I.$ esprime la funzionalità della pavimentazione e varia da 5 (pavimentazione in ottime condizioni) a 0 (pavimentazione in pessime condizioni). $\Delta P.S.I.$ è la variazione della funzionalità della pavimentazione all'inizio della vita utile, assunta convenzionalmente pari a 4,2 e il valore limite a cui la pavimentazione può giungere alla fine della sua vita di progetto. Il valore utilizzato per i calcoli è quello indicato nella tabella 9 del Catalogo Italiano delle Pavimentazioni Stradali

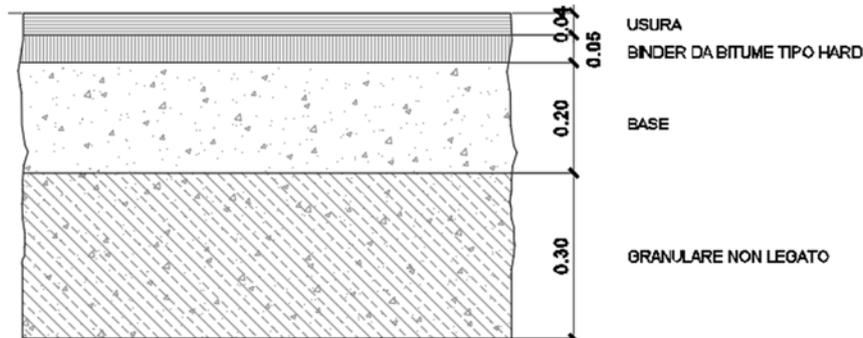
Tipo di strada	Affidabilità (%)	PSI
1) Autostrade extraurbane	90	3
2) " urbane	95	3
3) Strade extr. principali e secondarie a forte traffico	90	2.5
4) Strade extraurbane secondarie - ordinarie	85	2.5
5) " " " -turistiche	80	2.5
6) Strade urbane di scorrimento	95	2.5
7) " " di quartiere e locali	90	2
8) Corsie preferenziali	95	2.5

- M_r è il modulo resiliente effettivo del sottofondo; il suo valore deve essere espresso in psi. È correlato al modulo di deformazione (M_d) dalla formula $M_r = (1.9 \div 2.0) * M_d$

Nel caso in esame, si è considerata una pavimentazione (esistente e di progetto) di 59 cm di spessore così composta:

- 4 cm di usura
- 5 cm di binder con binder modificato tipo hard

- 20 cm di base
- 30 cm di fondazione in materiale granulare non legato



Per il progetto in esame, al fine della verifica della pavimentazione, si è considerato:

Portanza del Sottofondo:	CBR =	9,5
Modulo Resiliente del Sottofondo:	M_R(kPa) =	98.286
Numero Assi Equivalenti 80kN (W₈₀):	ESAL(W₈₀) =	23,618,505
Affidabilità:	R [%] =	90
Deviazione Standard:	S_o =	0.45
Max Perdita di Efficienza Pavimentazione:	ΔPSI =	1.70

Per la definizione del numero di assi equivalenti che si suppone insisteranno sull'infrastruttura per i prossimi 20 anni, si è partiti dai dati di traffico relativi alla campagna di rilievi di marzo 2022, considerando cautelativamente

- una percentuale di mezzi pesanti pari al 10%, sebbene i dati forniti da ANAS per gli anni pre-pandemia indicassero una percentuale massima prossima al 6%.
- La distribuzione dell'intero traffico su un'unica corsia
- Un tasso di crescita pari al 5% annuo, dove la comparazione dei dati di traffico forniti da ANAS relativi agli anni pre-Covid fornivano dati di crescita di poco superiore al 4%
- Una distribuzione del traffico in linea con quanto previsto dalla norma CNR 178 (Catalogo delle Pavimentazioni Stradali), sintetizzato nelle seguenti tabelle

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					
1) autocarri leggeri	2	↓10	↓20				
2) " "	"	↓15	↓30				
3) autocarri medi e pesanti	"	↓40	↓80				
4) " " "	"	↓50	↓110				
5) autocarri pesanti	3	↓40	↓80	↓80			
6) " "	"	↓60	↓100	↓100			
7) autotreni e autoarticolati	4	↓40	↓90	↓80	↓80		
8) " "	"	↓60	↓100	↓100	↓100		
9) " "	5	↓40	↓80	↓80	↓80	↓80	
10) " "	"	↓60	↓90	↓90	↓100	↓100	
11) " "	"	↓40	↓100		↓80	↓80	↓80
12) " "	"	↓60	↓110		↓90	↓90	↓90
13) mezzi d'opera	"	↓50	↓120		↓130	↓130	↓130
14) autobus	2	↓40	↓80				
15) " "	2	↓60	↓100				
16) " "	2	↓50	↓80				

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	----

Dai dati suddetti si ottiene:

N. Veicoli giornalieri TGM	37.252
% Carico Pesante	10%
Coefficiente di Carreggiata	0,50
Coeff di Corsia	0,70
Coeff. Carico/Scarico Mezzi Pesanti	1,000
Tasso di Crescita	5,00%
Anni	20
N. Veicoli giornalieri TGM finale medio	61.589

	TGM0	TGM20	TGMannuo 0	TGM tot	Coeff.	
Traffico Leggero	11734	19400	4,283,049	141,623,092	0.008	1.132.985
Traffico Veicoli Commerciali	1304	2156	475,894	15,735,899	1.43	22.485.520
			Totale Assi Equivalenti 80 kN		ESAL(W80) =	23.618.505

Il valore stimato di assi equivalenti che impegneranno per 20 l'infrastruttura, pari a 23.618.505 veic eq, richiede un valore di SN, structural Number, pari a 4,52.

Il valore SN che la pavimentazione esistente/progetto garantisce è dato dalla sommatoria del coefficiente strutturale di stato * il coefficiente di drenaggio * lo spessore dello strato, da cui un valore di 4,57, superiore al valore richiesto per il numero di assi equivalenti desunto dai dati di traffico.

Nella scelta dei coefficienti di strato si sono utilizzati cautelativamente valori prossimi ai minimi presenti in normativa.

	Coeff. Strutturale Strato	Coeff. Drenaggio	Spessore Strato, [cm]	Costo Strato	Numero Strutturale, SN
PROGETTO					
Strato di Usura	0,37	1,00	4,0		0,58
Strato di Collegamento tipo hard	0,30	1,00	5,0		0,59
Strato di Base	0,27	1,00	20,0		2,13
Misto Granulare Non Legato	0,11	1,00	30,0		1,30
Spessore Totale/ Costo			20,0		
Numero Strutturale Richiesto/Calcolato:			4,52	<	4,60
Numero Assi Equivalenti 80 kN ESAL(W80):			23.618.505	<	26.423.160

A riprova della bontà della pavimentazione, la stessa risulta sopportare un numero di assi equivalenti pari a 26.423.160, superiori ai 23.618.505 stimati per la sua vita utile.

6 DISPOSITIVI DI RITENUTA

La tipologia dei dispositivi da adottare è stata individuata secondo quanto previsto dal D.M 18 febbraio 1992, n.223 e s.m.i. In particolare, si è fatto riferimento all'ultimo aggiornamento del 21 giugno 2004 e, partendo dai criteri di scelta dei dispositivi in esso contenuti, si sono individuate le zone da proteggere e le tipologie da adottare. Si è altresì tenuto conto delle norme EN 1317 recepite dallo stesso DM 21 giugno 2004, per definire le caratteristiche prestazionali delle barriere.

I dati utilizzati per definire la tipologia di traffico sono i medesimi impiegati nella verifica del pacchetto di pavimentazione e, in dettaglio, si sono considerati 37.252 veicoli giorno con una percentuale di traffico pesante pari al 10 %

Per il dimensionamento dei dispositivi di ritenuta si è quindi considerato il traffico di tipo II, caratterizzato da un TGM superiore a 1000 veicoli giorno e una percentuale di veicoli pesanti compreso tra il 5% e il 15%.

Tipo di traffico	TGM	% Veicoli con massa >3,5 t
I	≤1000	Qualsiasi
I	>1000	≤ 5
II	>1000	5 < n ≤ 15
III	>1000	> 15

Per il TGM si intende il Traffico Giornaliero Medio annuale nei due sensi.

In riferimento alla categoria di strada in oggetto, strada extraurbana principale (tipo B), ed al tipo di traffico (tipo II), ai sensi dell'art.6 del citato D.M. le caratteristiche prestazionali minime da adottare sono la classe H2 bordo laterale e la classe H3 spartitraffico e bordo ponte, come riporta la relativa tabella A:

Tipo di strada	Tipo di traffico	Barriere spartitraffico	Barriere bordo laterale	Barriere bordo ponte ⁽¹⁾
Autostrade (A) e strade extraurbane principali (B)	I	H2	H1	H2
	II	H3	H2	H3
	III	H3-H4 ⁽²⁾	H2-H3 ⁽²⁾	H3-H4 ⁽²⁾
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

Per quanto concerne le zone di svincolo, si ipotizza la stessa composizione di traffico dell'asse principale e, conseguentemente, le stesse tipologie di barriere, anche in relazione al fatto che, essendo le rampe dotate di corsie di decelerazione, è opportuno avere la continuità della barriera adottata sul tratto parallelo che si sviluppa sull'asse principale.

Nel caso in esame, viste le caratteristiche geometriche della strada e l'elevato livello di incidentalità, saranno utilizzate le seguenti barriere:

- Spartitraffico tipo NDBA Asphalt (bordo laterale) e NDBA Bridge (bordo ponte), che sono di tipo H4-W2 ($W \leq 0.8$),
- Barriere bordo laterale H3 W5 ($W \leq 1,70m$) e W4 ($W \leq 1,3$), in relazione all'eventuale presenza di ostacoli a tergo della barriera) e tipo Anas H3 W5
- Barriere bordo ponte e opere d'arte H4 W5 e tipo Anas H4 W5

In base al DM 21/06/04 le protezioni devono in ogni caso essere effettuate per una estensione almeno pari a quella installata nella prova al vero, integrando il dispositivo con i terminali semplici indicati nel certificato di prova. Quando non è possibile installare un dispositivo con una lunghezza minima pari a quella effettivamente testata (per esempio ponti o ponticelli aventi lunghezze in alcuni casi sensibilmente inferiori all'estensione minima del dispositivo), è possibile installare una estensione di dispositivo inferiore a quella effettivamente testata, provvedendo però a raggiungere la estensione minima attraverso un dispositivo diverso (per esempio testato con pali infissi nel terreno), ma di pari classe di contenimento (o di classe ridotta H3 nel solo caso di affiancamento a barriere bordo ponte di classe H4) garantendo inoltre la continuità strutturale. In questa prima fase progettuale si è assunta una lunghezza minima di posa in linea con la maggior parte dei dispositivi di ritenuta, conformi alle caratteristiche prestazionali minime sopra definite, presenti in commercio.

Alle estremità dei tratti di intervento le barriere in progetto saranno in continuità con le barriere esistenti per cui non sono previsti elementi di transizione.

Nel passaggio tra barriere bordo ponte e bordo rilevato, è stato previsto di garantirne la continuità strutturale tramite il collegamento almeno della lama, del corrente posteriore ed inferiore.

Così come prescritto dal DM 21/06/04, in corrispondenza delle cuspidi negli svincoli, sono stati previsti attenuatori d'urto, in conformità alla tabella B della citata normativa.

Tabella B – Attenuatori frontali

Velocità imposta nel sito da proteggere	Classe degli attenuatori
Con velocità $v \geq 130$ km/h	100
Con velocità $90 \leq v < 130$ km/h	80
Con velocità $v < 90$ km/h	50

Nel caso in esame, saranno utilizzati attenuatori di classe 80.

Lungo i margini dell'asse principale e delle rampe di svincolo sono presenti elementi di arredo funzionale che possono essere considerati "ostacoli" e quindi occorre agire col fine di proteggerli dagli urti in modo che il dispositivo utilizzato possa assolvere appieno a questa funzione. Occorre quindi dapprima distinguere tra tipologie di ostacoli e di seguito stabilire le opportune distanze dalla barriera di sicurezza cui posizionarli.

In merito alla consistenza degli ostacoli, riferimenti sono riportati sia nel DM 5/11/01 dove, al paragrafo 4.3.7, è indicata la necessità di adottare maggiorazione dei margini in presenza di barriere antirumore, pali di illuminazione e portali per segnaletica, sia nella normativa UNI, in cui è specificato che i sostegni dei segnali con momento di plasticizzazione alla base non superiore a 5.7 KNm possono essere considerati cedibili e pertanto non soggetti all'obbligo di protezione.

Alla luce di quanto sopra i sostegni di segnaletica verticale con tubolari Φ 60 mm singoli o a cavalletto, sono stati considerati ostacoli leggeri non in grado di influenzare significativamente il funzionamento delle barriere in caso d'urto e che, se rotti a seguito dell'urto, non creano rilevanti danni per perdita di funzionalità e non sono in grado di costituire seri pericoli né per l'utenza stradale, né per l'utenza esterna. Pertanto, in loro corrispondenza non è stata prevista un'apposita protezione e, nel caso siano previsti dispositivi per altre esigenze (in rilevato o opere d'arte) in corrispondenza di tale segnaletica si è mantenuto il tipo e la classe di barriera corrente, indipendentemente dalla distanza esistente tra questa e l'ostacolo.

Per quanto riguarda i sostegni dei portali dei PMV, essi sono posizionati ad una distanza di almeno pari alla "larghezza di lavoro" (W) e al parametro "intrusione del veicolo" (VI) del dispositivo previsto a bordo rilevato

In merito alle barriere antirumore, la scelta progettuale prevede l'utilizzo, tranne per un tratto di 165 m, di barriere integrate aventi caratteristiche prestazionali minime in linea con quanto già definito ad inizio capitolo per le barriere di tipo bordo laterale/bordo ponte.

Per la localizzazione dei dispositivi di ritenuta e la loro lunghezza di posa si rimanda agli specifici elaborati grafici di progetto.

7 SEGNALETICA ORIZZONTALE E VERTICALE

La tipologia e le caratteristiche della segnaletica da adottarsi sono state desunte dalle indicazioni contenute nel “Nuovo Codice della Strada” e dal “Regolamento di esecuzione e attuazione del nuovo codice della strada”.

Il progetto di adeguamento dell’infrastruttura esistente prevede l’installazione della nuova segnaletica verticale in corrispondenza di tutti i segnali che risultano interferire in forza dell’intervento di allargamento della piattaforma stradale. I segnali non espressamente indicati si intende che potranno essere mantenuti in quanto non interferenti.

Si intendono interferenti, pertanto oggetto di adeguamento, anche tutti quei segnali per i quali non risulta possibile garantire una sufficiente distanza di funzionamento della barriera di sicurezza a protezione del margine stradale, il cui dimensionamento è stato effettuato in funzione della presenza della segnaletica verticale non abbattibile (portali e mono-palo) esistente o di progetto.

7.1 SEGNALETICA ORIZZONTALE

La segnaletica orizzontale da utilizzare come guida ottica presente sul tracciato stradale può impiegare materiali con formulazioni e tipologie applicative diverse, per soddisfare le precise richieste comportamentali e prestazionali in funzione del suo posizionamento. I prodotti vernicianti si distinguono in tre differenti livelli:

- a) vernici a solvente o a base acqua per applicazioni provvisorie o per zone poco sollecitate;
- b) termospruzzati plastici per applicazioni di routine;
- c) laminati elastoplastici o prodotti speciali per applicazioni in zone ad alta pericolosità.

Qualsiasi tipologia di segnaletica orizzontale da realizzare deve essere conforme a quanto stabilito dal nuovo Codice della Strada D.L.vo n. 285 del 30/04/1992, dal Regolamento d’esecuzione e d’attuazione del nuovo codice della strada D.P.R. n. 495 del 16.12.1992, dal D.P.R. 16 settembre 1996 n. 610 e dai disegni esecutivi allegati.

I materiali impiegati nelle lavorazioni devono essere forniti da Produttori in possesso di certificazione di qualità ISO 9000. Le verifiche di rispondenza, in conformità a quanto previsto dalle Norme UNI EN ISO 9000, devono essere certificate da Enti riconosciuti dalla Committente, in conformità alla Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici n. 2357 del 16.05.1996 (Gazzetta Ufficiale n. 125 del 30.05.1996) e successive modifiche e integrazioni. La qualità dei materiali deve essere sempre sottoposta a verifica ogni qual volta il Committente lo riterrà necessario ed in qualsiasi fase della produzione e/o realizzazione del servizio.

7.2 SEGNALETICA VERTICALE

Al fine di garantire la perfetta visibilità dei segnali, sia di giorno, sia di notte, in qualsiasi condizione e ovunque essa sia installata, deve essere garantito uno spazio di avvistamento della segnaletica verticale privo d’ostacoli e/o impedimenti. La distanza di avvistamento è lo spazio che consente al conducente di poter avvertire la presenza di un segnale, di riconoscerlo come tale e di individuarne il significato. Le misure minime di tale spazio sono indicativamente le seguenti:

1. segnali di pericolo 150 m;
2. segnali di prescrizione 250 m;
3. segnali d’indicazione 250 m.

La distanza tra l’estremità del cartello lato carreggiata e il margine della carreggiata stessa deve essere compresa tra un minimo di 0,60 m e un massimo di 1,00 m. Fanno eccezione i cartelli posizionati nello spartitraffico, quelli a sbalzo e quelli montati su supporto a portale che devono essere di volta in volta esaminati dal Direttore dell’esecuzione.

L’altezza tra il bordo inferiore del cartello e la pavimentazione deve essere compresa tra un minimo di 1,50 m e un massimo di 2,20 m, secondo un criterio di proporzione inversa rispetto alle dimensioni del cartello. Fanno

eccezione le targhe chilometriche, i cartelli per la numerazione dei cavalcavia, la cui altezza deve essere compresa tra 1,70 m e 1,80 m, e tutti gli altri cartelli in posizioni particolari la cui altezza deve essere stabilita di volta in volta dal Direttore dell'esecuzione.

Per i tratti in progetto in cui si è reso necessario introdurre limitazioni alle velocità di progetto, si prevede la posa di specifica segnaletica verticale indicante la velocità di percorrenza che permette la sicura fruizione dell'infrastruttura da parte dell'utenza. Il valore indicato dalla cartellonistica sarà pari alla velocità di sicurezza dei singoli elementi componenti il tracciato, arrotondato per eccesso o difetto alla prima decina, ridotto di 10 km/h. I tratti di transizione tra velocità di progetto e velocità di sicurezza sono definiti considerando un'accelerazione/decelerazione pari a 0,8 km/h.

Coerentemente con quanto indicato nella "Il direttiva sulla corretta ed uniforme applicazione delle norme del codice della strada in materia di segnaletica e criteri per l'installazione e la manutenzione", per evitare manovre brusche laddove si renda necessario introdurre limitazioni alle velocità, si posizionerà apposita segnaletica verticale che imponga variazioni cinematiche al massimo di 30 km/h, ripetendo la stessa anche sulla corsia di sinistra. Il termine del tratto a velocità limitata sarà segnalato con il segnale di "Fine limitazione di velocità" (Fig. II 71 del CdS) ovvero il segnale di "Via libera" (Fig. II 70 del CdS).

8 RELAZIONE EX ART. 4 DM 22/04/2004

Alla luce delle considerazioni svolte nei precedenti capitoli del presente elaborato, l'intervento in esame consiste in un adeguamento di infrastruttura esistente e come tale esula dall'applicazione rigorosa dei criteri propri del DM 05/11/2001 in base alle modifiche introdotte dal DM 22/04/04: in riferimento all'art. 4 di detto Decreto, il presente capitolo assume quindi la valenza di "specificazione relazione di analisi degli aspetti connessi con le esigenze di sicurezza".

8.1 ANALISI DELLA STRADA ESISTENTE

Come già descritto nei capitoli precedenti, l'intervento in oggetto prevede il riassetto di un tratto di viabilità extraurbana principale della SS336, per una estensione di circa 10+750 m. Il progetto comprende anche la riorganizzazione delle aree di svincolo e la posa/sostituzione dei dispositivi di ritenuta.

L'attuale sezione tipo dell'asse principale presenta due carreggiate separate, ciascuna delle quali con due corsie per senso di marcia. È caratterizzata da una piattaforma pavimentata di circa 17.20 m nel punto più vincolante, in corrispondenza della galleria artificiale di Gallarate, composta da due corsie per senso di marcia pari a 3.50m, margine esterno di 1.00m, margine interno di 0.15m spartitraffico di 0.90m.

Attualmente sono presenti dei vincoli di velocità amministrativi: limite di velocità pari a 90 km/h per tutto il tratto oggetto di intervento, ad eccezione di un breve tratto di un limite a 50 km/h, per circa 45 m, in corrispondenza della curva di raggio 129m, dalla pk 0+132 pk 0+177.

Le principali criticità riscontrate dall'analisi dello stato di fatto sotto un piano tecnico e funzionale sono di seguito elencate:

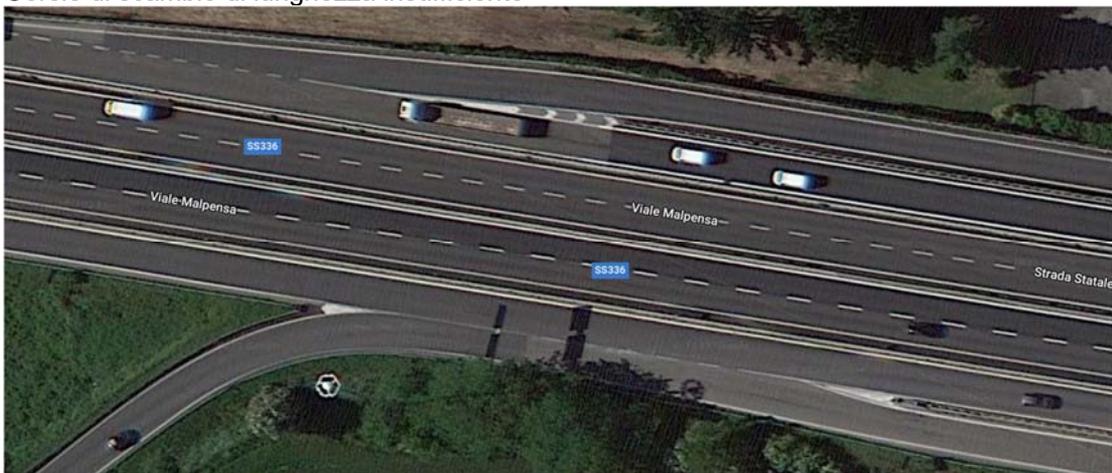
- Elementi piano altimetrici che implicano caratteristiche funzionali, legate soprattutto alle velocità massime di percorrenza, minori di quanto normativamente previsto dal D.M. 05/11/2001 per strade di "Tipo B" ($V_p=70-120$ km/h)
- Calibro stradale caratterizzato dalla mancanza della corsia di emergenza e da uno spartitraffico di ridotte dimensioni



- Zone di svincolo con corsie specializzate per le manovre di immissione e diversione caratterizzate da elementi compositivi di dimensioni non congrue con la normativa di riferimento



- Corsie di scambio di lunghezza insufficiente



- Inadeguata protezione degli ostacoli puntuali presenti sull'itinerario (ad esempio in corrispondenza dei setti nei sottopassi, dei plinti dei portali a bandiera e dei pali dell'illuminazione)





- Mancanza di allargamenti della piattaforma al fine di garantire una corretta area libera da ostacoli commisurata con le visibilità necessarie per all'arresto e il cambio corsia



8.2 INTERVENTI DI POTENZIAMENTO E MESSA IN SICUREZZA

Si riporta di seguito la descrizione degli interventi previsti, che consistono:

- nell'adeguamento al DM 05.11.2001, per tutti i tratti ove sia possibile prevedere i conseguenti interventi con modesto impatto rispetto ai vincoli strutturali e geometrici del contesto esistente;
- nelle misure atte a compensare le difformità rispetto al DM 05.11.2001 descritte al capitolo precedente, in corrispondenza di quei tratti per i quali non risulta possibile intervenire a meno di pesanti ripercussioni sul contesto esistente (per es. in presenza dei vincoli esistenti quali: gallerie artificiali, tratti in trincea tra muri e viadotti di linea).

Dall'analisi riportata nel precedente paragrafo, appare evidente che il miglioramento delle caratteristiche funzionali e di sicurezza della circolazione non può prescindere da un adeguato ampliamento della sezione trasversale a tipo B secondo il DM 05/11/2001, in special modo con l'introduzione della corsia di emergenza e l'ampliamento dell'area spartitraffico.

Si riportano di seguito i criteri adottati per la progettazione stradale degli assi di progetto del tracciato stradale oggetto di riqualifica:

- al fine di garantire una sufficiente omogeneità del tracciato in relazione alle distanze di transizione, in relazione ai vincoli imposti dagli elementi geometrici esistenti (altimetrici e di visibilità), il limite superiore dell'intervallo di velocità di progetto risulta ridotto a 100 Km/h rispetto al limite massimo pari a 120 Km/h previsto per le strade tipo B1;
- per quanto riguarda l'altimetria, risulta la necessità apportare una riduzione della velocità di progetto $V_p \text{ max.} = 100 \text{ Km/h}$ illustrata al punto precedente, in corrispondenza dei due raccordi altimetrici che non risultano verificati (neanche rispetto ai limiti amministrativi attuali – vedasi Tabella 6), a causa della presenza di vincoli strutturali delle opere d'arte esistenti. Pertanto, in corrispondenza dei due raccordi geometrici esistenti (7 - Dosso $R=3.500\text{m}$ e 8 – Sacca $R=2.000\text{m}$) che non risultano verificati con $V_p=100 \text{ Km/h}$, si prevede di adottare la maggiore velocità di progetto consentita per tali raggi dal DM 05.11.2001;
- in corrispondenza degli ostacoli invalicabili per i quali non è possibile effettuare un allargamento (quali: muri trincea, galleria artificiale, spalle e pile centrali, viadotti, etc.), si prevede la maggiore velocità di progetto che consente di verificare la visibilità in curva DM 05.11.2001;
- in corrispondenza della curva iniziale del tracciato ($R= 129\text{m}$) si adotta una velocità di progetto pari a 60 km/h (quindi ridotta rispetto al limite inferiore pari a 70 Km/h previsto per una Tipo B) coerente con il limite di velocità esistente da 50 Km/h e con il raggio di percorrenza della curva esistente.

Il diagramma delle velocità elaborato secondo i criteri precedentemente esposti, compatibile con i vincoli strutturali e geometrici del contesto plano-altimetrico (quali ad esempio gallerie e viadotti di linea), in conformità con le indicazioni previste dal DM 5.11.2001, consiste pertanto il "diagramma delle velocità compatibili" sulla base del quale vengono dimensionati e verificati gli elementi compositivi dei tracciati stradali riportati nella presente relazione.

Per quanto riguarda l'analisi delle visuali libere, dallo studio effettuato emerge che la necessità di prevedere l'inserimento di alcuni allargamenti per la visibilità in curva in interno spartitraffico ed in banchina, in relazione alla curvatura del tracciato esistente. Restano tuttavia alcuni tratti per i quali non risulta compatibile l'introduzione di alcun allargamento per la presenza di ostacoli fissi inamovibili (quali ad esempio i tratti in trincea tra muri in approccio alla galleria artificiale di Gallarate), ove pertanto occorre introdurre una limitazione della velocità di progetto.

Per il calcolo della distanza di visibilità per l'arresto, si prevede un coefficiente di aderenza di tipo autostradale; Si perviene pertanto alla costruzione del 'diagramma di velocità compatibile' con la geometria e con i vincoli imposti dall'infrastruttura esistente: una volta individuati i tratti percorribili alla velocità di progetto massima consentita per ciascun elemento, secondo i criteri sopra esposti, essi saranno raccordati con la distanza di transizione (D_t) determinata come da par. 5.4.1 del DM 5.11.2001 (accelerazione e decelerazione = 0.8 m/s^2). Le verifiche di cui ai par. 5.4.2 e 5.4.4 del DM 5.11.2001 saranno applicabili solo per quanto possibile in relazione alla geometria dei vari elementi che risultano vincolati al contesto del tracciato esistente.

Sulla base del diagramma di velocità compatibile, costruito con i criteri precedentemente esposti, si sono previsti i conseguenti allargamenti necessari per garantire la visibilità in curva, nei tratti non vincolati da ostacoli

fissi invalicabili (trincea tra muri, galleria artificiale) per i quali comunque si è già operato con l'introduzione di una limitazione della velocità di progetto sul 'diagramma delle velocità compatibili'.

Completano l'intervento nel suo complesso le seguenti ulteriori lavorazioni:

- Rifacimento della **piattaforma stradale** mediante rifacimento completo del pacchetto di pavimentazione nei tratti in allargamento e risagomatura per **adeguamento delle pendenze trasversali** (secondo i dettami descritti al cap. 3) in corrispondenza del pavimentato esistente (mediante fresatura del tappeto d'usura esistente e ricarica con strati di conglomerato bituminoso fino al raggiungimento della quota della piattaforma di progetto.
- Modifica integrale del **sistema di dispositivi di ritenuta** in tutto l'ambito dell'intervento, sia per quanto riguarda lo spartitraffico centrale, sia per quanto riguarda il margine esterno, mediante installazione di barriere di sicurezza rispondenti alla nuova normativa nonché adozione di attenuatori d'urto nelle cuspidi delle corsie di uscita delle intersezioni; il sistema di dispositivi di ritenuta in progetto, così come illustrato nei relativi elaborati grafici che riporta per ciascun elemento i dati di classe e larghezza di funzionamento, è stato appositamente studiato in funzione del tipo di ostacolo esistente, anche puntuale (quali ad esempio eventuali portali di segnaletica non oggetto di adeguamento), posto a tergo dei nuovi dispositivi di ritenuta al fine di garantire una corretta installazione secondo i dettami descritti al capitolo 6; si specifica che il progetto in generale prevede l'installazione dei nuovi elementi posti a tergo delle barriere (pali di illuminazione, portali per segnaletica, barriere acustiche) che pertanto saranno installati alla corretta distanza prevista, in funzione del tipo di barriera in progetto.
- Inserimento di appositi sistemi di **protezione dei punti singolari**, quali i setti centrali dei sottovia posti alle pk 1+160, 2+540, 2+860, 4+010, 7+530 ed i piedritti delle gallerie artificiali, come meglio descritto al par. 6.2 dell'elaborato "P00VI01STRRE01A – Relazione tecnica descrittiva delle strutture" e relativo elaborati grafici relativi ai punti singolari.
- Installazione di **barriere acustiche**, integrate e no, ove necessario, in relazione alle evidenze dello studio acustico.
- Incremento con **segnaletica stradale aggiuntiva** in corrispondenza dei tratti ove sono presenti limitazioni rispetto ai requisiti di normativa legati alle condizioni al contorno dell'infrastruttura esistente (vedi cap. 3); in particolare è stata prevista segnaletica integrativa, costituita da delineatori modulari di curva e relativi preavvisi a visibilità incrementata, in corrispondenza della curva iniziale posta tra la pk 0+000 e la pk 0+300.

Si sintetizzano di seguito gli interventi in progetto, già ampiamente descritti nei precedenti capitoli, ai quali si rimanda per la descrizione approfondita, in grado di elevare il livello di sicurezza offerto all'utenza del tratto oggetto di riqualfica:

- ampliamento della sezione trasversale a tipo B con conseguente inserimento della corsia di emergenza, salvo evidenti ostacoli pre-esistenti, allargamento dello spartitraffico e ridefinizione dell'arginello in funzione del dispositivo di ritenuta da installare;
- omogenizzazione della velocità di progetto lungo l'intero tracciato;
- introduzione di opportuna segnaletica verticale per segnalare i limiti di velocità introdotti in fase di progetto a tutela della sicura fruizione dell'infrastruttura;
- analisi delle prestazioni del tracciato in termini di visibilità per l'arresto e il cambio corsia con adozione di provvedimenti mitigativi (ampliamenti di sezione) nei tratti in cui si è riscontrata tale carenza. Per la curva posta in prossimità della p.k. 4+800, le condizioni al contorno non permettono di garantire una distanza di visibilità congrua con la velocità di 100 km/h, pertanto si è prevista l'introduzione di un limite di velocità di 80 km/h ($V_c=88$ km/h) compatibile con la visibilità presente in tale area;
- verifica della presenza di un opportuno coordinamento piano altimetrico dell'asse planimetrico con il profilo longitudinale;
- adozione di barriere di sicurezza di classe superiore rispetto alle prescrizioni contenute nelle "Istruzioni tecniche per la progettazione, l'omologazione e l'impiego delle barriere stradali di sicurezza e prescrizioni tecniche per le prove ai fini dell'omologazione" (DM 21/06/04).

Si può pertanto affermare che la valenza degli elementi positivi di cui sopra e la loro lettura combinata concorrono a concludere che, nello spirito di quanto richiesto dal DM n. 67/S del 22.04.2004, l'intervento configurato in progetto apporta non solo un miglioramento funzionale della circolazione, ma anche un innalzamento della sicurezza del sistema rispetto all'infrastruttura attuale.