

AUTOSTRADA (A13): BOLOGNA-PADOVA
TRATTO: BOLOGNA ARCOVEGGIO
BOLOGNA INTERPORTO

PROSECUZIONE FINO ALLA VIA APOSAZZA
DEL SISTEMA TANGENZIALE DI BOLOGNA

PROGETTO ESECUTIVO

PROLUNGAMENTO COMPLANARE

PARTE STRADALE

Parte Generale

Relazione tecnico stradale

IL PROGETTISTA SPECIALISTICO

Ing. Gianluca Salvatore Spinazzola
Ord. Ingg. Milano N. A26796
Responsabile Strade

**IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE**

Ing. Fabio Serrau
Ord. Ingg. Bologna n.6007/A

IL DIRETTORE TECNICO

Ing. Gianluca Salvatore Spinazzola
Ord. Ingg. Milano N. A26796
T.A. - Strade

CODICE IDENTIFICATIVO

Ordinatore

RIFERIMENTO PROGETTO

RIFERIMENTO DIRETTORIO

RIFERIMENTO ELABORATO

-

Codice Commessa	Lotto, Sub-Prog. Cod. Appalto	Fase	Capitolo	Paragrafo	WBS		PARTE D'OPERA	Tipo	Disciplina	Progressivo	Rev.	Ordinatore
					tipologia	progressivo						
111326	0000	PD	AU	PRS	GE000		00000	R	STD	0010	0	SCALA -



ENGINEERING COORDINATOR:

Ing. Fabio Serrau
Ord. Ingg. Bologna 6007/A

SUPPORTO SPECIALISTICO:

REVISIONE

n.	data
0	FEBBRAIO 2022

REDATTO:

VERIFICATO:

VISTO DEL COMMITTENTE



IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO
Ing. Stefano Storoni

VISTO DEL CONCEDENTE



Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
DIPARTIMENTO PER LE INFRASTRUTTURE, GLI AFFARI GENERALI ED IL PERSONALE
STRUTTURA DI VIGILANZA SULLE CONCESSIONARIE AUTOSTRADALI

Sommario

1	PREMESSA	2
1.1	DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI STRADALI	3
2	RIFERIMENTI NORMATIVI	8
3	CRITERI GENERALI DI PROGETTAZIONE E VERIFICA	9
3.1	TRACCIATI STRADALI	9
3.1.1	<i>Caratteristiche planimetriche</i>	10
3.1.2	<i>Diagramma delle velocità</i>	14
3.1.3	<i>Caratteristiche altimetriche</i>	15
3.1.4	<i>Coordinamento piano-altimetrico</i>	17
3.1.5	<i>Analisi di visibilità</i>	18
3.2	INTERSEZIONI	21
3.2.1	<i>Geometria degli elementi modulari delle rampe delle corsie specializzate</i>	22
3.2.2	<i>Criteri per il dimensionamento cinematico e funzionale delle corsie specializzate</i>	23
3.2.3	<i>Distanze di visibilità</i>	25
3.2.4	<i>Analisi funzionali</i>	25
4	DESCRIZIONE DEL PROGETTO STRADALE E ANALISI DI CONGRUENZA NORMATIVA	26
4.1	PRESENTAZIONE DELLE VERIFICHE PLANIMETRICHE	28
4.2	PRESENTAZIONE DELLE VERIFICHE ALTIMETRICHE	29
4.3	PRESENTAZIONE DELLE ANALISI DI VISIBILITÀ.....	30
4.4	TRACCIATI STRADALI	30
4.4.1	<i>Via Aposazza (Asse RP001)</i>	30
4.5	INTERSEZIONI	33
4.5.1	<i>Complanare est (Asse RS001)</i>	33
4.5.2	<i>Complanare ovest (Asse RS002)</i>	35
4.5.3	<i>Raccordo est 1 (Asse RS003)</i>	37
4.5.4	<i>Raccordo est 2 (Asse RS004)</i>	39
4.5.5	<i>Rampa est (Asse RS005)</i>	41
4.5.6	<i>Rampa ovest (Asse RS006)</i>	43

Indice delle Tabelle e delle Figure

FIGURA 1-1: INQUADRAMENTO TERRITORIALE	2
FIGURA 1-2: KEY-PLAN RS001	4
FIGURA 1-3: KEY-PLAN RS002	5
FIGURA 1-4: KEY-PLAN RS003-RS004-RS005-RS006-VIA APOSAZZA	7
TABELLA 3-1. RAGGI MINIMI PER CATEGORIA DI STRADA (DM2001)	10
FIGURA 3-1. ABACO DI KOPPEL (DM2001)	11
TABELLA 3-2. LUNGHEZZA MINIMA DEI RETTIFILI (DM2001)	12
TABELLA 3-3. PENDENZE LONGITUDINALI MASSIME PER CATEGORIA DI STRADA (DM2001)	15
TABELLA 3-4. VALORI DELLA DISTANZA DI RICOMPARSA IN FUNZIONE DELLA V_p (DM2001)	18
FIGURA 3-2. COSTRUZIONE GEOMETRICA PER LA VERIFICA DELLA DISTANZA DI RICOMPARSA (DM2001)	18
TABELLA 3-5. COEFFICIENTI DI ADERENZA LONGITUDINALE (DM2001)	19
FIGURA 3-3: SCHEMA PLANIMETRICO CORSIA DI ENTRATA	24
FIGURA 3-4: SCHEMA PLANIMETRICO CORSIA DI USCITA	25
FIGURA 4-1: SCHEMA PLANIMETRICO INTERVENTO	26
FIGURA 4-2: SEZIONE TIPO VIA APOSAZZA	27
FIGURA 4-3: SEZIONE TIPO RAMPA MONODIREZIONALE	27
FIGURA 4-4: AMPLIAMENTO BARRIERA DI ESAZIONE ESISTENTE	28
TABELLA 4-1. ESITI DELLE VERIFICHE PLANIMETRICHE SECONDO DM2001, LEGENDA	29
TABELLA 4-2. ORGANIZZAZIONE DELLE TABELLE DI PRESENTAZIONE DELLE VERIFICHE PLANIMETRICHE DEI TRACCIATI	29
TABELLA 4-3. ORGANIZZAZIONE DELLE TABELLE DI PRESENTAZIONE DELLE VERIFICHE ALTIMETRICHE DEI TRACCIATI	30
FIGURA 4-5: DIAGRAMMA VELOCITÀ ASSE RP001	31
TABELLA 4-6: VERIFICHE PLANIMETRICHE CON PROGRESSIVE CRESCENTI – ASSE RP001	32
TABELLA 4-7: VERIFICHE PLANIMETRICHE CON PROGRESSIVE DECRESCENTI – ASSE RP001	32
TABELLA 4-8: VERIFICHE ALTIMETRICHE CON PROGRESSIVE CRESCENTI - ASSE RP001	32
TABELLA 4-9: VERIFICHE ALTIMETRICHE CON PROGRESSIVE DECRESCENTI - ASSE RP001	32
FIGURA 4-10: DIAGRAMMA VELOCITÀ ASSE RS001	33
TABELLA 4-11: VERIFICHE PLANIMETRICHE CON PROGRESSIVE CRESCENTI – ASSE RS001	34
TABELLA 4-12: VERIFICHE ALTIMETRICHE CON PROGRESSIVE CRESCENTI - ASSE RS001	34
FIGURA 4-13: DIAGRAMMA VELOCITÀ ASSE RS002	36
TABELLA 4-14: VERIFICHE PLANIMETRICHE CON PROGRESSIVE CRESCENTI – ASSE RS002	36
TABELLA 4-15: VERIFICHE ALTIMETRICHE CON PROGRESSIVE CRESCENTI - ASSE RS002	37
FIGURA 4-16: DIAGRAMMA VELOCITÀ ASSE RS003	38
TABELLA 4-17: VERIFICHE PLANIMETRICHE CON PROGRESSIVE CRESCENTI – ASSE RS003	38
TABELLA 4-18: VERIFICHE ALTIMETRICHE CON PROGRESSIVE CRESCENTI - ASSE RS002	39
FIGURA 4-19: DIAGRAMMA VELOCITÀ ASSE RS004	40
TABELLA 4-20: VERIFICHE PLANIMETRICHE CON PROGRESSIVE CRESCENTI – ASSE RS004	40
TABELLA 4-21: VERIFICHE ALTIMETRICHE CON PROGRESSIVE CRESCENTI - ASSE RS004	40
FIGURA 4-22: DIAGRAMMA VELOCITÀ ASSE RS005	41
TABELLA 4-23: VERIFICHE PLANIMETRICHE CON PROGRESSIVE CRESCENTI – ASSE RS005	42
TABELLA 4-24: VERIFICHE ALTIMETRICHE CON PROGRESSIVE CRESCENTI - ASSE RS005	42
TABELLA 4-4. CORSIA SPECIALIZZATA DI DIVERSIONE DA RS001 PER RS005	42
TABELLA 4-5. CORSIA SPECIALIZZATA DI IMMISSIONE DA RS005 PER RP001	43
FIGURA 4-25: DIAGRAMMA VELOCITÀ ASSE RS006	44
TABELLA 4-26: VERIFICHE PLANIMETRICHE CON PROGRESSIVE CRESCENTI – ASSE RS006	44
TABELLA 4-27: VERIFICHE ALTIMETRICHE CON PROGRESSIVE CRESCENTI - ASSE RS005	44
TABELLA 4-6. CORSIA SPECIALIZZATA DI DIVERSIONE DA RP001 PER RS006	45
TABELLA 4-7. CORSIA SPECIALIZZATA DI IMMISSIONE DA RS006 PER RS002	45

1 PREMESSA

L'intervento in progetto rappresenta il collegamento dell'attuale carreggiata nord del sistema delle Tangenziali di Bologna con la via Aposazza mediante due nuove complanari all'autostrada A13. È inoltre previsto l'adeguamento della barriera di esazione esistente di Bologna Arcoveggio nei due sensi di marcia.



Figura 1-1: Inquadramento territoriale

Gli obiettivi primari seguiti per la progettazione dell'infrastruttura sono i seguenti:

- Interconnessione diretta tra il sistema di tangenziali e la periferia nord di Bologna;
- Alleggerimento di tratti e punti critici della viabilità locale;
- Creazione di una viabilità atta a drenare numerosi spostamenti gravanti sugli svincoli esistenti aumentando la permeabilità e la facilità di accesso alla rete viaria principale;
- Contributo alla razionalizzazione e fluidificazione degli spostamenti evitando o riducendo code e rallentamenti con significativi miglioramenti in relazione all'inquinamento ambientale;
- Qualificazione del servizio di supporto infrastrutturale offerto all'intera realtà produttiva Bolognese.

L'impatto territoriale dell'opera risulta decisamente contenuto avendo sfruttato, per la totalità del tracciato, la fascia territoriale direttamente contigua all'asse autostradale dell'A13.

1.1 DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI STRADALI

Il progetto è costituito dai seguenti interventi stradali:

Via Aposazza RP001

La via Aposazza esistente è ad unica carreggiata e doppio senso di circolazione.

La strada è interamente soggetta a intervento finalizzato sia a modificarne l'andamento planimetrico sia a riprofilarne l'altimetria.

Il tracciato planimetrico si estende per 572.6m e si raccorda alle estremità a due rotatorie esistenti. Il tracciato prevede la successione di 5 diverse curve aventi tutte raggio pari a R=1150m. Gli unici rettili sono presenti in prossimità della rotatoria ovest e del sottopasso autostradale.

Il profilo altimetrico prevede dall'inizio del tracciato per uno sviluppo di circa 175m una livelletta in discesa dello 0.70% in aderenza alla strada esistente. Un raccordo convesso di R=2100m che porta ad una livelletta in discesa al 1.97% segna l'inizio della modifica altimetrica della strada esistente. Ad esso segue un raccordo concavo di R=1470m che, superando i sottopassi sopra descritti, porta ad una livelletta in salita al 3.50%. L'ultima livelletta in salita allo 0.54% è raccordata alla precedente tramite raccordo convesso di R=5000m e riporta la strada di progetto in aderenza a quella esistente.

A fronte di un approfondimento medio di circa 40cm rispetto all'esistente, il franco stradale in corrispondenza degli allargamenti della A13 risulta sempre maggiore di 4.60m ed in corrispondenza delle strutture di progetto delle rampe dello svincolo di Aposazza risulta sempre maggiore di 5.00m.

Svincolo Aposazza - Rampa indiretta RS001

La Rampa indiretta RS001 è una strada di nuova progettazione ad unica carreggiata monodirezionale.

Il tracciato planimetrico si estende per 1178.2m e si raccorda all'inizio alla rampa di uscita dalla tangenziale nord di Bologna in direzione A13 e alla fine alla via Aposazza riprofilata. Il tracciato mantiene il parallelismo col sistema autostradale per circa 900m di sviluppo per poi staccarsi e dare luogo al cappio della rampa indiretta che termina con la corsia di scambio parallela a via Aposazza.

Il tracciato prevede la successione di 6 diverse curve aventi raggi compresi tra R=45m e R=165m con interposti raccordi clotoidici e rettili i cui dettagli sono riportati sulle tavole di progetto.

Il tracciato altimetrico prevede la successione di 13 livellette aventi valori compresi nell'intervallo -4.0% +2.4%; esse sono intervallate da raccordi verticali i cui raggi sono compresi tra R=900m e R=3000m i cui dettagli sono riportati sulle tavole di progetto. In corrispondenza della prog. 0+875 la rampa transita sopra al sottopasso su via Aposazza.

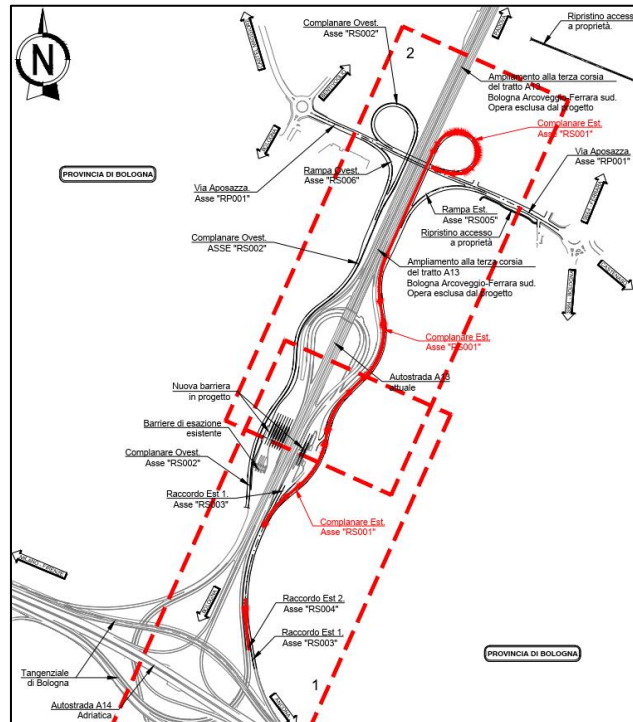


Figura 1-2: Key-plan RS001

Svincolo Aposazza - Rampa indiretta RS002

La Rampa indiretta RS002 è una strada di nuova progettazione ad unica carreggiata monodirezionale.

Il tracciato planimetrico si estende per 1444.0m e si raccorda all'inizio alla via Aposazza riprofilata e alla fine alla nuova rotonda su via Corazza non facente parte del presente progetto. Il tracciato mantiene il parallelismo col sistema autostradale per circa 1144 di sviluppo mentre per i 300 m circa iniziali si stacca per dare luogo al coppia della rampa indiretta che ha origine dalla corsia di scambio parallela a via Aposazza.

Il tracciato prevede la successione di 10 diverse curve aventi raggi compresi tra $R=15m$ e $R=233m$ con interposti raccordi clotoidici e rettifili i cui dettagli sono riportati sulle tavole di progetto.

Il tracciato altimetrico prevede la successione di 18 livellette aventi valori compresi nell'intervallo -4.0% $+2.4\%$; esse sono intervallate da raccordi verticali i cui raggi sono compresi tra $R=900m$ e $R=3000m$ i cui dettagli sono riportati sulle tavole di progetto. In corrispondenza della prog. $0+875$ la rampa transita sopra al sottopasso su via Aposazza.

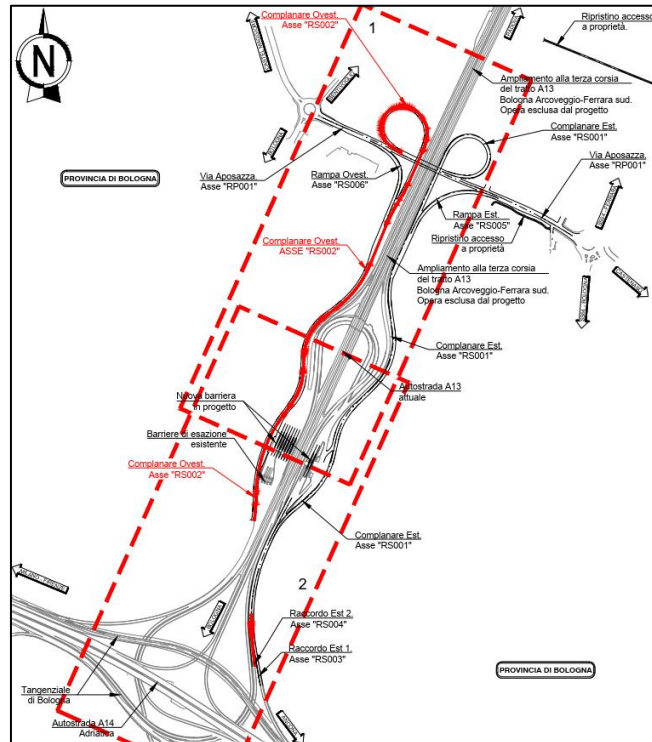


Figura 1-3: Key-plan RS002

Svincolo Aposazza - Rampa diretta RS003

La Rampa diretta RS003 è una strada esistente ad unica carreggiata con una corsia monodirezionale.

Il tracciato planimetrico si estende per 407.2m e si raccorda all'inizio alla rampa di uscita dalla tangenziale nord di Bologna in direzione A13 e alla fine al piazzale della barriera di esazione.

Il tracciato prevede la successione di 4 diverse curve aventi raggi compresi tra $R=250m$ e $R=708m$ con interposti raccordi clotoidici e rettili i cui dettagli sono riportati sulle tavole di progetto.

Il tracciato altimetrico prevede la successione di 6 livellette aventi valori compresi nell'intervallo -3.2% $+0.35\%$; esse sono intervallate da raccordi verticali i cui raggi sono compresi tra $R=2000m$ e $R=15000m$ i cui dettagli sono riportati sulle tavole di progetto.

Svincolo Aposazza - Rampa diretta RS004

La Rampa diretta RS004 è una strada esistente ad unica carreggiata con una corsia monodirezionale. Ai sensi del D.M. 05.11.2001 essa è una strada di servizio tipo D avente velocità di progetto compresa nell'intervallo 25-60 km/h. Le progressive di progetto sono crescenti nel senso di percorrenza da ovest verso est cioè dalla tangenziale diramazione ovest verso la barriera di esazione di Arcoveggio.

Il tracciato piano altimetrico ricalca pedissequamente quello esistente.

Il tracciato planimetrico si estende per 108.8m e si raccorda all'inizio alla rampa di uscita dalla tangenziale nord di Bologna in direzione A13 e alla fine al piazzale della barriera di esazione.

Il tracciato prevede una sola curva avente raggio $R=365.5m$ associata ad una clotoide ed un rettilo i cui dettagli sono riportati sulle tavole di progetto.

Il tracciato altimetrico prevede la successione di 3 livellette aventi valori compresi nell'intervallo -0.19% -1.61% ; esse sono intervallate da raccordi verticali i cui raggi sono compresi tra $R=600m$ e $R=2500m$ i cui dettagli sono riportati sulle tavole di progetto.

Svincolo Aposazza - Rampa diretta RS005

La Rampa diretta RS005 è una strada nuova ad unica carreggiata con una corsia monodirezionale.

Il tracciato planimetrico si estende per 223.2m e si raccorda all'inizio alla rampa RS001 dalla quale si diparte e alla fine alla via Aposazza riprofilata.

Il tracciato prevede una sola curva avente raggio $R=120.0m$ associata a due clotoidi e due rettifili i cui dettagli sono riportati sulle tavole di progetto.

Il tracciato altimetrico prevede la successione di 4 livellette aventi valori compresi nell'intervallo -3.0% $+3.2\%$; esse sono intervallate da raccordi verticali i cui raggi sono compresi tra $R=1000m$ e $R=3525m$ i cui dettagli sono riportati sulle tavole di progetto.

Svincolo Aposazza - Rampa diretta RS006

La Rampa diretta RS006 è una strada nuova ad unica carreggiata con una corsia monodirezionale.

Il tracciato planimetrico si estende per 213m e si raccorda all'inizio alla via Aposazza riprofilata e alla fine alla rampa RS002 sulla quale confluisce.

Il tracciato prevede la successione di 3 diverse curve aventi raggi compresi tra $R=50m$ e $R=1146m$ con interposti raccordi clotoidici e rettifili i cui dettagli sono riportati sulle tavole di progetto.

Il tracciato altimetrico prevede la successione di 3 livellette aventi valori compresi nell'intervallo -1.41% $+5.0\%$; esse sono intervallate da raccordi verticali i cui raggi sono compresi tra $R=1000m$ e $R=1060m$ i cui dettagli sono riportati sulle tavole di progetto.

Altri elementi progettuali

In corrispondenza della barriera di Arcoveggio in carreggiata Padova allo stato di fatto è presente un accesso di servizio per gli addetti al casello. Vista la configurazione della nuova rampa in stretto affiancamento al piazzale della barriera, tale accesso viene interdetto. Al fine di garantire la possibilità agli addetti di uscire dal sistema autostradale, è prevista in progetto una rampa a baionetta tra il piazzale e la nuova rampa.

In corrispondenza della barriera di esazione di Arcoveggio in carreggiata Bologna, a seguito della ricollocazione delle porte di pedaggio avanzate in direzione Bologna nella nuova posizione in linea con le altre, è previsto il locale allargamento del piazzale per facilitare la manovra di avvicinamento alla porta più esterna.

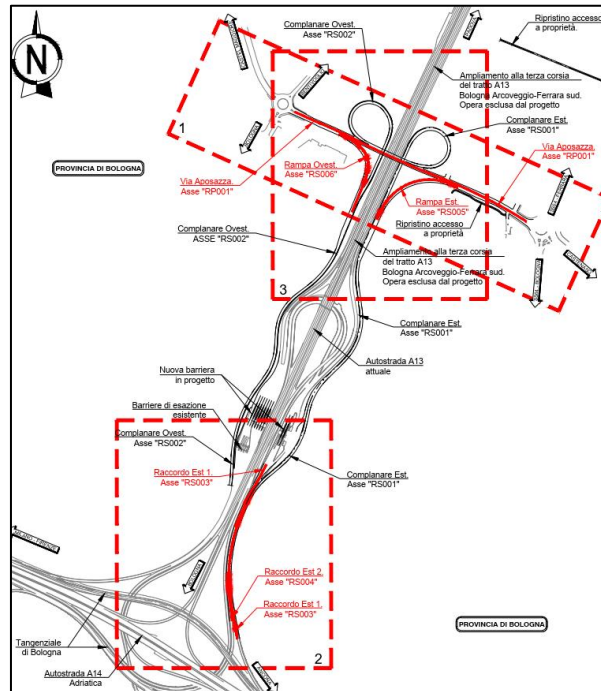


Figura 1-4: Key-plan RS003-RS004-RS005-RS006-Via Aposazza

2 RIFERIMENTI NORMATIVI

I principali riferimenti normativi relativamente agli aspetti stradali di tutte le infrastrutture in progetto sono:

- D.Lgs. 30/04/92, n. 285 e s.m.i.: “Nuovo Codice della Strada”;
- D.P.R. 16/12/1992 n. 495 e s.m.i.: “Regolamento di esecuzione e di attuazione del Codice della Strada”;
- D.M. 05/11/01, n. 6792 e s.m.i.: “Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade” (di solo riferimento nel caso di adeguamento di strade esistenti secondo il D.M. 22-04-04).
- D.M. 19/04/2006: “Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali” (di solo riferimento nel caso di adeguamento di intersezioni esistenti).
- D.M. 18/02/92, n. 223: “Regolamento recante istruzioni tecniche per la progettazione, l’omologazione e l’impiego delle barriere stradali di sicurezza”, così come recentemente aggiornato dal D.M. 21/06/04: “Aggiornamento delle istruzioni tecniche per la progettazione, l’omologazione e l’impiego delle barriere stradali di sicurezza”;

Il progetto è stato sviluppato coerentemente con quanto previsto dal DM n. 67/S del 22.04.2004 di modifica delle "Norme geometriche e funzionali per la costruzione delle strade" ed in attesa di una norma specifica per i progetti di adeguamento delle strade esistenti, prendendo a riferimento i criteri progettuali contenuti nella norma non cogente DM del 5.11.2001, prot. 6792.

Nella definizione delle soluzioni progettuali particolare attenzione è stata rivolta a non modificare l’impostazione generale della norma, cercando di conservare quelle disposizioni che possono avere implicazioni dirette sulla sicurezza stradale (ricependo quindi il principio ispiratore del “Nuovo codice della Strada” – contenuto nell’ Art. 1 – secondo il quale “Le norme e i provvedimenti attuativi si ispirano al principio della sicurezza stradale, perseguendo gli obiettivi di una razionale gestione della mobilità, della protezione dell’ambiente e del risparmio energetico”).

La normativa di riferimento utilizzata per il dimensionamento delle intersezioni è rappresentata dalle "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali" (D.M. 19.04.2006).

Per le intersezioni esistenti la suddetta norma è stata presa a riferimento laddove si è intervenuti a modificare le attuali geometrie cercando in ogni caso di volgere verso il rispetto delle prescrizioni in essa contenute dove questo era realmente possibile.

Gli assi stradali relativi all’ intervento in oggetto, sono stati così inquadrati secondo la classificazione prevista dalla normativa in particolare:

- rampe di svincolo per le quali i DM 5.11.2001 e DM 19.04.2006 risultano cogenti
- adeguamento della via Aposazza classificata come strada urbana di quartiere (categoria E) e per la quale il DM 5.11.2001 non risulta cogente ma è stato preso a riferimento.

Nel seguito sono descritte le caratteristiche stradali del progetto e illustrate le verifiche condotte.

3 CRITERI GENERALI DI PROGETTAZIONE E VERIFICA

Per tutti gli interventi per i quali i riferimenti normativi assumono cogenza di legge, i criteri progettuali descritti nel presente documento rappresentano una sintesi esplicativa delle istruzioni tecniche allegate al D.M. n. 6792 del 5/11/2001 (di seguito per semplicità DM2001) ed al D.M. 19/04/2006 (di seguito per semplicità DM2006).

Il progetto, in tutti i casi di cogenza normativa, è stato pertanto sviluppato nel pieno rispetto delle norme anche per gli aspetti non esplicitamente trattati all'interno del presente documento.

Per quanto attiene agli interventi per i quali la normativa è di riferimento, fermo restando che la progettazione ha comunque teso al pieno rispetto dei criteri previsti dal DM2001 e dal DM2006, il ricorso a soluzioni non conformi ai requisiti normativi è stato valutato caso per caso sulla base di condizioni specifiche vincolanti, quali il livello di urbanizzazione circostante, la sussistenza di problematiche geotecniche, strutturali e morfologiche, le eventuali ripercussioni di una modifica puntuale su porzioni estese di tracciato.

Laddove le condizioni vincolanti sopra richiamate sono state considerate quindi tali da non permettere il pieno adeguamento sono state previste in progetto misure specifiche in grado di garantire prestazioni ritenute adeguate in termini di sicurezza stradale (es. velocità di progetto mai inferiori a valori minimi come definiti in fase di impostazione) e performance omogenee per tratti estesi e caratterizzati da geometrie analoghe.

In ogni caso nel presente documento, laddove si siano adottate soluzioni progettuali non conformi ai criteri contenuti nelle normative di riferimento, esse sono puntualmente esplicitate, unitamente alle motivazioni che non hanno consentito la piena aderenza alle indicazioni di norma.

Per quanto attiene invece le prescrizioni del Codice della Strada queste, salvo ove esplicitamente previsto, sono state sempre considerate come strettamente vincolanti ai sensi di legge.

3.1 TRACCIATI STRADALI

Per quanto attiene alla progettazione degli assi stradali il più recente dispositivo normativo considerato per la progettazione è il D.M. n. 67/S del 22/04/2004¹ di modifica delle "Norme geometriche e funzionali per la costruzione delle strade". Tale decreto non interviene a modificare le istruzioni tecniche allegate al DM2001, bensì il suo campo di applicazione, in quanto ne modifica gli art. 2 e 3, stabilendo che lo stesso DM2001 si applica solo per la costruzione di nuovi tronchi stradali e non per gli interventi su strade esistenti.

Come stabilito dallo stesso D.M. n. 67/S del 22/04/2004 all'art. 4, fino all'emanazione di norme specifiche per gli interventi su strade esistenti, laddove il progetto ha riguardato l'adeguamento di strade esistenti, le soluzioni progettuali adottate caso per caso sono state definite in modo tale da garantire un innalzamento del livello di sicurezza complessivo dell'infrastruttura, come dimostrato anche all'interno della relazione di sicurezza di accompagnamento al progetto di adeguamento.

Ne consegue quindi che per il DM2001 si è considerato il seguente il campo di applicazione:

1. valore cogente per la progettazione di nuovi tronchi stradali (con le eccezioni di cui al punto 2. Seguente);
2. applicabilità a tutti i tipi di strade previste dal Codice della Strada, ad eccezione di:
 - strade di esclusivo uso militare
 - strade di montagna e/o collocate su terreni morfologicamente difficili
 - particolari tipologie di strade urbane (ad es. strade in zone residenziali)
 - strade locali extraurbane a destinazione particolare (strade agricole, forestali, consortili e simili)

Nota 1: pubblicato sulla GU n. 147 del 25-6-2004

3. non applicabilità ad interventi riguardanti la rettifica di strade esistenti per tratti di estesa limitata (art. 4) ed alle opere in corso ed a quelle per le quali, al momento della sua entrata in vigore, sia già stato redatto il progetto definitivo (art. 5);
4. con valore di riferimento per gli interventi su strade esistenti.

Oltre alle modifiche introdotte con l’emanazione del D.M. n. 67/S del 22/04/2004 sono state considerate nello sviluppo della progettazione anche le variazioni intervenute nel Codice della Strada (D. Lg.vo n. 285/92 e s.m.i.) ed in particolare quella rappresentata dal D. Lgs. N.9 del 15/1/2002, che limita a 110 km/h per strade di categoria A e a 90 km/h per strade di categoria B la velocità massima consentita in condizioni di precipitazioni atmosferiche, imponendo quindi una variazione nel comportamento che l’utente deve tenere.

Quest’ultima modifica non è stata comunque considerata sull’applicazione della norma, laddove questa assume valore di coerenza, mentre se ne è tenuto conto dove questa è di riferimento.

3.1.1 Caratteristiche planimetriche

Secondo quanto prescritto dalla normativa gli assi planimetrici sono stati sviluppati nel rispetto delle seguenti condizioni:

(a) Raggio minimo delle curve planimetriche

Per le curve circolari si sono utilizzati valori dei raggi superiori ai minimi previsti dal DM2001 per ciascuna categoria di strada, che risultano pari a:

TIPI CODICE	SECONDO IL	AMBITO TERRITORIALE	DENOMINAZIONE	RAGGIO MINIMO [m]
AUTOSTRADE (STRADE TIPO A)	Extraurbano	Strada principale Strada di servizio	339	45
			Urbano	Strada principale Strada di servizio
EXTRAURBANE PRINCIPALI (STRADE TIPO B)	Extraurbano	Strada principale Strada di servizio	178 45	
EXTRAURBANE SECONDARIE (STRADE TIPO C)	Extraurbano	Strada principale	118	
URBANE DI SCORRIMENTO (STRADE TIPO D)	Urbano	Strada principale	77	
		Strada di servizio	19	
URBANE DI QUARTIERE (STRADE TIPO E)	Urbano	Strada principale	51	
LOCALI (STRADE TIPO F)	Extraurbano	Strada principale	45	
	Urbano	Strada principale	19	

Tabella 3-1. Raggi minimi per categoria di strada (DM2001)

(b) Relazione raggio della curva (R)/lunghezza del rettilineo (L) che la precede

per $L < 300 \text{ m} \rightarrow R \geq L$

per $L \geq 300 \text{ m} \rightarrow R \geq 400 \text{ m}$

(c) Compatibilità tra i raggi di due curve successive

Nel caso di passaggio da curve di raggio più grande a curve a curve di raggio più piccolo, coerentemente con la metodologia di applicazione prevista dal DM2001, si è fatto riferimento all'abaco di Koppel come riportato in figura seguente:

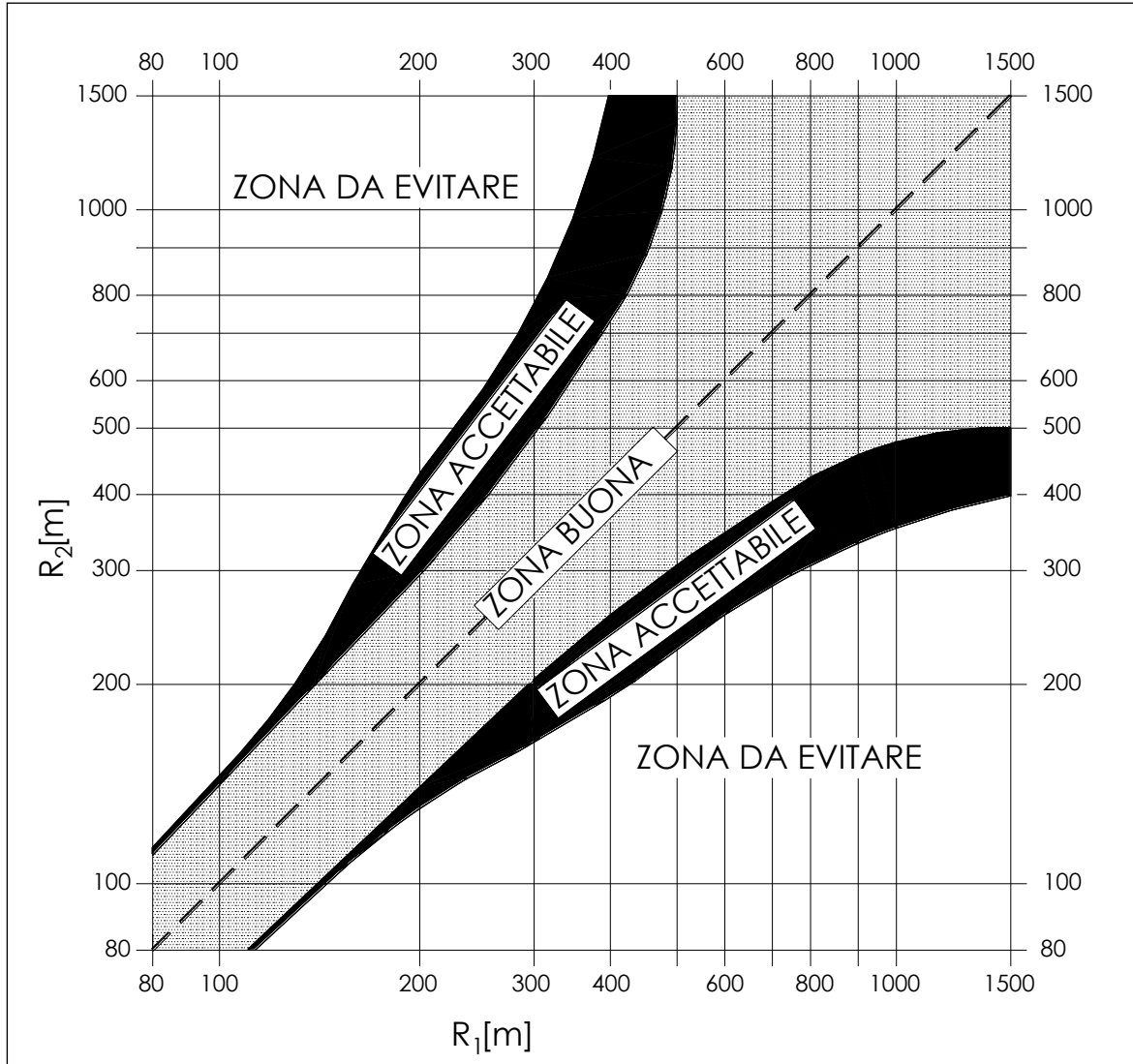


Figura 3-1. Abaco di Koppel (DM2001)

(d) Lunghezza massima dei rettili

Allo scopo di evitare il superamento delle velocità consentite, la monotonia, la difficile valutazione delle distanze e per ridurre l'abbagliamento nella guida notturna, i rettili sono stati dimensionati con una lunghezza L_r contenuta nel seguente limite:

$$L_{rmax} = 22 \cdot V_{p Max}$$

dove $V_{p Max}$ è la velocità massima dell'intervallo delle velocità di progetto, espressa in km/h ed L_{max} si ottiene in metri.

(e) Lunghezza minima dei rettifili

La lunghezza minima utilizzata per i rettifili, per consentirne la corretta percezione da parte dell'utente, è stata fissata coerentemente con i valori riportati nella tabella seguente (interpolando linearmente per i valori intermedi); per V_p si intende la massima desunta dal diagramma di velocità per il rettifilo considerato.

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

Tabella 3-2. Lunghezza minima dei rettifili (DM2001)

(f) Lunghezza minima delle curve circolari

Lo sviluppo minimo delle curve circolari, per consentirne la corretta percezione da parte degli utenti, è stata stabilito garantendo una percorrenza di almeno 2.5 s e quindi con uno sviluppo minimo pari a:

$$L_{c,min} = 2.5 \cdot v_p$$

con v_p in m/s ed $L_{c,min}$ in m.

(g) Verifica del parametro A degli elementi a curvatura variabile (clotoidi)

Criterio 1: Limitazione del contraccolpo

Allo scopo di garantire lungo un arco di clotoide una graduale variazione dell'accelerazione trasversale non compensata nel tempo (contraccolpo), fra il parametro A e la massima velocità V (km/h), desunta dal diagramma di velocità, per l'elemento di clotoide è stata verificata la relazione:

$$A_{min} = \sqrt{\frac{v^3}{c} - \frac{g v R \cdot (q_f - q_i)}{c}}$$

dove:

- c = contraccolpo
- v = massima velocità (m/s), desunta dal diagramma di velocità per l'elemento di clotoide considerato
- q_i = pendenza trasversale nel punto iniziale della clotoide
- q_f = pendenza trasversale nel punto finale della clotoide
- g = accelerazione di gravità

Ponendo $c = \frac{14}{v(m/s)} = \frac{50.4}{V(km/h)}$ si ottiene:

$$A_{min} = \sqrt{\frac{v^4}{14} - \frac{g \cdot v^2 R \cdot (q_f - q_i)}{14}} = \frac{v}{\sqrt{14}} \sqrt{v^2 - g \cdot R \cdot (q_f - q_i)}$$

che, esprimendo la velocità in km/h diviene:

$$A_{min} = \frac{V}{3.6 \cdot \sqrt{14}} \sqrt{\frac{V^2}{12.96} - g \cdot R \cdot (q_f - q_i)}$$

Criterio 2: Sovrapendenza longitudinale delle linee di estremità della carreggiata

Nelle sezioni di estremità di un arco di clotoide la carreggiata stradale presenta differenti pendenze trasversali, che vanno raccordate longitudinalmente, introducendo una sovrappendenza nelle linee di estremità della carreggiata rispetto alla pendenza dell'asse di rotazione. Nel caso in cui il raggio iniziale sia di valore infinito (rettilineo o punto di flesso), il parametro A è stato dimensionato per verificare la seguente disuguaglianza:

$$A \geq A_{\min} = \sqrt{\frac{R}{\Delta i_{\max}} \cdot 100 \cdot B_i \cdot |q_i - q_f|}$$

dove:

- B_i = distanza fra l'asse di rotazione ed il ciglio della carreggiata nella sezione iniziale della curva a raggio variabile
- Δi_{\max} (%) = sovrappendenza longitudinale massima della linea costituita dai punti che distano B_i dall'asse di rotazione; in assenza di allargamento tale linea coincide con l'estremità della carreggiata
- $q_i = \frac{i_{ci}}{100}$ dove i_{ci} = pendenza trasversale iniziale
- $q_f = \frac{i_{cf}}{100}$ con i_{cf} = pendenza trasversale finale
- $|q_i - q_f|$ = valore assoluto della somma delle pendenze trasversali

Nel caso di curve di continuità il medesimo criterio diventa:

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

Criterio 3: Rapporti ottici

Per garantire la percezione ottica del raccordo e del successivo cerchio il parametro A è stato dimensionato per verificare la seguente relazione:

$$\frac{R}{3} \leq A \leq R$$

che, nel caso di clotoidi di continuità, diventa:

$$\frac{R_i}{3} \leq A \leq R_x$$

dove R_x è il raggio minore ed R_i il raggio maggiore dei due cerchi raccordati con la clotoide di continuità.

Oltre ai criteri precedentemente descritti si è proceduto alla verifica del rapporto A_E/A_U delle due clotoidi in ingresso e in uscita da una curva circolare e del rapporto A_1/A_2 tra due clotoidi in un flesso asimmetrico, secondo quanto prescritto dal DM2001:

$$\frac{2}{3} \leq \frac{A_E}{A_U} \leq \frac{3}{2} \quad \text{ovvero} \quad \frac{2}{3} \leq \frac{A_1}{A_2} \leq \frac{3}{2}$$

3.1.2 Diagramma delle velocità

La sequenza degli elementi geometrici dei tracciati è stata costruita in modo tale che:

- per $V_p^{\max} \geq 100$ km/h, nel passaggio da tratti caratterizzati dalla V_p^{\max} a curve a velocità inferiore, la differenza di velocità di progetto non superi i 10 km/h. Inoltre, fra due curve successive, nel caso di $V_{p1} > V_{p2}$, tale differenza è stata sempre contenuta entro i 20 km/h, e, ove possibile, entro i 15 km/h.
- per $V_p^{\max} \leq 80$ km/h, nel passaggio da tratti caratterizzati dalla V_p^{\max} a curve a velocità inferiore, la differenza di velocità di progetto non superi i 5 km/h. Inoltre, fra due curve successive, nel caso di $V_{p1} > V_{p2}$, tale differenza è stata sempre contenuta entro i 20 km/h, e, ove possibile, entro i 10 km/h.

La costruzione del diagramma di velocità lungo l'asse stradale è stata quindi effettuata secondo quanto prescritto dal DM 2001 e di seguito riportato.

- la velocità è mantenuta costante lungo lo sviluppo delle curve con raggio inferiore a $R_{2.5}$;
- la velocità varia crescendo verso la velocità massima dell'intervallo di progetto lungo i rettili, le clotoidi e gli archi con raggio non inferiore a $R_{2.5}$;
- il valore di accelerazione e decelerazione è pari a 0.8 m/s^2 ;
- la pendenza longitudinale non influenza la velocità di progetto.

Si è infine curato affinché la distanza di transizione (D_T) conseguente ad una riduzione di velocità come definita dal DM2001 risulti sempre:

- inferiore alla distanza di riconoscimento (D_r)
- inferiore alla distanza di visuale libera (D_v) nel tratto che precede la curva circolare (generalmente pari alla distanza di visuale libera per l'arresto, garantita lungo lo sviluppo del tracciato).

Inoltre, rispetto a quanto esplicitamente trattato dal DM2001, che per la costruzione del diagramma di velocità considera la sola geometria planimetria degli assi di piena linea, si sono considerati i seguenti elementi di vincolo convenzionalmente definiti:

- in attestamento alle intersezioni a rotatoria, la velocità degli assi in esse convergenti è convenzionalmente fissata a 30 km/h; il vincolo è ubicato in corrispondenza della segnaletica esterna della rotatoria;
- in caso di attestamenti regolati con "dare precedenza" ed intersezioni semaforizzate la velocità degli assi in esse convergenti è convenzionalmente fissata a 30 km/h; il vincolo è ubicato in corrispondenza della segnaletica orizzontale d'arresto;
- in caso di attestamenti regolati con "STOP" la velocità degli assi in esse convergenti è convenzionalmente fissata a 0 km/h; il vincolo è ubicato in corrispondenza della segnaletica orizzontale d'arresto;
- piazzali di esazione: si considerano alternativamente o un vincolo a 0 km/h (fermata per pagamento) o a 30 km/h (passaggio corsia TELEPASS) in funzione della situazione da verificare; il vincolo è convenzionalmente ubicato in asse stazione;
- circolazione interna nelle aree di servizio o di parcheggio: 40 km/h.

3.1.3 Caratteristiche altimetriche

Secondo quanto prescritto dalla normativa, i tracciamenti altimetrici sono stati sviluppati nel rispetto delle seguenti condizioni:

(a) Pendenze longitudinali massime

Le livellette sono sempre state contenute entro i valori di pendenza massima, riepilogati nella seguente tabella per ciascuna categoria di strada, oltreché per le relative strade di servizio (ove previste):

CATEGORIE DI STRADE	AMBITO TERRITORIALE	PENDENZA MASSIMA
AUTOSTRADE (STRADE TIPO A)	Extraurbano	5%
	Urbano	6%
EXTRAURBANE PRINCIPALI (STRADE TIPO B)	Extraurbano	6%
EXTRAURBANE SECONDARIE (STRADE TIPO C)	Extraurbano	7%
URBANE DI SCORRIMENTO (STRADE TIPO D)	Urbano	6%
URBANE DI QUARTIERE (STRADE TIPO E)	Urbano	8%
LOCALI (STRADE TIPO F)	Extraurbano	10%
	Urbano	10%

Tabella 3-3. Pendenze longitudinali massime per categoria di strada (DM2001)

Si è comunque tenuto conto della possibilità di aumentare i suddetti valori di una unità per tratte di estesa limitata e qualora risulti che lo sviluppo delle livellette sia tale da non penalizzare eccessivamente la circolazione in termini di riduzione delle velocità e della qualità del deflusso.

Si è inoltre tenuta in considerazione l'opportunità, come richiamata dal DM2001, di limitare la pendenza longitudinale in galleria per le strade di tipo A, B e D al valore massimo del 4%, fatti salvi gli eventuali e più stringenti requisiti derivanti dall'applicazione della normativa vigente specifica per la gestione della sicurezza in galleria (es. D. Lg.vo n. 264 del 5/10/2006).

(b) Raccordi verticali convessi

In base a quanto indicato dalla norma il raggio minimo dei raccordi verticali convessi (dossi) è stato determinato come di seguito:

Ai fini delle distanza di visibilità:

- se D (distanza di visuale libera da garantire) è inferiore allo sviluppo L del raccordo si ha:

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

- se invece D è maggiore di L si ha:

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

dove:

- R_v = raggio del raccordo verticale convesso [m]
- D = distanza di visibilità da garantire in funzione della specifica situazione progettuale [m]
- Δi = variazione di pendenza delle due livellette, espressa in percento
- h_1 = altezza del punto di vista, rappresentativo della posizione dell'occhio del conducente [m]
- h_2 = altezza del punto di mira da trapiandare [m]

Ponendo normalmente $h_1 = 1.1$ m come punto di vista del guidatore.

In caso di dimensionamento atto a garantire la visibilità per l'arresto di un veicolo si è posto $h_2 = 0.1$ m (punto di mira rappresentativo di un ostacolo fisso posto sul piano viabile) per l'intero sviluppo del tracciato.

In caso di dimensionamento atto a garantire la visibilità per il sorpasso si è posto $h_2 = 1.1$ m (punto di mira rappresentativo di un altro veicolo sopraggiungente nella direzione opposta a quella di marcia). Come previsto dal DM2001 l'esito della verifica deve essere tale da garantire in ambito extraurbano almeno il 30% (anche cumulato tra vari tratti) di visuale libera lungo un itinerario nel suo complesso, mentre non sussistono particolari condizioni da soddisfare in ambito urbano.

In caso di dimensionamento atto a garantire la visibilità per il cambio corsia si è posto $h_2 = 0.0$ m (punto di mira rappresentativo della segnaletica orizzontale); la condizione deve essere soddisfatta solo in presenza di corsie specializzate di uscita o di diramazioni di linea.

Per la metodologia di calcolo relativa a ciascuna specifica situazione progettuale si faccia riferimento anche a quanto riportato al successivo capitolo "Analisi di visibilità".

Oltre a quanto sopra si è provveduto, ai sensi della norma, a dimensionare i raccordi anche rispetto al comfort di guida, derivante dalle accelerazioni verticali indotte in percorrenza dei raccordi (oltreché per garantire costanza di aderenza degli pneumatici), secondo la seguente relazione:

$$a_v = \frac{v_p^2}{R_v} \leq a_{lim}$$

dove:

- v_p = velocità di progetto della curva, desunta puntualmente dal diagramma delle velocità [m/s]
- R_v = raggio del raccordo verticale [m]
- a_v = accelerazione verticale in percorrenza del raccordo [m/s²]

- a_{lim} = accelerazione limite accettabile, pari a 0.6 m/s^2

Risolvendo l'equazione rispetto a R_v viene quindi determinato il valore minimo accettabile del raggio del raccordo verticale affinché non venga superata l'accelerazione limite ammessa dalla norma.

È stato infine considerato anche il minimo geometrico imposti dalla norma per evitare il contatto del veicolo con la strada ($R_v \geq 20\text{m}$).

(c) Raccordi verticali concavi

In base a quanto indicato dalla norma il raggio minimo dei raccordi verticali concavi (sacche) è stato determinato come di seguito:

- se D (distanza di visuale libera da garantire) è inferiore allo sviluppo L del raccordo si ha:

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

- se invece D è maggiore di L si ha:

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

dove:

- R_v = raggio del raccordo verticale concavo [m]
- D = distanza di visibilità per l'arresto di un veicolo di fronte ad un ostacolo fisso [m].
- Δi = variazione di pendenza delle due livellette [%]
- h = altezza del centro dei fari del veicolo sul piano stradale, convenzionalmente pari a 0.5 m
- ϑ = massima divergenza verso l'alto del fascio luminoso rispetto l'asse del veicolo, convenzionalmente pari a 1° .

Anche in questo caso, trattandosi di verifica relativa alla distanza per l'arresto, la verifica è stata eseguita lungo l'intera estesa del tracciato.

Infine, analogamente a quanto detto sopra per i raccordi convessi, anche per i raccordi concavi si è tenuto conto nel dimensionamento delle condizioni di comfort imposte dalla norma e del minimo geometrico necessario per evitare il contatto del veicolo con la sede stradale ($R_v \geq 40\text{m}$).

3.1.4 Coordinamento plano-altimetrico

Il DM2001 stabilisce che sia opportuno evitare in tratti con andamento planimetrico sinuoso cambiamenti di pendenza longitudinale; laddove questo non sia possibile in ragione dei vincoli al tracciamento, allo scopo di mitigare mascheramenti di tracciato e distorsioni del quadro prospettico complessivo, si è agito in generale nella progettazione plano-altimetrica dei tracciati:

- definendo in maniera il più possibile coordinata posizione e successione degli elementi planimetrici ed altimetrici, secondo le strategie suggerite dalla norma allo scopo di migliorare complessivamente il quadro prospettico;

- cercando di incrementare il più possibile i valori dei raggi verticali R_v dei raccordi almetrici oltre i minimi necessari a garantire le distanze di visuale libera; questo, in particolare, per quanto riguarda i raccordi convessi (dossi), nel caso in cui sottendano tratti in curva collocati sulla sommità, e per i raccordi concavi (sacche), nel qual caso la qualità ottica viene migliorata incrementando il valore del raggio verticale R_v fino ad un valore ideale pari 6 volte il raggio R della curva planimetrico interferente.

Per quanto riguarda il tema della perdita di tracciato con riferimento alle distanze riportate nella tabella del DM2001, capitolo 5.5.3:

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 3-4. Valori della distanza di ricomparsa in funzione della V_p (DM2001)

ed alla relativa costruzione geometrica di verifica cui alla figura seguente:

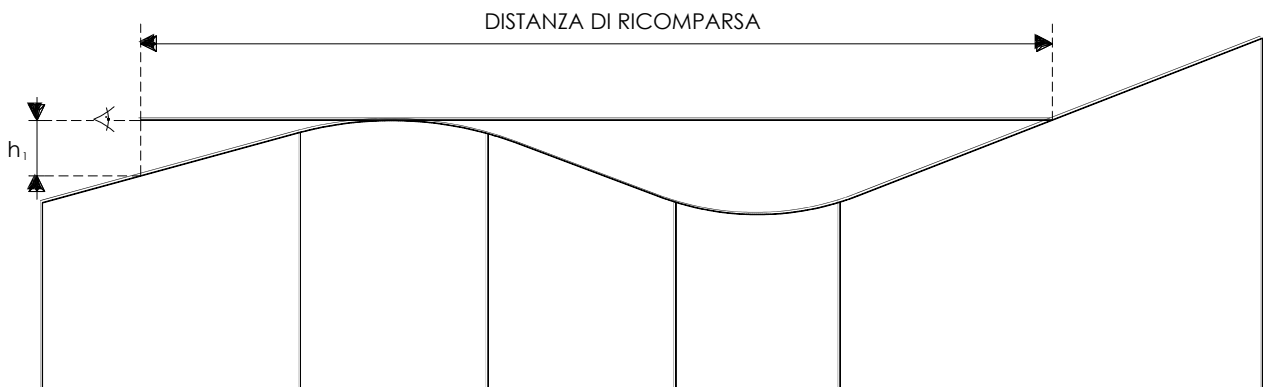


Figura 3-2. Costruzione geometrica per la verifica della distanza di ricomparsa (DM2001)

il tracciamento almetrico degli assi è stato costruito in modo da evitare che la strada ricompaia in vista all'utente, posto il punto di vista h_1 ad 1.1 m dal piano viabile, ad una distanza inferiore alla distanza di ricomparsa stessa.

3.1.5 Analisi di visibilità

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. In relazione al tipo di strada di progetto, caratterizzata o da una unica carreggiata o a doppio senso di marcia, tale valore viene poi confrontato con la distanza di arresto, cambio corsia o di sorpasso.

In esito alle analisi di visibilità si sono quindi adottati specifici accorgimenti di tracciamento plano-altimetrico e di organizzazione della piattaforma (allargamenti pavimentati in extra banchina) e/o degli elementi marginali allo scopo di garantire adeguate condizioni di visibilità, arretrando/eliminando gli ostacoli eventualmente presenti; in questo senso si sono considerati come ostacoli per la visibilità tutti

quegli elementi schermanti che rappresentino una interferenza rispetto ad una continua e diretta visione da parte dell'utenza purché aventi una massima dimensione planimetrica superiore a 0.8 m. In generale quindi, fatti salvi casi particolari eventualmente esplicitati, le barriere di sicurezza sono state intese come ostacolo per la visibilità mentre non si sono considerati i supporti per la segnaletica, pali di illuminazione e simili.

(a) Visuale libera per l'arresto

Secondo quanto prescritto dal DM2001, la distanza di visuale libera per l'arresto deve essere garantita per l'intero sviluppo di un tracciato poiché essa assicura lo spazio minimo necessario perché un conducente possa arrestare il veicolo in condizione di sicurezza davanti ad un ostacolo imprevisto.

La verifica consiste quindi nel confrontare la distanza necessaria per l'arresto con la distanza di visuale libera corrispondente secondo i criteri definiti dalla normativa.

Le distanze di arresto sono calcolate in funzione del diagramma di velocità e dell'andamento altimetrico (variazione della pendenza longitudinale).

Il valore di aderenza adottato nel calcolo delle distanze di arresto è quello proposto dal DM 2001 (e precisati nello stesso testo della norma stessa, vedi anche tabella seguente).

VELOCITÀ [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	-

Tabella 3-5. Coefficienti di aderenza longitudinale (DM2001)

I valori di f_i maggiori vengono utilizzati solo per le autostrade e le strade extraurbane principali in considerazione del fatto che, su tali tipologie di vie, caratterizzate da standard geometrici elevati e piani viabili di qualità, adeguatamente mantenuti nel tempo, l'utente tende ad impegnare l'aderenza disponibile in misura maggiore (indipendentemente dall'utilizzo di asfalto drenante o meno).

Per il calcolo è stata utilizzata la formula riportata al capitolo 5.1.2 del DM2001. Si è valutata la distanza di arresto punto per punto in funzione della velocità di progetto (secondo quanto specificato in precedenza) e della pendenza longitudinale con la seguente espressione:

$$D_A = D_1 + D_2 = \frac{V_0}{3.6} \cdot \tau - \frac{1}{3.6^2} \cdot \int_{V_0}^{V_1} \frac{V}{g \cdot \left[f_i(V) \pm \frac{i}{100} \right] + \frac{R_a(V)}{m} + r_o(V)} dV \quad [m]$$

dove:

- D₁ = spazio percorso nel tempo τ
- D₂ = spazio di frenatura
- V₀ = velocità del veicolo all'inizio della frenatura [km/h]
- V₁ = velocità finale del veicolo, in cui V₁ è pari a 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_i = quota limite del coefficiente di aderenza impegnabile longitudinalmente per la frenatura

- r_0 = resistenza unitaria al rotolamento, trascurabile [N/kg]

Per il tempo complessivo di reazione si sono assunti valori linearmente decrescenti con la velocità da 2.6 s per 20 km/h a 1.4 s per 140 km/h, in considerazione della attenzione più concentrata alle alte velocità:

$$\tau = (2.8 - 0.01 \cdot V) \text{ [s]} \quad \text{con } V \text{ in km/h}$$

In analogia a quanto già stabilito per il dimensionamento dei raccordi verticali convessi si pone quindi il $h_1 = 1.1$ come punto di vista del guidatore ed $h_2 = 0.1$ m come punto di mira rappresentativo di un ostacolo fisso posto sul piano viabile; si riguarda quindi dall'asse di marcia di ciascuna corsia verso l'asse di marcia della corsia stessa per l'intero sviluppo del tracciato.

Occorre precisare che, solo in caso di DM2001 non cogente e solo per strade di categoria A "Autostrade" e B "Extraurbane principali", per cui il Codice della Strada (Art. 142) contempla specifiche limitazioni di velocità in condizioni di pioggia (110 km/h e 90 km/h rispettivamente), l'analisi di visibilità per l'arresto in condizioni di pavimentazione bagnata (utilizzando cioè i coefficienti di aderenza previsti dal DM2001) è stata effettuata considerando coerentemente un limite superiore della velocità ammissibile di verifica rispettivamente di 120 km/h per le Autostrade e 100 km/h per le Extraurbane principali.

In questi casi specifici, per completezza di verifica, il calcolo delle distanze di arresto è stato quindi integrato sviluppando anche un'analisi in condizioni di pavimentazione asciutta, considerando cioè che il tracciato sia percorso alla velocità di progetto, secondo il diagramma delle velocità, fino ai valori massimi previsti dal DM2001, adottando però valori di aderenza su pavimentazione asciutta. Per questi ultimi, non essendo esplicitamente indicati dal DM2001, si è fatto ricorso a valori reperibili in letteratura ed in particolare ai dati sperimentali del progetto VERT, finanziato dalla UE nel periodo 1999-2001, nell'ambito del progetto Brite Euram BRPR-CT97-0461. Analizzando i dati disponibili di misure su superficie asciutta effettuate durante progetto VERT dai laboratori del CETE francese e del VTI svedese, è stato ottenuto un valore medio cautelativo di aderenza a ruota bloccata di 0.70, sostanzialmente costante al variare della velocità ed indipendente dalle caratteristiche di tessitura dei piani viabili.

In tutti gli altri casi il calcolo della distanza di arresto è stato svolto invece integralmente secondo la metodologia prevista dal DM2001, facendo riferimento al diagramma delle velocità di progetto definitivo per ciascun asse.

(b) Visuale libera per il sorpasso

In questo caso si confronta la distanza di visuale libera con la distanza di visibilità per il sorpasso, quale lunghezza del tratto di strada occorrente per compiere una manovra di completo sorpasso in sicurezza, quando non si possa escludere l'arrivo di un veicolo in senso opposto.

Le distanze di sorpasso sono calcolate in funzione del diagramma di velocità con la seguente formula riportata al capitolo 5.1.3 del DM2001:

$$D_s = 20 \cdot v = 5.5 \cdot V \text{ [m]}$$

Dove v (m/s) oppure V (km/h) è la velocità di progetto desunta puntualmente dal diagramma della velocità ed attribuita uguale sia per il veicolo sorpassante che per il veicolo proveniente dal senso opposto.

In questo caso per la la verifica si pone sempre $h_1 = 1.1$ m come punto di vista del guidatore ed $h_2 = 1.1$ m (punto di mira rappresentativo di un altro veicolo sopraggiungente nella direzione opposta a quella di marcia). La verifica viene quindi effettuata traguardando dall'asse di marcia l'asse di marcia nel senso opposto.

Come previsto dal DM2001 l'esito della verifica deve essere tale da garantire in ambito extraurbano almeno il 20% (anche cumulato tra vari tratti) di visuale libera lungo un itinerario nel suo complesso, mentre non sussistono particolari condizioni da soddisfare in ambito urbano.

(c) Visuale libera per cambio di corsia

Le distanze per effettuare la manovra di cambiamento di corsia sono calcolate sempre in funzione del diagramma di velocità con la seguente formula riportata al capitolo 5.1.4 del DM2001:

$$D_c = 9.5 \cdot v = 2.6 \cdot V \quad [\text{m}]$$

dove v (m/s) oppure V (km/h) è la velocità di progetto desunta puntualmente dal diagramma della velocità.

In questo caso per la la verifica si pone sempre $h_1 = 1.1$ m ed $h_2 = 0.0$ m, punto di mira rappresentativo della segnaletica orizzontale, traguardando da asse di marcia verso la segnaletica orizzontale della corsia specializzata di uscita, per l'intero tratto sotteso da riga tratteggiata; la verifica viene quindi effettuata solo in presenza delle corsie specializzate (o di diramazioni di linea) e solo in presenza di due o più corsie per senso di marcia, a partire dall'asse della corsia adiacente a quella accanto a cui è inserita la corsia specializzata.

3.2 INTERSEZIONI

Per quanto attiene alla progettazione delle intersezioni, il campo di applicazione considerato per il D.M. 19/04/2006 "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali", secondo quanto precisato all'art.2 della norma stessa, è il seguente:

1. cogente per la progettazione di nuove intersezioni
2. non applicabile ad intersezioni in corso di realizzazione ed a quelle per le quali, al momento della sua entrata in vigore, sia già stato redatto il progetto definitivo, ovvero il progetto preliminare nel caso di opere inserite nei programmi della legge n. 443 del 21 dicembre 2001
3. con valore di riferimento per l'adeguamento di intersezioni esistenti ("nel caso di interventi di adeguamento di intersezioni esistenti le norme allegate costituiscono il riferimento cui la progettazione deve tendere")
4. con valore di riferimento per la progettazione degli accessi di nuova realizzazione ("le norme allegate costituiscono altresì il riferimento cui la progettazione deve tendere per gli accessi di nuova realizzazione, nelle more dell'emanazione di una specifica norma"), fermo restando comunque quanto stabilito in materia dal Codice della Strada e dal suo Regolamento di attuazione.

La progettazione delle intersezioni è stata condotta con particolare riferimento ai seguenti aspetti della progettazione stradale:

- Geometria degli elementi modulari delle rampe delle corsie specializzate.
- Dimensionamento cinematico e funzionale delle corsie specializzate.

- Distanze di visibilità per l'arresto.

3.2.1 Geometria degli elementi modulari delle rampe delle corsie specializzate

Il progetto delle rampe di svincolo è stato eseguito con riferimento al DM 19/04/2006, adottando quindi le prescrizioni indicate per intersezioni di tipo II (livello sfalsati) con intervallo di velocità di progetto 40-60 km/h.

Con riferimento alla geometria degli elementi modulari delle rampe, secondo quanto previsto esplicitamente nella norma in oggetto e facendo anche riferimento ai rimandi che questa fa al D.M. 5/11/2001 "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", la progettazione ha garantito il rispetto dei parametri minimi dei seguenti elementi piano altimetrici:

- raggi minimi planimetrici;
- parametri minimi e massimi delle clotoidi;
- pendenze longitudinali massime;
- raccordi verticali convessi;
- raccordi verticali concavi;
- larghezze degli elementi modulari;

(a) Raggio minimo delle curve planimetriche.

Le curve circolari garantiscono raggi superiori al raggio minimo previsto dal DM 19/04/2006 che risulta funzione della velocità minima dell'intervallo di progetto (vedi tabella seguente).

Velocità di progetto minima	(km/h)	30	40	50	60	70	80
Raggio planimetrico minimo	(m)	25	45	75	120	180	250

(b) Parametro A degli elementi a curvatura variabile (Clotoidi)

Per l'inserimento di curve a raggio variabile, il progetto delle rampe rispetta i criteri contenuti nel D.M. 5/11/2001 relativi agli assi stradali.

(c) Pendenze longitudinali massime

La pendenza massima delle livellette considerata in funzione della velocità di progetto è quella riportata in tabella seguente.

Velocità di progetto minima	(km/h)	30	40	50	60	70	80
Pendenza massima in salita	(%)	10	7.0		5.0		
Pendenza massima in discesa	(%)	10	8.0		6.0		

(d) Raccordi verticali convessi

Per la verifica dei raccordi verticali convessi si è fatto riferimento ai criteri contenuti nel DM2001 e si rimanda al capitolo precedente relativo alla progettazione degli assi stradali.

(e) Raccordi verticali concavi

Per la verifica dei raccordi verticali concavi si è fatto riferimento ai criteri contenuti nel DM2001 e si rimanda al capitolo precedente relativo alla progettazione degli assi stradali.

(f) Larghezza degli elementi modulari

Per quanto riguarda le larghezze degli elementi modulari si è fatto riferimento alle indicazioni contenute alla tabella 9 del paragrafo 4.7.3 del DM2006.

Per quanto riguarda le larghezze degli elementi modulari delle rampe di progetto di nuova realizzazione si rimanda alle sezioni tipo contenute nell'elaborato di sezioni tipo.

Tali sezioni tipologiche di progetto rappresentano la sintesi delle indicazioni contenute nella Tabella 9 del paragrafo 4.7.3 del D.M. 19/04/2006 che, relativamente al caso di strade extraurbane, fornisce le indicazioni sulle larghezze minime da adottarsi come riportato nella seguente tabella:

Strade extraurbane				
elemento modulare	Tipo di strada principale	Larghezza corsie (m)	Larghezza banchina in destra (m)	Larghezza banchina in sinistra (m)
Corsie specializzate di uscita e di immissione	A	3.75	2.50	-
	B	3.75	1.75	-
Rampe monodirezionali	A	1 corsia: 4.00	1.00	1.00
		2 corsie: 2 x 3.50		
	B	1 corsia: 4.00	1.00	1.00
		2 corsie: 2 x 3.50		
Rampe bidirezionali	A	1 corsia: 3.50	1.00	-
	B	1 corsia: 3.50	1.00	-

3.2.2 Criteri per il dimensionamento cinematico e funzionale delle corsie specializzate

Nel progetto in esame è presente una sola corsia di immissione in corrispondenza dello svincolo S1 – Raccordo Ovest S.C. Bellaria.

Nel dimensionamento delle corsie specializzate sono stati considerati sia gli aspetti di carattere geometrico e cinematico (tratti di manovra e raccordo, tratti di decelerazione ed accelerazione) sia gli aspetti funzionali.

Corsie di immissione (o di entrata)

Per quanto riguarda la composizione dei tratti geometrici lungo i quali va compiuta l'intera manovra di immissione si prevede di considerare la corsia di immissione composta dai seguenti tratti:

- Tronco di accelerazione L_A (per la quale è richiesto un dimensionamento cinematico);
- Tronco di immissione L_{IMM} (per la quale è richiesto un dimensionamento funzionale);
- Tronco di raccordo L_R (per la quale è richiesto un dimensionamento con criteri geometrici).

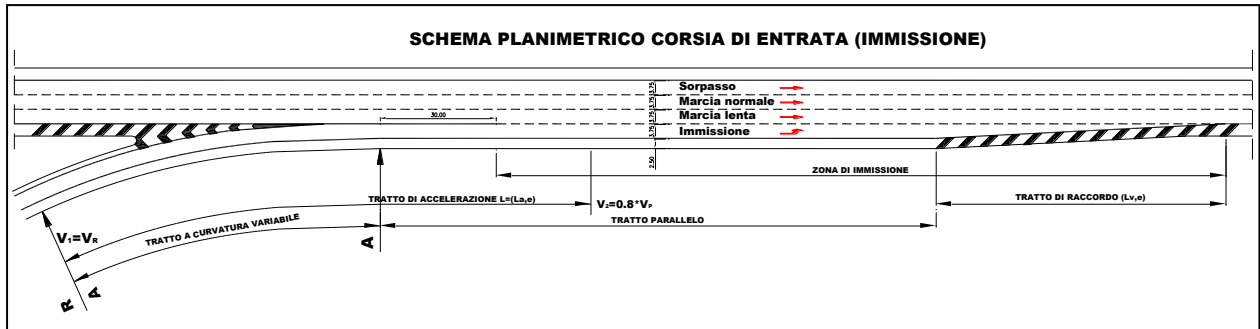


Figura 3-3: Schema planimetrico corsia di entrata

Con riferimento allo schema riportato in figura, la lunghezza minima del tratto di accelerazione L_a è stata calcolata mediante la seguente espressione:

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

dove:

- L_a (m) è la lunghezza necessaria per la variazione cinematica;
- v_1 (m/s) è la velocità all'inizio del tratto di accelerazione (per v_1 si assume la velocità di progetto corrispondente al raggio della curva di deviazione della rampa di entrata);
- v_2 (m/s) è la velocità alla fine del tratto di accelerazione, pari a $0.80 \cdot v_p$ (velocità di progetto della strada sulla quale la corsia si immette, desunta dal diagramma di velocità)
- a (m/s²) è l'accelerazione assunta per la manovra pari a 1 m/s^2 .

La lunghezza del tratto di raccordo L_v viene determinata in funzione della velocità di progetto della strada sulla quale la corsia si immette. Nella fattispecie è stata assunta pari a 50m visto che la velocità di progetto della rampa su cui si immette è minore di 80 km/h.

Corsie di diversione (o di uscita)

Con riferimento al caso di configurazione parallela, la lunghezza del tratto di decelerazione $L_{d,u}$ (avente inizio a metà del tratto di manovra e fine all'inizio della rampa in uscita, coincidente con il punto di inizio della clotoide) è correlata alla diminuzione di velocità longitudinale tra quella del ramo da cui provengono i veicoli in uscita e quella ammissibile con il raggio di curvatura della rampa.

La lunghezza del tratto di decelerazione $L_{d,u}$ viene calcolata pertanto mediante criterio cinematico utilizzando la seguente espressione:

$$L_{d,u} = \frac{v_1^2 - v_2^2}{2a}$$

dove:

- $L_{d,u}$ (m) è la lunghezza necessaria per la variazione cinematica;
- v_1 (m/s) è la velocità di ingresso nel tronco di decelerazione pari alla velocità di progetto del ramo da cui provengono i veicoli in uscita (velocità di progetto desunta dal diagramma di velocità);

- v_2 (m/s) è la velocità di uscita dal tronco di decelerazione (per v_2 si assume la velocità di progetto corrispondente al raggio della curva di deviazione della rampa di uscita);
- a (m/s²) è la decelerazione assunta per la manovra pari a 3 m/s² per le strade tipo A, B e 2,0 m/s² per le altre strade.

La lunghezza del tratto di manovra $L_{m,u}$ viene determinata in funzione della velocità di progetto della strada dalla quale si proviene. Nella fattispecie è stata assunta pari a 40m visto che la velocità di progetto della rampa da cui si proviene è pari a 60 km/h.

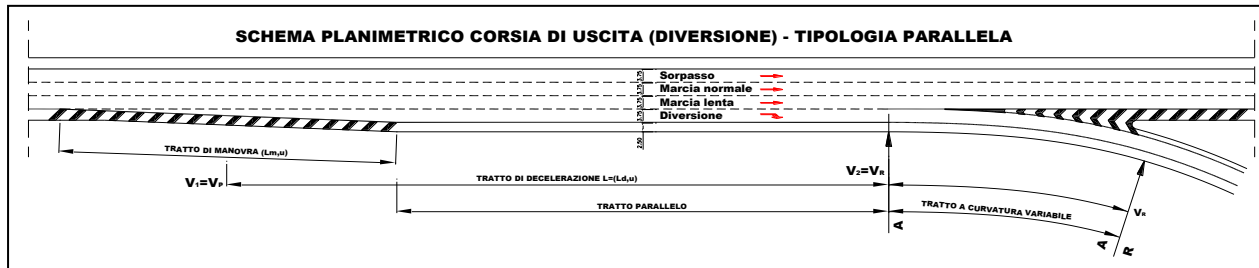


Figura 3-4: Schema planimetrico corsia di uscita

3.2.3 Distanze di visibilità

Per la verifica delle distanze di visibilità, il progetto delle rampe rispetta i criteri contenuti nel D.M. 5/11/2001 e riportati al paragrafo 3.1.5.

3.2.4 Analisi funzionali

La verifica funzionale delle rotatorie è stata fatta secondo la metodologia empirica proposta dal CETUR (Centre d'Etudes sur les Reseaux des Transport, l'Urbanisme et les constructions publiques) per le rotatorie in ambito urbano. Tale metodo fornisce l'indicazione circa il superamento o meno della capacità. Per il tronco di scambio lungo via Aposazza la verifica funzionale è stata fatta secondo il metodo proposto da Sascia Canale nel libro "Progettare le rotatorie" ed. EPC 2011.

La positività della verifica funzionale degli elementi di progetto è stata definita secondo i criteri proposti dalla normativa vigente e nello specifico:

- il DM 05-11-2001 n°6792 Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade;
- il DM 19-04-2006 Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali.

 Per le intersezioni esistenti la normativa vigente non è cogente e quindi il Livello di Servizio proposto è solo di riferimento; poiché le due esistenti intersezioni a rotatoria si trovano in ambito urbano, il livello funzionale di riferimento è la capacità. Per le nuove intersezioni la normativa vigente è cogente e quindi il Livello di Servizio proposto deve essere garantito; poiché il nuovo tronco di scambio su via Aposazza è generato da due rampe di una strada di tipo B, il livello funzionale da garantire è LOS B.

Le risultanze delle verifiche delle rotatorie, tronchi di scambio e corsie specializzate di immissione, sono riportate nell'elaborato "Studio di traffico 111326-0000-PD-DG-GEN-00000-0000-R-ATR0001".

4 DESCRIZIONE DEL PROGETTO STRADALE E ANALISI DI CONGRUENZA NORMATIVA

L'intervento in progetto ha inizio all'altezza dell'interconnessione tra l'autostrada A14 (Bologna – Taranto) e l'autostrada A13 (Bologna – Padova) e termina, tramite un'intersezione a livelli sfalsati, lungo la via Aposazza.

Esso ricade completamente in comune di Bologna e si sviluppa quasi interamente in affiancamento all'autostrada A13 e relativi svincoli ad eccezione della parte terminale, dove per consentire l'inserimento delle rampe di svincolo si discosta.

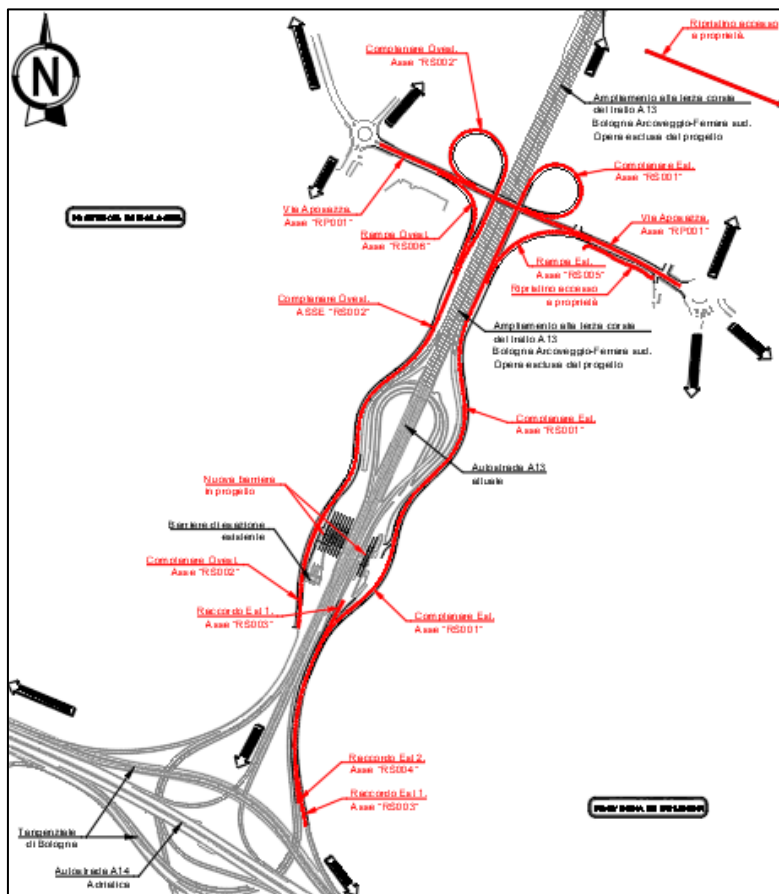


Figura 4-1: Schema planimetrico intervento

Gli assi stradali prevedono sezioni tipo conformi a quanto previsto dai DM 5.11.2001 e DM 19.04.2006. In particolare tutti gli assi, ad eccezione della via Aposazza inquadrata come strada urbana di quartiere (categoria E), si configurano come rampe di svincolo di un'intersezione.

La sezione trasversale utilizzata per l'adeguamento di via Aposazza (categoria "E") si compone da due corsie di marcia di larghezza 3.50m, banchine esterne da 0.500m e una banchina centrale da 0.50m per complessivi 8.50m di pavimentato. In alcuni tratti sono previsti anche marciapiedi laterali di dimensioni pari a 1.50m.

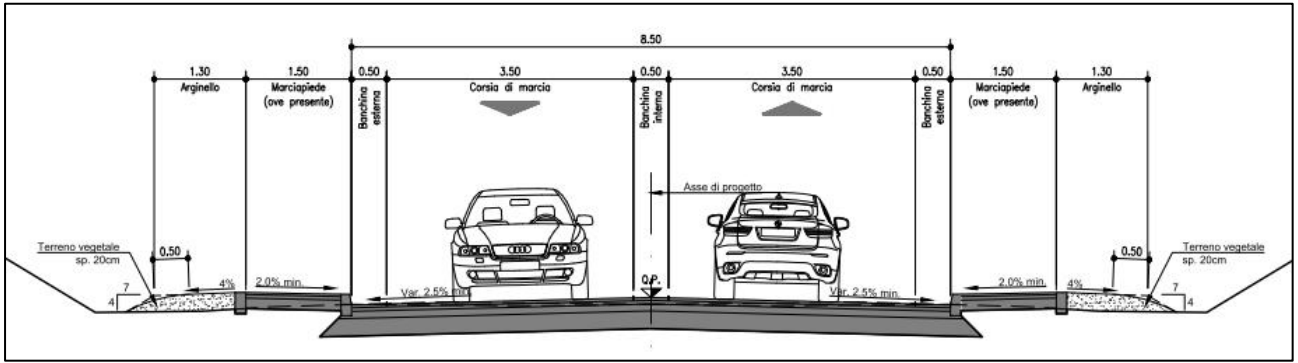


Figura 4-2: Sezione tipo via Aposazza

La sezione trasversale utilizzata per le rampe di svincolo si compone da una corsia di marcia di larghezza 4,00m, banchina sinistra da 1,00m, banchina destra da 1,50m per complessivi 6,50m di pavimentato. La larghezza delle banchine esterne come indicato dalla normativa è un valore minimo che, lungo il tracciato nei tratti con problemi di visibilità, potrà avere dimensioni maggiori.

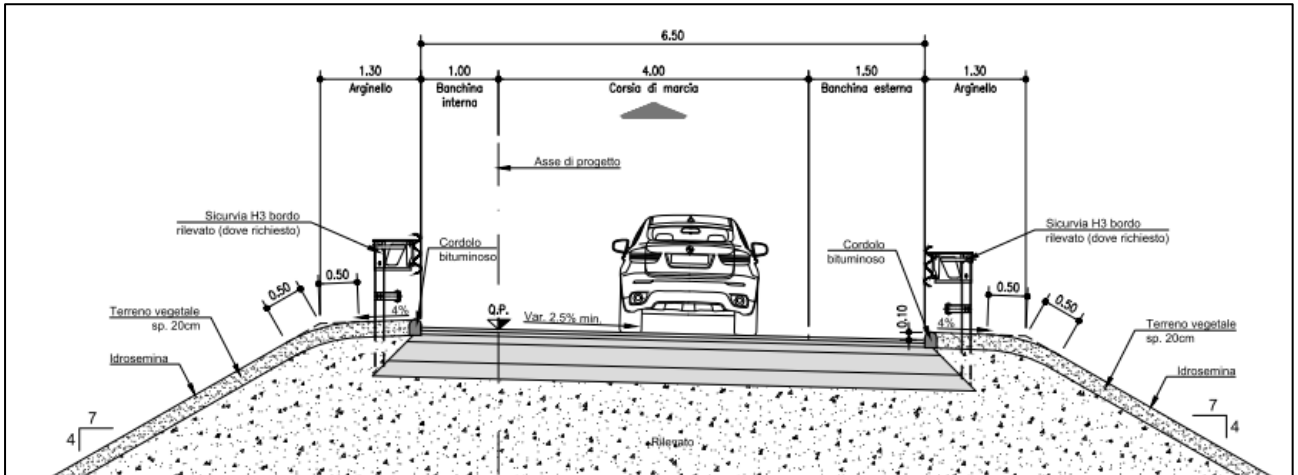


Figura 4-3: Sezione tipo rampa monodirezionale

In corrispondenza della barriera di Arcoveggio in carreggiata Padova attualmente è presente un accesso di servizio per gli addetti al casello. Vista la configurazione della nuova rampa in stretto affiancamento al piazzale della barriera, tale accesso viene interdetto. Al fine di garantire la possibilità agli addetti di uscire dal sistema autostradale, è prevista in progetto una rampa a baionetta tra il piazzale e la nuova rampa.

In corrispondenza della barriera di esazione di Arcoveggio in carreggiata Bologna, a seguito della ricollocazione delle porte di pedaggio avanzate in direzione Bologna nella nuova posizione in linea con le altre, è previsto il locale allargamento del piazzale esistente per adeguarne le dimensioni in funzione della nuova configurazione delle porte.

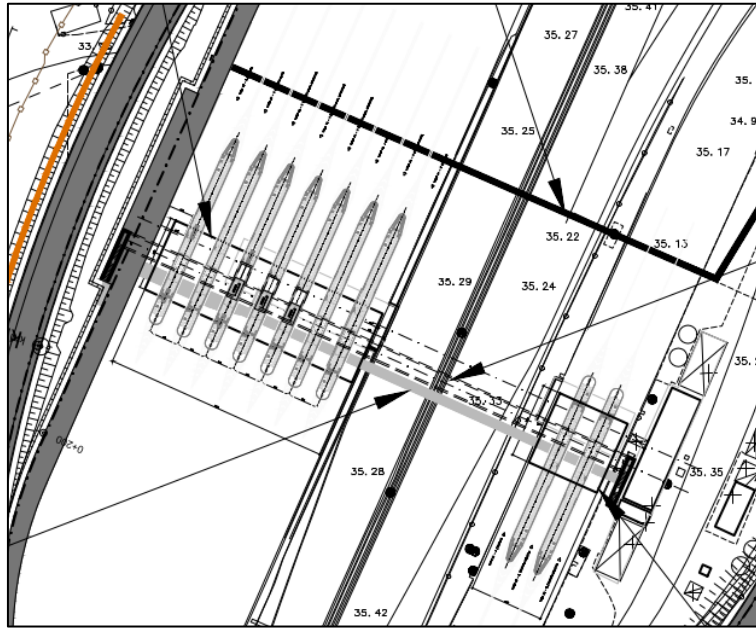


Figura 4-4: Ampliamento barriera di esazione esistente

4.1 PRESENTAZIONE DELLE VERIFICHE PLANIMETRICHE

Gli esiti delle verifiche planimetriche, condotte ai sensi del DM2001 per ciascun asse e per ciascuna direzione di marcia, secondo anche la metodologia delineata nei capitoli precedenti, sono riportati in forma tabellare all'interno del presente capitolo.

Ciascuna tabella di verifica è accompagnata dal corrispondente diagramma delle velocità e delle curvature, in forma grafica, da cui sono desumibili i valori puntuali delle velocità di progetto utilizzati di volta in volta per la verifica degli elementi di tracciato, sia planimetrici che altimetrici.

La chiave di lettura delle tabelle di verifica planimetriche, in cui ad ogni riga corrisponde un elemento di tracciato, è quindi la seguente:

- Colonna (1): numero progressivo identificativo di ciascun elemento
- Colonna (2): progressiva di inizio
- Colonna (3): progressiva di fine
- Colonna (4): sviluppo planimetrico [m]
- Colonna (5): tipo di elemento planimetrico considerato, utilizzando le seguenti abbreviazioni:
 - R = Rettifilo
 - C = Curva Circolare
 - AT = Clotoide di Transizione
 - AF = Clotoide di Flesso
 - AC = Clotoide di Continuità
- Colonna (6): parametro di dimensionamento caratteristico ossia raggio planimetrico [m] per le curve circolari e parametro di scala A per le clotoidi
- Colonna (7): verso delle curve planimetriche nel senso del tracciamento con mano destra (DX) o mano sinistra (SX) alternativamente
- Colonna (8): valore di pendenza trasversale [%]
- Colonna (9): valore massimo della velocità di progetto di libera percorrenza calcolato in relazione agli effettivi valori delle pendenze trasversali ed utilizzato per la verifica
- Colonna (10): in caso di elemento non conforme alla normativa si riportano i valori minimi/massimi degli sviluppi planimetrici che sarebbero necessari per adeguare l'elemento²

Nota 2: in valori riportati sono da considerarsi indicativi in quanto la modifica dei parametri comporta una conseguente modifica della geometria d'asse e del diagramma delle velocità e quindi della velocità massima da doversi considerare nella verifica.

- Colonna (11): in caso di elemento non conforme alla normativa si riportano i valori minimi/massimi dei parametri caratteristici che sarebbero necessari per adeguare l'elemento
- Colonna (12): check esito della verifica, se negativo
- Colonna (13): motivo della non congruenza secondo la chiave di lettura riportata nella tabella seguente

CODICE	DESCRIZIONE DELLA NON CONFORMITÀ
(a)	Raggio minimo delle curve planimetriche
(b)	Relazione raggio della curva (R)/lunghezza del rettifilo (L)
(c)	Compatibilità tra i raggi di due curve successive
(d)	Lunghezza massima dei rettifili
(e)	Lunghezza minima dei rettifili
(f)	Congruenza del diagramma delle velocità
(f ₁)	Passaggio da V_p^{max} a curve a velocità inferiore con ΔV eccessivo (> 10 o 5 km/h)
(f ₂)	Passaggio fra curve successive con $V_p < V_p^{max}$ con ΔV eccessivo (> 20 km/h)
(g)	Lunghezza minima delle curve circolari
(h)	Verifica del parametro A degli elementi a curvatura variabile (Clotoidi)
(h ₁)	Criterio del contraccolpo
(h ₂)	Criterio della sovrappendenza di falda
(h ₃)	Criterio ottico

Tabella 4-1. Esiti delle verifiche planimetriche secondo DM2001, Legenda

Come riportato, a titolo di esempio, nell'intestazione di tabella seguente:

Elem.	Progr. Inizio (m)	Progr. Fine (m)	Lungh. (m)	Tipo Elem.	Parametro	V _s	i _c	V _p	Lmin/m _a _x	Pmin/m _a _x	Verifica	Note
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)

Tabella 4-2. Organizzazione delle tabelle di presentazione delle verifiche planimetriche dei tracciati

4.2 PRESENTAZIONE DELLE VERIFICHE ALTIMETRICHE

Gli esiti delle verifiche altimetriche, condotte ai sensi del DM2001 per ciascun asse e per ciascuna direzione di marcia, secondo anche la metodologia delineata nei capitoli precedenti, sono riportati in forma tabellare all'interno del presente capitolo.

La chiave di lettura delle tabelle di verifica altimetrica, in cui ad ogni riga corrisponde un raccordo verticale parabolico, è la seguente:

- Colonna (1): numero progressivo identificativo di ciascun raccordo parabolico
- Colonna (2): tipologia di elemento di raccordo parabolico, ovvero dosso (D) o sacca (S)
- Colonna (3): progressiva del vertice
- Colonna (4): progressiva di inizio del raccordo parabolico
- Colonna (5): progressiva di fine del raccordo parabolico
- Colonna (6): sviluppo del raccordo parabolico [m]
- Colonna (7): pendenza [%] della livelletta in ingresso

- Colonna (8): pendenza [%] della livelletta in uscita
- Colonna (9): differenziale di pendenza [%] tra ingresso ed uscita
- Colonna (10): valore del raggio parabolico di progetto oggetto di verifica [m]
- Colonna (11): velocità di progetto considerata nella verifica [km/h]; si considera il valore più elevato misurato lungo il diagramma delle velocità nel tratto sotteso al raccordo parabolico
- Colonna (12): distanza di visuale libera da garantire in funzione della specifica situazione progettuale
- Colonna (13): valore minimo del raggio parabolico necessario a garantire contemporaneamente distanza di visuale libera considerata, comfort, minimo geometrico
- Colonna (14): check esito della verifica, se negativo
- Colonna (15): valore della velocità ammissibile [km/h] associata al raccordo utilizzato in progetto in ragione della distanza di visuale libera di dimensionamento

Come riportato, a titolo di esempio, nell'intestazione di tabella seguente:

N	D/S	Pr. Vert (m)	da (m)	a (m)	L (m)	i1 (%)	i2 (%)	Δi (%)	Rv (m)	Vp (km/h)	D (m)	Rv,min (m)	VERIFICA	Vamm (km/h)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)

Tabella 4-3. Organizzazione delle tabelle di presentazione delle verifiche altimetriche dei tracciati

4.3 PRESENTAZIONE DELLE ANALISI DI VISIBILITÀ

Gli esiti delle analisi di visibilità, in funzione della specifica situazione progettuale da verificare, per ciascun asse e per ogni corsia di marcia, nelle diverse direzioni di percorrenza, sono riportati sotto forma di diagrammi all'interno degli allegati grafici al progetto; in particolare tali allegati conterranno le seguenti analisi:

- Visuale libera per l'arresto
- Visuale libera per il sorpasso
- Visuale libera per il cambio di corsia
- Distanza di visibilità per arresto
- Distanza di visibilità per il sorpasso
- Distanza di visibilità per il cambio di corsia
- Allargamenti eventuali in curva del ciglio stradale per garantire la distanza di visibilità
- Indicazione eventuale delle velocità ammissibili conseguenti, ove si scelga di impiegare, in caso di DM2001 non cogente, specifiche limitazioni di velocità

All'interno dei capitoli seguenti verranno quindi presentati in forma testuale gli esiti di tali verifiche.

4.4 TRACCIATI STRADALI

4.4.1 Via Aposazza (Asse RP001)

La via Aposazza esistente è ad unica carreggiata e doppio senso di circolazione. Ai sensi del D.M. 05.11.2001 (non cogente per l'asse in esame) è stata assimilata ad una strada urbana tipo E avente velocità di progetto compresa nell'intervallo 40-60 km/h. Le progressive di progetto sono crescenti da ovest verso est.

La strada è interamente soggetta a intervento finalizzato sia a modificarne l'andamento planimetrico sia a riprofilarne l'altimetria. Entrambi gli aspetti, pur essendo macroscopicamente modesti, si rivelano indispensabili per i seguenti aspetti legati al progetto stradale del nuovo svincolo che ivi insiste:

- Dal punto di vista planimetrico la strada è stata modificata per consentire l'inserimento delle corsie specializzate dello svincolo di Aposazza di nuova progettazione. Tale modifica ha consentito

comunque di il passaggio all'interno del sottopasso esistente sotto l'autostrada A13 senza modificarne la sagoma.

- Dal punto di vista altimetrico la strada è stata ribassata per tenere conto del futuro allargamento della terza corsia della A13 con relativo allungamento del sottopasso sotto entrambe le carreggiate autostradali.

Il tracciato planimetrico si estende per 572.6m e si raccorda alle estremità a due rotonde esistenti. Il tracciato prevede la successione di 5 diverse curve aventi tutte raggio pari a $R=1150m$ e diverso sviluppo planimetrico senza interposizione di raccordi clotoidici. Gli unici rettilinei sono presenti in prossimità della rotonda ovest e del sottopasso autostradale. La modifica al tracciato esistente risulta di fatto impercettibile risultando mantenuti i vincoli di accesso alle proprietà laterali.

Il tracciato altimetrico prevede di ricalcare il più possibile l'altimetria esistente e di ribassare la strada in corrispondenza della serie di sottopassi dell'autostrada A13: quello esistente, le due strutture che accoglieranno l'allargamento della A13 (non facenti parte del presente progetto) e i due sottopassi indipendenti facenti parte delle rampe dello svincolo Aposazza.

Dall'inizio del tracciato per uno sviluppo di circa 175m si ha una livelletta in discesa dello 0.70% in aderenza alla strada esistente. Un raccordo convesso di $R=2100m$ che porta ad una livelletta in discesa al 1.97% segna l'inizio della modifica altimetrica della strada esistente. Ad esso segue un raccordo concavo di $R=1470m$ che, superando i sottopassi sopra descritti, porta ad una livelletta in salita al 3.50%. L'ultima livelletta in salita allo 0.54% è raccordata alla precedente tramite raccordo convesso di $R=5000m$ e riporta la strada di progetto in aderenza a quella esistente.

A fronte di un approfondimento medio di circa 40cm rispetto all'esistente, il franco stradale in corrispondenza degli allargamenti della A13 risulta sempre maggiore di 4.60m (franco altimetrico esistente) ed in corrispondenza delle strutture di progetto delle rampe dello svincolo di Aposazza risulta sempre maggiore di 5.00m.

4.4.1.1 Verifiche planimetriche

L'asse rientra nella categoria di strada di tipo "E" con V_p compresa tra 40-60 km/h.

Le velocità iniziale e finale risultano vincolate alle velocità delle rotonde esistenti.

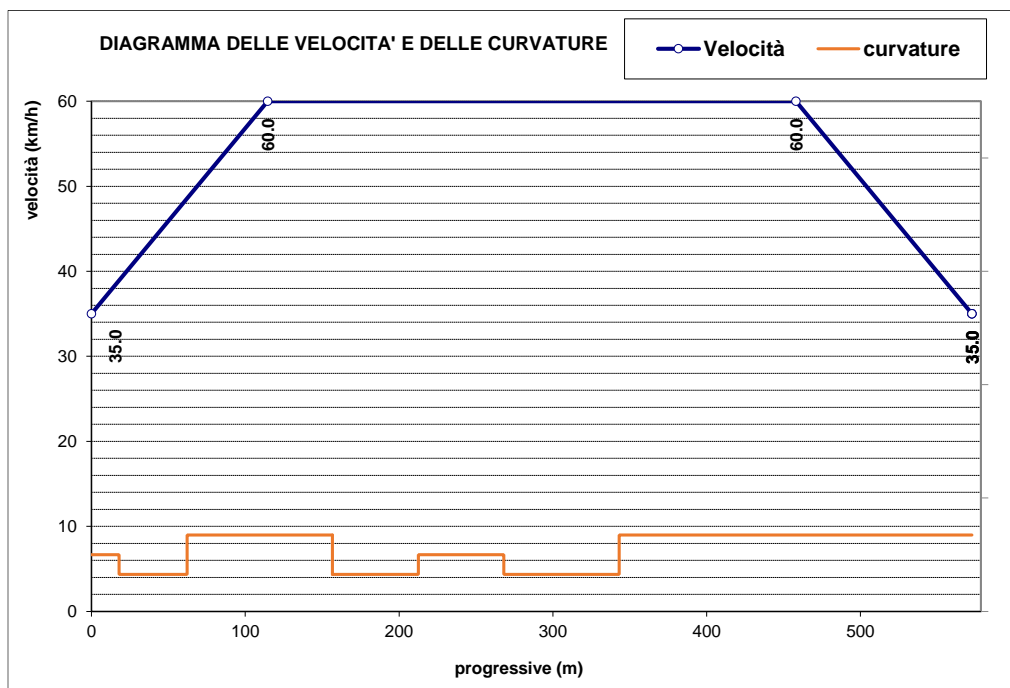


Figura 4-5: Diagramma velocità Asse RP001

N	Prog. inizio (m)	Prog. Fine (m)	Lungh. (m)	Tipo Elem	Parametro	Vs	ic (%)	Vp (km/h)	Lmin/max	Pmin/max	Verifica	Note		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)		
1	0.000	17.912	17.912	R	0.00			38.9						
2	17.912	62.209	44.297	C	1150.00	SX	2.50	48.6						
3	62.209	156.628	94.418	C	1150.00	DX	2.50	60.0						
4	156.628	212.574	55.946	C	1150.00	SX	2.50	60.0						
5	212.574	268.185	55.611	R	0.00			60.0						
6	268.185	343.113	74.929	C	1150.00	SX	2.50	60.0						
7	343.113	572.603	229.490	C	1150.00	DX	2.50	60.0						

Tabella 4-6: Verifiche planimetriche con progressive crescenti – Asse RP001

N	Prog. inizio (m)	Prog. Fine (m)	Lungh. (m)	Tipo Elem	Parametro	Vs	ic (%)	Vp (km/h)	Lmin/max	Pmin/max	Verifica	Note		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)		
1	0.000	17.912	17.912	R	0.00			38.9						
2	17.912	62.209	44.297	C	1150.00	SX	2.50	48.6						
3	62.209	156.628	94.418	C	1150.00	DX	2.50	60.0						
4	156.628	212.574	55.946	C	1150.00	SX	2.50	60.0						
5	212.574	268.185	55.611	R	0.00			60.0						
6	268.185	343.113	74.929	C	1150.00	SX	2.50	60.0						
7	343.113	572.603	229.490	C	1150.00	DX	2.50	60.0						

Tabella 4-7: Verifiche planimetriche con progressive decrescenti – Asse RP001

Con riferimento alle tabelle sopra riportate si evidenzia che dalle verifiche planimetriche effettuate, i tracciati di progetto presentano caratteristiche congruenti alle indicazioni contenute nel DM 05/11/2001.

4.4.1.2 Verifiche altimetriche

N	D/S	Pr.Vert (m)	da (m)	a (m)	L (m)	i1 (%)	i2 (%)	Δi (%)	Rv (m)	Vp (km/h)	D (m)	Rv,min (m)	VERIFICA	Vamm (km/h)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)
1	D	175	162	189	26.71	-0.70	-1.97	1.27	2100	60.0	71.9	463		
2	S	249	208	289	80.42	-1.97	3.50	5.47	1470	60.0	70.1	1426		
3	D	411	337	485	148.06	3.50	0.54	2.96	5000	60.0	69.1	1282		

Tabella 4-8: Verifiche altimetriche con progressive crescenti - Asse RP001

N	D/S	Pr.Vert (m)	da (m)	a (m)	L (m)	i1 (%)	i2 (%)	Δi (%)	Rv (m)	Vp (km/h)	D (m)	Rv,min (m)	VERIFICA	Vamm (km/h)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)
1	D	175	162	189	26.71	-0.70	-1.97	1.27	2100	60.0	69.6	463		
2	S	249	208	289	80.42	-1.97	3.50	5.47	1470	60.0	71.4	1459		
3	D	411	337	485	148.06	3.50	0.54	2.96	5000	60.0	72.5	1409		

Tabella 4-9: Verifiche altimetriche con progressive decrescenti - Asse RP001

Con riferimento alle tabelle sopra riportate si evidenzia che dalle verifiche altimetriche effettuate, i tracciati di progetto presentano caratteristiche congruenti alle indicazioni contenute nel DM 05/11/2001.

4.4.1.3 Verifiche di visibilità

La verifica di rispondenza alla norma DM 5.11.01 ha considerato anche gli aspetti correlati alle prestazioni dell'infrastruttura. In particolare è stata analizzata la visibilità per l'arresto connessa all'andamento plano-altimetrico del tracciato stradale e agli allargamenti progettuali previsti.

Per l'asse in oggetto la distanza di visibilità per l'arresto risulta sempre garantita senza l'inserimento di allargamenti.

4.5 INTERSEZIONI

4.5.1 Complanare est (Asse RS001)

La Rampa RS001 è una strada di nuova progettazione ad unica carreggiata monodirezionale. Ai sensi del D.M. 19.04.2006 essa è una rampa semidiretta di un'intersezione tipo 2 avente velocità di progetto compresa nell'intervallo 40-60 km/h. Le progressive di progetto sono crescenti nel senso di percorrenza da ovest verso est cioè dalla tangenziale verso via Aposazza.

Lo scopo è quello di connettere direttamente la tangenziale nord di Bologna con la via Aposazza mantenendo un andamento piano altimetrico in aderenza a quello dell'autostrada A13, del futuro allargamento della terza corsia e del piazzale di esazione.

Il tracciato planimetrico si estende per 1178.2m e si raccorda all'inizio alla rampa di uscita dalla tangenziale nord di Bologna in direzione A13 e alla fine alla via Aposazza riprofilata. Il tracciato mantiene il parallelismo col sistema autostradale per circa 900m di sviluppo per poi staccarsi e dare luogo al cappio della rampa che termina con la corsia di scambio parallela a via Aposazza.

Il tracciato prevede la successione di 6 diverse curve aventi raggi compresi tra $R=45m$ e $R=165m$ con interposti raccordi clotoidici e rettili i cui dettagli sono riportati sulle tavole di progetto.

Il tracciato altimetrico prevede la successione di 13 livellette aventi valori compresi nell'intervallo -4.0% $+2.4\%$; esse sono intervallate da raccordi verticali i cui raggi sono compresi tra $R=900m$ e $R=3000m$ i cui dettagli sono riportati sulle tavole di progetto. In corrispondenza della prog. $0+875$ la rampa transita sopra al sottopasso su via Aposazza.

4.5.1.1 Verifiche planimetriche

L'asse rientra nella categoria rampa monodirezionale con V_p compresa tra $40\div 60$ km/h.

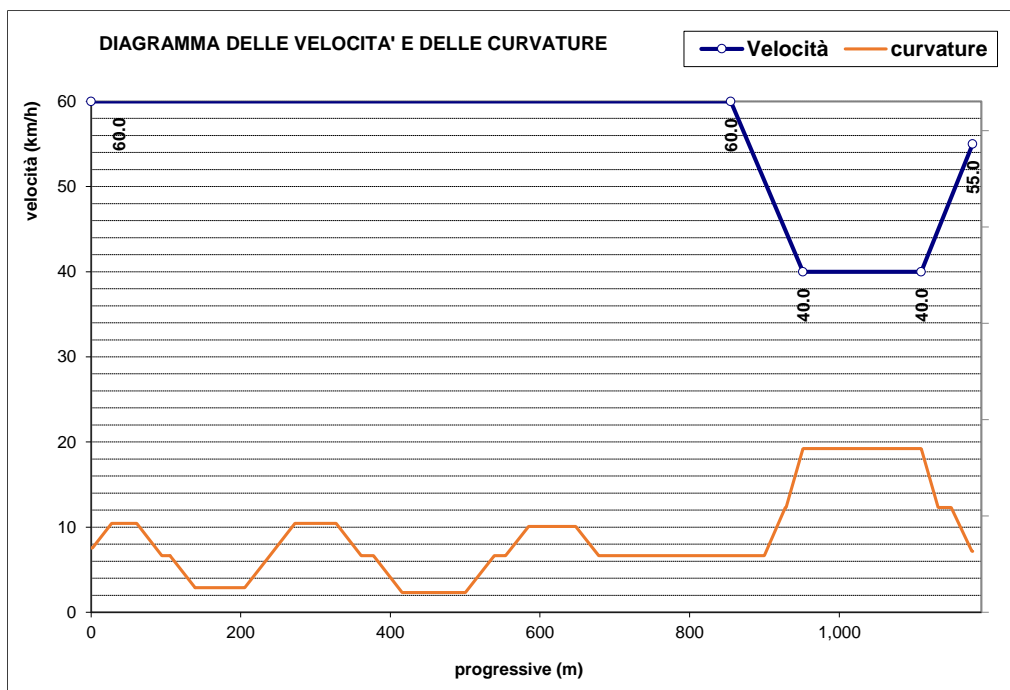


Figura 4-10: Diagramma velocità Asse RS001

N	Prog. Inizio (m)	Prog. Fine (m)	Lungh. (m)	Tipo Elem	Parametro	Vs	ic (%)	Vp (km/h)	Lmin/max	Pmin/max	Verifica	Note
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
1	0.000	1.985	1.985	C	635.00	DX	2.50	60.0				
2	1.985	27.653	25.668	AC	71.00	DX		60.0		211.67	NO	(h3)
3	27.653	60.971	33.318	C	150.00	DX	6.01	60.0				
4	60.971	94.578	33.607	AT	71.00	DX		60.0				
5	94.578	105.381	10.803	R	0.00			60.0				
6	105.381	138.987	33.607	AT	71.00	SX		60.0				
7	138.987	205.387	66.400	C	150.00	SX	6.01	60.0				
8	205.387	238.994	33.607	AF	71.00	SX		60.0				
9	238.994	272.600	33.607	AF	71.00	DX		60.0				
10	272.600	327.599	54.999	C	150.00	DX	6.01	60.0				
11	327.599	361.206	33.607	AT	71.00	DX		60.0				
12	361.206	377.328	16.122	R	0.00			60.0				
13	377.328	415.778	38.450	AT	70.70	SX		60.0				
14	415.778	500.376	84.598	C	130.00	SX	6.58	60.0				
15	500.376	538.826	38.450	AT	70.70	SX		60.0				
16	538.826	554.075	15.249	R	0.00			60.0				
17	554.075	584.799	30.724	AT	71.20	DX		60.0				
18	584.799	647.825	63.026	C	165.00	DX	5.65	60.0				
19	647.825	678.549	30.724	AT	71.20	DX		60.0				
20	678.549	899.727	221.178	R	0.00			60.0				
21	899.727	927.817	28.090	AT	53.00	DX		50.7				
22	927.817	928.807	0.991	C	100.00	DX	7.00	44.9				
23	928.807	951.406	22.599	AC	43.00	DX		44.7				
24	951.406	1,109.479	158.073	C	45.00	DX	7.00	40.0				
25	1,109.479	1,132.078	22.599	AC	43.00	DX		44.9				
26	1,132.078	1,149.575	17.498	C	100.00	DX	7.00	48.8				
27	1,149.575	1,177.186	27.611	AC	55.00	DX		54.7		382.08	NO	(h3)
28	1,177.186	1,178.186	1.000	C	1146.25	DX	2.50	55.0				

Tabella 4-11: Verifiche planimetriche con progressive crescenti – Asse RS001

Con riferimento alla tabella sopra riportata si evidenzia che dalle verifiche planimetriche effettuate, il tracciato di progetto presenta caratteristiche congruenti alle indicazioni contenute nel DM 05/11/2001 con eccezione del criterio ottico della prima ed ultima clotoide. Tali scostamenti riguardano non conformità minori di carattere ottico e non dinamico, che trattandosi di elementi di raccordo con strade di caratteristiche superiori, sono stati ritenuti pertanto trascurabili.

4.5.1.2 Verifiche altimetriche

N	D/S	Pr.Vert (m)	da (m)	a (m)	L (m)	i1 (%)	i2 (%)	Δi (%)	Rv (m)	Vp (km/h)	D (m)	Rv,min (m)	VERIFICA	Vamm (km/h)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)
1	D	40	33	47	13.54	0.01	-0.45	0.45	3000	60.0	61.9	463		
2	S	91	83	99	15.91	-0.45	0.62	1.06	1500	60.0	61.8	463		
3	D	176	161	190	28.76	0.62	-1.30	1.92	1500	60.0	62.0	463		
4	S	228	219	237	18.38	-1.30	-0.08	1.23	1500	60.0	62.1	463		
5	D	291	264	317	53.64	-0.08	-4.05	3.97	1350	60.0	62.8	799		
6	S	353	318	387	68.40	-4.05	1.42	5.47	1250	60.0	62.4	1226		
7	D	544	519	569	50.14	1.42	-0.25	1.67	3000	60.0	61.6	463		
8	S	796	784	808	24.03	-0.25	2.42	2.67	900	60.0	61.3	463		
9	D	879	846	911	65.06	2.42	-3.00	5.42	1200	60.0	61.9	1030		
10	S	962	947	977	29.79	-3.00	-0.02	2.98	1000	40.9	38.3	215		
11	D	1,059	1,032	1,087	55.93	-0.02	-3.52	3.50	1600	40.0	37.3	373		
12	S	1,168	1,159	1,178	18.97	-3.52	-2.39	1.12	1689	54.8	56.0	387		

Tabella 4-12: Verifiche altimetriche con progressive crescenti - Asse RS001

Con riferimento alle tabelle sopra riportate si evidenzia che dalle verifiche altimetriche effettuate, i tracciati di progetto presentano caratteristiche congruenti alle indicazioni contenute nel DM 05/11/2001.

4.5.1.3 Verifiche di visibilità

La verifica di rispondenza alla norma DM 5.11.01 ha considerato anche gli aspetti correlati alle prestazioni dell'infrastruttura. In particolare è stata analizzata la visibilità per l'arresto connessa all'andamento plano-altimetrico del tracciato stradale e agli allargamenti progettuali previsti.

Per l'asse in oggetto la distanza di visibilità per l'arresto risulta sempre garantita senza l'inserimento di allargamenti ad eccezione dei seguenti tratti:

- Allargamento massimo della banchina sinistra pari a 0.20m dalla progressiva 0+145.002 alla progressiva 0+199.945.
- Allargamento massimo della banchina sinistra pari a 0.64m dalla progressiva 0+410.525 alla progressiva 0+505.613.
- Allargamento massimo della banchina destra pari a 1.75m dalla progressiva 0+925.024 alla progressiva 1+117.453.

4.5.2 Complanare ovest (Asse RS002)

La Rampa RS002 è una strada di nuova progettazione ad unica carreggiata monodirezionale. Ai sensi del D.M. 19.04.2006 essa è una rampa semidiretta di un'intersezione tipo 2 avente velocità di progetto compresa nell'intervallo 40-60 km/h. Le progressive di progetto sono crescenti nel senso di percorrenza da est verso ovest cioè dalla via Aposazza verso la tangenziale.

Lo scopo è quello di connettere direttamente la tangenziale nord di Bologna con la via Aposazza mantenendo un andamento piano altimetrico in aderenza a quello dell'autostrada A13, del futuro allargamento della terza corsia e del piazzale di esazione.

Il tracciato planimetrico si estende per 1444.0m e si raccorda all'inizio alla via Aposazza riprofilata e alla fine alla nuova rotatoria su via Corazza non facente parte del presente progetto. Il tracciato mantiene il parallelismo col sistema autostradale per circa 1144 di sviluppo mentre per i 300 m circa iniziali si stacca per dare luogo al cappio della rampa che ha origine dalla corsia di scambio parallela a via Aposazza.

Il tracciato prevede la successione di 10 diverse curve aventi raggi compresi tra R=15m e R=233m con interposti raccordi clotoidici e rettili i cui dettagli sono riportati sulle tavole di progetto.

Il tracciato altimetrico prevede la successione di 18 livellette aventi valori compresi nell'intervallo -4.0% +2.4%; esse sono intervallate da raccordi verticali i cui raggi sono compresi tra R=900m e R=3000m i cui dettagli sono riportati sulle tavole di progetto. In corrispondenza della prog. 0+875 la rampa transita sopra al sottopasso su via Aposazza.

4.5.2.1 Verifiche planimetriche

L'asse rientra nella categoria rampa monodirezionale con Vp compresa tra 40÷60 km/h.

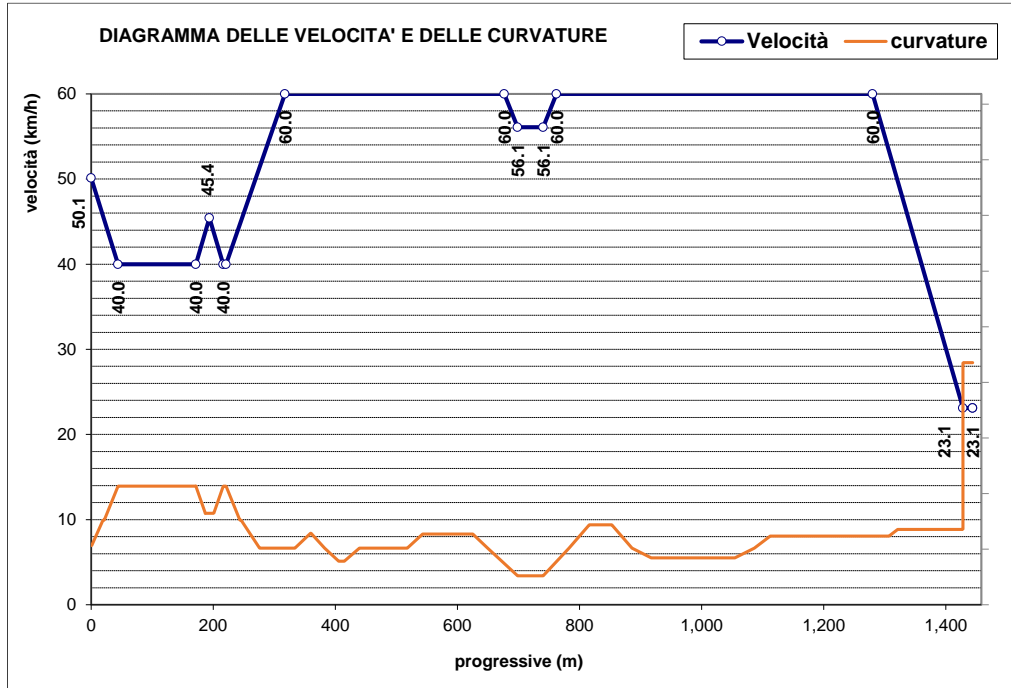


Figura 4-13: Diagramma velocità Asse RS002

N	Prog. Inizio (m)	Prog. Fine (m)	Lungh. (m)	Tipo Elem	Parametro	Vs	ic (%)	Vp (km/h)	Lmin/max	Pmin/max	Verifica	Note
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
1	0.000	1.000	1.000	C	1146.25	DX	2.50	50.1				
2	1.000	19.483	18.483	AC	45.00	DX		49.9		382.08	NO	(h3)
3	19.483	21.483	2.000	C	100.00	DX	7.00	45.7				
4	21.483	44.082	22.599	AC	43.00	DX		45.2				
5	44.082	171.648	127.566	C	45.00	DX	7.00	40.0				
6	171.648	187.204	15.556	AC	40.00	DX		43.8				
7	187.204	200.838	13.635	C	80.00	DX	7.00	45.4				
8	200.838	216.394	15.556	AC	40.00	DX		43.8				
9	216.394	221.329	4.935	C	45.00	DX	7.00	40.0				
10	221.329	243.928	22.599	AC	43.00	DX		44.7				
11	243.928	245.928	2.000	C	100.00	DX	7.00	45.1				
12	245.928	276.178	30.250	AT	55.00	DX		51.3				
13	276.178	333.741	57.563	R	0.00			60.0				
14	333.741	359.531	25.789	AT	70.00	DX		60.0				
15	359.531	360.247	0.716	C	190.00	DX	5.16	60.0				
16	360.247	382.484	22.237	AF	65.00	DX		60.0				
17	382.484	405.817	23.333	AF	70.00	SX		60.0				
18	405.817	414.967	9.150	C	210.00	SX	4.84	60.0				
19	414.967	439.653	24.686	AT	72.00	SX		60.0				
20	439.653	517.795	78.142	R	0.00			60.0				
21	517.795	543.000	25.205	AT	71.00	DX		60.0				
22	543.000	625.269	82.270	C	200.00	DX	5.00	60.0				
23	625.269	649.769	24.500	AF	70.00	DX		60.0				
24	649.769	698.769	49.000	AF	70.00	SX		60.0				
25	698.769	740.810	42.040	C	100.00	SX	7.00	56.1				
26	740.810	783.060	42.250	AF	65.00	SX		60.0				
27	783.060	816.135	33.075	AF	63.00	DX		60.0				
28	816.135	853.143	37.009	C	120.00	DX	6.93	60.0				
29	853.143	886.218	33.075	AF	63.00	DX		60.0				
30	886.218	917.775	31.557	AF	94.00	SX		60.0				
31	917.775	1,054.798	137.023	C	280.00	SX	4.03	60.0				
32	1,054.798	1,086.355	31.557	AF	94.00	SX		60.0				
33	1,086.355	1,112.467	26.112	AF	78.00	DX		60.0				
34	1,112.467	1,306.905	194.438	C	233.00	DX	4.53	60.0				
35	1,306.905	1,321.353	14.448	AC	78.00	DX		53.4				
36	1,321.353	1,428.360	107.006	C	150.00	DX	6.01	49.8				
37	1,428.360	1,444.046	15.686	C	15.00	DX	7.00	23.1				

Tabella 4-14: Verifiche planimetriche con progressive crescenti – Asse RS002

Con riferimento alla tabella sopra riportata si evidenzia che dalle verifiche planimetriche effettuate, il tracciato di progetto presenta caratteristiche congruenti alle indicazioni contenute nel DM 05/11/2001 con eccezione del criterio ottico della prima clotoide. Tale scostamento riguarda non conformità minori di carattere ottico e non dinamico, che trattandosi di elemento di raccordo con strada di caratteristiche superiori, è stato ritenuto pertanto trascurabile.

4.5.2.2 Verifiche altimetriche

N	D/S	Pr.Vert (m)	da (m)	a (m)	L (m)	i1 (%)	i2 (%)	Δi (%)	Rv (m)	Vp (km/h)	D (m)	Rv,min (m)	VERIFICA	Vamm (km/h)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)
1	D	9	2	17	15.35	1.47	0.62	0.85	1800	49.7	48.1	318		
2	S	46	22	70	48.23	0.62	6.50	5.88	820	45.1	42.1	717		
3	D	92	73	111	38.62	6.50	0.06	6.44	600	40.0	36.5	357		
4	S	183	169	198	29.37	0.06	3.00	2.94	1000	45.4	42.9	265		
5	D	274	229	319	90.00	3.00	-1.50	4.50	2000	60.0	61.5	1014		
6	S	366	356	376	19.57	-1.50	-0.20	1.30	1500	60.0	62.2	463		
7	S	455	448	463	14.88	-0.20	0.40	0.60	2500	60.0	61.8	463		
8	D	550	518	581	62.53	0.40	-2.73	3.13	2000	60.0	62.3	1043		
9	S	601	586	615	28.86	-2.73	0.16	2.89	1000	60.0	62.4	509		
10	S	748	730	765	34.83	0.16	1.55	1.39	2500	60.0	61.4	463		
11	D	848	822	874	52.04	1.55	-1.05	2.60	2000	60.0	61.7	463		
12	S	933	921	944	22.96	-1.05	1.25	2.30	1000	60.0	61.8	463		
13	D	993	982	1,004	21.90	1.25	-1.49	2.74	800	60.0	61.9	463		
14	S	1,042	1,017	1,067	49.85	-1.49	0.17	1.66	3000	60.0	62.1	463		
15	S	1,110	1,099	1,121	22.29	0.17	0.91	0.74	3000	60.0	61.6	463		
16	D	1,159	1,146	1,172	26.14	0.91	-0.39	1.31	2000	60.0	61.7	463		
17	S	1,310	1,304	1,317	12.62	-0.39	0.87	1.26	1000	54.2	53.9	377		

Tabella 4-15: Verifiche altimetriche con progressive crescenti - Asse RS002

Con riferimento alle tabelle sopra riportate si evidenzia che dalle verifiche altimetriche effettuate, i tracciati di progetto presentano caratteristiche congruenti alle indicazioni contenute nel DM 05/11/2001.

4.5.2.3 Verifiche di visibilità

La verifica di rispondenza alla norma DM 5.11.01 ha considerato anche gli aspetti correlati alle prestazioni dell'infrastruttura. In particolare è stata analizzata la visibilità per l'arresto connessa all'andamento plano-altimetrico del tracciato stradale e agli allargamenti progettuali previsti.

Per l'asse in oggetto la distanza di visibilità per l'arresto risulta sempre garantita senza l'inserimento di allargamenti ad eccezione dei seguenti tratti:

- Allargamento massimo della banchina destra pari a 1.40m dalla progressiva 0+012.807 alla progressiva 0+175.549.
- Allargamento massimo della banchina destra pari a 1.07m dalla progressiva 0+203.581 alla progressiva 0+231.171.
- Allargamento massimo della banchina sinistra pari a 1.58m dalla progressiva 0+677.703 alla progressiva 0+752.367.
- Allargamento massimo della banchina destra pari a 0.45m dalla progressiva 0+815.719 alla progressiva 0+853.658.

4.5.3 Raccordo est 1 (Asse RS003)

La Rampa RS003 è una strada esistente ad unica carreggiata con una corsia monodirezionale. Ai sensi del D.M. 19.04.2006 essa è una rampa diretta di un'intersezione tipo 1 avente velocità di progetto compresa nell'intervallo 50-80 km/h. Le progressive di progetto sono crescenti nel senso di percorrenza da ovest verso est cioè dalla tangenziale diramazione est verso la barriera di esazione di Arcoveggio.

Il tracciato plano altimetrico ricalca pedissequamente quello esistente.

Il tracciato planimetrico si estende per 407.2m e si raccorda all'inizio alla rampa di uscita dalla tangenziale nord di Bologna in direzione A13 e alla fine al piazzale della barriera di esazione.

Il tracciato prevede la successione di 4 diverse curve aventi raggi compresi tra R=250m e R=708m con interposti raccordi clotoidici e rettilifi i cui dettagli sono riportati sulle tavole di progetto.

Il tracciato altimetrico prevede la successione di 6 livellette aventi valori compresi nell'intervallo -3.2% +0.35%; esse sono intervallate da raccordi verticali i cui raggi sono compresi tra R=2000m e R=15000m i cui dettagli sono riportati sulle tavole di progetto.

4.5.3.1 Verifiche planimetriche

L'asse rientra nella categoria rampa monodirezionale con Vp compresa tra 50÷80 km/h.

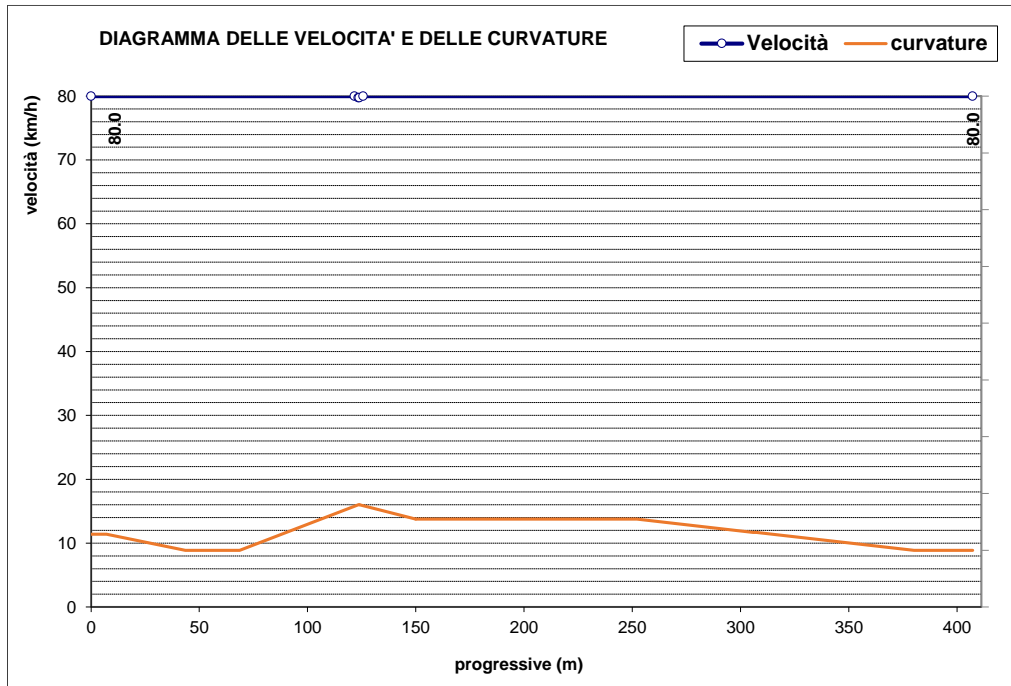


Figura 4-16: Diagramma velocità Asse RS003

N	Prog. inizio (m)	Prog. Fine (m)	Lungh. (m)	Tipo Elem	Parametro	Vs	ic (%)	Vp (km/h)	Lmin/max	Pmin/max	Verifica	Note
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
1	0.000	7.093	7.093	C	708.63	DX	3.61	80.0				
2	7.093	43.522	36.429	AT	160.67	DX		80.0		236.21	NO	(h3)
3	43.522	68.683	25.160	R	0.00			80.0				
4	68.683	123.439	54.756	AT	117.00	DX		80.0				
5	123.439	123.984	0.545	C	250.00	DX	7.00	79.8				
6	123.984	149.940	25.957	AC	143.30	DX		80.0				
7	149.940	252.119	102.179	C	365.50	DX	5.52	80.0				
8	252.119	305.795	53.675	AC	215.00	DX		80.0				
9	305.795	307.341	1.546	C	635.00	DX	3.88	80.0				
10	307.341	380.136	72.795	AT	215.00	DX		80.0				
11	380.136	407.210	27.074	R	0.00			80.0				

Tabella 4-17: Verifiche planimetriche con progressive crescenti – Asse RS003

Con riferimento alla tabella sopra riportata si evidenzia che dalle verifiche planimetriche effettuate, il tracciato di progetto presenta caratteristiche congruenti alle indicazioni contenute nel DM 05/11/2001 con eccezione del criterio ottico della prima clotoide. Tale scostamento riguarda non conformità minori di carattere ottico e non dinamico, che trattandosi di elemento di raccordo con strada di caratteristiche superiori, è stato ritenuto pertanto trascurabile.

4.5.3.2 Verifiche altimetriche

N	D/S	Pr.Vert (m)	da (m)	a (m)	L (m)	i1 (%)	i2 (%)	Δi (%)	Rv (m)	Vp (km/h)	D (m)	Rv,min (m)	VERIFICA	Vamm (km/h)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)
1	S	29	18	40	21.65	-3.19	-2.47	0.72	3000	60.0	63.2	463		
2	S	79	58	100	41.49	-2.47	-0.39	2.07	2000	60.0	62.5	463		
3	S	150	141	159	17.61	-0.39	-0.28	0.12	15000	60.0	62.0	463		
4	S	242	226	257	31.19	-0.28	0.35	0.62	5000	60.0	61.8	463		
5	D	307	296	318	22.02	0.35	-0.02	0.37	6000	60.0	61.7	463		

Tabella 4-18: Verifiche altimetriche con progressive crescenti - Asse RS002

Con riferimento alle tabelle sopra riportate si evidenzia che dalle verifiche altimetriche effettuate, i tracciati di progetto presentano caratteristiche congruenti alle indicazioni contenute nel DM 05/11/2001.

4.5.3.3 Verifiche di visibilità

La verifica di rispondenza alla norma DM 5.11.01 ha considerato anche gli aspetti correlati alle prestazioni dell'infrastruttura. In particolare è stata analizzata la visibilità per l'arresto connessa all'andamento plano-altimetrico del tracciato stradale e agli allargamenti progettuali previsti.

Per l'asse in oggetto la distanza di visibilità per l'arresto risulta sempre garantita senza l'inserimento di allargamenti.

4.5.4 Raccordo est 2 (Asse RS004)

La Rampa RS004 è una strada esistente ad unica carreggiata con una corsia monodirezionale. Ai sensi del D.M. 19.04.2006 essa è una rampa semidiretta di un'intersezione tipo 1 avente velocità di progetto compresa nell'intervallo 40-70 km/h. Le progressive di progetto sono crescenti nel senso di percorrenza da ovest verso est cioè dalla tangenziale diramazione ovest verso la barriera di esazione di Arcoveggio.

Il tracciato plano altimetrico ricalca pedissequamente quello esistente.

Il tracciato planimetrico si estende per 108.8m e si raccorda all'inizio alla rampa di uscita dalla tangenziale nord di Bologna in direzione A13 e alla fine al piazzale della barriera di esazione.

Il tracciato prevede una sola curva avente raggio R=365.5m associata ad una clotoide ed un rettilineo i cui dettagli sono riportati sulle tavole di progetto.

Il tracciato altimetrico prevede la successione di 3 livellette aventi valori compresi nell'intervallo -0.19% -1.61%; esse sono intervallate da raccordi verticali i cui raggi sono compresi tra R=600m e R=2500m i cui dettagli sono riportati sulle tavole di progetto.

4.5.4.1 Verifiche planimetriche

L'asse rientra nella categoria rampa monodirezionale con Vp compresa tra 50÷80 km/h.

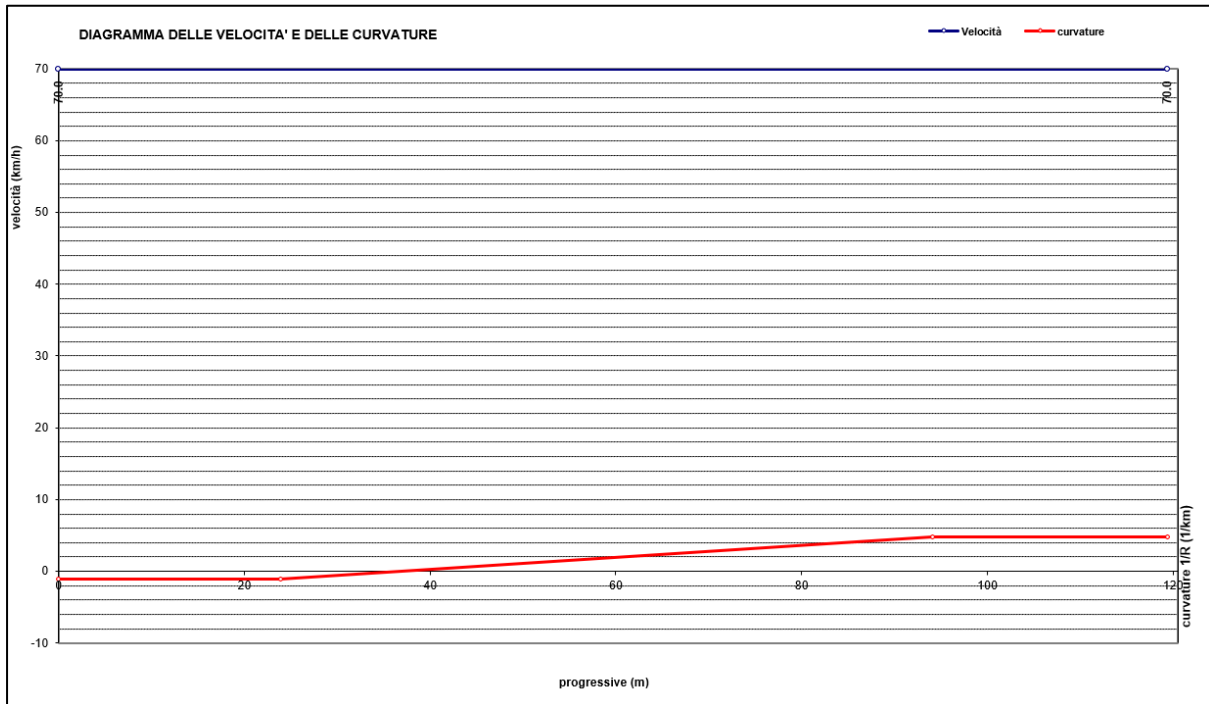


Figura 4-19: Diagramma velocità Asse RS004

N	Prog. Inizio (m)	Prog. Fine (m)	Lungh. (m)	Tipo Bem	Parametro	Vs	ic (%)	Vp (km/h)	Lmin/max	Pmin/max	Verifica	Note
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
1	0.000	23.947	23.947	R	0.00			70.0				
2	23.947	94.079	70.131	AT	160.10	DX		70.0				
3	94.079	119.370	25.291	C	365.50	DX	4.38	70.0				

Tabella 4-20: Verifiche planimetriche con progressive crescenti – Asse RS004

Con riferimento alle tabelle sopra riportate si evidenzia che dalle verifiche planimetriche effettuate, i tracciati di progetto presentano caratteristiche congruenti alle indicazioni contenute nel DM 05/11/2001.

4.5.4.2 Verifiche altimetriche

N	D/S	Pr.Vert (m)	da (m)	a (m)	L (m)	i1 (%)	i2 (%)	Δi (%)	Rv (m)	Vp (km/h)	D (m)	Rv,min (m)	VERIFICA	Vamm (km/h)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)
1	D	26	22	30	8.53	-0.19	-1.61	1.42	600	70.0	77.0	463		
2	S	48	33	63	30.04	-1.61	-0.41	1.20	2500	70.0	77.1	463		

Tabella 4-21: Verifiche altimetriche con progressive crescenti - Asse RS004

Con riferimento alle tabelle sopra riportate si evidenzia che dalle verifiche altimetriche effettuate, i tracciati di progetto presentano caratteristiche congruenti alle indicazioni contenute nel DM 05/11/2001.

4.5.4.3 Verifiche di visibilità

La verifica di rispondenza alla norma DM 5.11.01 ha considerato anche gli aspetti correlati alle prestazioni dell'infrastruttura. In particolare è stata analizzata la visibilità per l'arresto connessa all'andamento plano-altimetrico del tracciato stradale e agli allargamenti progettuali previsti.

Per l'asse in oggetto la distanza di visibilità per l'arresto risulta sempre garantita senza l'inserimento di allargamenti.

4.5.5 Rampa est (Asse RS005)

La Rampa RS005 è una strada nuova ad unica carreggiata con una corsia monodirezionale. Ai sensi del D.M. 19.04.2006 essa è una rampa semidiretta di un'intersezione tipo 2 avente velocità di progetto compresa nell'intervallo 40-60 km/h. Le progressive di progetto sono crescenti nel senso di percorrenza da ovest verso est cioè dalla Rampa RS001 verso la via Aposazza.

Il tracciato planimetrico si estende per 223.2m e si raccorda all'inizio alla rampa RS001 dalla quale si diparte e alla fine alla via Aposazza riprofilata.

Il tracciato prevede una sola curva avente raggio $R=120.0m$ associata a due clotoidi e due rettili i cui dettagli sono riportati sulle tavole di progetto.

Il tracciato altimetrico prevede la successione di 4 livellette aventi valori compresi nell'intervallo -3.0% $+3.2\%$; esse sono intervallate da raccordi verticali i cui raggi sono compresi tra $R=1000m$ e $R=3525m$ i cui dettagli sono riportati sulle tavole di progetto.

4.5.5.1 Verifiche planimetriche

L'asse rientra nella categoria rampa monodirezionale con V_p compresa tra 40÷60 km/h.

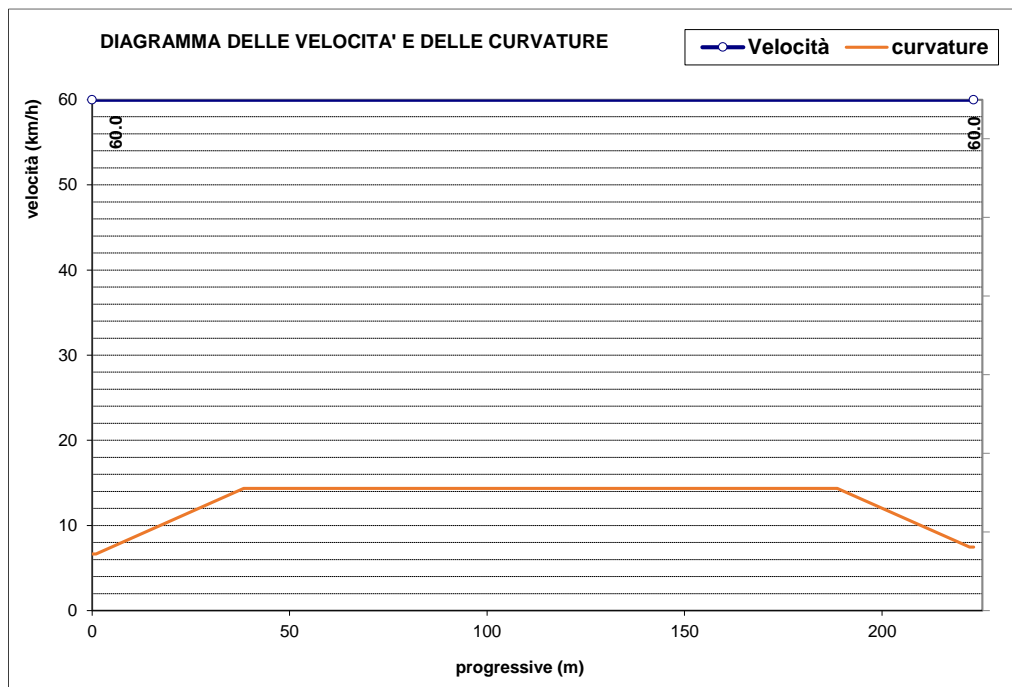


Figura 4-22: Diagramma velocità Asse RS005

N	Prog. Inizio (m)	Prog. Fine (m)	Lunghezza (m)	Tipo Elem	Parametro	Vs	ic (%)	Vp (km/h)	Lmin/max	Pmin/max	Verifica	Note
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
1	0.000	1.000	1.000	R	0.00			60.0				
2	1.000	38.408	37.408	AT	67.00	DX		60.0				
3	38.408	188.678	150.270	C	120.00	DX	6.93	60.0				
4	188.678	222.170	33.492	AC	67.00	DX		60.0		382.08	NO	(h3)
5	222.170	223.170	1.000	C	1146.25	DX	2.50	60.0				

Tabella 4-23: Verifiche planimetriche con progressive crescenti – Asse RS005

Con riferimento alla tabella sopra riportata si evidenzia che dalle verifiche planimetriche effettuate, il tracciato di progetto presenta caratteristiche congruenti alle indicazioni contenute nel DM 05/11/2001 con eccezione del criterio ottico dell'ultima clotoide. Tale scostamento riguarda non conformità minori di carattere ottico e non dinamico, che trattandosi di elemento di raccordo con strada di caratteristiche superiori, è stato ritenuto pertanto trascurabile.

4.5.5.2 Verifiche altimetriche

N	D/S	Pr.Vert (m)	da (m)	a (m)	L (m)	i1 (%)	i2 (%)	Δi (%)	Rv (m)	Vp (km/h)	D (m)	Rv,min (m)	VERIFICA	Vamm (km/h)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)
1	D	54	40	68	27.28	-0.27	-3.00	2.73	1000	60.0	62.6	463		
2	S	146	108	183	75.30	-3.00	3.20	6.20	1215	60.0	61.8	1209		
3	D	198	183	212	28.64	3.20	2.38	0.81	3525	60.0	60.6	463		

Tabella 4-24: Verifiche altimetriche con progressive crescenti - Asse RS005

Con riferimento alle tabelle sopra riportate si evidenzia che dalle verifiche altimetriche effettuate, i tracciati di progetto presentano caratteristiche congruenti alle indicazioni contenute nel DM 05/11/2001.

4.5.5.3 Verifiche di visibilità

La verifica di rispondenza alla norma DM 5.11.01 ha considerato anche gli aspetti correlati alle prestazioni dell'infrastruttura. In particolare è stata analizzata la visibilità per l'arresto connessa all'andamento piano-altimetrico del tracciato stradale e agli allargamenti progettuali previsti.

Per l'asse in oggetto la distanza di visibilità per l'arresto risulta sempre garantita senza l'inserimento di allargamenti ad eccezione dei seguenti tratti:

- Allargamento massimo della banchina destra pari a 0.81m dalla progressiva 0+035.105 alla progressiva 0+188.963.

4.5.5.4 Corsie specializzate di diversione, dimensionamento cinematico

Velocità di progetto asse principale	V ₁	(km/h)	60.0
Raggio curva circolare	R _f	(m)	120.0
Pendenza trasversale curva circolare	i _c	(%)	6.92
Velocità di progetto curva circolare	V ₂	(km/h)	60.0
Lunghezza tratto decelerazione	L _{d,u}	(m)	80.0
Lunghezza tratto parallelo	L _p	(m)	60.0
Lunghezza tratto manovra	L _{m,u}	(m)	40.0
Lunghezza totale corsia diversione	L _t	(m)	100.00

Tabella 4-4. Corsia specializzata di diversione da RS001 per RS005

4.5.5.5 Corsie specializzate di immissione, dimensionamento cinematico

Raggio curva circolare	R_f	(m)	120.0
Pendenza trasversale curva circolare	i_c	(%)	6.92
Velocità di progetto curva circolare	V_2	(km/h)	60.0
Velocità di progetto asse principale	V_0	(km/h)	60.0
Velocità fine tratto accelerazione	V_1	(km/h)	48.0
Lunghezza tratto accelerazione	$L_{a,e}$	(m)	83.5
Lunghezza curva raggio variabile	L_c	(m)	33.5
Lunghezza tratto parallelo in accelerazione	$L_{p,a}$	(m)	50.0
Lunghezza tratto raccordo	$L_{v,e}$	(m)	50.0
Lunghezza totale corsia immissione	L_t	(m)	133.5

Tabella 4-5. Corsia specializzata di immissione da RS005 per RP001

4.5.6 Rampa ovest (Asse RS006)

La Rampa RS006 è una strada nuova ad unica carreggiata con una corsia monodirezionale. Ai sensi del D.M. 19.04.2006 essa è una rampa semidiretta di un'intersezione tipo 2 avente velocità di progetto compresa nell'intervallo 40-60 km/h. Le progressive di progetto sono crescenti nel senso di percorrenza da ovest verso est cioè dalla via Aposazza alla Rampa RS002 sulla quale confluisce.

Il tracciato planimetrico si estende per 213m e si raccorda all'inizio alla via Aposazza riprofilata e alla fine alla rampa RS002 sulla quale confluisce.

Il tracciato prevede la successione di 3 diverse curve aventi raggi compresi tra $R=50m$ e $R=1146m$ con interposti raccordi clotoidici e rettili i cui dettagli sono riportati sulle tavole di progetto.

Il tracciato altimetrico prevede la successione di 3 livellette aventi valori compresi nell'intervallo -1.41% $+5.0\%$; esse sono intervallate da raccordi verticali i cui raggi sono compresi tra $R=1000m$ e $R=1060m$ i cui dettagli sono riportati sulle tavole di progetto.

4.5.6.1 Verifiche planimetriche

L'asse rientra nella categoria rampa monodirezionale con V_p compresa tra 40÷60 km/h.

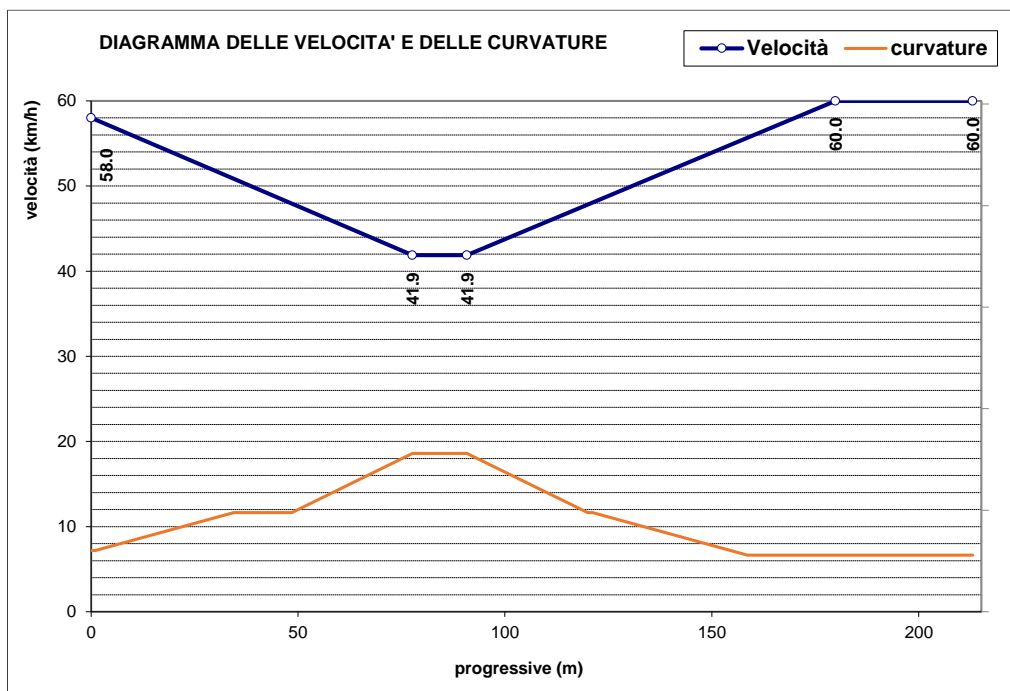


Figura 4-25: Diagramma velocità Asse RS006

N	Prog. Inizio (m)	Prog. Fine (m)	Lungh. (m)	Tipo Elem	Parametro	Vs	ic (%)	Vp (km/h)	Lmin/max	Pmin/max	Verifica	Note
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
1	0.000	1.000	1.000	C	1146.25	DX	2.50	58.0				
2	1.000	34.492	33.492	AC	67.00	DX		57.8		382.08	NO	(h3)
3	34.492	48.493	14.001	C	120.00	DX	6.93	50.8				
4	48.493	77.660	29.167	AC	50.00	DX		47.9				
5	77.660	90.835	13.175	C	50.00	DX	7.00	41.9				
6	90.835	120.001	29.167	AC	50.00	DX		47.8				
7	120.001	121.214	1.213	C	120.00	DX	6.93	48.0				
8	121.214	158.622	37.408	AT	67.00	DX		55.7				
9	158.622	213.002	54.379	R	0.00			60.0				

Tabella 4-26: Verifiche planimetriche con progressive crescenti – Asse RS006

Con riferimento alla tabella sopra riportata si evidenzia che dalle verifiche planimetriche effettuate, il tracciato di progetto presenta caratteristiche congruenti alle indicazioni contenute nel DM 05/11/2001 con eccezione del criterio ottico della prima clotoide. Tale scostamento riguarda non conformità minori di carattere ottico e non dinamico, che trattandosi di elemento di raccordo con strada di caratteristiche superiori, è stato ritenuto pertanto trascurabile.

4.5.6.2 Verifiche altimetriche

N	D/S	Pr.Vert (m)	da (m)	a (m)	L (m)	i1 (%)	i2 (%)	Δi (%)	Rv (m)	Vp (km/h)	D (m)	Rv,min (m)	VERIFICA	Vamm (km/h)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)
1	S	60	31	89	57.34	-0.73	5.00	5.73	1000	51.5	50.0	911		
2	D	162	128	196	67.93	5.00	-1.41	6.41	1060	60.0	61.0	999		

Tabella 4-27: Verifiche altimetriche con progressive crescenti - Asse RS005

Con riferimento alle tabelle sopra riportate si evidenzia che dalle verifiche altimetriche effettuate, i tracciati di progetto presentano caratteristiche congruenti alle indicazioni contenute nel DM 05/11/2001.

4.5.6.3 Verifiche di visibilità

La verifica di rispondenza alla norma DM 5.11.01 ha considerato anche gli aspetti correlati alle prestazioni dell'infrastruttura. In particolare è stata analizzata la visibilità per l'arresto connessa all'andamento piano-altimetrico del tracciato stradale e agli allargamenti progettuali previsti.

Per l'asse in oggetto la distanza di visibilità per l'arresto risulta sempre garantita senza l'inserimento di allargamenti ad eccezione dei seguenti tratti:

- Allargamento massimo della banchina destra pari a 1.45m dalla progressiva 0+037.000 alla progressiva 0+098.364.

4.5.6.4 Corsie specializzate di diversione, dimensionamento cinematico

Velocità di progetto asse principale	V_1	(km/h)	60.0
Raggio curva circolare	R_f	(m)	120.0
Pendenza trasversale curva circolare	i_c	(%)	6.92
Velocità di progetto curva circolare	V_2	(km/h)	60.0
Lunghezza tratto decelerazione	$L_{d,u}$	(m)	80.0
Lunghezza tratto parallelo	L_p	(m)	60.0
Lunghezza tratto manovra	$L_{m,u}$	(m)	40.0
Lunghezza totale corsia diversione	L_t	(m)	100.00

Tabella 4-6. Corsia specializzata di diversione da RP001 per RS006

4.5.6.5 Corsie specializzate di immissione, dimensionamento cinematico

Raggio curva circolare	R_f	(m)	120.0
Pendenza trasversale curva circolare	i_c	(%)	6.92
Velocità di progetto curva circolare	V_2	(km/h)	60.0
Velocità di progetto asse principale	V_0	(km/h)	60.0
Velocità fine tratto accelerazione	V_1	(km/h)	48.0
Lunghezza tratto accelerazione	$L_{a,e}$	(m)	87.4
Lunghezza curva raggio variabile	L_c	(m)	37.4
Lunghezza tratto parallelo in accelerazione	$L_{p,a}$	(m)	50.0
Lunghezza tratto raccordo	$L_{v,e}$	(m)	50.0
Lunghezza totale corsia immissione	L_t	(m)	137.4

Tabella 4-7. Corsia specializzata di immissione da RS006 per RS002